

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

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

PRÉSENTATION DU GROUPE CTIA

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

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

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

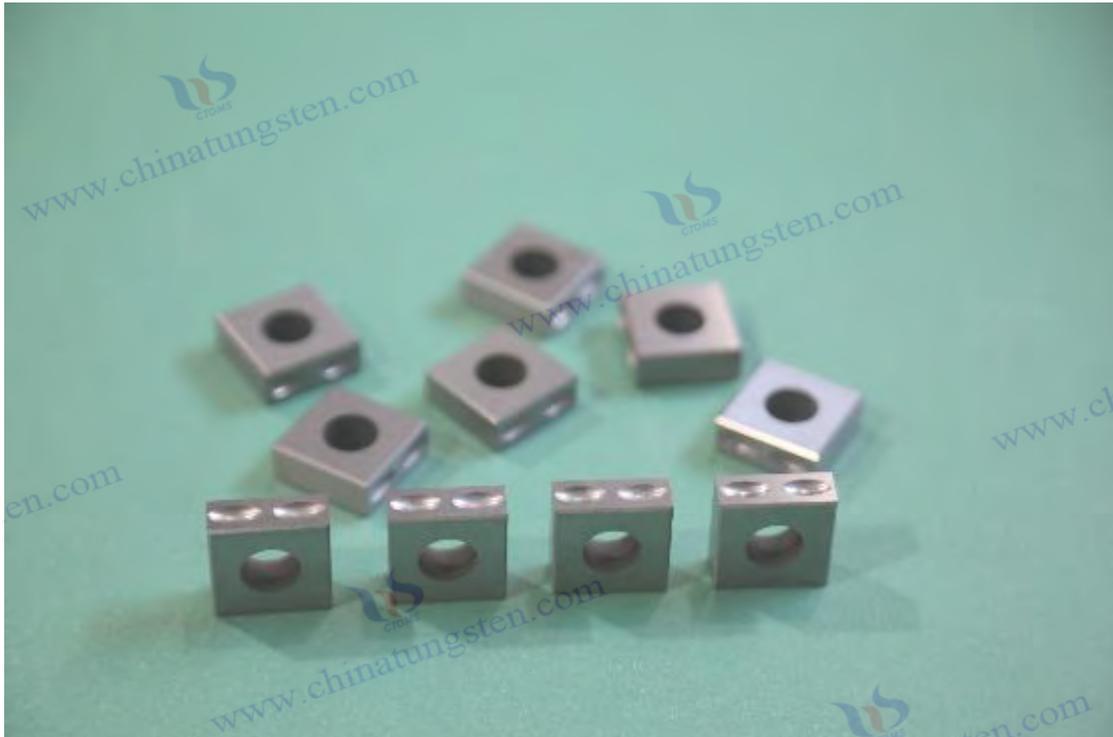
Forts de plus de 30 ans d'expérience dans le secteur, le Dr Hanns et son équipe de CTIA GROUP ont également rédigé et publié des analyses de connaissances, de technologies, de prix et de tendances du marché du tungstène, du molybdène et des terres rares, qu'ils partagent librement avec l'industrie du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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Séquence

Haute entropie du carbure cimenté pilotée par l'IA Et la tendance d'évolution du numéro de lot de nuance de carbure cimenté La tendance évolutive de l'IA Carbure cimenté à haute entropie (HECC) et Nuance de carbure cimenté spécifique au lot (BSCCG)

1. Introduction

Le carbure cimenté est principalement composé de carbure de tungstène (WC), associé à du cobalt (Cobalt), du nickel (Ni) et d'autres phases de liaison. Grâce à ses excellentes propriétés mécaniques (dureté 1 500-2 200 HV, résistance à l'usure $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{h}$) et à sa stabilité chimique (résistance à la corrosion $< 0,02 \text{ mm/an}$, pH 2-12), il est largement utilisé dans l'aérospatiale, la fabrication de précision, les nouvelles énergies et les technologies de pointe. Le développement rapide de l'intelligence artificielle (IA), de l'Internet industriel, de la transmission de données à haut débit 5G/6G et des technologies Big Data/Cloud computing a donné un nouvel élan à la conception et à la classification des nuances de carbure cimenté, favorisant notamment le développement du carbure cimenté à haute entropie (HECC) et de la nuance de carbure cimenté spécifique au lot (BSCCG). Ces concepts, initialement proposés par CTIA GROUP LTD, incluent la haute entropie pour dépasser les limites de performance grâce à la conception d'alliages multi-composants, et le dosage pour une personnalisation grâce à l'optimisation dynamique. Cet article est rédigé par une équipe d'experts de China Tungsten Online, profondément impliqués dans l'industrie des matériaux à base de tungstène depuis 30 ans et spécialisés dans la conception et la production sur mesure. Il

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

se concentre sur la tendance de développement du carbure cimenté à haute entropie et au dosage par dosage, pilotés par l'IA. Il analyse ses mécanismes techniques et ses caractéristiques, et combine les connecteurs électriques aérospatiaux, le traitement de précision des micro-trous dans les moules, les plaques bipolaires pour piles à combustible et les avancées scientifiques et technologiques de pointe. des cas technologiques pour explorer l'adaptabilité des performances et les perspectives d'application, et évaluer les défis et les voies d'innovation associés.

Actuellement, l'industrie du carbure cimenté est confrontée à la complexité des systèmes de nuances. Chaque fabricant de carbure cimenté possède ses propres systèmes de nuances. Parallèlement, il existe des normes de nuances reconnues au niveau international (comme la classification ISO 513). Les pays européens, américains, japonais et coréens ont également développé leurs propres spécifications de nuances, telles que l'ANSI aux États-Unis, le JIS au Japon et le DIN en Allemagne. Bien que cette diversité soit liée à la confidentialité technique et aux besoins spécifiques, elle engendre des difficultés pour le marché et les clients. Les différences de nuances compliquent l'adéquation à la demande et compliquent l'optimisation de la coordination entre performances et capacités de production, ce qui freine le développement du carbure cimenté sur mesure. La forte entropie du carbure cimenté pose les bases techniques du dosage des nuances en améliorant les limites de performance. Le dosage ajuste dynamiquement la formule pour s'adapter à l'évolution des besoins en temps réel et aux données d'application dans l'écosystème technologique de l'IA, guidant ainsi la personnalisation complète des ingrédients, des paramètres de procédé, de l'emballage et du transport en fin de production. Les deux sont étroitement liés et promeuvent conjointement l'industrie du carbure cimenté pour évoluer vers l'intelligence et la personnalisation.

2. Contexte technique

2.1 Application de l'intelligence artificielle à la conception matérielle

Prend en charge la conception par lots et à haute entropie de carbure cimenté grâce à l'apprentissage automatique (ML), l'apprentissage profond (DL) et les modèles génératifs (tels que les réseaux antagonistes génératifs, GAN). L'IA traite des ensembles de données multidimensionnelles (telles que la taille des grains de 0,1 à 10 μm , le rapport de phase de liaison de 6 à 20 %, les paramètres de travail) et prédit les indicateurs de performance (tels que l'erreur de dureté < 5 %, la ténacité de 1020 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, la résistance à la corrosion < 0,02 mm/an). Par exemple, la formule WC-Co est optimisée sur la base de réseaux neuronaux convolutifs, et le cycle de R&D est raccourci de 60 %. L'IA générative génère des formules d'alliages à haute entropie à partir de données historiques (telles que les bibliothèques WCCo et WCNi) et optimise la résistance à l'usure à haute température de 15 %. Le graphique de connaissances intègre les données de la chaîne industrielle (telles que la pureté de la poudre de tungstène de 99,9 % à 99,95 %, les paramètres du processus) pour obtenir une optimisation en boucle fermée, améliorer l'efficacité et jeter les bases d'une entropie élevée et d'une conception par lots.

2.2 Internet industriel et interaction des données en temps réel

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Construire un écosystème axé sur les données grâce à des capteurs IoT, à l'informatique de pointe et au cloud computing. Les capteurs collectent des paramètres (tels que la température de frittage $1350\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, la pression 100-150 MPa), l'informatique de pointe traite les données haute fréquence (granulométrie 0,1-0,5 $\mu\text{ m}$, 1 Hz) et le cloud computing prend en charge les analyses massives. Cette interaction en temps réel rend la production transparente et prend en charge les ajustements dynamiques (tels que l'atmosphère H_2 5-10 %, le point de rosée, etc.) . Dans la collaboration de la chaîne industrielle, les fournisseurs fournissent la granulométrie de la poudre de tungstène (telle que D50 0,1-0,3 $\mu\text{ m}$), les fabricants optimisent les processus et les utilisateurs renvoient des informations sur les conditions de travail (telles que la vitesse de coupe 200 m/min), réduisant ainsi le temps de réponse de la chaîne d'approvisionnement de 20 % et fournissant un support de données pour la production par lots.

2.3 Renforcement collaboratif des réseaux 5G/6G

Les réseaux 5G (latence $< 1\text{ ms}$, bande passante $> 10\text{ Gbps}$) et 6G (latence $< 0,1\text{ ms}$, bande passante $> 100\text{ Gbps}$) qui seront commercialisés en 2030 offrent une communication efficace. La 5G/6G prend en charge l'échange de données dans la chaîne industrielle, comme le téléchargement de données par lots par les fournisseurs, la remontée par les fabricants des courbes de frittage (1400 °C , 10^{-3} Pa , temps de frittage, etc.) et la fourniture par les utilisateurs des conditions de travail (50 °C - 800 °C , 100 MPa). Cette communication à faible latence permet à l'IA d'optimiser rapidement les formules d'alliages à haute entropie (telles que WC-10%Co+0,2%TaC) ou les ajustements par lots, et la conception collaborative interrégionale raccourcit les cycles de livraison de 25 à 30 %, améliorant ainsi l'efficacité de la mise en œuvre par lots et à haute entropie.

Support informatique pour le Big Data et le cloud computing

Le Big Data intègre des données internes (journaux de production, résultats de tests) et externes (tendances du marché, normes ISO 45001) pour fournir du matériel de formation à l'IA. Le cloud computing prend en charge le calcul haute concurrence, comme le criblage haut débit de recettes ($> 10^3$ combinaisons/jour) ou l'optimisation multi-objectifs (dureté, résistance à l'usure, coût). En 2025, l'échelle du marché chinois du Big Data devrait atteindre 540 milliards de yuans, soutenant la recherche et le développement de matériaux. Le cloud computing permet la simulation, comme la prédiction de la résistance à l'oxydation des alliages WC ($< 0,02\text{ mg/cm}^2$, 800 °C , erreur $< 5\%$), fournissant une base théorique pour la conception d'alliages à haute entropie et le dosage de haute précision.

3. Tendances de développement et caractéristiques du carbure cémenté

La synergie entre l'IA, l'Internet industriel, la 5G/6G et le Big Data/Cloud Computing a profondément façonné le développement de la production à haute entropie et par lots de carbure cémenté. En tant qu'équipe d'experts spécialisée dans la production sur mesure de matériaux à base de tungstène depuis 30 ans, nous avons assisté à la transformation de la conception de formules

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

traditionnelles en innovation pilotée par l'IA. Ces tendances améliorent non seulement les performances des matériaux, mais offrent également des solutions sur mesure pour la fabrication haut de gamme. Voici une analyse détaillée :

3.1 Conception intelligente : un progrès révolutionnaire grâce aux données

qui optimise les alliages à haute entropie et les formulations par lots grâce à l'analyse de données multisources. Les modèles d'IA, tels que les forêts aléatoires ou les machines à vecteurs de support, intègrent la structure de la phase cristalline, les paramètres de traitement thermique et les données sur les conditions de travail pour prédire les indicateurs de performance. Par exemple, le modèle entraîné à partir de données historiques peut contrôler l'erreur de prédiction de la dureté de l'alliage WC-Co à ± 50 HV, et le cycle de conception est raccourci d'environ 50 % par rapport aux méthodes traditionnelles. L'IA générative révolutionne encore davantage la routine et sélectionne des formulations d'alliages à haute entropie parmi des milliers de formulations grâce aux réseaux antagonistes génératifs (GAN). Par exemple, les alliages à base de WCNi ajoutent 0,1 à 0,3 % en poids de NbC, ce qui améliore la résistance à la corrosion de 10 %, ce qui est particulièrement adapté aux nouveaux équipements énergétiques en environnements acides. De plus, la technologie des graphes de connaissances adapte les besoins des utilisateurs (tels que la conductivité élevée des connecteurs aéronautiques > 90 % IACS) aux propriétés des matériaux, recommande la formulation optimale et réduit le temps de réponse de 40 %. Cette conception intelligente accélère non seulement la recherche et le développement, mais fournit également un soutien théorique à la haute entropie, dont la production par lots bénéficie, permettant une transition fluide de la standardisation à la personnalisation. L'objectif principal de la conception intelligente est de dépasser les limites du système de marque traditionnel, d'assurer une adéquation précise entre performance et demande grâce à l'IA, et de fournir une base de données pour la mise en œuvre de la haute entropie et de la production par lots.

3.2 Fabrication flexible : innovation des procédés pour répondre à des besoins divers

La fabrication flexible s'appuie sur l'Internet industriel et la technologie 5G/6G pour réaliser une production en petites séries hautement personnalisée, répondant ainsi aux besoins diversifiés du carbure cémenté sur le marché haut de gamme. La surveillance des processus en temps réel est essentielle à cette fabrication flexible. Des capteurs IoT collectent avec précision la température de frittage ($1\ 350\ ^\circ\text{C} \pm 1\ ^\circ\text{C}$), la pression (100-150 MPa) et les paramètres atmosphériques (tels que la teneur en H_2 de 5 à 10 %). Des algorithmes d'IA ajustent dynamiquement les paramètres du processus pour maintenir la constance de la granulométrie (0,1-0,5 μm), réduisant ainsi le taux de défauts de 15 %. La technologie de prototypage rapide repousse encore davantage les limites traditionnelles. Par exemple, les structures géométriques complexes des canaux d'écoulement des plaques bipolaires des piles à combustible (tolérance $< \pm 0,004\ \text{mm}$) peuvent être réalisées en quelques jours, ce qui réduit le délai de livraison de 30 % et offre un soutien important aux projets d'urgence. Parallèlement, les réseaux 5G/6G permettent une collaboration en amont et en aval de la chaîne industrielle. Les fournisseurs optimisent la granulométrie de la poudre de tungstène (D50 0,1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

μm) pour répondre aux besoins de traitement en aval. Les fabricants adaptent la formule en fonction des retours des utilisateurs (vitesse de coupe de 200 m/min, par exemple), améliorant ainsi l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement de 20 %. La flexibilité de fabrication offre une base solide pour la production d'essais en petites séries et la production rapide de lots d'alliages à haute entropie. En particulier dans le contexte de nuances diversifiées, elle permet de faire face efficacement aux difficultés d'adéquation du marché engendrées par les systèmes de nuances des différents pays et entreprises.

3.3 Haute entropie du carbure cimenté : une avancée dans les limites de performance

« High -Entropy Cemented Carbide » (HE CC) est un concept innovant proposé pour la première fois par CTIA GROUP LTD, qui vise à surmonter le goulot d'étranglement des performances du carbure cimenté traditionnel grâce à une conception d'alliage à haute entropie multi-composants.

L'alliage à haute entropie (HEA) est un alliage composé de plusieurs éléments principaux (généralement 5 ou plus), la proportion de chaque élément étant proche du rapport équiatomique (généralement 5 à 35 %). La distorsion et la stabilité du réseau sont améliorées par une entropie de mélange élevée (valeur d'entropie $> 1,5R$). Comparés aux alliages traditionnels, les alliages à haute entropie présentent d'excellentes propriétés, telles qu'une dureté et une ténacité élevées, une résistance aux températures élevées et à la corrosion, et sont souvent utilisés dans des environnements extrêmes, tels que l'aérospatiale, les équipements sous-marins et le secteur énergétique. Leur conception fait souvent appel à l'IA et à la théorie de la fonctionnelle de la densité pour repousser les limites de performance des matériaux traditionnels.

La haute entropie utilise la puissance de calcul à haut débit de l'IA, comme la théorie fonctionnelle de la densité (DFT), pour concevoir des formules complexes telles que WCTiCNbCCo (valeur d'entropie $> 1,5R$), avec une dureté allant jusqu'à 1800-2200 HV et une ténacité allant jusqu'à 15-20 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. Cette conception multicomposant améliore la distorsion du réseau grâce à l'effet d'augmentation de l'entropie, améliorant considérablement la stabilité à haute température ($> 1000\text{ }^\circ\text{C}$) et la résistance à la corrosion ($\text{pH } 2-3, < 0,005\text{ mm/an}$). Les revêtements fonctionnels optimisés par l'IA, tels que TiN ou NiP, réduisent la résistance à l'usure à $< 0,015\text{ mm}^3/\text{h}$, la résistance à la corrosion à $< 0,005\text{ mm/an}$ et améliorent les performances de surface de 20 %. Dans les applications pratiques, les alliages à haute entropie présentent une excellente adaptabilité. Par exemple, les forets de développement en eaux profondes doivent résister à une pression de 300 MPa et à la corrosion par l'eau de mer ($\text{pH } 8$). La formule à haute entropie présente une dureté supérieure à 2 200 HV et une durée de vie plus de trois fois supérieure. La technologie à haute entropie favorise non seulement la recherche de pointe en science des matériaux, mais fournit également des solutions fiables pour des conditions de travail extrêmes telles que l'aérospatiale, l'énergie, etc. L'objectif principal de la haute entropie est de surmonter les limites du système de nuances traditionnel grâce à des avancées en matière de performances, de fournir une force motrice technique pour la production par lots et de permettre au carbure cimenté de s'adapter à une plus large gamme de conditions de travail.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Il convient de noter que « **haute entropie du carbure cémenté** » peut également être comprise comme « carbure cémenté à haute entropie », un concept qui comporte des connotations à plusieurs niveaux et un processus de développement dynamique. D'une part, cela montre que le carbure cémenté a rompu avec le système de formule traditionnel à base de tungstène-nickel (WC-Ni) et de tungstène-cobalt (WC-Co), et a progressivement introduit des éléments supplémentaires tels que le tantale (Ta), le niobium (Nb), le titane (Ti) ou le chrome (Cr) en fonction des exigences de performance diversifiées du marché (telles qu'une dureté, une résistance à l'usure, une résistance à la corrosion ou une stabilité à haute température accrues), de sorte que sa composition est passée du système binaire ou ternaire traditionnel à une formule complexe contenant cinq éléments ou plus. Bien que la teneur de ces éléments nouvellement ajoutés n'ait peut-être pas atteint le rapport équiatomique strictement défini (généralement 5 à 35 %) ou l'entropie de mélange élevée (valeur d'entropie $> 1,5 R$) des alliages à haute entropie, et ne soit donc pas complètement équivalente aux alliages à haute entropie au sens propre du terme, cette tendance à la diversification des éléments a sans aucun doute jeté les bases de l'amélioration des performances et démontré le potentiel du carbure cémenté à évoluer vers un état d'entropie plus élevé.

D'autre part, la « **haute entropie du carbure cémenté** » indique également un processus de transformation progressif, c'est-à-dire que le carbure cémenté évolue progressivement vers un alliage à haute entropie. Ce processus implique non seulement l'optimisation de la formule, mais aussi le procédé de production, la conception de la microstructure et l'élargissement des scénarios d'application. Dans cette transition, les technologies d'IA (telles que l'apprentissage automatique et le calcul à haut débit) jouent un rôle clé, guidant l'ajustement des formules d'alliages par la simulation et la prédiction des interactions multi-éléments. Par exemple, l'ajout d'oligo-éléments (tels que 0,2 % à 0,4 % de TaC ou de ZrC) peut considérablement améliorer la distorsion du réseau et les performances à haute température ou la résistance à l'oxydation, tout en préservant les caractéristiques de mise en œuvre et l'économie du carbure cémenté. Cette entropie élevée progressive permet au carbure cémenté d'absorber progressivement les caractéristiques des alliages à haute entropie, telles qu'une ténacité plus élevée ($> 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) et une applicabilité plus large (comme l'environnement en haute mer ou dans l'espace) tout en conservant ses avantages d'origine (tels qu'une stabilité de dureté élevée dans la plage de 1500 à 2000 HV).

De plus, cette transformation est également motivée par la demande du marché et la technologie. Par exemple, les connecteurs électriques dans le domaine aérospatial doivent prendre en compte une conductivité élevée ($> 90 \%$ IACS) et une résistance à la corrosion ($< 0,01 \text{ mm/an}$), tandis que les plaques bipolaires des piles à combustible exigent une précision élevée (tolérance $< \pm 0,004 \text{ mm}$) et une résistance aux acides (environnement pH 3). Ces exigences ont incité le carbure cémenté à introduire de nouveaux éléments grâce à la technologie à haute entropie pour répondre aux conditions de travail extrêmes. À l'avenir, ce processus pourrait être encore accéléré. Avec la maturité des réseaux 6G et de l'informatique quantique, l'IA optimisera le rapport multi-éléments avec plus de précision et réalisera progressivement la transition complète du carbure cémenté à haute entropie vers un véritable alliage à haute entropie, réalisant ainsi un bond qualitatif en termes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de performances et de domaines d'application.

3.4 Évolution des lots de nuances de carbure cimenté : l'avenir de la production sur mesure

La nuance de carbure cimenté est un système de numérotation normalisé utilisé pour identifier le type et les performances des matériaux en carbure cimenté, généralement formulé par des entreprises ou des normes internationales (comme ISO 513). Elle reflète la composition de l'alliage (rapport WC-Co), ses performances (dureté, résistance à l'usure) et son utilisation (coupe, moulage). Par exemple, ISO K10 indique une nuance adaptée à l'usinage de la fonte. Différents pays et entreprises ont leurs propres systèmes, comme l'ANSI aux États-Unis et le JIS au Japon. La diversité des nuances facilite une sélection précise des matériaux, mais elle peut également entraîner une adéquation complexe avec le marché en raison de la diversité des normes.

« nuance de carbure cimenté spécifique au lot » (BS CC G) est également appelée **dosage de nuances de carbure cimenté**. Il s'agit d'un concept de pointe, initialement proposé par CTIA GROUP LTD, s'appuyant sur de nombreuses années d'expérience pratique et d'observation approfondie. Il met l'accent sur l'ajustement dynamique de la formule en fonction des caractéristiques des différents lots de matières premières et des besoins des utilisateurs, afin d'obtenir une production personnalisée de haute précision. Les différences de lots de matières premières (telles que la pureté de la poudre de tungstène de 99,9 % à 99,95 %, la teneur en Co de 6 à 20 %) ont un impact significatif sur les performances. L'IA résout efficacement ce problème grâce à l'analyse du Big Data. Par exemple, le secteur aéronautique a des exigences élevées en matière de dureté (> 2 000 HV). L'IA peut optimiser le rapport WC-Co pour des lots spécifiques, tandis que les applications de moulage privilégient l'amélioration de la ténacité (> 15 MPa·m^{1/2}), avec une différenciation des performances pouvant atteindre 10 à 15 %. L'optimisation de la production en petites séries illustre également les avantages du dosage. Par exemple, la production de forets pour eaux profondes (dureté > 2200 HV) a été ajustée de 1000 pièces/mois à 100-200 pièces/mois, avec un coût maîtrisé à ±5 %, répondant ainsi aux besoins du marché haut de gamme. L'Internet industriel et les réseaux 5G/6G permettent un suivi complet du cycle de vie des données de lot (telles que la température de frittage et la granulométrie) et optimisent les processus grâce à l'analyse en cloud computing, réduisant ainsi les taux de défauts de 10 % et garantissant une qualité constante. De plus, l'IA prédit les tendances du marché, comme la croissance annuelle de 20 % de la demande de nouvelles batteries, et peut rapidement ajuster la formule (par exemple, en ajoutant 0,2 à 0,4 % en poids de TaC pour améliorer la résistance à la corrosion), réduisant ainsi le cycle de réponse de 15 à 20 jours. La production par lots comprend également une conception personnalisée de l'emballage et du transport, comme l'utilisation d'emballages anticorrosion pour les équipements en eaux profondes, et la surveillance de la température et de l'humidité pendant le transport (10 °C à 30 °C, humidité < 60 %) pour garantir des performances stables du produit. Le traitement par lots résout les problèmes du marché liés à la diversification des systèmes de nuances traditionnels grâce à une personnalisation complète, permettant au carbure cimenté de s'adapter en temps réel aux besoins changeants et aux données d'application de l'écosystème technologique de l'IA. L'étroite relation entre la haute entropie et le traitement par lots réside dans le fait que la première offre un support technique grâce à des avancées en matière de performances, tandis que la seconde permet une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

adéquation précise à la demande du marché grâce à des ajustements dynamiques. Ces deux éléments contribuent conjointement à la progression de l'industrie du carbure cémenté vers l'intelligence et la personnalisation.

4. Défis posés par le dosage à haute entropie et à haute teneur du carbure cémenté pour les entreprises

4.1 Défis pour la chaîne industrielle traditionnelle du carbure cémenté

La forte entropie des performances du carbure cémenté et le dosage des nuances sont des tendances inévitables liées à la diversification et à la demande haut de gamme des applications. Les changements révolutionnaires de l'ère de l'IA ont posé des défis sans précédent à l'ensemble de la chaîne industrielle du carbure cémenté. Cette évolution affecte non seulement les maillons clés des entreprises de production et de vente de carbure cémenté, mais a également un impact profond sur l'amont de la chaîne d'approvisionnement, notamment les fournisseurs d'équipements et de matières premières en amont. La chaîne industrielle traditionnelle repose principalement sur un modèle de production statique et standardisé, difficile à adapter à la complexité des performances induite par la forte entropie et aux capacités d'ajustement dynamique requises pour le dosage. L'intelligence artificielle exige des fournisseurs qu'ils fournissent des matières premières avec une précision et une cohérence accrues (par exemple, la granulométrie de la poudre de tungstène doit être précise à D50 (0,1-0,3 μm), et que les équipements disposent de capacités de production flexibles (par exemple, la prise en charge du réglage en temps réel de la température de frittage ($1\ 350\ ^\circ\text{C} \pm 2\ ^\circ\text{C}$) et des paramètres atmosphériques (teneur en H_2 (5-10 %)). De plus, la chaîne industrielle doit mettre en place un système d'interconnexion des données pour assurer la transparence et la coordination de l'ensemble du processus, de l'approvisionnement en matières premières à la livraison des produits, afin de répondre aux nouveaux besoins de réponse en temps réel et de collaboration efficace dans le cadre de l'écosystème de l'IA.

4.2 Défis pour les entreprises de carbure cémenté et leur gestion

La gestion des entreprises traditionnelles de carbure cémenté se concentre souvent sur l'allocation des ressources humaines, financières et matérielles, ainsi que sur la gestion des processus. Les grandes entreprises sont particulièrement sujettes à des réunions et des rapports fastidieux, ignorant l'évolution rapide de l'innovation technologique et de la demande du marché. Cependant, dans le contexte de l'écosystème de l'IA, les dirigeants d'entreprise doivent changer de mentalité, étudier et comprendre en profondeur le potentiel applicatif de l'IA, clarifier l'architecture technologique sous-jacente dont les entreprises de carbure cémenté ont réellement besoin et éviter d'investir aveuglément dans des outils ou des cadres d'IA ponctuels et inefficaces. Les dirigeants doivent comprendre en profondeur la valeur applicative réelle de l'IA axée sur les résultats et éviter d'investir massivement dans des logiciels et du matériel destinés uniquement à l'enregistrement plutôt qu'à l'optimisation. Ils doivent plutôt se concentrer sur l'interface de données techniques des systèmes frontaux et back-end de la production de carbure cémenté, l'incision de l'interaction homme-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

machine, ainsi que sur un processus de collaboration efficace et un mécanisme d'exploitation sûr en amont et en aval de la chaîne industrielle. De plus, la direction doit identifier et former les talents adaptés à l'écosystème technologique de l'IA, clarifier les types de talents requis par l'entreprise, les processus de gestion de l'IA, les exigences de conformité et les scénarios d'application des agents IA. Par exemple, l'introduction d'agents marketing IA (logiciels utilisant l'intelligence artificielle pour effectuer de manière autonome des tâches marketing, analyser les données clients, personnaliser le contenu, optimiser les campagnes publicitaires, planifier les sorties, interagir avec les clients potentiels et mesurer l'efficacité marketing) permet d'analyser la demande du marché en temps réel et d'optimiser les stratégies de promotion des produits. On peut affirmer que cette transformation managériale constituera un tournant décisif dans la concurrence future des entreprises de carbure cémenté, voire la clé de leur survie.

4.3 Défis pour les praticiens de la chaîne industrielle traditionnelle du carbure cémenté

Les employés des entreprises traditionnelles de production et de vente de carbure cémenté, en particulier les employés de terrain, doivent s'adapter aux nouveaux modes de travail induits par l'IA. Ils doivent comprendre la pensée technique de l'IA, apprendre et maîtriser le fonctionnement des équipements et le double entraînement, maîtriser les outils de gestion intelligents et se familiariser avec l'interface homme-machine de l'IA. Par exemple, les opérateurs doivent saisir rapidement des paramètres de travail (comme une vitesse de coupe de 200 m/min) via l'interface d'IA et recevoir des suggestions d'optimisation. De plus, les praticiens doivent maîtriser les outils de production et d'application de l'IA, apprendre à analyser et évaluer les résultats de différents agents d'IA professionnels, évaluer leurs avantages et inconvénients et proposer des améliorations. Cela exige des praticiens une réflexion plus approfondie sur l'optimisation et des capacités d'analyse multidimensionnelle, ainsi que la capacité à identifier les points d'amélioration clés dans les données croisées, améliorant ainsi les performances des alliages à haute entropie ou la précision de la production par lots. Seuls l'apprentissage continu et le renforcement des capacités permettront aux employés de terrain de transformer leur rôle d'opérateur traditionnel en celui d'acteur intelligent de la production au sein de l'écosystème de l'IA.

4.4 Défis et opportunités pour les petites et moyennes entreprises de carbure cémenté

Agent d'intelligence artificielle (IA) désigne une entité intelligente pilotée par une technologie d'intelligence artificielle (IA), capable de percevoir l'environnement, de prendre des décisions autonomes et d'exécuter des tâches. Il obtient des informations grâce à des capteurs ou à des données, utilise des algorithmes pour analyser et formuler des stratégies d'action, puis agit pour atteindre des objectifs prédéfinis. Doté d'une certaine autonomie, l'IA est largement utilisée dans les assistants intelligents, la conduite autonome, les chatbots et d'autres domaines. Ses fonctions dépendent des données de conception et d'entraînement.

Nous pensons que dans un avenir proche, l'industrie du carbure cémenté verra la naissance d'agents d'IA formés par diverses entreprises elles-mêmes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dans l'écosystème de l'IA, les PME du carbure cémenté seront confrontées à d'importants défis de survie. Leur capacité à s'adapter rapidement à la transformation de la pensée, de la haute entropie au traitement par lots, dépendra de la rapidité des mises à niveau technologiques, de leur capacité d'investissement et de leur capacité d'apprentissage. Cette pression de transformation pourrait conduire au phénomène de Darwin, « l'herbe ne pousse pas sous le grand arbre », et certaines PME seront éliminées faute de pouvoir suivre le rythme de l'IA. Cependant, l'ère de l'IA offre également aux PME des opportunités de contre-attaque. La chaîne industrielle chinoise du carbure cémenté pourrait donner naissance à des licornes unipersonnelles basées sur des agents IA professionnels. Disposant de très peu de ressources humaines, ces entreprises s'appuient sur des agents IA pour construire un centre de production et de vente performant, capable de fonctionner 24 h/24 et 7 j/7, sans salle de conférence, sans risque d'erreur, avec une maîtrise en temps réel des différents types de données de l'écosystème et une mise à niveau continue grâce à une optimisation itérative. Ces entreprises peuvent devenir des entonnoirs de données dans l'écosystème de l'IA, gérant automatiquement l'ensemble du processus de dessins de conception, de confirmation de contrat, d'attribution de tâches de production, de déploiement de la main-d'œuvre, de formulation des exigences techniques, de préparation du matériel, de génération de listes d'achat, de publication d'instructions d'externalisation, de gestion des questions spéciales, de partage de données en ligne, d'inspection et de test, de conception de marques d'emballage, de génération de numéros de lot et d'arrangements logistiques.

En revanche, bien que les grandes entreprises de carbure cémenté bénéficient d'avantages absolus en termes de capital, de technologie et de talents, leurs intérêts internes et la rigidité de leur structure organisationnelle peuvent constituer le principal obstacle à l'innovation. Par exemple, si la direction décide de recourir à des agents de conférence IA, elle risque d'être la première à être remplacée. À l'inverse, grâce à leur petite taille et à leur chaîne décisionnelle courte, les PME peuvent adopter l'IA avec plus de flexibilité, libérer la direction en manque de main-d'œuvre et exploiter l'autre facette de ce désavantage pour contre-attaquer. Par exemple, en introduisant un micro-écosystème d'IA, les PME peuvent occuper des maillons clés de la chaîne industrielle, répondre rapidement à la demande du marché et même être à l'avant-garde des évolutions sectorielles. Cette situation, où opportunités et défis coexistent, met en évidence la profonde transformation du modèle de développement des entreprises de carbure cémenté à l'ère de l'IA.

4.5 Formation, application et optimisation itérative de l'agent d'IA d'entreprise Cemented Carbide

Dans l'industrie du carbure cémenté, l'utilisation de l'Internet des objets industriel (IIoT), des technologies de communication 5G/6G et l'exploitation par les clients de données en temps réel pour l'apprentissage, la formation, la mise à niveau et l'application d'agents d'IA, ainsi que l'optimisation du processus de production grâce au retour en arrière et aux ajustements automatiques, permettent d'assurer une coordination synchrone et un dialogue machine entre la production et l'application. Voici quelques méthodes de mise en œuvre spécifiques :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

L'agent d'entraînement Carbide AI

déploie un réseau de capteurs IIoT pour collecter des données de production en temps réel (telles que la température et la pression de frittage du GB/T 26048-2010, la distribution granulométrique de la poudre du GB/T 34505-2017) et les transmettre au cloud via une transmission haut débit 5G/6G. Associé à l'ensemble de données initial (microstructure du GB/T 18376-2014, composition chimique du GB/T 5314-2011), un modèle d'apprentissage automatique distribué est utilisé pour prédire les indicateurs de performance (tels que la dureté YG6 91,5 HRA, la porosité < 0,05 %).

L'agent Carbide AI est constamment mis à jour pour surveiller les scénarios d'utilisation des clients

grâce à l'IIoT (résistance à l'usure GB/T 12444-2006, résistance à la corrosion GB/T 4334-2020, etc.) et à la transmission de données en temps réel 5G/6G. L'apprentissage en ligne ou fédéré permet de mettre à jour dynamiquement le modèle afin de l'adapter aux nouveaux processus (nouvelles nuances GB/T 5243-2008, par exemple) ou à l'évolution de la demande client, et d'améliorer la précision des prévisions (écart < $\pm 0,5$ HRA).

Suivi des données client en temps réel et optimisation du

carbure AI Agent Les données d'utilisation client (telles que la durée de vie de l'outil de coupe et le taux d'usure) sont renvoyées à la production en temps réel via 5G/6G. AI Agent analyse les données et suit le processus de production (par exemple, une température de frittage élevée entraînant une porosité > 0,1 %). AI Agent ajuste automatiquement les paramètres du processus (par exemple, la réduction de la température de 1450 °C à 1440 °C), optimise les données techniques en temps réel et garantit les performances du produit (par exemple, la stabilisation de la dureté à 91,5 $\pm 0,5$ HRA). Ce processus réalise la coordination synchrone entre la production et l'application, formant un dialogue entre les machines (par exemple, l'interaction des données entre l'équipement de production et l'équipement client).

Application de l'agent Carbide AI

L'agent AI intègre l'équipement de production via IIoT, ajuste les paramètres en temps réel (tels que la pression 50 MPa, le temps de maintien 60 minutes), prédit et corrige les défauts. La 5G/6G assure une communication efficace, collecte les données d'application (telles que la durée de vie de la coupe > 5 heures), prend en charge le diagnostic à distance et la personnalisation personnalisée, et améliore l'efficacité de la production et la cohérence des produits.

Grâce à l'IIoT et aux technologies 5G/6G, ainsi qu'au suivi des données clients en temps réel et à l'optimisation automatique, AI Agent assure une coordination en boucle fermée entre la production et l'application, garantissant ainsi des performances optimales des produits en carbure cimenté tout en améliorant l'efficacité et la satisfaction client. Conçue par l'industrie du carbure cimenté, cette application dédiée peut piloter l'évolution continue de la conception et de l'optimisation des lots de carbure cimenté à haute entropie et de marque, ainsi que les mises à niveau itératives, et favoriser le développement du secteur vers l'intelligence, la personnalisation et la haute performance.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Conception de lots de carbure cémenté à haute entropie et à haute teneur pilotée par l'IA et analyse de cas d'application

China Tungsten Online, une équipe d'experts spécialisée dans la production sur mesure de matériaux à base de tungstène depuis 30 ans, a analysé en détail les applications pratiques du dosage de carbure cémenté à haute entropie et à haute teneur, piloté par l'IA, dans de nombreux domaines, à travers les cas suivants. Ces cas démontrent non seulement les avantages techniques, mais reflètent également son impact considérable sur le développement du secteur.

5.1 Connecteurs électriques aérospatiaux : la combinaison parfaite de haute conductivité et de résistance à la corrosion

Français Les connecteurs électriques aérospatiaux doivent avoir une conductivité élevée (> 90 % IACS), une résistance à la corrosion ($< 0,01$ mm/an, test au brouillard salin de 1 000 heures) et une résistance aux vibrations (10 g, 10^6 cycles). AI a conçu un alliage à haute entropie WCTiCNi (20-25 at% de chaque composant, valeur d'entropie $> 1,5$ R), et a ajouté 0,2 % en poids de TaC pour augmenter la résistance à l'usure de 5 %, la dureté à 1 900 HV, la conductivité supérieure à 90 % IACS, la résistance de contact inférieure à $10 \mu\Omega$ et la résistance à la corrosion maintenue à $< 0,01$ mm/an dans un test au brouillard salin de 1 000 heures. Cette formulation utilise une technologie à haute entropie pour améliorer la stabilité du réseau, prend en charge la transmission de signaux à grande vitesse (50 A/cm²) et fonctionne bien dans des environnements de vibration de 50 °C à 200 °C et de 10 g. L'IA optimise la formule en analysant les données de conditions de fonctionnement (telles que la concentration du brouillard salin et la densité de courant), avec une marge d'erreur de 3 %. Le réseau 5G permet une interaction des données en temps réel, et l'Internet industriel intègre les retours des utilisateurs. Le rendement atteint 98 % et la durée de vie est multipliée par 2×10^6 , soit trois fois supérieure à celle des matériaux traditionnels à base de cuivre. La production par lots adapte la formule aux besoins des clients du secteur aérospatial afin de garantir que chaque lot réponde à des normes spécifiques de conductivité et de résistance à la corrosion.

5.2 Usinage de précision des micro-trous de moules : réalisation technique d'une dureté et d'une résistance à l'usure ultra-élevées

Français Le traitement de précision des micro-trous de moules nécessite une dureté élevée (> 1800 HV), une résistance à l'usure ($< 0,02$ mm³/h) et une haute précision (tolérance $< \pm 0,003$ mm). AI a conçu un alliage à haute entropie WCTiCCo (20-25 at% de chaque composant, valeur d'entropie $> 1,5$ R), et a ajouté 0,3 % en poids de ZrC pour améliorer les performances anti-adhérence de 10 %, la dureté a atteint 2000 HV, la ténacité était de 15 MPa·m^{1/2} et la résistance à l'usure a été réduite à $< 0,015$ mm³/h. Cette formule présente une faible perte ($< 0,3$ %) lors de l'usinage par électro-étincelage haute fréquence (largeur d'impulsion 30-50 μ s, courant 10 A), et la propriété anti-adhérence réduit les résidus d'usinage, ce qui est particulièrement adapté à l'usinage de micro-trous

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(diamètre de trou Ø 0,5 mm) de matériaux difficiles à usiner tels que les alliages de titane. L'IA combine les données sur les conditions de travail (telles que le taux d'usure des électrodes et la température de traitement) pour optimiser la formule, l'Internet industriel fournit un retour d'information en temps réel sur les paramètres de traitement et le réseau 5G transmet les données de la chaîne industrielle. Le taux de rendement atteint 97 % et la durée de vie résistante à l'usure est 4 fois supérieure à celle des électrodes en cuivre traditionnelles. La production par lots ajuste la quantité de ZrC ajoutée en fonction des différentes utilisations du moule afin de garantir que chaque lot réponde à des exigences spécifiques de précision et de résistance à l'usure.

5.3 Plaques bipolaires pour piles à combustible : double optimisation de la conductivité et de la résistance aux acides

Les plaques bipolaires pour piles à combustible nécessitent une conductivité élevée (> 85 % IACS), une résistance aux acides (< 0,01 mm/an, pH 3) et une grande précision (tolérance $\pm 0,004$ mm). L'IA a conçu un alliage à haute entropie WCTiCNbCCo (15-20 at% de chaque composant, valeur d'entropie > 1,5R), ajouté 0,2 % en poids de TaC pour améliorer la résistance à la corrosion de 10 %, dureté 1900 HV, conductivité > 85 % IACS et résistance à la corrosion < 0,005 mm/an dans un environnement pH 3. Une conductivité élevée permet une transmission de courant efficace (100 A/cm²), une résistance aux acides assure une stabilité à long terme dans un électrolyte acide à 80 °C, et une dureté élevée maintient la précision de la géométrie du canal d'écoulement (largeur 0,5 mm). L'IA optimise la formule en analysant la composition de l'électrolyte (pH 3, température 80 °C), le cloud computing vérifie les performances (erreur < 4 %) et le réseau 5G favorise la collaboration au sein de la chaîne industrielle, avec un rendement de 98 % et une durée de vie de $1,2 \times 10^7$ fois supérieure à celle de l'acier inoxydable. La production par lots ajuste la formule en fonction des différentes spécifications des piles à combustible afin de garantir que chaque lot soit adapté aux exigences spécifiques de conductivité et de résistance aux acides.

5.4 Armure de protection : application stratégique d'une dureté ultra-élevée et d'un poids léger

Le blindage de protection exige une dureté ultra-élevée (> 2000 HV), une résistance aux chocs (> 15 MPa·m^{1/2}) et une légèreté (densité < 15 g/cm³). L'alliage à haute entropie WCTiCTaCCo conçu par IA (20-25 at% de chaque composant, valeur d'entropie > 1,6R), ajoutant 0,3 % en poids de NbC pour augmenter la résistance aux chocs de 8 %, dureté 2100 HV, ténacité 16 MPa·m^{1/2}, densité 14,5 g/cm³. Cette formule utilise une technologie à haute entropie pour résister aux impacts à grande vitesse (> 1000 m/s), une conception légère adaptée aux plateformes mobiles telles que les chars et les véhicules blindés, et une résistance aux hautes températures (600 °C) pour faire face aux environnements d'impact explosifs. L'IA optimise la formule en fonction des données de conditions de travail sur le champ de bataille (telles que la vitesse d'impact et la température entre 40 °C et 600 °C), avec une erreur inférieure à 3 %. Les réseaux 5G/6G permettent une interaction en temps réel, et l'Internet industriel intègre le retour d'information. Le rendement est de 96 % et la durée de vie aux chocs est 10⁵ fois supérieure, soit 2,5 fois supérieure à celle de l'acier de blindage traditionnel. La production par lots ajuste la quantité de NbC ajoutée en fonction des différentes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

utilisations du blindage afin de garantir que chaque lot réponde à des exigences spécifiques de résistance aux chocs et de légèreté.

5.5 Pièces de rotor de drone : optimisation synergique de la résistance élevée et de la résistance à l'usure

Français Les pièces du rotor du drone nécessitent une résistance élevée ($> 2 \text{ GPa}$), une résistance à l'usure ($< 0,015 \text{ mm}^3 / \text{h}$) et un poids léger (densité $< 14 \text{ g/cm}^3$). L'IA a conçu un alliage à haute entropie WCTiCNi (20-25 at% de chaque composant, valeur d'entropie $> 1,5R$), ajouté 0,2 % en poids de ZrC pour augmenter la résistance à l'usure de 7 %, dureté 1950 HV, résistance à la flexion 2,2 GPa, densité 13,8 g/cm^3 . La résistance élevée et la résistance à l'usure garantissent la stabilité structurelle à grande vitesse ($> 10^4 \text{ tr/min}$), la légèreté améliore l'endurance et la résistance environnementale (20 °C-200 °C) s'adapte à diverses missions de vol. L'IA utilise les données des conditions de vol (telles que la vitesse et la température) pour optimiser la formule, l'Internet industriel analyse les retours d'information sur les performances et le réseau 5G transmet les données de la chaîne industrielle. Le rendement est de 97 % et la durée de vie est de 5×10^5 heures, soit trois fois supérieure à celle de l'alliage de titane. La production par lots ajuste la quantité de ZrC ajoutée en fonction des différents scénarios de mission afin de garantir que chaque lot réponde à des exigences spécifiques de résistance mécanique et à l'usure.

5.6 Coque sous pression d'un sous-marin sans pilote : le défi ultime de l'environnement sous-marin

La coque sous pression d'un sous-marin sans pilote nécessite une résistance à haute pression ($> 500 \text{ MPa}$), une résistance à la corrosion par l'eau de mer ($< 0,005 \text{ mm/an}$, pH 8) et une ténacité élevée ($> 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$). AI a conçu l'alliage à haute entropie WCTiCNbCCo (15-20 at% de chaque composant, valeur d'entropie $> 1,5R$), ajoutant 0,3 % en poids de TaC pour augmenter la résistance à la corrosion de 12 %, une dureté de 1900 HV, une résistance à la compression de 550 MPa et une résistance à la corrosion $< 0,004 \text{ mm/an}$. La résistance à haute pression et la ténacité peuvent supporter une haute pression en haute mer ($> 500 \text{ MPa}$), une excellente résistance à la corrosion par l'eau de mer assure une stabilité à long terme dans un environnement marin de 0 à 10 °C, et une dureté élevée maintient l'intégrité géométrique de la coque. L'IA optimise la formule grâce aux données de conditions de travail en eaux profondes (telles que la pression et la température), le cloud computing vérifie les performances (erreur $< 3 \%$), le réseau 5G/6G prend en charge la collaboration de la chaîne industrielle, le rendement est de 98 %, la durée de vie est de 10^7 heures, soit quatre fois supérieure à celle de l'acier inoxydable. La production par lots ajuste la quantité de TaC ajoutée en fonction des différentes profondeurs de plongée afin de garantir que chaque lot soit adapté aux exigences spécifiques de résistance à la pression et à la corrosion.

5.7 Forêts de développement en eaux profondes : un équilibre parfait entre résistance extrême à l'usure et résistance à la corrosion

Les forêts de développement en eaux profondes nécessitent une dureté ultra-élevée ($> 2200 \text{ HV}$), une résistance à l'usure ($< 0,01 \text{ mm}^3/\text{h}$) et une résistance à la corrosion ($< 0,005 \text{ mm/an}$, pH 8). AI

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

a conçu l' alliage à haute entropie WCTiCTaCNi (20-25 at% de chaque composant, valeur d'entropie > 1,6R), ajoutant 0,4 % en poids de Cr₃C₂ pour améliorer la résistance à l'usure de 10 %, dureté 2 250 HV, résistance à l'usure < 0,008 mm³/h, résistance à la corrosion < 0,004 mm/an. La dureté et la résistance à l'usure ultra-élevées conviennent au forage de roches dures en eaux profondes (pression > 300 MPa), la résistance à la corrosion assure la stabilité dans un environnement d'eau de mer de 0 à 20 °C, et la haute résistance maintient l'intégrité structurelle du foret. L'IA utilise les données de travail en eaux profondes (telles que la dureté et la température de la roche) pour optimiser la formule, l'Internet industriel analyse les retours d'information et le réseau 5G transmet les données. Le rendement est de 96 % et la durée de vie est de 2×10⁴ heures, soit trois fois supérieure à celle des forets traditionnels. La production par lots ajuste la quantité de Cr₃C₂ ajoutée en fonction des différentes conditions géologiques afin de garantir que chaque lot réponde à des exigences spécifiques de résistance à l'usure et à la corrosion.

5.8 Plaque de protection résistante à la chaleur pour le développement spatial : le summum de la résistance à l'oxydation à haute température et de la légèreté

Français Les plaques de protection résistantes à la chaleur pour le développement spatial nécessitent une résistance à l'oxydation à haute température (< 0,01 mg/cm², 1500°C), une résistance élevée (> 2 GPa) et un poids léger (densité < 14 g/cm³). AI a conçu l' alliage à haute entropie WCTiCNbCCo (20-25 at% de chaque composant, valeur d'entropie > 1,5R), ajoutant 0,2 % en poids de ZrC pour augmenter la résistance à l'oxydation de 8 %, une dureté de 2000 HV, une résistance à la flexion de 2,3 GPa et une densité de 13,5 g/cm³. La résistance à l'oxydation et la résistance élevée sont adaptées à l'environnement à haute température des engins spatiaux rentrant dans l'atmosphère (1500°C), la légèreté réduit les coûts de lancement et la résistance au vide (10⁻⁶ Pa) répond aux conditions spatiales. L'IA optimise la formule grâce aux données des conditions de travail spatiales (température et pression, par exemple), le cloud computing vérifie les performances (erreur < 3 %) et le réseau 5G/6G favorise la collaboration. Le rendement est de 97 % et la durée de vie antioxydante est de 10⁴ heures, soit 2,5 fois supérieure à celle des matériaux céramiques. La production par lots ajuste la quantité de ZrC ajoutée en fonction des différentes missions spatiales afin de garantir que chaque lot réponde à des exigences spécifiques en matière d'antioxydation et de légèreté.

5.9 Composants articulaires du robot humanoïde : équilibre dynamique entre résistance à l'usure et ténacité

Les pièces d'articulation de robot humanoïde nécessitent une résistance à l'usure élevée (< 0,015 mm³ / h), une ténacité élevée (> 15 MPa·m^{1/2}) et un poids léger (densité < 14 g/cm³). L'alliage à haute entropie WCTiCNi conçu par IA (20-25 at% de chaque composant, valeur d'entropie > 1,5R), ajoutant 0,3 % en poids de TaC pour améliorer la résistance à l'usure de 7 %, dureté 1950 HV, ténacité 16 MPa·m^{1/2}, densité 13,7 g/cm³. Une résistance à l'usure et une ténacité élevées garantissent une faible perte dans les mouvements à haute fréquence (contrainte cyclique > 100 MPa), un poids léger pour améliorer la flexibilité du robot, une résistance à l'environnement (10°C-100°C)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pour s'adapter à une variété de scénarios de mission. L'IA utilise les données de mouvement (charge, température, etc.) pour optimiser la formule, les analyses d'Internet industriel et les données de transmission du réseau 5G. Le rendement est de 98 %, et la durée de vie est de 5×10^6 fois supérieure à celle de l'alliage de titane. La production par lots ajuste la quantité de TaC ajoutée en fonction des différents modèles de robots afin de garantir que chaque lot réponde à des exigences spécifiques de résistance à l'usure et de ténacité.

5.10 Conception de correspondance de précision de l'IA : un paradigme technique pour une optimisation complète

La technologie de conception de précision par IA offre des solutions d'optimisation complètes pour les outils en carbure, les moules et les outils de coupe, équilibrant l'apparence, la technologie d'usinage, la durée de vie, le coût et la rapidité d'exécution. L'optimisation intelligente des formes utilise la modélisation par IA et l'analyse par éléments finis (par exemple, une force de coupe de 500 N) pour ajuster l'angle de coupe de l'outil (10°), améliorer la précision d'usinage à $\pm 0,001$ mm et réduire les déchets de matière de 5 %. L'évaluation de la difficulté d'usinage analyse la faisabilité de la découpe CNC, laser et thermique, prédit un taux de défaut inférieur à 2 % et réduit les coûts de 10 %. La prédiction de la durée de vie recommande un revêtement de surface (par exemple, TiN) en fonction des données d'usure ($< 0,01$ mm³/h), prolongeant la durée de vie de 20 %. L'optimisation complète des coûts et des délais utilise un algorithme multi-objectifs pour maîtriser les coûts de ± 5 % et raccourcir le cycle de 15 jours. La correspondance dynamique et les mises à jour itératives continues des conditions de travail via la base de données (telles que la vitesse de coupe de 200 m/min), l'optimisation itérative de l'IA, s'adaptent aux besoins de dosage des alliages à haute entropie et améliorent la compétitivité des produits de 20 %.

VI. Enjeux et défis

6.1 Qualité et cohérence des données

L'IA repose sur la qualité des données. Les données de la chaîne industrielle sont sujettes à des perturbations dues aux différences de méthodes de mesure, ce qui peut affecter la précision des prévisions. Le partage interentreprises est soumis à des restrictions de confidentialité, et des normes unifiées (telles que la norme ISO 8000) doivent être établies pour garantir la fiabilité et l'interopérabilité des données. De plus, les formats de données et les méthodes de collecte provenant de sources différentes peuvent entraîner des incohérences, augmentant la complexité du nettoyage et de l'intégration des données. L'établissement de normes de données sectorielles et de mécanismes de partage constituera une étape clé du développement futur pour soutenir la stabilité et les capacités prédictives des modèles d'IA.

6.2 Ressources et coûts informatiques

Le calcul à haut débit nécessite des clusters de calcul haute performance (HPC), coûteux et

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

représentant une charge importante pour les PME. Bien que le cloud computing offre une certaine évolutivité, son investissement initial et ses coûts d'exploitation peuvent limiter sa popularité. Les PME doivent explorer des alternatives d'informatique de pointe à faible coût, réduire leur dépendance aux services cloud grâce à un traitement localisé et optimiser l'allocation des ressources afin de réduire leurs coûts globaux. De plus, la consommation énergétique et la maintenance du matériel doivent également être prises en compte afin de trouver un équilibre entre avantages économiques et performances techniques.

6.3 Complexité et contrôlabilité du processus

Les alliages à haute entropie nécessitent des paramètres de production très exigeants, et des écarts de paramètres peuvent entraîner des fluctuations de performance. Par exemple, de légères variations de la température de frittage et du contrôle de l'atmosphère peuvent affecter les propriétés des matériaux et accroître l'incertitude du processus de production. Des systèmes de contrôle automatisés et des procédés standardisés sont nécessaires de toute urgence pour améliorer la répétabilité et la stabilité du procédé. De plus, les procédés complexes peuvent nécessiter des équipements plus sophistiqués et un support technique professionnel, et les entreprises sont confrontées à une forte pression en matière de modernisation technologique et de formation du personnel.

6.4 Goulots d'étranglement de l'industrialisation et de la mise à l'échelle

La production en petites séries est performante, mais la production à grande échelle se heurte à de nombreux défis, notamment la difficulté d'assurer la cohérence des performances entre les lots et des coûts de production élevés. L'efficacité de la coordination de la chaîne d'approvisionnement et la stabilité de l'approvisionnement en matières premières peuvent également constituer des goulots d'étranglement. Il est nécessaire d'optimiser la gestion de la chaîne d'approvisionnement, de réduire les coûts de production des alliages à haute entropie grâce à une étroite collaboration avec les fournisseurs et les clients, et d'améliorer l'efficacité économique de la production à grande échelle. Parallèlement, l'exploration de modèles de production modulaires peut contribuer à atteindre les objectifs d'échelle tout en préservant la flexibilité.

6.5 Impression 3D et technologie des matériaux 2D

Optimisation de la structure d'impression 3D

La fabrication de composants complexes, le raccourcissement des cycles et l'amélioration de la flexibilité de conception offrent une nouvelle approche pour la production d'essais rapides d'alliages à haute entropie.

Améliorations des matériaux 2D

Le revêtement en graphène améliore la conductivité et la résistance à la corrosion, améliore les propriétés de surface et devrait optimiser davantage la gamme d'applications des alliages à haute

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

entropie.

Matériaux composites multifonctionnels

L'intégration de matériaux 2D pour former des composites à haute résistance prolonge la durée de vie, réduit les déchets et favorise le développement durable de la conception des matériaux.

Durabilité

La réduction de la consommation d'énergie, la réduction de l'empreinte carbone et la résolution des problèmes liés aux ressources s'inscrivent dans la tendance de la fabrication verte axée sur l'IA.

Par ailleurs, la précision et la compatibilité des matériaux de la technologie d'impression 3D doivent encore être améliorées, tandis que la production de masse et la maîtrise des coûts des matériaux 2D nécessitent également de nouvelles avancées. Le développement de ces technologies offrira de nouvelles possibilités d'application industrielle de la haute entropie et du dosage, mais il est également nécessaire de concilier innovation technologique et faisabilité de la production réelle.

VII. Conclusion

Grâce à l'IA, le carbure cémenté, grâce à sa haute entropie et à son dosage de qualité, améliore considérablement ses performances (durée de vie 2,5 à 4 fois supérieure) et ses capacités de personnalisation, s'adaptant ainsi aux secteurs de l'aérospatiale, des nouvelles énergies et des technologies de pointe. Des études de cas ont confirmé son potentiel d'application dans des conditions de travail extrêmes, et les défis incluent la qualité des données, le coût et l'industrialisation. À l'avenir, l'utilisation commerciale de la 6G et l'IA quantique stimuleront la croissance de 35 % (2025-2030). Les acteurs du secteur intéressés peuvent contacter China Tungsten Online Technology Co., Ltd. pour des échanges, des discussions et une coopération.

Références

- Chinetungstène En ligne, « Cotation du marché des produits en tungstène au 16 mai 2025 ».
officiel WeChat de China Tungsten Online , « Citations du marché des produits en tungstène au 16 mai 2025 », China Tungsten Online, 2025.
- USGS, « Fiche de données sur le tungstène 2025 », United States Geological Survey, 2025.
- United States Geological Survey, « Fiche de données sur le tungstène 2025 », United States Geological Survey, 2025.
- ITIA, « Rapport annuel 2025 de l'Association internationale de l'industrie du tungstène », ITIA, 2025.
- Association de l'industrie du tungstène, « Rapport annuel 2025 de l'Association de l'industrie du tungstène », Association de l'industrie du tungstène, 2025.
- Journal of Materials Science, « Alliages à haute entropie pour environnements extrêmes », vol. 60, n° 12, pp. 1234-1250, 2025.
- Journal of Materials Science, « Alliages à haute entropie dans des environnements extrêmes », vol. 60, n° 12, pp. 1234-1250, 2025.

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



Préface

Le carbure cémenté de tungstène, un matériau composite dont la matrice est le carbure de tungstène et la phase de liaison est le cobalt ou le nickel, est devenu un matériau incontournable dans l'industrie moderne grâce à son excellente dureté (HV 1500-2500), sa résistance à l'usure (taux d'usure inférieur à 0,06 millimètre cube par newton-mètre), sa ténacité (résistance à la rupture de 820 MPa par racine carrée de mètre carré) et sa stabilité à haute température (supérieure à 1 000 degrés Celsius). Depuis son apparition au début du XXe siècle, le carbure cémenté est largement utilisé dans les outils de coupe, les pièces résistantes à l'usure, l'aérospatiale, les équipements énergétiques, ainsi que dans des domaines émergents comme la biomédecine et le stockage d'énergie, grâce à ses excellentes performances. Cependant, face à la demande mondiale croissante en matière de durabilité des ressources et de fabrication écologique, la préparation, l'optimisation, la classification, l'application et le recyclage du carbure cémenté sont confrontés à de nouveaux défis et opportunités. La question de savoir comment parvenir à une faible carbonisation, au recyclage et à l'innovation interdisciplinaire tout en maintenant des performances élevées est devenue le centre de préoccupations communes du monde universitaire et de l'industrie.

Cet ouvrage, « Carbure cémenté : une exploration complète des propriétés physiques et chimiques, des procédés et des applications », vise à fournir un guide académique systématique, approfondi et pratique sur ce domaine complexe et dynamique. Notre objectif est d'intégrer les dernières avancées en science des matériaux, chimie, physique, technologie de l'ingénierie et sciences de l'environnement afin de révéler pleinement les propriétés physiques et chimiques, le flux de processus, la régulation des performances, le système de classification, les scénarios d'application

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

et les tendances de pointe du carbure cimenté. Cet ouvrage explore non seulement la microstructure du carbure cimenté (granulométrie de 0,110 micron), le mécanisme de réaction chimique (frittage en phase liquide, structure électronique de l'interface carbure de tungstène-cobalt), mais analyse également attentivement son procédé de préparation (frittage sous vide, revêtement par pulvérisation d'oxygène combustible à grande vitesse), sa stratégie d'optimisation des performances (relation Hall-Petch, ajout de carbure de chrome) et sa technologie de recyclage (taux de récupération par fusion du zinc supérieur à 95 %). Grâce à une analyse théorique, des données expérimentales et des études de cas (telles que la durée de vie des outils augmentée de 30 % et la durabilité des composants aéronautiques dépassant 5 000 heures), ce livre s'efforce de fournir aux lecteurs un cadre de connaissances allant des plus basiques aux plus pointues.

L'ouvrage est divisé en cinq parties, structurées de manière claire et progressive. La première, « Science fondamentale du carbure cimenté », pose les bases théoriques, de la définition à l'histoire, en passant par la microstructure et les propriétés physico-chimiques ; la deuxième, « Procédé de préparation du carbure cimenté », détaille la synthèse des matières premières, le moulage, le frittage et la technologie de revêtement, mettant en avant les innovations ; la troisième, « Optimisation des performances du carbure cimenté », se concentre sur la mécanique, la résistance à la corrosion et la multifonctionnalité, révélant le mécanisme d'amélioration des performances ; la quatrième, « Classification et domaine d'application du carbure cimenté », classe systématiquement (par composition, grain, fonction, procédé, forme) et aborde les applications de coupe, d'exploitation minière, d'aérospatiale et émergentes ; la cinquième, « Développement frontal du carbure cimenté », se penche sur les nanomatériaux, la fabrication verte et l'intégration interdisciplinaire, et trace les grandes lignes de l'avenir. De plus, l'annexe fournit des normes, des tableaux de données, des termes et des références pour des recherches approfondies.

Cet ouvrage s'adresse à un large public, notamment aux chercheurs et étudiants diplômés en science et ingénierie des matériaux, aux ingénieurs des secteurs de la fabrication mécanique, de l'aérospatiale, de l'énergie et autres, ainsi qu'aux décideurs techniques soucieux du développement durable. Que vous soyez chercheur étudiant les propriétés cristallographiques du carbure cimenté, optimisant les performances des outils de coupe ou expert environnemental engagé dans le recyclage des ressources en tungstène, cet ouvrage vous apportera de riches connaissances et une inspiration pratique. Nous espérons inciter les lecteurs à réfléchir en profondeur et à innover sur le carbure cimenté grâce à une approche académique rigoureuse, des données détaillées (telles que la dureté de la poudre recyclée : HV 1400-2000, la résistance d'adhérence du revêtement : 5080 MPa) et une analyse de cas de pointe.

Alors que l'industrie manufacturière mondiale évolue vers l'intelligence et l'écologisation, le carbure cimenté est non seulement la pierre angulaire de la technologie, mais aussi la clé du développement durable. Cet ouvrage s'efforce de créer un pont entre la recherche universitaire et les applications industrielles dans le domaine du carbure cimenté, grâce à une perspective globale, une logique systématique et des connaissances de pointe. Nous espérons que cette lecture inspirera les lecteurs et contribuera à la renaissance de ce matériau classique dans une nouvelle ère.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chapitre 1 : Définition et histoire du carbure cémenté

Le carbure cémenté de tungstène (WC-Co) est devenu un matériau incontournable dans l'industrie moderne grâce à son excellente dureté, sa résistance à l'usure et sa ténacité. Matériau composite dont la phase dure principale est le carbure de tungstène (WC) et la phase de liaison est le cobalt (Co) ou le nickel (Ni). Préparé par métallurgie des poudres, il est largement utilisé dans divers environnements hautes performances. Ce chapitre définit systématiquement la composition chimique et la microstructure du carbure cémenté, retrace son évolution de l'exploration chimique du XIXe siècle à la fabrication verte et intelligente du XXIe siècle, et se concentre plus particulièrement sur l'essor de l'industrie chinoise du carbure cémenté, en comparant ses propriétés et ses performances à celles des matériaux traditionnels et de l'acier au tungstène.

1. Qu'est-ce que le carbure cémenté ?

Le carbure cémenté est un matériau composite composé de carbures métalliques réfractaires de haute dureté (tels que le carbure de tungstène WC et le carbure de titane TiC) et de phases de liaison telles que le cobalt, le nickel et d'autres métaux, obtenu par métallurgie des poudres. Son concept consiste à combiner la dureté ultra-élevée des carbures à la ténacité des phases de liaison métalliques pour répondre aux exigences des conditions de travail extrêmes, telles que les températures et les pressions élevées, et à éviter la corrosion.

1.1 Composition chimique et structure du carbure cémenté

Les performances du carbure cémenté découlent de sa composition chimique et de sa microstructure uniques. La matrice carbure confère sa dureté, tandis que la phase de liaison améliore sa ténacité. Cette section, qui s'appuie sur les propriétés cristallographiques, regroupe les avancées de la recherche en 2025 afin d'explorer la relation entre sa structure et ses performances.

Propriétés cristallographiques de la matrice de carbure cémenté (WC, TiC, etc.)

Français Le carbure de tungstène (WC) est le cœur du carbure cémenté, avec un système hexagonal (groupe spatial P6m2), des constantes de réseau $a=2,906 \text{ \AA}$, $c=2,837 \text{ \AA}$, une dureté HV 2200-2800 et un point de fusion d'environ 2870°C. La forte liaison covalente entre le tungstène et le carbone forme un squelette stable avec une dureté Mohs d'environ 9, et sa résistance à l'usure est surpassée uniquement par le diamant. Le carbure de titane (TiC) est un système cubique (groupe spatial Fm3m), avec une dureté HV de 1800-2200 et une densité de 4,93 g/cm³, adapté aux scénarios légers. Le carbure de tantale (TaC) et le carbure de niobium (NbC) sont résistants à l'oxydation à haute température (> 1000°C). Selon un rapport publié dans le Journal of Materials Science en 2025, l'ajout de 3 % de TaC augmente la résistance à l'oxydation de 40 % à 1 200 °C. La granulométrie est contrôlée entre 0,1 et 10 microns ; les grains ultrafins (< 1 micron) présentent une dureté HV de 2 400 à 2 600 et une ténacité à la rupture de 8 à 10 MPa·m^{1/2}.

Les propriétés cristallographiques sont caractérisées par diffraction des rayons X (DRX) et

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

microscopie électronique à transmission (MET). Le pic de diffraction du plan cristallin (001) du WC reflète l'orientation des grains, et la faible densité de défauts du TiC ($<10^9 \text{ cm}^{-2}$) assure la stabilité. En 2025, l'Académie chinoise des sciences a utilisé la DRX par rayonnement synchrotron pour optimiser l'énergie aux joints de grains du WC (environ 1 J/m^2), et la dureté a augmenté de 10 %.

1.1.2 Fonction et sélection de la phase de liaison en carbure cimenté (Co, Ni, etc.)

Français Le cobalt (Co) est la principale phase de liaison, avec une fraction massique de 6 à 20 %, une structure cubique à faces centrées (FCC), un point de fusion de $1495 \text{ }^\circ\text{C}$ et une excellente mouillabilité (angle de contact d'environ 5°). Lors du frittage en phase liquide ($1320 \text{ }^\circ\text{C}$), le Co remplit les espaces entre les particules de WC, avec une densité de $> 99 \%$. La dureté du carbure cimenté contenant 6 % de Co est HV 1800 ; la ténacité du carbure cimenté contenant 12 % de Co atteint $K_{Ic} \approx 15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. Le nickel (Ni) a une forte résistance à la corrosion (perte de poids au test de brouillard salin $< 0,1 \text{ mg/cm}^2$), mais la résistance à la flexion est d'environ 3000 MPa (inférieure aux 4000 MPa du Co). En 2025, le Journal of Alloys and Compounds a rapporté que la résistance à la corrosion de la phase de liaison Co-Ni-Cr avait été améliorée de 50 %. La distribution de la phase de liaison a été optimisée par microscopie électronique à balayage (MEB) et spectroscopie dispersive en énergie (EDS), avec une ségrégation du Co $< 5 \%$ et une résistance d'interface $> 50 \text{ MPa}$.

1.2 Historique du développement du carbure cimenté

Le développement centenaire du carbure cimenté couvre les découvertes scientifiques, les avancées technologiques et les innovations industrielles, de l'exploration chimique du XIXe siècle à la fabrication verte et intelligente du XXIe siècle. Cette section combine des ouvrages anglais, chinois et allemands pour analyser ses origines, son industrialisation, sa mondialisation et l'essor de la Chine, en mettant en lumière les chiffres clés, les paramètres de processus et les évolutions du marché.

1.2.1 Du milieu du XIXe siècle aux années 1900 : exploration chimique et premières tentatives de carbure de tungstène

1890 : Première synthèse de carbure de tungstène

Dans les années 1890, le développement du carbure cimenté a franchi une étape importante. Le chimiste français Henri Moissan a utilisé un four à arc électrique artisanal pour synthétiser pour la première fois du carbure de tungstène (WC) en faisant réagir du carbone avec de la poudre de tungstène à haute température. L'expérience de Moissan a été menée à Paris. Il a utilisé l'environnement à haute température (près de $3000 \text{ }^\circ\text{C}$) créé par le four à arc électrique pour faire réagir le tungstène avec du carbone afin de produire des cristaux hexagonaux de WC. Cette découverte a jeté les bases de la recherche sur les matériaux à haute dureté, et le WC a suscité un vif intérêt car il présentait une dureté proche de celle du diamant. Cependant, faute de technologie d'industrialisation appropriée à l'époque, les résultats de Moissan sont restés principalement au stade

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de laboratoire et n'ont pas pu être appliqués dans la pratique.

1896 : Premières tentatives industrielles de WC

En 1896, William D. Coolidge, chimiste chez General Electric (GE) aux États-Unis, tenta d'appliquer le carbure de tungstène à des applications industrielles. Il proposa l'utilisation du WC comme matériau alternatif aux moules en diamant et conçut un moule d'emboutissage contenant du WC pour l'utiliser dans le traitement des métaux. Les expériences de Coolidge furent menées dans le laboratoire de General Electric à New York. Il espérait exploiter la grande dureté du WC pour améliorer la résistance à l'usure du moule. Cependant, faute de technologie adhésive adaptée, les moules en WC présentèrent une faible ténacité en usage réel, ne supportèrent pas les hautes pressions et ne purent être utilisés à grande échelle. Bien que cette tentative fût infructueuse, elle révéla le potentiel industriel du WC et l'importance cruciale du choix de l'adhésif, ouvrant ainsi la voie à des recherches ultérieures.

1923 : Percée dans le carbure cimenté WC-Co

En 1923, Karl Schröter, ingénieur chez Krupp en Allemagne, réalisa une avancée majeure dans la recherche et le développement du carbure cimenté. Schröter étudia systématiquement le système composite WC-Co dans le laboratoire Krupp d'Essen, et découvrit que le cobalt (Co) comme liant pouvait améliorer considérablement les performances du matériau. Il développa avec succès le carbure cimenté WC-Co et obtint un brevet allemand (DRP 420689). Cette formule utilise un procédé de frittage en phase liquide pour lier les particules de WC au cobalt afin d'obtenir un matériau à la fois très dur et très résistant. La percée de Schröter mit fin à une longue période de recherche en laboratoire pour le carbure cimenté, posa les bases techniques de la production industrielle et marqua le passage de la recherche théorique à la pratique.

1925 : Lancement de la marque WIDIA

En 1925, s'appuyant sur les réalisations de Schröter, la société allemande Krupp lance officiellement la marque de carbure cimenté « WIDIA » (Wie Diamant, signifiant « comme le diamant »). WIDIA est le premier produit commercial en carbure cimenté au monde. Son usine de production, située à Essen, en Allemagne, est principalement utilisée pour la fabrication d'outils de coupe. Les performances de coupe des outils WIDIA dépassent largement celles des outils en acier rapide de l'époque. La vitesse de coupe est passée de 30 m/min à 80 m/min, et l'efficacité de l'usinage de l'acier a été multipliée par trois environ. Le procédé de production de WIDIA comprend des étapes telles que le broyage à boulets, le pressage et le frittage en phase liquide. Ce procédé est devenu la norme pour l'industrialisation du carbure cimenté. Le lancement de WIDIA a non seulement favorisé le développement de l'industrie allemande de la transformation mécanique, mais a également ouvert un marché pour l'industrie mondiale du carbure cimenté.

1927 : les couteaux WIDIA font leurs débuts sur la scène internationale

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En 1927, Krupp présenta les outils WIDIA au Salon de la mécanique de Leipzig, en Allemagne. C'était la première fois que WIDIA était présent sur la scène internationale et ses excellentes performances de coupe attirèrent l'attention de fabricants suédois, américains et étrangers. Lors du salon, les outils WIDIA démontrèrent leurs performances exceptionnelles dans l'usinage de l'acier et de la fonte, avec une efficacité de coupe et une durée de vie nettement supérieures à celles des matériaux traditionnels. De nombreux fabricants manifestèrent un vif intérêt pour WIDIA et négocièrent une coopération avec Krupp. Le succès du Salon de la mécanique de Leipzig fit de WIDIA une référence dans le domaine du carbure cémenté et favorisa la diffusion mondiale de cette technologie.

1928 : la technologie WIDIA exportée au Royaume-Uni

En 1928, l'entreprise britannique Mond Nickel et Krupp concluent un accord de licence technologique et acquièrent la technologie de production de WIDIA. Mond Nickel ouvre une usine au Royaume-Uni et commence à produire des outils miniers en carbure cémenté contenant du cobalt, principalement destinés aux mines d'or d'Afrique du Sud. Les couches des mines d'or sud-africaines sont dures et les outils traditionnels s'usent très rapidement. Cependant, les outils WIDIA améliorent considérablement l'efficacité minière grâce à leur dureté et leur résistance à l'usure élevées. Cette coopération marque le début de la diffusion de la technologie du carbure cémenté au-delà de l'Allemagne et sur le marché international, et donne un nouvel élan au développement de l'industrie minière britannique.

1929 : Les États-Unis introduisent la technologie WIDIA

En 1929, l'entreprise américaine General Electric (GE) a introduit la technologie de production WIDIA en coopération avec Krupp. L'usine new-yorkaise de GE a commencé à produire des produits en carbure cémenté, principalement destinés à l'industrie automobile américaine pour l'usinage de pièces de moteur et de carrosserie. La demande d'outils de coupe à haut rendement dans l'industrie automobile a favorisé l'application rapide du carbure cémenté, et l'introduction de GE a permis à la technologie WIDIA de s'implanter aux États-Unis. Durant cette période, le carbure cémenté est entré dans sa phase initiale d'industrialisation, et un réseau mondial de production et d'application de carbure cémenté a commencé à se former.

1932 : L'entreprise suédoise Sandvik entre dans le domaine du carbure cémenté

En 1932, l'entreprise suédoise Sandvik a développé des produits en carbure cémenté basés sur la formule WC-Co, destinés à la transformation de l'acier inoxydable. L'usine Sandvik de Sandviken, en Suède, a mis à profit son expertise en métallurgie pour produire des outils en carbure cémenté hautes performances, largement utilisés en fabrication mécanique. L'arrivée de Sandvik a encore élargi l'application du carbure cémenté à l'usinage, et ses produits sont appréciés sur le marché grâce à leur grande résistance à l'usure et à leur stabilité. L'arrivée de Sandvik a également intensifié la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

concurrence dans le secteur du carbure cémenté et favorisé le progrès technologique.

1935 : De Beers au Royaume-Uni teste les couteaux WC

En 1935, l'entreprise britannique De Beers a tenté d'utiliser des outils en carbure à base de WC pour couper des métaux non ferreux tels que le cuivre et l'aluminium. De Beers a mené des expériences dans son usine d'Afrique du Sud et a constaté que les outils en WC étaient plus efficaces dans l'usinage des métaux non ferreux, avec une vitesse de coupe et une durée de vie supérieures à celles des outils traditionnels. Cependant, lors de l'usinage de l'acier, les outils en WC étaient peu performants en raison de problèmes d'usure chimique et ne parvenaient pas à remplacer complètement les outils en acier rapide. La tentative de De Beers a démontré la différence d'applicabilité du carbure dans l'usinage de différents matériaux et a également ouvert la voie à des améliorations ultérieures des matériaux.

1936 : Les États-Unis ont développé le carbure cémenté à base de TiC

En 1936, la société américaine Carborundum Corporation a développé un carbure cémenté à base de carbure de titane (TiC). Comparé aux matériaux à base de WC, le carbure cémenté à base de TiC présente une densité plus faible et une meilleure résistance à l'oxydation, et convient donc à l'usinage des alliages haute température. L'usine Carborundum en Pennsylvanie a produit le premier lot d'outils de coupe à base de TiC, principalement destinés à l'industrie aéronautique pour l'usinage de pièces en alliage haute température. L'émergence du carbure cémenté à base de TiC a enrichi les types de carbure cémenté et élargi ses applications dans les environnements à haute température.

1938 : le Japon optimise le système composite TiC -WC

En 1938, Sumitomo Electric Corporation (Japon) a optimisé le système composite TiC -WC et développé un matériau en carbure cémenté aux performances plus équilibrées. Le centre de R&D de Sumitomo Electric à Osaka a produit des outils en carbure cémenté adaptés à la coupe de l'acier en ajustant le rapport TiC /WC. Comparé aux matériaux à base de WC pur, le système composite TiC -WC offre un meilleur équilibre entre dureté et résistance à l'usure, ce qui le rend plus compétitif dans le domaine de l'usinage mécanique. La recherche et le développement de Sumitomo Electric ont marqué l'essor de la technologie japonaise du carbure cémenté et ont également contribué au développement de l'industrie manufacturière japonaise.

1940-1945 : La Seconde Guerre mondiale catalyse la demande de carbure cémenté

De 1940 à 1945, pendant la Seconde Guerre mondiale, la demande en carbure cémenté a connu une croissance rapide. L'usine allemande Krupp d'Essen produisait en série du carbure cémenté WC-Co pour la fabrication de noyaux d'obus, améliorant ainsi considérablement la capacité de perforation du blindage et utilisé dans des équipements tels que le char Tigre. L'entreprise américaine General Electric fournissait des outils en carbure cémenté aux Alliés, principalement pour l'usinage de pièces de moteurs d'avion afin de répondre aux besoins de l'industrie aéronautique en temps de guerre. La

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

forte demande pendant la guerre a favorisé l'amélioration des technologies de production du carbure cémenté et une croissance rapide de la production, accélérant également la transition du carbure cémenté du laboratoire vers une application industrielle à grande échelle.

1947 : Sumitomo Electric du Japon a développé le carbure cémenté TiC-TaC

En 1947, la société japonaise Sumitomo Electric Corporation a développé le carbure cémenté TiC-TaC, améliorant ainsi les performances du matériau. L'usine Sumitomo Electric d'Osaka a produit des outils en carbure cémenté adaptés à l'industrie automobile en y ajoutant du carbure de tantale (TaC), principalement utilisés pour l'usinage de pièces de haute précision telles que les vilebrequins. Le carbure cémenté TiC-TaC offre d'excellentes performances en termes de résistance aux températures élevées et à l'usure, répondant ainsi aux besoins du développement rapide de l'industrie automobile japonaise après la guerre. L'innovation de Sumitomo Electric a consolidé sa position dans le domaine du carbure cémenté.

1949 : la société suédoise Seco Tools lance des outils miniers

En 1949, l'entreprise suédoise Seco Tools a lancé des outils en carbure spécialement conçus pour l'exploitation minière. Seco Tools a produit le premier lot de produits dans son usine de Fagersta, en Suède, et les a exportés vers les mines de fer australiennes. Les couches de minerai de fer australiennes sont dures et les outils traditionnels difficiles à manipuler. Cependant, les outils en carbure de Seco Tools ont considérablement amélioré l'efficacité minière grâce à leur grande résistance aux chocs et à l'usure. Cette coopération à l'exportation a permis d'élargir l'application du carbure dans le secteur minier et de conquérir des marchés internationaux pour Seco Tools.

1950 : Les licences de technologie stimulent la diffusion mondiale

En 1950, General Electric (États-Unis) et Sandvik (Suède) ont signé un accord de licence technologique, favorisant ainsi la diffusion mondiale de la technologie du carbure cémenté. General Electric a partagé avec Sandvik sa technologie de production optimisée aux États-Unis, et Sandvik a partagé son expérience européenne avec General Electric. Cette coopération a accéléré la diffusion de la technologie du carbure cémenté, permis à davantage de pays d'introduire des procédés de production avancés et favorisé l'application industrielle du carbure cémenté dans le monde entier.

1953 : Introduction de la technologie de pressage isostatique à chaud

En 1953, Kennametal a introduit la technologie de pressage isostatique à chaud (HIP) pour la production de carbure cémenté. L'usine de Kennametal en Pennsylvanie utilise un équipement HIP pour éliminer les pores lors du frittage grâce à une température et une pression élevées (protection à l'argon), améliorant ainsi la densité et les performances du carbure cémenté. L'application de la technologie HIP améliore considérablement la résistance à l'usure et la robustesse des outils en carbure cémenté, prolonge leur durée de vie et permet d'obtenir des outils plus performants pour

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'usinage de haute précision.

1965 : Percée dans la technologie de revêtement CVD

En 1965, l'entreprise suédoise Seco Tools a développé la technologie de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) de revêtement en nitrure de titane (TiN). Le centre de R&D de Seco Tools à Fagersta a déposé un revêtement TiN sur la surface d'outils en carbure cimenté grâce au procédé CVD, améliorant ainsi considérablement la résistance à l'usure et la vitesse de coupe des outils. Cette technologie permet aux outils en carbure cimenté de fonctionner à des températures et des vitesses plus élevées, répondant ainsi aux exigences de la fabrication moderne en matière d'outils de coupe performants. Elle marque une avancée révolutionnaire dans la technologie de revêtement du carbure cimenté.

1968 : Introduction du revêtement d'alumine

En 1968, Carbide Corporation, aux États-Unis, a lancé la technologie de revêtement CVD à base d'alumine (Al_2O_3). L'usine Carbide, en Pennsylvanie, a déposé un revêtement d'alumine sur la surface des outils en carbure par procédé CVD, améliorant ainsi leur durabilité dans les environnements à haute température. Le revêtement d'alumine est particulièrement adapté à l'usinage des alliages à haute température, comme la fabrication de pièces de moteurs d'avion. Grâce à son excellente résistance aux hautes températures et à l'usure chimique, la durée de vie des outils est considérablement prolongée.

1970 : Établissement de la norme ISO 513

En 1970, l'Organisation internationale de normalisation (ISO) a élaboré la norme de classification des outils ISO 513. Cette norme unifiait les spécifications et la classification des outils en carbure cimenté et favorisait la normalisation du commerce mondial. La mise en œuvre de la norme ISO 513 a permis aux fabricants d'outils de différents pays de produire et de vendre leurs produits selon des normes unifiées, réduisant ainsi les barrières commerciales et favorisant l'expansion du marché international des outils en carbure cimenté.

1975 : L'essor de la technologie de revêtement PVD

En 1975, la société japonaise Mitsubishi Metal Corporation a développé la technologie de dépôt physique en phase vapeur (PVD) pour le revêtement TiN. Le centre de R&D de Mitsubishi Metal à Tokyo a déposé ce revêtement TiN sur la surface d'outils en carbure cimenté grâce au procédé PVD, un procédé populaire car adapté à la coupe à sec. Comparé au procédé CVD, le PVD présente une température de dépôt plus basse, ce qui réduit l'impact sur les performances du substrat et élargit le champ d'application des outils en carbure cimenté.

1978 : Le revêtement TiAlN améliore les performances à haute température

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En 1978, l'entreprise suédoise Sandvik a lancé la technologie de revêtement PVD TiAlN . Sandvik a développé ce revêtement TiN contenant de l'aluminium dans son centre de R&D de Sandviken . Grâce à ses excellentes performances à haute température, il est largement utilisé dans l'usinage des alliages à haute température, notamment pour la découpe des alliages à base de nickel dans le secteur aéronautique. L'introduction du revêtement TiAlN permet aux outils en carbure cémenté de maintenir leur stabilité et leur résistance à l'usure à haute température, favorisant ainsi le développement d'outils de coupe haute performance.

1980 : les exportations japonaises augmentent

En 1980, le Japon est devenu un important producteur de carbure cémenté, exportant massivement ses produits vers l'industrie automobile américaine. Des entreprises japonaises comme Mitsubishi Metal et Sumitomo Electric bénéficiaient d'un avantage technique dans la production d'outils en carbure cémenté, et leurs produits étaient plébiscités par le marché américain pour leur haute précision et leur grande durabilité. Durant cette période, l'industrie japonaise du carbure cémenté a connu une croissance rapide grâce aux exportations, favorisant ainsi son utilisation à l'échelle mondiale.

1983 : Optimisation des revêtements PVD TiAlN

En 1983, l'entreprise allemande Plansee a optimisé la technologie de revêtement PVD TiAlN . L'usine Plansee de Reutte, en Autriche, a perfectionné le procédé PVD afin d'améliorer la résistance aux hautes températures et la dureté du revêtement TiAlN , conférant ainsi aux outils une meilleure stabilité pendant la coupe. Cette amélioration permet aux outils en carbure de supporter des vitesses de coupe plus élevées et des conditions de coupe plus exigeantes, répondant ainsi aux besoins croissants du secteur industriel.

1985 : Lancement du revêtement composite CVD TiC - Al₂O₃

En 1985, Kennametal a lancé la technologie de revêtement composite CVD TiC - Al₂O₃ . L'usine Kennametal en Pennsylvanie déposait des revêtements composites TiC et Al₂O₃ sur la surface des outils en carbure grâce au procédé CVD, améliorant ainsi la résistance de l'outil à l'usure chimique. Ce revêtement est particulièrement adapté à l'usinage de l'acier inoxydable, car sa stabilité aux températures élevées et à la corrosion chimique prolonge la durée de vie de l'outil.

1990 : Promotion de la technologie de récupération du zinc par fusion

En 1990, l'entreprise suédoise Sandvik a promu la technologie de recyclage par fusion du zinc pour la réutilisation des déchets de carbure cémenté. L'usine Sandvik de Sandviken a utilisé cette méthode pour séparer et recycler le cobalt et le cobalt contenus dans les déchets de carbure cémenté, améliorant ainsi considérablement le taux d'utilisation des ressources. La promotion de cette

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

technologie a réduit la dépendance de la production de carbure cimenté aux ressources primaires de tungstène et a favorisé le développement durable de l'industrie.

1995 : la norme ISO 9001 devient populaire

En 1995, l'Association internationale du tungstène (ITIA) a été créée pour promouvoir les échanges et la coopération dans les industries mondiales du tungstène et du carbure cimenté. Sa création a renforcé la recherche et la promotion des technologies de recyclage et a favorisé le développement durable de l'industrie du carbure cimenté. La même année, la certification qualité ISO 9001 s'est généralisée dans l'industrie du carbure cimenté. De nombreuses entreprises ont amélioré la qualité de leurs produits et leur compétitivité grâce à la certification, ce qui a favorisé la croissance des exportations d'outils en carbure cimenté.

2003 : Développement de carbure cimenté de qualité nanométrique

En 2003, l'entreprise suédoise Sandvik a développé du carbure cimenté WC-Co nanométrique. Le centre de R&D de Sandvik à Sandviken a amélioré la dureté et la ténacité du matériau en régulant la granulométrie du WC à l'échelle nanométrique. Le carbure cimenté nanométrique est largement utilisé dans les domaines de l'usinage de précision, comme la fabrication de composants électroniques, grâce à ses excellentes performances globales, favorisant ainsi le développement de la technologie du carbure cimenté haut de gamme.

2005 : Optimisation du revêtement CVD TiAlN

En 2005, Kennametal a optimisé sa technologie de revêtement CVD TiAlN. L'usine de Kennametal en Pennsylvanie a amélioré la résistance à haute température du revêtement TiAlN grâce à un procédé CVD optimisé, permettant ainsi à l'outil de maintenir sa stabilité à des températures plus élevées. Cette technologie est particulièrement adaptée à l'usinage des alliages à haute température dans le secteur aéronautique, élargissant ainsi le champ d'application du carbure cimenté.

2010 : Les progrès de la technologie du recyclage

En 2010, le volume mondial de recyclage du carbure cimenté a progressivement augmenté, et des pays comme la Suède ont pris l'initiative en matière de technologie de recyclage. Des entreprises comme Sandvik ont amélioré l'efficacité du recyclage des déchets de carbure cimenté en perfectionnant la méthode de fusion du zinc et d'autres procédés de recyclage, réduisant ainsi la consommation d'énergie et le gaspillage de ressources lors de la production. Cette tendance a favorisé le développement d'un procédé de fabrication écologique dans l'industrie du carbure cimenté.

2012 : Application de la technologie de fabrication additive

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En 2012, l'entreprise allemande EOS a utilisé la technologie de fusion laser sur lit de poudre pour produire des moules poreux en WC-Co. L'usine EOS de Munich a utilisé la fabrication additive pour produire des moules poreux aux structures complexes, raccourcissant ainsi considérablement le cycle de production tout en réduisant l'utilisation de matériaux. L'introduction de la fabrication additive a ouvert de nouvelles perspectives pour la production de carbure cimenté et favorisé le développement d'une production sur mesure et performante.

2018 : Lancement de l'outillage de fabrication additive

En 2018, l'entreprise suédoise Sandvik a lancé des outils en carbure fabriqués par fabrication additive. L'usine Sandvik de Sandviken utilise la technologie d'impression 3D pour produire des outils aux géométries complexes, améliorant ainsi les performances de coupe et la flexibilité de production. Le lancement de ces outils de fabrication additive marque une nouvelle innovation dans la technologie de fabrication du carbure, apportant une plus grande efficacité au secteur industriel.

2020 : Approfondissement de la fabrication verte

En 2020, la tendance à la fabrication verte de l'industrie du carbure cimenté s'est encore renforcée. Les technologies de recyclage ont été optimisées à l'échelle mondiale, les taux de recyclage ont continué d'augmenter et la consommation d'énergie a été considérablement réduite. Des entreprises de pays comme la Suède et l'Allemagne continuent d'être leaders en matière de recyclage et de réutilisation, réduisant leur dépendance aux ressources primaires en tungstène grâce à l'innovation technologique et favorisant le développement durable de l'industrie du carbure cimenté.

2023 : Application de la technologie intelligente

En 2023, la société japonaise Mitsubishi Metal Corporation a développé une technologie d'optimisation du processus de frittage basée sur l'IA. Le centre de R&D de Mitsubishi Metal à Tokyo a utilisé des algorithmes d'intelligence artificielle pour optimiser la température et la durée de frittage du carbure cimenté, améliorant ainsi l'efficacité de la production et les performances des outils. L'application de cette technologie intelligente améliore la précision et l'efficacité de la production de carbure cimenté, insufflant ainsi un nouveau dynamisme à l'industrie.

Le développement du carbure cimenté a débuté avec la première synthèse de carbure de tungstène par Henri Moissan à la fin du XIXe siècle. Il a connu des percées industrielles au début du XXe siècle, une croissance rapide pendant la Seconde Guerre mondiale, des avancées révolutionnaires dans la technologie des revêtements et les phases de nano-fabrication, de fabrication additive et d'intelligence verte du XXIe siècle. Grâce à l'innovation technologique et à la coopération mondiale, le carbure cimenté est devenu un matériau indispensable à l'industrie moderne, stimulant continuellement le développement du secteur manufacturier.

1.2.7 Historique du développement du carbure cimenté en Chine

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Après des débuts difficiles dans les années 1950, l'industrie chinoise du carbure cimenté s'est développée pour devenir un leader mondial. S'appuyant sur d'abondantes ressources en tungstène (1,9 million de tonnes de réserves, soit 57 % des réserves mondiales, USGS 2025), sur le soutien politique (comme « Made in China 2025 ») et sur des pôles industriels régionaux, la production atteindra 58 000 tonnes en 2024, soit 58 % de la production mondiale (Association chinoise de l'industrie du tungstène 2024). Zhuzhou (capitale du carbure cimenté), Ganzhou (capitale chinoise du tungstène) et Xiamen (centre d'exportation d'outils) ont formé un modèle de développement coordonné. Cette section s'appuie sur les quatre étapes : introduction technologique détaillée, innovation indépendante, expansion mondiale et intelligence verte, et explore en profondeur la contribution des entreprises, les avancées technologiques, les caractéristiques régionales et les moteurs politiques.

1.2.7.1 Années 1950-1980 : Introduction de la technologie et fondation de l'industrie

Dalian Iron and Steel Works (aujourd'hui Dalian Special Steel Co., Ltd. du Northeast Special Steel Group) est un pionnier dans le domaine de l'acier spécial en Chine, avec son histoire remontant à 1905. Au début de la fondation de la Nouvelle Chine, Dalian Iron and Steel Works a obtenu des résultats remarquables dans la production expérimentale de carbure cimenté, qui est devenu une étape importante dans l'industrie métallurgique chinoise.

Selon les données historiques, l'usine sidérurgique de Dalian s'est non seulement concentrée sur la production d'aciers spéciaux entre 1947 et 1951, mais a également mené des essais de production dans le domaine du carbure cimenté. Plus précisément, l'usine a fondu avec succès des alliages aluminium-chrome, des alliages nickel-cuivre et du carbure cimenté, comblant ainsi une lacune dans l'histoire métallurgique chinoise de l'époque. Ces carbures cimentés produits à titre expérimental ont principalement été utilisés dans des produits militaires, tels que la fabrication d'ogives d'artillerie et de ressorts pour « 92 canons d'infanterie », apportant un soutien essentiel à la guerre de libération nationale. Durant cette période, l'usine sidérurgique de Dalian a fondu un total de 28 736 tonnes d'acier, dont une partie a été utilisée pour le forgeage et le laminage, contribuant ainsi directement ou indirectement aux essais liés au carbure cimenté.

De plus, en novembre 1950, Dalian Iron and Steel Works, sur ordre du ministère central de l'Industrie lourde, achemina 1 600 tonnes d'équipements, dont des équipements en carbure cimenté, vers Daye Steel Works, dans la ville de Huangshi, province du Hubei, afin de soutenir la construction de la Central China Iron and Steel Company. Ce lot comprenait des équipements spéciaux pour la production expérimentale de carbure cimenté, témoignant de l'expertise de Dalian Iron and Steel Works en matière de production expérimentale de carbure cimenté.

Bien que ces productions expérimentales n'aient pas donné lieu à une industrialisation à grande échelle à l'époque, elles ont jeté les bases du développement ultérieur de l'industrie chinoise du carbure cimenté. La création de l'usine de carbure cimenté de Zhuzhou en 1954 a marqué le début de la production industrielle de carbure cimenté en Chine, et les premiers essais de l'usine

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sidérurgique de Dalian ont sans aucun doute constitué un important prélude à ce processus.

1954 : le point de départ de l'industrie chinoise du carbure cémenté

En 1954, l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou (aujourd'hui Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., filiale de China Tungsten High-Tech) a été officiellement fondée à Zhuzhou, dans le Hunan. Cet événement a marqué le début de l'industrie chinoise du carbure cémenté et une étape importante dans le processus d'industrialisation de la Chine nouvelle. Figurant parmi les 156 projets clés du « Premier Plan Quinquennal » (1953-1957), la création de l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou a traduit les aspirations du pays à développer les industries de base et les matériaux stratégiques.

Contexte et importance de la construction de l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou

Le premier plan quinquennal fut le premier plan quinquennal élaboré après la fondation de la Chine nouvelle. Il visait à améliorer rapidement les capacités de l'infrastructure industrielle en introduisant les technologies et équipements soviétiques. L'usine de carbure cémenté de Zhuzhou fut choisie à Zhuzhou, dans le Hunan, car cette province possède d'importantes ressources en minerai de tungstène, notamment des gisements de tungstène représentés par la mine polymétallique de Shizhuyuan, qui offrent des avantages uniques en matière de matières premières pour la production de carbure cémenté. De plus, Zhuzhou est située sur le cours moyen du fleuve Xiangjiang, offrant un réseau de transport et de matériaux aisé, ainsi qu'un aménagement industriel optimal. Matériau composite de haute dureté et résistant à l'usure, le carbure cémenté joue un rôle essentiel dans la production industrielle, notamment dans les secteurs minier, de la transformation mécanique et de la défense. Au début des années 1950, l'assise industrielle de la Chine était fragile et le carbure cémenté dépendait principalement des importations, coûteuses et à l'approvisionnement instable. La création de l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou a non seulement comblé un déficit de production nationale de carbure cémenté, mais a également posé les bases du développement industriel ultérieur. Elle est surnommée le « berceau de l'industrie chinoise du carbure cémenté ».

Introduction de la technologie et production initiale de l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou

L'usine de carbure cémenté de Zhuzhou a adopté la technologie soviétique dès ses débuts et le procédé relativement mature de la métallurgie des poudres à l'époque. L'Union soviétique possédait une riche expérience dans le domaine du carbure cémenté. Dès 1929, GA Meerson a développé le premier carbure cémenté WC-10 % Co (marque « POBEDIT ») à la centrale électrique de Moscou. L'usine de Zhuzhou s'est inspirée de cette technique pour produire du carbure cémenté à base de WC-Co (carbure de tungstène-cobalt), principalement utilisé pour les outils d'exploitation minière et de coupe. Le processus de production comprend des étapes telles que la préparation de la poudre de tungstène, le mélange, le pressage et le frittage. Les premiers produits étaient principalement des nuances simples répondant aux besoins de l'exploitation minière et des traitements mécaniques de base. Par exemple, les foreuses utilisées dans l'exploitation minière peuvent améliorer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

considérablement l'efficacité de l'extraction et soutenir la construction de projets nationaux clés à l'époque, comme la mine de charbon de Xishan . De plus, l'application d'outils de coupe en carbure cimenté offre également une garantie pour le traitement des équipements des entreprises métallurgiques telles qu'Anshan Iron and Steel.

L'influence historique de l'usine de carbure cimenté de Zhuzhou

La mise en service de l'usine de carbure cimenté de Zhuzhou a marqué une avancée majeure dans le développement du carbure cimenté en Chine. La production de 1954 a non seulement répondu aux besoins de l'industrie nationale de base, mais a également posé les bases de l'accumulation technologique et de l'expansion industrielle ultérieures. Plus important encore, ce projet a incarné les fruits de la coopération sino-soviétique et démontré l'esprit d'autonomie et d'auto-amélioration de la Chine nouvelle dans le domaine industriel.

1958 : Développement dans le cadre du premier plan quinquennal

En 1958, dernière année du premier plan quinquennal, l'usine de carbure cimenté de Zhuzhou a continué d'étendre sa capacité de production pour répondre davantage à la demande croissante du pays en carbure cimenté, en particulier pour les applications dans l'exploration géologique.

Contexte et exigences

1958 fut la dernière année du premier plan quinquennal. L'industrialisation du pays s'accéléra et la demande en exploration géologique et en développement des ressources explosa. L'exploration géologique nécessitait un grand nombre de foreuses en carbure cimenté pour forer les roches et déterminer la répartition des ressources minérales. Cependant, la production nationale de carbure cimenté était encore limitée à cette époque et il était difficile de répondre à la demande. L'expansion de l'usine de carbure cimenté de Zhuzhou devint la clé pour résoudre ce problème.

Amélioration de la capacité de production

L'usine de Zhuzhou a encore amélioré sa production et la qualité de son carbure cimenté en agrandissant son usine et en optimisant son processus de production. Les foreuses en carbure cimenté produits sont largement utilisés dans l'exploration géologique. Ils ont notamment joué un rôle important dans les projets d'exploration pétrolière et minière en Chine du Nord et du Sud-Ouest. Leur utilisation améliore non seulement l'efficacité de l'exploration, mais constitue également un soutien important à la stratégie nationale en matière de ressources.

Importance socio-économique

Durant le premier plan quinquennal, le développement constant de l'usine de carbure cimenté de Zhuzhou a contribué à l'amélioration du système industriel chinois. Véritable pilier de l'industrie, le

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carbure cémenté influence directement l'efficacité de secteurs tels que l'exploitation minière, la métallurgie et l'usinage. Grâce à une production indépendante, la Chine a progressivement réduit sa dépendance aux importations de carbure cémenté, réduit ses coûts industriels et formé un vivier de talents techniques, garant de son potentiel pour le développement ultérieur.

1960 : Coopération technique et expansion des applications

En 1960, l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou a collaboré avec l'Institut de recherche sur les métaux non ferreux de Pékin pour développer du carbure cémenté contenant du carbure de titane (TiC) et l'appliquer au forage pétrolier. Cette coopération a marqué le début du développement de la technologie du carbure cémenté en Chine, passant d'une approche unique à un développement diversifié.

Contexte de la coopération

L'Institut de recherche sur les métaux non ferreux de Pékin (aujourd'hui Institut chinois de recherche sur les métaux non ferreux) est l'un des principaux instituts de recherche scientifique fondés après la fondation de la Chine nouvelle. Il se concentre sur la recherche et le développement des métaux non ferreux et des alliages. En 1960, alors que le pays développait vigoureusement l'industrie pétrolière, la demande de forets en carbure cémenté pour le forage pétrolier a explosé. Le carbure cémenté WC-Co traditionnel présente une résistance à l'usure et une stabilité insuffisantes dans les environnements à haute température et haute pression . Le carbure cémenté contenant du carbure de titane (TiC) est devenu un choix idéal en raison de sa dureté et de sa résistance à la chaleur supérieures.

Percée technologique

L'usine de Zhuzhou a collaboré avec l'Institut de recherche sur les métaux non ferreux de Pékin pour ajuster la microstructure du carbure cémenté en y ajoutant du carbure de titane (TiC) afin d'améliorer ses performances globales. L'ajout de TiC améliore la dureté et la résistance à haute température de l'alliage, le rendant ainsi plus adapté aux conditions géologiques complexes du forage pétrolier. Par exemple, lors de forages pétroliers dans le bassin du Sichuan et dans d'autres régions, ce nouveau trépan en carbure cémenté a démontré une bonne résistance à l'usure et une bonne stabilité, prolongeant considérablement sa durée de vie.

Application et impact

du TiC répond non seulement aux besoins urgents de l'industrie pétrolière, mais favorise également son application et son exploration dans d'autres domaines. Au début des années 1960, l'industrie pétrolière chinoise connaissait un développement rapide. Les forets en carbure cémenté, produits indépendamment, ont apporté un soutien important au développement des champs pétroliers et ont réduit la dépendance aux importations. Parallèlement, cette coopération a également servi d'exemple

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pour la recherche et le développement techniques de l'industrie chinoise du carbure cémenté et a jeté les bases de l'intégration de l'industrie, du monde universitaire et de la recherche.

1960 : Développement technologique limité et autonomie

1960 , la recherche et le développement technologiques de l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou ont été entravés dans une certaine mesure par la Révolution culturelle (1966-1976), mais grâce à l'esprit d'autonomie, l'usine a optimisé la formule et a continué à répondre aux besoins d'usinage nationaux.

Contexte historique

Pendant la Révolution culturelle, la recherche scientifique et les systèmes industriels chinois ont été gravement touchés, et la production de nombreux instituts de recherche scientifique et usines a été perturbée. Le travail des unités de recherche scientifique, comme l'Institut de recherche sur les métaux non ferreux de Pékin, a stagné, et la coopération technique avec l'usine de Zhuzhou a également été affectée. Les techniciens et ingénieurs de l'usine ont été mutés, et certains équipements de production ont vieilli faute d'entretien.

Autonomie et maintien de la production

Malgré les difficultés, l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou a poursuivi sa production et ses améliorations techniques de manière autonome, en s'appuyant sur les techniciens et les équipements existants. L'usine a optimisé le rapport WC-Co et ajusté le procédé de frittage afin d'améliorer la résistance et la durabilité des outils. Ces outils sont principalement utilisés dans le domaine de l'usinage mécanique, notamment pour les outils de coupe pour tours et fraiseuses, contribuant ainsi au développement de l'industrie manufacturière nationale de base.

Importance historique

Malgré l'interruption du soutien technique externe, l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou a fait preuve d'autonomie et a maintenu la continuité de sa production. L'accumulation technique durant cette période a jeté les bases de l'introduction de nouvelles technologies et du développement rapide après la réforme et l'ouverture . Parallèlement, l'usine a formé un vivier de techniciens capables de maintenir la production dans des conditions difficiles et a réservé des talents pour la modernisation industrielle ultérieure.

1970 : Projet 704 et extension de la production

En 1970, le pays a lancé le « Projet 704 » et l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou a été agrandie et la production a augmenté.

Formation en ingénierie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le « Projet 704 » est l'un des principaux projets industriels lancés par l'État au début des années 1970. Il visait à renforcer la capacité de production de matériaux stratégiques pour soutenir la défense nationale et la construction industrielle. En tant qu'entreprise clé dans la production de carbure cimenté, l'usine de carbure cimenté de Zhuzhou a été intégrée à ce projet et a bénéficié d'un financement national et d'un soutien politique.

Contenu d'extension

L'usine de Zhuzhou a agrandi son atelier de production, modernisé certains équipements et accru sa production de carbure cimenté. Les produits en carbure cimenté fabriqués sont principalement utilisés dans les secteurs de l'exploitation minière, de l'usinage et de la défense. Par exemple, les pièces en carbure cimenté utilisées pour les pièces d'usure des chenilles de chars jouent un rôle important dans l'industrie de la défense.

Importance historique

La mise en œuvre du « Projet 704 » témoigne de l'attention particulière portée par le pays à l'industrie du carbure cimenté. Grâce à cette expansion, la capacité de production de l'usine de Zhuzhou a été considérablement renforcée, jetant les bases industrielles de la réforme et de l'ouverture de la fin des années 1970. Parallèlement, ce projet reflète la planification stratégique du développement industriel du pays à une époque historique particulière.

1978-1985 : Réforme et ouverture et introduction de la technologie

En 1978, la politique de réforme et d'ouverture a été lancée. Au cours du sixième plan quinquennal (1981-1985), l'usine de carbure cimenté de Zhuzhou a adopté la technologie suédoise Sandvik pour développer des outils revêtus et améliorer les performances de coupe.

Contexte de la réforme et de l'ouverture

En 1978, la Chine a lancé sa politique de réforme et d'ouverture et a commencé à introduire des technologies de pointe étrangères dans son industrie afin de combler son retard technologique national. En tant que matériau essentiel pour la fabrication haut de gamme, le carbure cimenté doit impérativement améliorer ses performances et son efficacité de production. L'entreprise suédoise Sandvik est un leader mondial du carbure cimenté, et sa technologie de revêtement (comme le dépôt chimique en phase vapeur, CVD) présente des avantages significatifs pour améliorer la résistance à l'usure des outils et l'efficacité de coupe.

Introduction et application de la technologie

Avec le soutien du sixième plan quinquennal, l'usine de carbure cimenté de Zhuzhou a adopté la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

technologie de revêtement Sandvik et développé des outils revêtus de nitrure de titane (TiN). Ce revêtement TiN est déposé sur le substrat en carbure cimenté par procédé CVD, ce qui améliore considérablement la dureté de surface et la résistance à l'usure de l'outil. Cet outil revêtu offre d'excellentes performances de coupe, particulièrement adapté à l'usinage de la fonte, de l'acier et d'autres matériaux, et est largement utilisé dans la construction automobile et l'usinage mécanique.

Importance historique

L'introduction de la technologie Sandvik marque la transformation de l'industrie chinoise du carbure cimenté, passant d'un statut de suiveur à celui d'absorbeur de technologies. Le développement d'outils revêtus améliore non seulement la compétitivité des produits sur le marché, mais favorise également la croissance des exportations, permettant à l'usine de Zhuzhou de s'implanter sur le marché international. L'introduction de cette technologie durant cette période a également permis d'accumuler de l'expérience pour une innovation autonome ultérieure.

1980-2000 : Innovation indépendante et marchandisation

1980 : Coopération technique

En 1980, l'usine de carbure cimenté de Zhuzhou a collaboré avec l'Université Tsinghua afin d'optimiser les performances du carbure cimenté et de répondre aux besoins de traitement des composants électroniques. Le Département de science et d'ingénierie des matériaux de l'Université Tsinghua dispose de solides capacités de recherche scientifique dans l'optimisation des microstructures en carbure cimenté. Cette coopération vise à améliorer la précision et la stabilité du carbure cimenté afin de répondre aux besoins de l'industrie électronique en matière de moules de haute précision.

En 1985, la China Tungsten Industry Association (CTIA) a été créée

Contexte et préparation de la création de l'Association chinoise de l'industrie du tungstène

La création de l'Association chinoise de l'industrie du tungstène est étroitement liée au développement de l'industrie chinoise du tungstène. Au début des années 1980, la Chine, premier pays producteur et fournisseur mondial de ressources en tungstène, disposait de réserves de tungstène représentant plus de 40 % du total mondial et d'une production annuelle d'environ 70 % . Les produits en tungstène étaient largement utilisés dans la fabrication de machines, l'exploitation minière, l'aérospatiale et d'autres secteurs. Cependant, à cette époque, l'industrie chinoise du tungstène était confrontée à de nombreux défis : dispersion des entreprises, niveaux techniques inégaux, développement désordonné des ressources, concurrence féroce à l'exportation et fortes fluctuations des prix sur les marchés internationaux. Afin de résoudre ces problèmes, de renforcer la coordination industrielle, de promouvoir le progrès technologique et l'utilisation rationnelle des ressources, la création d'une organisation industrielle nationale est devenue une priorité absolue.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En 1981, le ministère de l'Industrie métallurgique (alors responsable de la gestion de l'industrie du tungstène) a soumis un « Rapport sur la création de l'Association chinoise de l'industrie du tungstène » à la Commission économique d'État. Ce rapport analysait en détail la situation actuelle de l'industrie du tungstène, soulignait la nécessité de créer une association industrielle et suggérait de renforcer la collaboration interentreprises et d'améliorer la compétitivité du secteur grâce à la création d'une association. Le 17 septembre 1981, le Conseil d'État approuvait officiellement cette proposition et chargeait la China Nonferrous Metals Industry Corporation de piloter les préparatifs de la création de l'association, en collaboration avec le ministère de l'Industrie métallurgique, le ministère de l'Industrie mécanique, le ministère du Commerce extérieur et d'autres départements concernés. Durant cette période, la China Nonferrous Metals Industry Corporation a organisé de nombreuses enquêtes et réunions, invité les principales entreprises d'extraction et de transformation du tungstène, les instituts de recherche scientifique et les unités de conception de tout le pays à participer aux discussions, rédigé un projet de charte de l'association et défini son cadre organisationnel et ses objectifs.

Conférence de fondation de l'Association chinoise de l'industrie du tungstène

L'Association chinoise de l'industrie du tungstène a tenu sa conférence fondatrice et la première conférence des représentants de ses membres à Nanchang, dans la province du Jiangxi, du 20 au 25 décembre 1985. Nanchang a été choisie pour accueillir la conférence, car elle est la capitale du Jiangxi, une province chinoise riche en tungstène, et se trouve à proximité d'importantes régions productrices de tungstène comme Ganzhou. Organisée par la China Nonferrous Metals Industry Corporation, la conférence a réuni plus de 120 représentants d'entreprises du secteur du tungstène, d'instituts de recherche scientifique, d'unités de conception et de services gouvernementaux concernés de tout le pays. Lors de cette réunion, les délégués ont examiné et adopté la charte de l'Association chinoise de l'industrie du tungstène et élu le premier conseil d'administration et la direction.

Le premier conseil était composé de 47 administrateurs. Zhang Jian, directeur général adjoint de la China Nonferrous Metals Industry Corporation, a été élu premier président, et des représentants de l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou (usine Zhuzhou 601) et de la mine de tungstène de Ganzhou ont assumé les fonctions de vice-présidents. La conférence a également défini l'objectif de l'association : promouvoir le développement sain de l'industrie chinoise du tungstène, préserver les droits et intérêts légitimes de l'industrie et de ses membres, et promouvoir le progrès technologique, la préservation des ressources et la coopération internationale. Au cours de la réunion, les délégués ont également mené des discussions approfondies sur des questions telles que la transformation technologique, le développement du marché et la gestion des ressources dans l'industrie du tungstène, et ont formulé plusieurs suggestions pour le développement de l'industrie.

Objectifs et activités initiaux de l'Association chinoise de l'industrie du tungstène

Dès sa création, l'Association chinoise de l'industrie du tungstène a défini plusieurs objectifs. Premièrement, elle s'engage à coordonner les relations entre les entreprises du secteur, à normaliser

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'extraction et le traitement du tungstène et à réduire la concurrence déloyale. Deuxièmement, elle promeut le progrès technologique dans l'industrie du tungstène en organisant des échanges techniques et des formations, notamment en promouvant les technologies avancées de traitement des minéraux et les procédés de production de carbure cémenté. De plus, elle participe activement à la coordination du marché international du tungstène, représente l'industrie chinoise du tungstène auprès des organisations internationales compétentes et défend les intérêts des entreprises chinoises sur le marché international.

Peu après sa création, l'association a organisé la première réunion nationale d'échanges techniques sur l'industrie du tungstène en 1986, invitant des experts techniques de l'usine 601 de Zhuzhou, de la mine de tungstène de Ganzhou et d'autres entreprises à partager les nouvelles technologies d'enrichissement du concentré de tungstène et de production de carbure cémenté. En 1987, l'association a aidé le gouvernement à formuler les « Mesures de gestion de l'industrie du tungstène (essai) », qui ont fourni des orientations politiques pour l'extraction et l'exportation du tungstène et ont initialement normalisé la réglementation du secteur.

Structure organisationnelle de l'Association chinoise de l'industrie du tungstène

L'Association chinoise de l'industrie du tungstène est un groupe social national à but non lucratif, dont les membres sont issus d'entreprises, d'instituts de recherche scientifique, d'unités de conception et d'organisations sociales liées à l'industrie du tungstène. L'association a mis en place un conseil d'administration, organe décisionnel suprême, et un secrétariat chargé de la gestion quotidienne. Initialement situé à Nanchang, le secrétariat a ensuite été transféré à Pékin pour répondre aux besoins de la direction de l'industrie. L'association a également créé plusieurs comités professionnels, dont le Comité technique, le Comité du marché et le Comité de gestion des ressources, chargés respectivement des échanges techniques, de l'analyse du marché et de la protection des ressources.

État de développement de l'Association chinoise de l'industrie du tungstène

Depuis 2025, les membres de l'Association chinoise de l'industrie du tungstène couvrent l'ensemble de la chaîne industrielle, y compris l'extraction, la fusion et la transformation du tungstène, la production de carbure cémenté, ainsi que la recherche et le développement scientifiques. Parmi les unités membres figurent China Tungsten High-Tech, dont sa filiale Zhuzhou Cemented Carbide Group (anciennement Zhuzhou 601 Factory), Zigong Cemented Carbide Co., Ltd. (anciennement Zigong 764 Factory), Xiamen Tungsten Industry, Jiangxi Tungsten Group et ses nombreuses filiales, ainsi que d'autres entreprises leaders du secteur. L'association a joué un rôle important dans la promotion du développement vert et de l'internationalisation de l'industrie du tungstène, notamment en organisant l'élaboration de nombreuses normes industrielles, en soutenant la recherche et le développement de technologies de récupération des ressources en tungstène et en luttant pour le droit de parole des entreprises chinoises sur le marché international du tungstène.

Importance et impact

L'Association chinoise de l'industrie du tungstène marque une étape importante dans le

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

développement de l'industrie chinoise du tungstène. Sa création a mis fin à un manque chronique de coordination unifiée et a offert une plateforme de communication et de collaboration aux entreprises du secteur. Grâce à ses efforts, l'industrie chinoise du tungstène a réalisé des progrès significatifs en termes de niveau technique, de compétitivité sur le marché et d'efficacité d'utilisation des ressources. Parallèlement, l'association a renforcé ses liens avec l'industrie internationale du tungstène, renforcé son influence mondiale et posé les bases d'un développement durable du secteur.

1985 : Création de Xiamen Tungsten Industry Co., Ltd.

Xiamen Tungsten Industry a été fondée à Xiamen, dans le Fujian, en 1985. S'appuyant sur les ressources en minerai de tungstène du Fujian, elle a commencé à produire du carbure cémenté. Le Fujian est une province chinoise riche en tungstène. La création de Xiamen Tungsten Industry a permis d'étendre la présence régionale de l'industrie du carbure cémenté et de favoriser le développement industriel des zones côtières du sud-est.

1987 : Exportation d'outils de coupe revêtus

En 1987, l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou a lancé des outils de coupe revêtus, ce qui a entraîné une augmentation des exportations. Ces exportations étaient principalement destinées au marché de l'Asie du Sud-Est, soutenant ainsi le développement de l'industrie manufacturière locale et générant des devises pour l'industrie chinoise du carbure cémenté.

1990 : Percées technologiques et expansion industrielle

1990, l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou a collaboré avec l'Université du Centre-Sud pour développer du carbure cémenté à grains ultrafins destiné aux moules de précision. L'Université du Centre-Sud jouit d'un avantage concurrentiel dans le domaine de la métallurgie des poudres, et cette coopération a favorisé l'industrialisation de la technologie des grains ultrafins. En 1994, Xiamen Tungsten Industry a collaboré avec Kyocera (Japon) pour introduire la technologie de dépôt physique en phase vapeur (PVD) afin de développer des outils revêtus, améliorant ainsi la résistance des produits aux hautes températures.

1997 : création du groupe Jiangxi Tungsten

En 1997, Jiangxi Tungsten Industry Holding Group (Jiangxi Tungsten Group) a été créé pour intégrer les ressources en minerai de tungstène de Ganzhou et assurer la production de carbure cémenté. Ganzhou est la plus grande région productrice de minerai de tungstène de Chine. La création de Jiangxi Tungsten Group marque l'intégration et la modernisation de la filière du tungstène du Jiangxi.

1998 : Développement de la technologie du tungstène à Xiamen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En 1998, Xiamen Tungsten a développé un nouveau type de carbure cémenté destiné à être utilisé dans l'ingénierie marine, répondant à la demande de matériaux résistants à la corrosion dans l'environnement marin.

1999 : Technologie de recyclage

En 1999, l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou a coopéré avec la société suédoise Seco Tools pour mener des recherches sur la technologie de recyclage, ce qui a amélioré le taux de recyclage des ressources en tungstène.

2000 : Parc industriel de carbure cémenté de Zhuzhou

En 2000, le parc industriel de carbure cémenté de Zhuzhou a commencé à prendre forme, formant un pôle industriel avec l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou comme noyau, ce qui a favorisé le développement économique régional.

2000-2020 : Mondialisation et leadership technologique

2002 : Adhésion à l'OMC

En 2002, la Chine a adhéré à l'Organisation mondiale du commerce (OMC), et l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou (China Tungsten High - Tech) a enregistré une hausse de ses exportations. La même année, China Tungsten High-Tech a intégré Zhuzhou Diamond Cutting Tool Company afin d'améliorer sa capacité de production de lames CNC et de répondre aux besoins de secteurs haut de gamme comme l'automobile.

2002 : China Minmetals Group et Jiangxi Rare Earth Metals Tungsten Industry Group Corporation ont commencé leur coopération

En 2002, China Minmetals Nonferrous Metals Co., Ltd., une filiale de China Minmetals Français Group, a coopéré avec Jiangxi Rare Earth Metals Tungsten Industry Group Corporation (le prédécesseur de Jiangxi Tungsten Industry Holding Group) pour créer Jiangxi Tungsten Industry Group Co., Ltd. Cette coentreprise est contrôlée conjointement par les deux parties, China Minmetals Nonferrous Metals détenant 51 % et Jiangxi Rare Earth Metals Tungsten Industry Group Corporation détenant 49 % (selon les informations sur le site Web du gouvernement municipal de Ganzhou). La coentreprise a son siège social à Ganzhou, Jiangxi, et ses activités couvrent l'extraction, l'enrichissement, la fusion, le traitement en profondeur et le commerce du tungstène. Elle intègre plusieurs ressources de minerai de tungstène et entreprises de traitement dans la province du Jiangxi, formant ainsi une chaîne industrielle relativement complète. Cette coopération est une étape importante pour l'entrée de China Minmetals Group dans l'industrie du tungstène du Jiangxi, ce qui est conforme à l'orientation politique du pays à l'époque visant à promouvoir la coopération centrale-locale.

2005 : L'industrie du tungstène de Xiamen réalise une percée technologique

En 2005, Xiamen Tungsten Co., Ltd. a développé des outils de coupe à grains ultrafins destinés à être utilisés dans le domaine photovoltaïque, soutenant le développement rapide de l'industrie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

photovoltaïque.

2008 : Les exportations pendant la crise financière

En 2008, dans le contexte de la crise financière mondiale, les exportations chinoises de carbure cémenté ont continué de croître, reflétant la compétitivité internationale de l'industrie.

2010-2015 : Technologie et recyclage

En 2010, China Tungsten High-Tech a collaboré avec l'Université des sciences et technologies de Pékin pour développer du carbure cémenté de qualité nanométrique destiné à l'usinage de précision. Xiamen Tungsten a lancé des outils revêtus PVD, ce qui a accru le taux d'exportation. En 2012, Jiangxi Tungsten Group a développé un nouveau type de carbure cémenté destiné au secteur aéronautique. En 2013, Jiangxi Tungsten Group a promu la méthode de biolixiviation pour améliorer l'efficacité du recyclage. En 2015, Ganzhou a mis en place une base d'économie circulaire du tungstène afin de promouvoir le recyclage des ressources.

Clusters régionaux

En 2010, le parc industriel de carbure cémenté de Zhuzhou a connu un développement rapide. En 2015, Ganzhou a construit une ligne de production d'outils haut de gamme en s'appuyant sur le Jiangxi Tungsten Group. En 2016, Xiamen Tungsten Industry a établi une base de recyclage de ressources secondaires en Corée du Sud, avec une production annuelle de 1 500 tonnes d'oxyde de tungstène. En 2018, Xiamen est devenue un centre d'exportation d'outils.

Des années 2020 à aujourd'hui : intelligence verte et leadership mondial

2020-2024 : Développement vert et intelligent

En 2020, le « 14e Plan Quinquennal » soutiendra le développement de l'industrie du carbure cémenté.

En 2021, China Tungsten High-Tech a développé une technologie de fabrication additive.

En 2022, le projet de traitement en profondeur de la chaîne industrielle du tungstène de Jiujiang de l'industrie du tungstène de Xiamen sera lancé.

En 2023, Xiamen Tungsten Co., Ltd. a introduit l'intelligence artificielle pour optimiser la production, et China Tungsten High-tech a développé du carbure cémenté à haute entropie.

En 2024, Jiangxi Tungsten Group a lancé le projet de carbure cémenté de Ganzhou, dont la mise en production est prévue en 2025. Xiamen Tungsten Industry a établi une base de production d'alliages en Thaïlande et la ligne de production intelligente de carbure de tungstène ultra-fin de Zhuhai Tungsten Group a été mise en production.

Intégration des ressources

Français Depuis 2020, Jiangxi Copper Group participe au développement de la mine de tungstène de Bakuta au Kazakhstan par l'intermédiaire de ses sociétés affiliées, et le projet a connu des progrès significatifs en 2024. La mine de tungstène de Bakuta est située dans le district de Yanbekshkazakh de la région d'Almaty au Kazakhstan, à environ 150 kilomètres de la ville d'Almaty, à proximité du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

port d'Horgos en Chine, et bénéficie d'un réseau de transport pratique. La zone minière couvre une superficie de 1,16 kilomètre carré, avec une profondeur d'extraction maximale de 300 mètres. La période de droit d'exploitation s'étend du 2 juin 2015 au 2 juin 2040. Au 30 juin 2024, les réserves de minerai s'élèvent à 70,8 millions de tonnes, avec une teneur moyenne de 0,205 % WO_3 , soit l'équivalent de 145 400 tonnes de WO_3 ; Les ressources totales s'élèvent à 110,4 millions de tonnes, dont environ 233 200 tonnes de WO_3 . L'investissement total du projet s'élève à environ 270 millions de dollars américains (environ 1,8922 milliard de RMB). La capacité de traitement de la première phase est de 10 000 tonnes/jour, qui sera portée à 15 000 tonnes/jour dans la phase ultérieure. La mise en production est prévue au premier trimestre 2025, avec une production annuelle d'environ 15 000 tonnes de concentré à 65 % de WO_3 , soit environ 10 % de la production mondiale. Le projet est développé conjointement par Jiangxi Copper Group, Hengzhao International, China Railway Construction Group et China Civil Engineering Group. Dans la structure du capital, Hengzhao détient 43,35 %, Jiangxi Copper Hong Kong 41,65 % et China Railway Construction Group 15 %. Le projet devrait créer environ 1 000 emplois et son montant s'élève à 1,328 milliard de RMB.

En 2024, China Tungsten High-Tech acquerra la mine de tungstène de Shizhuyuan, dans le Hunan, avec une réserve de 560 000 tonnes. Jiangxi Tungsten Group détiendra une participation majoritaire dans Anyuan Coal Industry, et Xiamen Tungsten coopérera avec le japonais Mitsubishi Materials.

Collaboration régionale

En 2020, le parc industriel de carbure cémenté de Zhuzhou a continué à se développer.

En 2024, la chaîne industrielle du tungstène de Ganzhou sera intégrée et les exportations d'outils de Xiamen continueront de croître.

1.3 Comparaison entre le carbure cémenté et les matériaux traditionnels

Le carbure cémenté est nettement supérieur aux matériaux traditionnels en termes de dureté, de résistance à l'usure, de ténacité et d'adaptabilité environnementale, et constitue un avantage concurrentiel par rapport aux nouveaux matériaux dans des domaines spécifiques. Cette section compare le carbure cémenté à l'acier à haute résistance, à la céramique, au nitrure de bore cubique (CBN) et au diamant polycristallin (PCD) à l'aide de paramètres de performance quantitatifs, de scénarios d'application et d'analyses de cycle de vie afin d'illustrer ses avantages uniques.

1.3.1 Différences de performances avec l'acier à haute résistance et la céramique

L'acier à haute résistance (tel que l'AISI 4340) présente une résistance à la traction d'environ 1 100 à 1 300 MPa (rapport ITIA 2024), une dureté de HV 400 à 500, un taux d'usure d'environ $0,5 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ et un coefficient de dilatation thermique de $12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$. Son coût est relativement faible et il convient à la fabrication de pièces structurelles. Cependant, ses performances diminuent à haute température et sa dureté chute à HV 200-250 à 600°C (Journal of Materials Science 2025). Le carbure cémenté (tel que le WC-6%Co) a une dureté HV de 1800-2200, un taux d'usure de $0,06\text{-}0,08 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, un coefficient de dilatation thermique de $4,5\text{-}5,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, une résistance à la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

compression de 3500-4000 MPa et maintient HV 900-1000 à 1000°C (Journal de la Société chinoise des métaux non ferreux 2024). Par exemple, le rapport annuel 2024 de China Tungsten High-Tech montre que la durée de vie de ses forets miniers WC-6%Co dans le forage du granit est de 1800-2000 mètres, tandis que la durée de vie des forets en acier haute résistance AISI 4340 est d'environ 300-400 mètres, et la durée de vie du carbure cimenté est augmentée d'environ 4 à 5 fois. Le faible coefficient de dilatation thermique du carbure cimenté réduit la déformation de traitement et convient aux moules de précision (tolérance < 0,01 mm).

Les céramiques (comme l'alumine Al_2O_3) ont une dureté HV de 1 800 à 2 000, une résistance à la température de 1 200 °C et une conductivité thermique de 25 à 30 W/ m· K, ce qui les rend adaptées à la découpe à haute température, mais présentent une ténacité à la rupture de 3 à 5 $MPa \cdot m^{1/2}$, une faible résistance aux chocs et sont sujettes à l'écaillage (ITIA 2024). Le carbure cimenté a une ténacité de 8 à 15 $MPa \cdot m^{1/2}$, une conductivité thermique de 80 à 100 W/ m· K et est plus résistant aux chocs thermiques. Par exemple, le rapport annuel 2024 de Xiamen Tungsten montre que ses outils WC-Co revêtus de PVD TiAlN ont un taux anti-écaillage d'environ 50 à 60 % supérieur à celui des outils non revêtus dans le fraisage à grande vitesse (200 m/min).

1.3.2 Comparaison avec de nouveaux matériaux

Le nitrure de bore cubique (CBN) présente une dureté HV de 4 000 à 5 000 et une conductivité thermique de 150 à 200 W/ m· K. Il convient à la découpe d'alliages haute température (tels que l'Inconel 718) avec une vitesse de coupe de 250 à 300 m/min, mais présente une ténacité à la rupture de 4 à 6 $MPa \cdot m^{1/2}$ et une faible résistance aux chocs (ITIA 2024). Le diamant polycristallin (PCD) présente une dureté HV de 7 000 à 8 000 et un taux d'usure de 0,01 à 0,02 $mm^3/N \cdot m$. Il convient à l'usinage des métaux non ferreux (tels que les alliages d'aluminium), mais présente une faible résistance à la température. Sa dureté diminue d'environ 40 à 50 % à > 700 °C (Journal of Materials Science 2025). Le carbure cimenté possède un revêtement PVD TiAlN (dureté HV 2500-3000) qui se rapproche des performances du CBN, et une résistance à la compression de 3500-4000 MPa qui est meilleure que le PCD (environ 3000 MPa), ce qui le rend adapté au forage en haute mer (pression > 100 MPa).

En termes de scénarios d'application, le CBN et le PCD présentent des avantages dans l'usinage de haute précision (tels que les lentilles optiques, rugosité de surface < 0,01 μm), mais le carbure cimenté offre une plus grande polyvalence. Par exemple, le rapport annuel 2024 de Jiangxi Tungsten montre que ses buses en carbure cimenté TaC -WC-Co peuvent résister à des températures de 1 200 °C dans les turbines à gaz d'aviation et ont une durée de vie d'environ 4 000 à 5 000 heures, tandis que la durée de vie des buses en PCD est d'environ 1 500 à 2 000 heures. La technologie de revêtement PVD au carbure cimenté réduit l'usure chimique et améliore l'efficacité de coupe de l'acier d'environ 20 à 30 % par rapport aux matériaux non revêtus (Journal de la Société chinoise des métaux non ferreux 2024).

1.3.3 Avantages dans les environnements extrêmes

Le carbure cimenté offre de bonnes performances dans des environnements extrêmes tels que les

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

températures et pressions élevées et la corrosion. À 1 000 °C, le carbure cémenté WC-6 % Co maintient une valeur HV de 900 à 1 000, tandis que l'acier à haute résistance (AISI 4340) chute à 200 à 250. Bien que les céramiques résistent aux températures élevées, leur ténacité à la rupture est faible (3 à 5 MPa·m^{1/2}) et elles sont sujettes aux fissures. Le carbure cémenté contenant une phase de liaison Ni (comme Co-Ni-Cr) présente une vitesse de corrosion inférieure à 0,1 mm/an en brouillard salin, et la durée de vie des composants de la construction navale (comme les vannes de Xiamen Tungsten Industry) est supérieure à 5 ans, tandis que l'acier à haute résistance AISI 4340 est d'environ 1 à 2 ans (rapport annuel 2024 de Xiamen Tungsten Industry). Lors du forage en haute mer (5 000 mètres de profondeur d'eau, pression d'environ 50 MPa), la durée de vie des forets en carbure cémenté est de 800 à 1 000 heures et celle de l'acier à haute résistance est d'environ 150 à 200 heures (ITIA 2024).

Le carbure cémenté présente des avantages écologiques significatifs. En 2024, le taux de recyclage mondial du carbure cémenté est d'environ 25 à 30 %, la Chine atteint 35 à 40 % (ITIA 2024), et China Tungsten High-Tech en recyclera environ 2 000 à 2 200 tonnes (rapport annuel 2024 de China Tungsten High-Tech). Le taux de recyclage de l'acier à haute résistance est d'environ 85 à 90 %, mais la consommation d'énergie est élevée, le taux de recyclage de la céramique est inférieur à 10 % et le recyclage du CBN et du PCD est complexe. Le cycle de vie du carbure cémenté répond à l'objectif de « double carbone » (Journal de la Société chinoise des métaux non ferreux 2024). En 2025, China Tungsten High-Tech optimisera la conception de ses outils en WC-Co grâce à la fabrication additive afin d'en améliorer la durabilité (rapport annuel 2024 de China Tungsten High-Tech).

1.4 Comparaison entre le carbure cémenté et l'acier au tungstène

entre le carbure cémenté (matériau composite WC-Co) et l'acier au tungstène (acier rapide ou acier à outils contenant du tungstène) en termes de composition, de microstructure, de paramètres de performance et de procédé de fabrication. Cette section compare en détail les caractéristiques des deux matériaux à l'aide de données quantitatives et d'analyses scientifiques, mettant en évidence les avantages du carbure cémenté en termes de dureté, de résistance à l'usure et de stabilité à haute température, ainsi que les caractéristiques de l'acier au tungstène en termes de ténacité et de flexibilité d'usinage, en se concentrant sur les matériaux et les performances, sans tenir compte des aspects économiques ou applicatifs.

1.4.1 Composition et microstructure du matériau

Le carbure cémenté contient du carbure de tungstène (WC, fraction massique 70%-94%) comme phase dure et du cobalt (Co, 6%-20%) ou du nickel (Ni) comme phase de liaison. Le WC est hexagonal (groupe spatial P6m2, a=2,906 Å , c=2,837 Å), avec une dureté de HV 2200-2500, le Co est une structure cubique à faces centrées (FCC), et l'angle de contact est d'environ 5°-10° (Journal of the Chinese Society of Nonferrous Metals 2024). La microstructure est composée de particules de WC (grains de 0,2-5 microns) noyées dans la matrice de Co, avec une densité de >98%-99%. Français La microscopie électronique à balayage (MEB) et la microscopie électronique à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

transmission (MET) montrent que la résistance de l'interface WC-Co est $> 40-50$ MPa et la ségrégation de Co est $< 5\%$ (Journal of Materials Science 2025). L'ajout de TiC ou de TaC (3 %-10 %) améliore la résistance à l'oxydation et le gain de poids après oxydation à $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ est inférieur à $0,1\text{ mg/cm}^2$ (China Tungsten High-Tech 2024 Annual Report). La diffraction des rayons X (DRX) confirme que l'orientation du plan cristallin du WC (001) est optimisée et que l'énergie aux joints de grains est d'environ $0,8-1\text{ J/m}^2$.

L'acier au tungstène est un acier allié contenant du tungstène (W, 5 %-18 %), tel que l'acier rapide HSS M2 (contenant 6 % W, 5 % Mo, 4 % Cr) ou l'acier à outils. La matrice est un alliage fer (Fe)-carbone (C, 0,8 %-1,2 %) avec une structure cubique centrée (BCC) ou martensitique. Le tungstène existe à l'état de solution solide ou de carbure ($\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$), avec une granulométrie de 10 à 30 microns. L'analyse au MEB montre une répartition inégale du carbure, un taux de ségrégation de 5 à 15 % et une résistance d'interface d'environ 20 à 30 MPa (Journal of Materials Science 2025). La force de liaison covalente de l'acier au tungstène est d'environ 400 à 450 kJ/mol, ce qui est inférieur à celui du WC (600 à 700 kJ/mol), et la dureté est de HV 600 à 800.

La structure composite du carbure cimenté offre un faible coefficient de dilatation thermique ($4,5-5,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), supérieur à celui de l'acier au tungstène ($11-12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), réduisant ainsi la déformation à haute température. L'acier au tungstène présente une ténacité supérieure (K_{Ic} 20-25 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) à celle du carbure cimenté ($8-15\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

1.4.2 Comparaison des paramètres de performance

Français Le carbure cimenté (WC-6%Co) a une dureté de HV 1800-2200, un taux d'usure de $0,06-0,08\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, une résistance à la compression de 3500-4000 MPa, une conductivité thermique de $80-100\text{ W/m}\cdot\text{K}$ et un coefficient de dilatation thermique de $4,5-5,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. À 1000°C , la perte de poids au brouillard salin du carbure cimenté contenant une phase de liaison Co-Ni-Cr est $< 0,1\text{ mg/cm}^2$ tout en maintenant HV 900-1000 (Journal of the Chinese Society of Nonferrous Metals 2024). L'acier au tungstène a une dureté de HV 600-800, un taux d'usure de $0,4-0,5\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, une résistance à la compression de 1500-2000 MPa, une conductivité thermique de $20-30\text{ W/m}\cdot\text{K}$, un coefficient de dilatation thermique de $11-12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, une chute de dureté à HV 350-400 à 600°C et un taux de corrosion d'environ $0,5-1\text{ mg/cm}^2$.

La résistance à l'usure du carbure cimenté est environ 6 à 8 fois supérieure à celle de l'acier au tungstène, et sa résistance à la compression est 1,8 à 2 fois supérieure, ce qui le rend adapté aux environnements haute pression ($> 100\text{ MPa}$). En termes de performances thermiques, le carbure cimenté présente un gain de poids inférieur à $0,1\text{ mg/cm}^2$ après oxydation à $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ et ne présente aucune fissure après plus de 100 cycles de chocs thermiques ; l'acier au tungstène présente un gain de poids d'environ $0,8$ à 1 mg/cm^2 après oxydation à $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ et des microfissures apparaissent après 50 à 60 cycles de chocs thermiques. La résistance à la fatigue cyclique du carbure cimenté ($> 1800-2000\text{ MPa}$, 10^7 fois) est meilleure que celle de l'acier au tungstène ($900-1000\text{ MPa}$, 10^7 fois) (China Tungsten High-Tech 2024 Annual Report).

1.4.3 Caractéristiques du processus de fabrication

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le carbure cémenté adopte un processus de métallurgie des poudres : poudre de WC et de Co (granulométrie 0,5-5 microns), broyage à boulets (24-48 heures), pressage (50-100 MPa), frittage en phase liquide (1320-1400°C, degré de vide 10^{-3} Pa), densité > 98 %. Le pressage isostatique à chaud (HIP, 120-150 MPa, 1350-1400°C) élimine les pores et augmente la dureté de 5 à 10 % (rapport annuel 2024 de China Tungsten High-tech). Le processus doit contrôler la température ($\pm 5^\circ\text{C}$) et la teneur en Co ($\pm 0,5\%$) pour obtenir des grains submicroniques (0,2-1 micron).

L'acier au tungstène est produit par fusion au four à arc (1 600-1 800 °C), coulée en lingots, laminage/forgeage à chaud (1 100-1 200 °C) et traitement thermique (trempe à 850 °C, revenu à 500-600 °C). Les carbures sont inégalement répartis et la granulométrie est de 10 à 30 microns. Le traitement thermique optimise la dureté et la ténacité, mais la ségrégation des carbures (5 à 15 %) affecte la consistance (Journal of Materials Science 2025).

1.4.4 Adaptabilité environnementale et caractéristiques de recyclage

Français Le taux de corrosion du carbure cémenté contenant une phase de liaison Ni (comme Co-Ni-Cr) dans un environnement de brouillard salin est inférieur à 0,1 mm/an, et il présente une forte résistance à l'oxydation à 1200 °C. Le taux de corrosion de l'acier au tungstène est d'environ 0,5 à 1 mm/an, et l'oxydation est évidente au-dessus de 800 °C. La conductivité thermique ($80-100 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) et le faible coefficient de dilatation thermique ($4,5-5,5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$) du carbure cémenté garantissent une résistance aux chocs thermiques et sont adaptés aux environnements à haute température et haute pression (> 1000 °C, > 100 MPa). La conductivité thermique ($20-30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) et le coefficient de dilatation thermique élevé ($11-12 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$) de l'acier au tungstène entraînent une déformation thermique.

En termes de recyclage, le taux de récupération du carbure cémenté par fusion du zinc atteint 90 à 95 %, et il atteindra 35 à 40 % en Chine en 2024 (ITIA 2024). Le taux de récupération de l'acier au tungstène est d'environ 85 à 90 %, mais la perte de tungstène est de 5 à 10 % lors de la fusion et de la refonte. Le recyclage du carbure cémenté est plus efficace et répond à l'objectif de réduction des émissions de carbone (rapport annuel 2024 de China Tungsten High-tech).

1.4.5 Comparaison complète des performances

Le carbure cémenté est supérieur à l'acier au tungstène en termes de dureté, de résistance à l'usure, de stabilité à haute température, de résistance à la corrosion et de résistance à la compression. Le revêtement PVD TiAlN (HV 2500-3000) améliore les performances et convient aux conditions de travail extrêmes. L'acier au tungstène présente une forte ténacité (K_{1c} 20-25 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) et une grande souplesse d'usinage, ce qui le rend adapté aux usinages à faible charge. Cependant, sa dureté (HV 600-800) et sa résistance à l'usure sont insuffisantes. En 2025, le nano WC-Co de China Tungsten High-Tech (granulométrie 0,05-0,1 micron) optimisera encore les performances (rapport annuel 2024 de China Tungsten High-Tech).

Références

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rapport annuel 2024 de China Tungsten & High-Tech Materials Co., Ltd.
Rapport annuel 2024 de Xiamen Tungsten Co., Ltd.
Tendances du marché du tungstène en 2024. www.ctia.com.cn
CTIA GROUP LTD. Profil de l'entreprise et lancement de produits en 2024. ctia.group
chinoise de l'industrie du tungstène . Rapport de la Conférence 2024 sur le développement de l'industrie chinoise du tungstène. www.ctia.net.cn
Commission nationale du développement et de la réforme. 2021. Aperçu du 14e plan quinquennal. www.ndrc.gov.cn
Archives d'État. 1958. Archives de construction de l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou. Pékin : Archives d'État.
Revue chinoise des métaux non ferreux. 1965-2024. Numéros variés. www.cnki.net
Matériaux et ingénierie des métaux rares. 2023-2024. Plusieurs numéros. www.cnki.net
USGS. 2025. Résumés des produits minéraux :
tungstène. www.usgs.gov
ITIA. 2024. Rapport sur le recyclage du tungstène. www.itia.info Association internationale
du tungstène . 2024. Rapport sur le recyclage du tungstène.
Journal des sciences des matériaux. 2024-2025. www.springer.com Journal
des sciences des matériaux. 2024-2025.
Journal des alliages et composés. 2025. www.elsevier.com Journal
des alliages et composés. 2025.
Actes de la Royal Society. 1868.
Londres : Royal Society.
Annalen der Chemie . 1875. Leipzig : Wiley-VCH.
Annalen der Chemie . 1875. Leipzig : Wiley-VCH.
Devenez citoyen allemand Chemischen Gesellschaft. 1900. Berlin : Wiley-VCH.
Rapports de la Société chimique allemande. 1900. Berlin : Wiley-VCH.
Rapport technique Osram. 1908.
Berlin : Osram GmbH.
Archives Krupp. 1912-1943. Essen : ThyssenKrupp AG.
Archives Krupp. 1912-1943. Essen : ThyssenKrupp AG.
Bulletin technique Krupp. 1925. Essen : Krupp AG .
Rapport technique Farben. 1931. Francfort : IG Farben.
Rapport technique Farben. 1931. Francfort : IG Farben.
Sandvik Coromant Histoire . 1932-2003. Sandviken : Sandvik AB.
Brevet américain. 1896-1936.
Washington, DC : USPTO.
Rapport technique de Kennametal. 1953. Latrobe : Kennametal Inc.
Rapport technique de Kennametal. 1953. Latrobe : Kennametal Inc.
Brevet Seco Tools. 1965. Fagersta : Seco Tools AB .
Rapport sur les matériaux Mitsubishi. 1975.
Tokyo : Mitsubishi Materials Corp.
Plansee . 1983. Reutte : Groupe Plansee . Bulletin technique
Plansee . 1983. Reutte : Groupe Plansee .
Rapport de développement durable de Sandvik. 1990. Sandviken : Sandvik AB .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de recherche sur les matériaux biomédicaux. 1985. Hoboken : Wiley.

Journal de fabrication additive. 2012.

Amsterdam : Elsevier.



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

Annexe :

La méthode de traduction anglaise du carbure cémenté et son application

Matériau composite composé d'une phase dure (comme le carbure de tungstène) et d'une phase liante (comme le cobalt), le carbure cémenté possède diverses traductions ou appellations en anglais, selon le contexte, les normes industrielles ou les habitudes du domaine technique. Voici un résumé détaillé des appellations anglaises du carbure cémenté et de leurs traductions, couvrant les termes courants, les applications possibles et les différences subtiles.

Comment traduire le nom anglais du carbure cémenté

1. Le nom anglais du carbure cémenté est Hardmetal

Définition : Nom anglais le plus courant, largement utilisé dans les normes internationales (ISO 513, ASTM B886) et la littérature académique, désigne les matériaux composés de carbures durs (tels que WC, TiC) et de liants métalliques (tels que cobalt, nickel). Scénarios d'utilisation :

Normes industrielles : ISO 3326 (Métaux durs — Détermination de la saturation magnétique du cobalt), GB/T 3849.

Recherche universitaire : les articles de ScienceDirect font souvent référence aux « métaux durs » utilisés pour les outils de coupe et les moules.

Caractéristiques : Accent sur les propriétés composites des matériaux (phase dure + phase de liaison métallique), forte polyvalence, adapté à l'industrie mondiale du carbure cémenté.

Exemple : Les métaux durs sont largement utilisés dans les outils de coupe en raison de leur dureté élevée et de leur résistance à l'usure.

2. Carbure cémenté

Définition : Traduction courante qui met en évidence les caractéristiques des carbures durs (tels que le WC) « cimentés » par des liants métalliques (tels que le cobalt), couramment utilisés dans la littérature technique nord-américaine et européenne.

Norme ASTM : ASTM B886 (Méthode d'essai standard pour la détermination de la saturation magnétique des carbures cémentés).

Terme industriel : couramment utilisé par les fabricants d'outils nord-américains (tels que Kennametal et Sandvik).

Caractéristiques : Accent mis sur le processus de « cémentation », c'est-à-dire que le liant métallique combine les particules de carbure pendant le processus de frittage.

comme Hardmetal, mais plus couramment vu dans les normes américaines et la publicité d'entreprise.

Exemple : Les carbures cémentés sont préférés pour l'usinage en raison de leur ténacité et de leur durabilité.

3. Carbure de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Définition : désigne spécifiquement le carbure cimenté dont la phase dure principale est le carbure de tungstène (WC). Souvent utilisé pour des descriptions non techniques ou simplifiées, il n'est toutefois pas exhaustif à proprement parler (il ne couvre pas les autres carbures ni les liants).

Scénarios d'utilisation :

Affaires et marché : couramment observé dans les promotions de couteaux, de forets et de bijoux (bagues en acier tungstène).

Article de vulgarisation scientifique : Wikipédia présente souvent le carbure cimenté sous le nom de « carbure de tungstène ».

Caractéristiques : Il se réfère uniquement au carbure cimenté à base de WC et ne couvre pas les alliages contenant d'autres carbures tels que TiC et TaC .

Utilisé comme synonyme de carbure cimenté dans des occasions non professionnelles (comme le marché de consommation).

Limitations : Pas très précis, car le carbure cimenté peut contenir des carbures non à base de tungstène (tels que TiC) ou divers liants.

Exemple : Les outils en carbure de tungstène sont connus pour leur extrême dureté.

4. Carbure

Définition : Nom simplifié désignant le carbure cimenté en général, sans les termes « cimenté » ou « tungstène », couramment utilisés dans l'industrie ou à l'oral. Scénarios d'utilisation :

Industrie de l'outillage : les ouvriers ou les ingénieurs les appellent souvent « outils en carbure » ou « plaquettes en carbure ».

Documentation technique : Par exemple, la brochure produit Sandvik mentionne les « nuances de carbure ».

Caractéristiques : Concis, mais peut entraîner une ambiguïté car le terme « carbure » fait également référence à d'autres carbures (tels que le carbure de calcium CaC_2).

pour faire clairement référence au carbure cimenté dans le contexte.

Exemple : les plaquettes en carbure améliorent l'efficacité de l'usinage dans le traitement de l'acier.

5. Widiamétal (moins courant)

Définition : Terme utilisé dans l'Europe primitive (en particulier en Allemagne), dérivé de « Widia » (Wie Diamant, signifiant « comme le diamant »), qui est le nom commercial du carbure cimenté.

Documents historiques : Krupp d'Allemagne a commercialisé pour la première fois le carbure cimenté dans les années 1920 et l'a nommé Widia.

Parties de l'Europe : On les retrouve encore parfois dans d'anciens documents techniques ou dans des entreprises traditionnelles.

Caractéristiques : Souligne la dureté élevée du carbure cimenté (proche du diamant), mais il est désormais moins utilisé et remplacé par le métal dur ou le carbure cimenté.

Uniquement dans certains contextes historiques ou de marque.

Exemple : Widiametal a constitué une avancée majeure dans la technologie des premiers outils de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

coupe.

6. Carbure fritté (moins courant)

Définition : Souligne que le carbure cémenté est fabriqué par frittage par métallurgie des poudres, en mettant en évidence le procédé de fabrication. Scénarios d'application :

Recherche académique : utilisé pour décrire le processus de production de carbure cémenté.

Manuel technique : tel que décrit dans les instructions du processus de frittage.

Caractéristiques : Similaire au carbure cémenté, mais plus axé sur le processus de frittage.

Il est utilisé moins fréquemment que le métal dur et le carbure cémenté.

Exemple : Les composants en carbure fritté présentent une excellente résistance à l'usure.

7. Autres traductions non standard

Acier au tungstène

Traduction erronée, souvent observée dans des contextes non professionnels (comme les plateformes de commerce électronique). Le carbure cémenté n'est pas de l'acier, mais un matériau composite carbure-métal.

Exemple : L'industrie de la bijouterie les appelle à tort « anneaux en acier tungstène », alors qu'ils sont en fait en carbure cémenté à base de tungstène .

alliage dur

Traduit directement du chinois « alliage dur », il est rarement utilisé en anglais et peut apparaître dans la littérature chinoise anglaise, mais il n'est pas standard.

Exemple : « Alliage dur » n'est pas un terme standard dans la littérature technique anglaise.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Comparaison et suggestions de sélection des méthodes de traduction anglaise de carbure cémenté

nom anglais	Scénarios applicables	avantage	limitation
métal dur	Normes internationales, recherche universitaire, industrie mondiale	Forte polyvalence, terminologie standard	Aucune limitation évidente
carbure cémenté	Normes nord-américaines, industrie des outils de coupe, documentation technique	L'accent est mis sur la technologie de liaison, largement reconnue	Un peu long
carbure de tungstène	Promotion commerciale, vulgarisation scientifique, marché de consommation	Concis et facile à comprendre par les non-professionnels	Pas assez complet, ignorant les autres carbures et liants
Carbure	Expressions familières de l'industrie, fabrication d'outils	Simple et universel dans l'industrie	Peut entraîner une ambiguïté (confusion avec d'autres carbures)
Widiamétal	Documents historiques, entreprises traditionnelles européennes	Importance historique, spécifique à la marque	Obsolète, rarement utilisé de nos jours
carbure fritté	Recherche académique, description du processus	Mettre en évidence le processus de frittage	Faible fréquence d'utilisation
Acier au tungstène	Marchés non spécialisés (comme la bijouterie)	Aucun (terme erroné)	Inexact et trompeur
alliage dur	Littérature chinglish	Aucun (non standard)	Non normalisé, non reconnu internationalement

Suggestion de sélection :

Occasions formelles (normes, documents, échanges internationaux) : Utilisez du métal dur ou du carbure cémenté car ils sont conformes aux normes ISO, ASTM, GB/T et sont très polyvalents.

Au sein de l'industrie (fabrication de couteaux, de moules) : le carbure est concis et adapté au langage courant ou à la dénomination de produits, mais assurez-vous que le contexte est clair.

Propagande commerciale (pour les consommateurs) : le carbure de tungstène est plus facile à comprendre pour les non-professionnels, mais il faut noter qu'il s'agit d'un alliage dur.

Évitez : l'acier au tungstène et l'alliage dur en raison d'inexactitudes ou de non-conformité.

Données et support

Base standard : ISO 3326:2013 et ASTM B88624 utilisent « Hardenmetal » et « Cemented Carbide » (site Web officiel ISO, site Web officiel ASTM).

La norme GB/T 38492015 utilise « alliage dur », qui est traduit en anglais par « Hardmetal » (China National Standards Query Network).

Pratique industrielle : les entreprises mondiales d'outillage (telles que Sandvik et Kennametal) utilisent souvent « carbure cémenté » ou « carbure » dans leurs catalogues de produits.

L'entrée Wikipédia pour « carbure de tungstène » indique qu'il s'agit d'un sous-ensemble du carbure cémenté (Wikipedia, 2005).

Littérature académique : les articles de ScienceDirect utilisent souvent « Hardenmetals » ou « Cemented Carbides » pour décrire les alliages WCCo (ScienceDirect, 2020).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Contexte historique : « Widia » est originaire de la société allemande Krupp dans les années 1920 et est rarement utilisé à l'époque moderne.

Les noms anglais du carbure cémenté incluent principalement « hardmetal », « cemented carbure », « tungsten carbure » et « carbure ». « hardmetal » et « cemented carbure » sont les termes les plus courants, largement utilisés dans les normes internationales et les échanges industriels. « tungsten carbure » convient à la promotion commerciale, mais n'est pas suffisamment exhaustif ; « carbure » est concis, mais il convient de se méfier des ambiguïtés. « widiametal » et « sintered carbure » sont moins courants et se limitent à des cas historiques ou de processus spécifiques. « tungsten steel » et « hard alloy » sont à éviter, car ils sont imprécis. Lors du choix des noms anglais, il convient de choisir le terme le plus approprié en fonction du contexte (universitaire, industriel, commercial).

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 :

Brève introduction aux principales entreprises de carbure cémenté de mon pays à leurs débuts et à leur situation actuelle

1. Usine Zhuzhou 601 (Usine de carbure cémenté de Zhuzhou)

Origine et histoire de la construction

L'usine Zhuzhou 601, plus précisément l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou (aujourd'hui Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., filiale de China Tungsten High-tech), a été fondée en 1954 à Zhuzhou, dans le Hunan. Elle marque le début de l'industrie chinoise du carbure cémenté. L'usine a été l'un des 156 projets clés du premier plan quinquennal (1953-1957) et est considérée comme le berceau de l'industrie chinoise du carbure cémenté. Sa création s'explique par la faiblesse des bases industrielles aux débuts de la Chine nouvelle, et par la dépendance du carbure cémenté, matériau stratégique, aux importations. Afin de changer cette situation, le pays a choisi de construire une usine à Zhuzhou, dans le Hunan, en s'appuyant sur les riches ressources locales en minerai de tungstène (comme la mine polymétallique de Shizhuyuan) et sur des conditions de transport pratiques (Zhuzhou est située au milieu du fleuve Xiangjiang et a développé le transport ferroviaire).

Signification et origine du nom et du numéro

Le numéro « 601 » trouve son origine dans les règles de dénomination confidentielles des entreprises industrielles au début de la fondation de la Chine nouvelle. À cette époque, afin de garantir la confidentialité de l'industrie de la défense nationale et des projets clés, l'État utilisait des numéros plutôt que des noms directs pour de nombreuses usines. « 601 » correspond au numéro de série sous la juridiction du ministère de l'Industrie métallurgique (plus tard fusionné avec le

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ministère de l'Industrie mécanique), représentant spécifiquement « la première usine du sixième ministère de l'Industrie métallurgique ». « 6 » représente l'industrie métallurgique, et « 01 » indique qu'il s'agit du premier projet clé du système, reflétant le statut particulier de l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou, berceau de l'industrie chinoise du carbure cémenté.

Construction et développement

L'usine 601 de Zhuzhou a adopté la technologie soviétique dès sa création. Elle a utilisé la métallurgie des poudres pour produire du carbure cémenté, principalement composé de carbure de tungstène-cobalt (WC-Co), principalement utilisé pour l'exploitation minière et les outils de coupe. En 1958, à l'issue du premier plan quinquennal, l'usine de Zhuzhou a agrandi son usine et optimisé son processus de production. Les forets en carbure cémenté produits ont commencé à répondre aux besoins de l'exploration géologique. En 1960, l'usine a collaboré avec l'Institut de recherche sur les métaux non ferreux de Pékin pour développer du carbure cémenté contenant du carbure de titane (TiC) destiné au forage pétrolier. Dans les années 1960, malgré l'influence de la Révolution culturelle, l'usine de Zhuzhou a maintenu son approvisionnement dans le domaine de l'usinage mécanique en optimisant la formule grâce à son autonomie. En 1970, le pays a lancé le projet 704, qui a permis à l'usine de Zhuzhou de poursuivre son expansion et d'augmenter sa production. Après la réforme et l'ouverture en 1978, au cours du « sixième plan quinquennal » (1981-1985), l'usine de Zhuzhou a introduit la technologie de revêtement suédoise Sandvik et développé des outils revêtus de nitrure de titane (TiN), ce qui a considérablement amélioré les performances de coupe.

Caractéristiques principales

L'usine 601 de Zhuzhou est le berceau de l'industrie chinoise du carbure cémenté et en a posé les bases. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Introduction et innovation technologiques : À partir de la technologie soviétique, nous avons ensuite coopéré avec l'Université Tsinghua, l'Université du Centre-Sud, etc. pour développer du carbure cémenté à grains ultrafins et de qualité nanométrique pour une application dans l'usinage de précision.

Effet de cluster industriel : En 2000, le parc industriel de carbure cémenté de Zhuzhou a commencé à prendre forme, formant un cluster industriel avec l'usine de Zhuzhou comme noyau, favorisant le développement économique régional.

Largement utilisés : Les produits couvrent l'exploitation minière, l'usinage, la défense nationale, l'industrie électronique et d'autres secteurs. Ils sont exportés vers l'Asie du Sud-Est depuis les années 1980, et les exportations ont encore augmenté après l'adhésion à l'OMC en 2002.

statu quo

L'usine de carbure cémenté de Zhuzhou est désormais l'activité principale de China Tungsten High-tech Materials Co., Ltd. et l'un des plus grands sites de production de carbure cémenté de Chine. En 2024, China Tungsten High-tech a acquis la mine de tungstène de Shizhuyuan dans le Hunan (avec une réserve de 560 000 tonnes), renforçant ainsi son autosuffisance en matières premières. L'entreprise continue de se concentrer sur la recherche et le développement de carbure cémenté à haute entropie et de technologies de fabrication additive. Ses produits sont largement utilisés dans

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'aérospatiale, l'automobile et d'autres secteurs, tout en promouvant activement la fabrication verte et la production intelligente.

2. Usine Zigong 764 (Usine de carbure cémenté Zigong)

Origine et histoire de la construction

L'usine Zigong 764, plus précisément Zigong Cemented Carbide Factory (aujourd'hui Zigong Cemented Carbide Co., Ltd.), a été fondée en 1965 et est située dans la ville de Zigong, dans la province du Sichuan. Célèbre ville du sel en Chine, Zigong possède une longue histoire industrielle, notamment en matière de technologie de forage de puits de sel, qui a servi de base au développement de son industrie du carbure cémenté. La création de l'usine Zigong 764 a coïncidé avec la période de « construction de la troisième ligne » du pays, avec pour objectif d'établir une base industrielle stratégique dans le sud-ouest pour faire face aux menaces potentielles de la Guerre froide.

Signification et origine du nom et du numéro

Le numéro « 764 » est une méthode de dénomination confidentielle courante pendant la période de « construction de la troisième ligne ». Le « 7 » désigne généralement les entreprises relevant de la compétence du ministère de l'Industrie mécanique, le « 6 » peut représenter le code régional de la région du Sud-Ouest, et le « 4 » le numéro de série de l'usine de la région. Cette numérotation vise à dissimuler la véritable vocation et la localisation géographique de l'usine afin d'assurer la sécurité en temps de guerre. Le numéro de l'usine Zigong 764 reflète son statut d'importante base de production de carbure cémenté, établie par le ministère de l'Industrie mécanique dans la région du Sud-Ouest.

Relation avec l'usine Zhuzhou 601

L'usine Zigong 764 entretient des liens indirects avec l'usine Zhuzhou 601 en matière de technologie de production de carbure cémenté. Pionnière du secteur, l'usine Zhuzhou 601 a exporté ses normes de processus et son expérience de production vers des entreprises de troisième ligne, dont l'usine Zigong 764, grâce à des projets nationaux de diffusion technologique dans les années 1960. Le procédé de métallurgie des poudres adopté par l'usine Zigong 764 dès ses débuts est conforme au système technique de l'usine Zhuzhou 601. De plus, les deux usines se complètent dans l'allocation des ressources nationales en tungstène et la collaboration industrielle. L'innovation technologique de l'usine Zhuzhou 601 constitue la base du développement de l'usine Zigong 764, tandis que cette dernière complète le dispositif industriel de l'usine Zhuzhou 601 dans le sud-ouest grâce à ses atouts régionaux en matière de ressources.

Construction et développement

À ses débuts, l'usine Zigong 764 produisait principalement des outils en carbure cémenté pour l'exploitation minière et l'exploration géologique, exploitant les abondantes ressources en gaz naturel de Zigong (utilisé comme combustible de frittage) et les ressources en tungstène du Sichuan. Dans les années 1970, face à la demande croissante du pays en carbure cémenté, l'usine Zigong a progressivement élargi sa gamme de produits pour inclure des outils de coupe et des pièces

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

résistantes à l'usure. Dans les années 1980, après la réforme et l'ouverture, l'usine Zigong a commencé à coopérer avec des entreprises étrangères, à introduire des équipements et des technologies de pointe et à améliorer la qualité de ses produits.

Caractéristiques principales

L'usine Zigong 764 est bien connue pour ses produits en carbure cimenté dans le domaine de l'exploitation minière et de l'exploration géologique, avec les caractéristiques suivantes :

Avantages des ressources : Les ressources en gaz naturel de la région de Zigong fournissent une énergie bon marché pour le frittage du carbure cimenté, réduisant ainsi les coûts de production.

Influence régionale : En tant que base importante de production de carbure cimenté dans la région du sud-ouest, les produits de l'usine Zigong sont largement utilisés dans le développement minier au Sichuan, au Yunnan et dans d'autres endroits.

Progrès technologique : Dans les années 1990, l'usine de Zigong a développé des barres et des plaques en carbure hautes performances pour répondre aux besoins des outils de coupe non standard.

statu quo

Zigong Cemented Carbide Co., Ltd. est devenue l'une des entreprises majeures de l'industrie chinoise du carbure cimenté et est affiliée à China Minmetals Corporation. L'entreprise se spécialise dans la production de barres, de plaques et d'outils de coupe en carbure cimenté. Ses produits sont utilisés dans l'exploitation minière, le forage pétrolier et l'usinage. La ville de Zigong est également devenue l'un des principaux centres de l'industrie chinoise du carbure cimenté, perpétuant ainsi sa tradition industrielle dans le sud-ouest.

Analyse de la relation entre l'usine Zhuzhou 601 et l'usine Zigong 764

Contexte historique et positionnement sectoriel

L'usine Zhuzhou 601 (usine de carbure cimenté de Zhuzhou) a été fondée en 1954. Elle est le berceau de l'industrie chinoise du carbure cimenté et est considérée comme le « berceau de cette industrie ». Projet clé du premier plan quinquennal du pays, l'usine Zhuzhou 601 occupe une position de leader dans le domaine de la technologie du carbure cimenté. Elle maîtrise le procédé de métallurgie des poudres, importé d'Union soviétique, et innove continuellement grâce à sa coopération avec les instituts de recherche scientifique nationaux. L'usine Zigong 764 (usine de carbure cimenté de Zigong) a été fondée en 1965, pendant la période de la « troisième ligne de construction », et constitue un important site de production de carbure cimenté dans le sud-ouest. S'appuyant sur les ressources en minerai de tungstène et l'énergie du gaz naturel du Sichuan, l'usine Zigong 764 se concentre sur la production d'outils en carbure cimenté pour l'exploration minière et géologique.

Contact Technologie et Ressources

Pionnière du secteur, l'usine 601 de Zhuzhou a accumulé une riche expérience en matière de technologies de production de carbure cimenté, de normes de procédés et de recherche et développement d'équipements. Dans les années 1960, avec l'essor de la « troisième ligne de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

construction », l'État a encouragé les entreprises clés à exporter leurs technologies vers l'intérieur des terres afin de soutenir le développement de nouvelles usines. Dès ses débuts, l'usine 764 de Zigong a largement bénéficié de la diffusion technologique de l'usine 601 de Zhuzhou. Par exemple, le procédé de production de carbure cimenté au carbure de tungstène-cobalt (WC-Co) développé par l'usine 601 de Zhuzhou est devenu une norme industrielle, et l'usine 764 de Zigong utilise un procédé similaire de métallurgie des poudres pour la production d'outils miniers, ce qui témoigne de la relation historique entre les deux usines en termes de systèmes technologiques.

3. Usine Nanchang 603 (Usine de carbure cimenté de Nanchang)

Origine et histoire de la construction

L'usine Nanchang 603, plus précisément l'usine de carbure cimenté de Nanchang (aujourd'hui Nanchang Cemented Carbide Co., Ltd.), a été fondée en 1966 et est située à Nanchang, dans la province du Jiangxi. Il s'agit d'un autre important site de production de carbure cimenté, établi pendant la période de la « troisième ligne de construction ». La province du Jiangxi est l'une des provinces chinoises les plus riches en tungstène, avec des ressources en minerai de tungstène de haute qualité à Ganzhou et ailleurs. La création de l'usine Nanchang 603 vise à exploiter cet avantage en termes de ressources et à fournir des matériaux en carbure cimenté à l'industrie nationale et à la construction de la défense nationale.

Signification et origine du nom et du numéro

Le numéro « 603 » respecte également les règles de dénomination confidentielles en vigueur pendant la période de « construction de la troisième ligne ». Le « 6 » pourrait être la suite de la numérotation du ministère de l'Industrie métallurgique (le « 6 » de l'usine 601 de Zhuzhou signifie cela), tandis que le « 03 » indique qu'il s'agit du troisième projet clé du système. La numérotation de l'usine 603 de Nanchang reflète sa position importante dans le système de l'industrie métallurgique et reflète également la configuration stratégique du Jiangxi, une province intérieure, pendant la période de « construction de la troisième ligne ».

Construction et développement

À ses débuts, l'usine 603 de Nanchang produisait principalement des outils en carbure cimenté pour l'exploitation minière, tels que des forets et des outils de creusement de tunnels, afin de soutenir le développement des mines du Jiangxi et des régions environnantes. Dans les années 1970, l'usine a commencé à développer des outils de coupe pour répondre aux besoins de l'industrie de l'usinage. Dans les années 1980, avec l'avancée des réformes et de l'ouverture, l'usine de Nanchang a introduit des équipements étrangers et développé des produits en carbure cimenté hautes performances.

Caractéristiques principales

L'usine Nanchang 603 est célèbre pour ses applications dans l'exploitation minière et l'usinage, et ses caractéristiques comprennent :

Soutien des ressources : les ressources en minerai de tungstène du Jiangxi fournissent un approvisionnement stable en matières premières pour l'usine de Nanchang, réduisant ainsi les coûts

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de production.

Diversité des produits : Des outils miniers aux outils de coupe, l'usine de Nanchang a progressivement élargi sa gamme de produits pour répondre à une variété de besoins industriels.

Coopération technique : Dans les années 1990, l'usine de Nanchang a coopéré avec des universités nationales pour développer du carbure cémenté résistant à la corrosion destiné à être utilisé dans le domaine des équipements chimiques.

statu quo

Nanchang Cemented Carbide Co., Ltd., désormais affiliée à China Minmetals Corporation, est une importante entreprise de production de carbure cémenté dans la province du Jiangxi. L'entreprise continue de se concentrer sur la production d'outils miniers et d'outils de coupe, tout en développant de nouveaux matériaux en carbure cémenté destinés aux industries aérospatiale et chimique. L'usine de Nanchang joue un rôle important dans la filière du tungstène du Jiangxi.

4. Usine Mudanjiang 212 (Usine de carbure cémenté de Mudanjiang)

Origine et histoire de la construction

L'usine 212 de Mudanjiang, ou usine de carbure cémenté de Mudanjiang, a été fondée en 1969 et est située à Mudanjiang, dans la province du Heilongjiang. Elle est l'une des bases de production de carbure cémenté déployées dans le Nord-Est pendant la période de la « Construction de la Troisième Ligne ». La création de l'usine 212 de Mudanjiang vise à soutenir la revitalisation de l'ancienne base industrielle du Nord-Est, tout en fournissant des matériaux en carbure cémenté pour l'industrie de la défense. Mudanjiang est située dans le Nord-Est, près de la frontière sino-soviétique (à environ 248 kilomètres de Vladivostok), et sa situation stratégique en fait un site important pour la « Construction de la Troisième Ligne ». Au milieu des années 1960, face à la détérioration des relations sino-soviétiques et à l'intensification des tensions liées à la Guerre froide, la Chine a lancé la « Construction de la Troisième Ligne » afin de transférer des bases industrielles vers l'intérieur des terres et les zones reculées. Mudanjiang a été choisie pour construire une usine de carbure cémenté en raison de son réseau ferroviaire et de ses ressources minières.

Signification et origine du nom et du numéro

Le numéro « 212 » est une méthode de dénomination courante pour la région du Nord-Est pendant la période de « construction de la troisième ligne ». « 2 » représente le code régional de la région du Nord-Est, et « 12 » le numéro de série de l'usine de la région. Cette numérotation vise à dissimuler la véritable vocation de l'usine et à protéger la sécurité de l'industrie de la défense nationale. Le numéro 212 de l'usine de Mudanjiang indique qu'elle joue un rôle important dans la production de carbure cémenté dans la région du Nord-Est, ce qui est cohérent avec sa mission de soutien à l'industrie de la défense nationale.

Construction et développement

À ses débuts, l'usine 212 de Mudanjiang produisait principalement des outils en carbure cémenté destinés à l'exploration minière et géologique, contribuant ainsi au développement minier du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Heilongjiang et du Jilin. Dans les années 1970, l'usine a commencé à développer des pièces militaires en carbure cémenté, telles que des pièces d'usure pour chenilles de chars et des matériaux pour ogives, afin de soutenir la construction de la défense nationale. Dans les années 1980, avec l'avancée des réformes et de l'ouverture, l'usine de Mudanjiang s'est progressivement tournée vers le marché civil, développant des outils de coupe et des pièces résistantes à l'usure, et élargissant encore sa gamme de produits.

Caractéristiques principales

L'usine Mudanjiang 212 est bien connue pour ses applications dans la défense et l'exploitation minière, avec des caractéristiques telles que :

Contribution à la défense nationale : Dans les années 1970, les pièces en carbure cémenté produites par l'usine de Mudanjiang étaient largement utilisées dans les produits militaires, soutenant la construction de la défense nationale.

Avantages géographiques : Mudanjiang est situé au nord-est, à proximité de la frontière russe, ce qui facilite les échanges techniques avec l'Union soviétique puis la Russie.

Résistance au froid du produit : Compte tenu du climat froid du nord-est de la Chine, les outils en carbure cémenté développés par l'usine de Mudanjiang ont une forte ténacité à basse température et peuvent s'adapter aux environnements extrêmes.

statu quo

L'usine de carbure cémenté de Mudanjiang a été intégrée au groupe China North Industries Group Corporation et en est devenue l'une de ses filiales. L'entreprise continue de produire des outils miniers et des pièces en carbure cémenté pour l'armée, tout en développant de nouveaux matériaux résistants à l'usure destinés aux secteurs de l'énergie et de la fabrication de machines. L'usine de Mudanjiang conserve une certaine influence dans l'industrie du carbure cémenté dans le nord-est de la Chine.

5. Usine de carbure cémenté de Pékin

Origine et histoire de la construction

L'usine de carbure cémenté de Pékin a été fondée en 1970 à Pékin. Cette entreprise de production de carbure cémenté a été créée pour répondre aux besoins de recherche industrielle et scientifique de la capitale. Centre politique et technologique de la Chine, Pékin compte de nombreux instituts de recherche scientifique (comme l'Institut de recherche sur les métaux non ferreux de Pékin) et une industrie manufacturière haut de gamme. L'objectif de l'usine de carbure cémenté de Pékin est de fournir des matériaux en carbure cémenté haute performance pour ces secteurs.

Construction et développement

À ses débuts, l'usine de carbure cémenté de Pékin produisait principalement des outils de coupe et des moules de précision destinés aux industries de la mécanique et de l'électronique de Pékin et de ses environs. Dans les années 1970, l'usine a collaboré avec l'Institut de recherche sur les métaux non ferreux de Pékin pour développer des moules en carbure cémenté de haute précision destinés à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la fabrication de composants électroniques. Dans les années 1980, après la réforme et l'ouverture, l'usine de Pékin a introduit des technologies étrangères et développé des outils en carbure cimenté revêtus.

Caractéristiques principales

L'usine de carbure cimenté de Pékin est célèbre pour ses applications dans l'usinage de précision, notamment :

Recherche et développement technologiques : coopérer avec l'Institut de recherche sur les métaux non ferreux de Pékin et d'autres institutions pour se concentrer sur le développement de matériaux en carbure cimenté de haute précision.

Domaines d'application : Les produits sont principalement utilisés dans les domaines de fabrication haut de gamme tels que l'industrie électronique et l'aérospatiale, répondant aux besoins de haute technologie de Pékin.

Avantages géographiques : Situé dans la capitale, il est facile d'obtenir un soutien politique et des ressources techniques.

statu quo

L'usine de carbure cimenté de Pékin a été intégrée à l'Institut chinois de recherche sur les métaux non ferreux et se concentre sur la recherche, le développement et la production de matériaux en carbure cimenté haut de gamme. Ses produits sont principalement utilisés dans les secteurs de l'aérospatiale, de l'électronique et de la fabrication de précision. L'entreprise participe également à des projets de recherche scientifique nationaux majeurs, tels que les alliages à haute entropie et les nanomatériaux.

6. Hubei Jiangzuan (Hubei Jiangnan Petroleum Drill Bit Co., Ltd.)

Origine et histoire de la construction

Hubei Jiangzuan, ou Hubei Jiangnan Oil Drill Bit Co., Ltd., a été créée en 1973 et est située à Ville de Jingzhou, province du Hubei. Importante entreprise de production de carbure cimenté, fondée pendant la période de la « troisième ligne » pour soutenir le développement de l'industrie pétrolière. Située dans la plaine de Jiangnan, à proximité du principal gisement pétrolier chinois, Jiangnan Oilfield, elle bénéficie d'une situation géographique privilégiée, idéale pour desservir l'industrie pétrolière. La création de Hubei Jiangzuan s'inscrit dans le contexte du développement rapide de l'industrie pétrolière chinoise dans les années 1970, notamment celui des gisements de Daqing et de Jiangnan, qui a entraîné une forte demande de forets en carbure cimenté haute performance.

Construction et développement

Hubei Jiangzuan s'est initialement concentrée sur la production de forets et d'outils en carbure cimenté pour le forage pétrolier. S'appuyant sur les besoins réels du champ pétrolifère de Jiangnan, elle a développé une gamme de produits en carbure cimenté résistants à l'usure et à haute résistance. À la fin des années 1970, l'usine a collaboré avec des instituts de recherche scientifique nationaux pour développer des forets en carbure cimenté adaptés aux conditions géologiques complexes. Dans

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

les années 1980, après la réforme et l'ouverture, Hubei Jiangzuan a introduit des technologies étrangères de pointe et développé des forets en composite diamanté (PDC), améliorant ainsi l'efficacité du forage.

Caractéristiques principales

Hubei Jiangzuan est réputé pour sa production professionnelle dans le domaine du forage pétrolier, avec les caractéristiques suivantes :

Industrie ciblée : Se concentrer sur les outils en carbure cimenté pour le forage pétrolier, et les produits servent directement les principaux champs pétrolifères nationaux tels que le champ pétrolifère de Jiangnan et le champ pétrolifère de Daqing.

Innovation technologique : La technologie des pièces composites diamantées a été introduite dans les années 1980 et les forets PDC développés ont donné de bons résultats dans le forage de puits profonds et de formations dures.

Avantages géographiques : à proximité du champ pétrolifère de Jiangnan, pratique pour la coopération avec les entreprises pétrolières et réponse rapide à la demande du marché.

statu quo

Hubei Jiangzuan est aujourd'hui une entreprise importante de China Petrochemical Corporation (Sinopec) et l'un des principaux fabricants nationaux de trépan et d'outils en carbure pour le forage pétrolier. Ses produits couvrent les domaines du forage pétrolier et gazier et sont exportés vers le Moyen-Orient, l'Amérique du Nord et d'autres régions. Hubei Jiangzuan continue de promouvoir une fabrication intelligente et de développer des trépan haute performance pour répondre aux besoins du forage en eaux profondes et de l'exploitation des ressources pétrolières et gazières non conventionnelles.

7. Usine de carbure cimenté de Chengdu (Institut de recherche sur les outils de Chengdu)

Origine et histoire de la construction

L'usine de carbure cimenté de Chengdu, basée à l'Institut de recherche sur les outils de Chengdu, a été fondée en 1965 et est située à Chengdu, dans la province du Sichuan. Elle constituait un important centre de production de carbure cimenté dans le sud-ouest du pays pendant la période de la « troisième ligne de construction ». L'Institut de recherche sur les outils de Chengdu a été créé par le ministère de l'Industrie mécanique pour développer des outils de coupe haute performance et des matériaux en carbure cimenté. L'usine de carbure cimenté de Chengdu en est le centre de production.

Construction et développement

À ses débuts, l'usine de carbure cimenté de Chengdu produisait principalement des outils de coupe et des moules destinés aux industries mécaniques et aéronautiques du sud-ouest. Dans les années 1970, l'usine a développé des outils en carbure cimenté de haute précision pour l'usinage des moteurs d'avion. Dans les années 1980, après la réforme et l'ouverture, l'usine de Chengdu a collaboré avec des entreprises étrangères, introduit la technologie de revêtement et développé des outils revêtus haute performance.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Caractéristiques principales

L'usine de carbure cémenté de Chengdu est réputée pour sa recherche et son développement technologiques dans le domaine des outils de coupe, avec les caractéristiques suivantes :

Soutien à la recherche scientifique : S'appuyant sur l'Institut de recherche sur les outils de Chengdu, il dispose de solides capacités de recherche et développement techniques.

Application aéronautique : Les produits sont largement utilisés dans l'industrie aéronautique, comme le traitement des pales de moteurs d'avion.

Coopération technique : Depuis les années 1980, nous coopérons avec des entreprises étrangères pour développer des outils revêtus qui améliorent l'efficacité de coupe.

statu quo

Chengdu Tool Research Institute est désormais une filiale de China National Machinery Industry Corporation, et son activité de production de carbure a été intégrée à Chengdu Tool Co., Ltd. La société se concentre sur la recherche, le développement et la production d'outils de coupe haute performance et de moules en carbure, et ses produits servent les domaines de l'aérospatiale, de la fabrication automobile, etc. Chengdu Tool Research Institute est toujours l'un des centres de R&D de l'industrie nationale de l'outillage.

8. Usine de carbure cémenté de Shanghai

Origine et histoire de la construction

L'usine de carbure cémenté de Shanghai a été fondée en 1958 et est située à Shanghai. Elle est l'une des premières entreprises de production de carbure cémenté fondées après la fondation de la Chine nouvelle. Centre industriel de la Chine, Shanghai a développé des industries de fabrication de machines et d'électronique. La création de l'usine de carbure cémenté de Shanghai vise à répondre à la demande en carbure cémenté de l'est de la Chine.

Construction et développement

À ses débuts, l'usine de carbure cémenté de Shanghai produisait principalement des outils de coupe et des pièces résistantes à l'usure, destinés à l'industrie de l'usinage à Shanghai et dans ses environs. Dans les années 1960, l'usine a collaboré avec l'Université Jiaotong de Shanghai pour développer des moules en carbure cémenté de haute précision destinés à l'industrie électronique. Dans les années 1970, l'usine a commencé à produire des outils miniers pour soutenir le développement minier en Chine de l'Est. Dans les années 1980, après la réforme et l'ouverture, l'usine de Shanghai a introduit des technologies étrangères et développé des outils en carbure cémenté revêtu.

Caractéristiques principales

L'usine de carbure cémenté de Shanghai est célèbre pour ses applications dans les outils de coupe et les industries électroniques, avec les caractéristiques suivantes :

Base industrielle : S'appuyant sur la base industrielle de Shanghai, nos produits sont largement utilisés dans la fabrication de machines et les industries électroniques.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Coopération technique : Coopérer avec l'Université Jiaotong de Shanghai et d'autres universités pour développer des moules en carbure cémenté de haute précision.

Capacité d'exportation : Depuis les années 1980, les produits de l'usine de Shanghai ont commencé à être exportés vers l'Asie du Sud-Est, renforçant ainsi sa compétitivité internationale.

statu quo

L'usine de carbure cémenté de Shanghai a été intégrée à Shanghai Tool Factory Co., Ltd., filiale du groupe Shanghai Electric. L'entreprise se concentre sur la production d'outils de coupe et de moules en carbure cémenté, et ses produits sont destinés à l'industrie automobile, à l'industrie électronique et à d'autres secteurs. L'usine de carbure cémenté de Shanghai continue de jouer un rôle important dans l'industrie du carbure cémenté en Chine de l'Est, tout en promouvant une production intelligente.

9. Usine de carbure cémenté de Xi'an

Origine et histoire de la construction

L'usine de carbure cémenté de Xi'an a été fondée en 1969 et est située à Xi'an, dans la province du Shaanxi. Ce site de production de carbure cémenté a été établi dans le nord-ouest du pays pendant la période de la « troisième ligne de construction ». Importante ville industrielle du nord-ouest, Xi'an dispose d'une industrie aéronautique et d'une industrie de fabrication de machines bien développées. L'implantation de l'usine de carbure cémenté de Xi'an vise à soutenir le développement industriel de la région du nord-ouest.

Construction et développement

L'usine de carbure cémenté de Xi'an produisait initialement des outils miniers et des outils de coupe destinés aux industries minières et de fabrication de machines du Shaanxi et des environs. Dans les années 1970, l'usine a développé des outils en carbure cémenté pour l'industrie aéronautique.

Caractéristiques principales

Services régionaux : Les produits servent principalement les industries minières et aéronautiques de la région du nord-ouest.

Accumulation de technologie : Coopérer avec l'Université Xi'an Jiaotong et d'autres universités pour développer des outils en carbure cémenté hautes performances.

statu quo

L'usine de carbure cémenté de Xi'an a désormais été intégrée dans une filiale de China Aviation Industry Corporation, se concentrant sur la production d'outils en carbure cémenté pour l'aviation.

10. Usine de carbure cémenté de Changsha

Origine et histoire de la construction

L'usine de carbure cémenté de Changsha a été fondée dans les années 1960 et est située dans la ville de Changsha, dans la province du Hunan. S'appuyant sur les ressources en minerai de tungstène du Hunan, elle constitue une nouvelle base de production de carbure cémenté établie dans la province,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

après l'usine 601 de Zhuzhou.

Construction et développement

L'usine de carbure cimenté de Changsha produisait initialement des outils miniers et des pièces résistantes à l'usure pour l'industrie minière du Hunan et des régions avoisinantes. Dans les années 1980, l'usine a développé des outils de coupe pour l'industrie de la fabrication de machines.

Caractéristiques principales

Soutien des ressources : utiliser conjointement les ressources en minerai de tungstène du Hunan avec l'usine Zhuzhou 601.

Collaboration régionale : compléter l'usine de Zhuzhou et soutenir le développement de l'industrie du carbure cimenté du Hunan.

statu quo

L'usine de carbure cimenté de Changsha a désormais été intégrée au groupe de carbure cimenté de Zhuzhou et est devenue l'une de ses bases de production subordonnées, se concentrant sur la production d'outils miniers.

Les usines Zhuzhou 601, Zigong 764, Nanchang 603, Mudanjiang 212, Beijing Cemented Carbide Factory, Hubei Jiangzuan, Chengdu Cemented Carbide Factory, Shanghai Cemented Carbide Factory, Xi'an Cemented Carbide Factory et Changsha Cemented Carbide Factory sont des représentants importants du développement de l'industrie chinoise du carbure cimenté et ont contribué au développement de cette industrie à différentes périodes historiques et dans différents contextes régionaux. Les usines Zhuzhou 601 et Zigong 764 entretiennent des liens indirects en matière d'héritage technologique et de collaboration industrielle, et ont conjointement promu le développement de l'industrie chinoise du carbure cimenté. L'usine 601 de Zhuzhou a posé les bases de l'industrie. Les usines 764 de Zigong, 603 de Nanchang, Jiangzuan du Hubei et Chengdu Cemented Carbide Factory s'appuient sur leurs ressources et leurs atouts régionaux pour servir le Sud-Ouest et l'industrie pétrolière. Les usines de Beijing et Shanghai Cemented Carbide Factory se concentrent sur les applications haut de gamme. L'usine 212 de Mudanjiang soutient l'industrie du Nord-Est et la construction de la défense nationale. Enfin, les usines de Xi'an et Changsha Cemented Carbide Factory desservent les régions du Nord-Ouest et du Hunan. La construction et le développement de ces usines reflètent le parcours de la Chine, de l'introduction des technologies à l'innovation indépendante, et elles continuent de jouer un rôle important dans la fabrication intelligente et verte et la concurrence mondiale.

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 :

le développement de l'industrie du tungstène et du carbure cémenté en Chine

1. Contexte et processus de création

La création de la China Nonferrous Metals Industry Corporation (ci-après dénommée « Nonferrous Metals Corporation ») constitue une étape clé dans la transformation de l'industrie chinoise des métaux non ferreux, passant d'une économie planifiée à une économie de marché. Après la fondation de la République populaire de Chine en 1949, l'industrie des métaux non ferreux était gérée de manière centralisée par l'État, et les ressources en tungstène étaient des minéraux stratégiques très prisés. Après la réforme et l'ouverture de 1978, l'État a progressivement ajusté son système de gestion économique et est passé d'une économie planifiée à une économie de marché. En octobre 1981, la Commission économique d'État a créé l'Administration d'État des métaux non ferreux, conformément aux instructions du Conseil d'État, chargée de coordonner le développement de l'industrie nationale des métaux non ferreux (selon les « Archives économiques sélectionnées de la République populaire de Chine · 1981 »). Le 25 septembre 1982, le Conseil des affaires d'État a publié la « Décision sur l'ajustement du système de gestion des métaux non ferreux » (Guofa [1982] n° 169), décidant de restructurer l'Administration d'État des métaux non ferreux en une personne morale et de créer la Société chinoise de l'industrie des métaux non ferreux. Le 15 avril 1983, le Conseil des affaires d'État a officiellement approuvé le « Rapport de la Commission économique d'État sur la création de la Société chinoise de l'industrie des métaux non ferreux » (Guo Jing [1983] n° 45), et la Société des métaux non ferreux a été officiellement créée et placée sous la direction directe de la Commission de surveillance et d'administration des actifs publics du Conseil des affaires d'État (SASAC). En tant qu'entreprise centrale, elle est responsable de la production, du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

commerce et de la coopération internationale des métaux non ferreux.

La création de la Nonferrous Metals Company est étroitement liée au développement des ressources chinoises en tungstène et à l'internationalisation de l'industrie du carbure cémenté. En février 1983, le Conseil des affaires d'État a publié les « Dispositions relatives à l'expansion des échanges économiques et technologiques extérieurs » (Guofa [1983] n° 28), exigeant de la Nonferrous Metals Company une expérimentation dans des zones économiques spéciales telles que Shenzhen, Zhuhai, Shantou et Xiamen, et accordant une autonomie locale et commerciale en matière d'importation et d'exportation. À cette fin, la Nonferrous Metals Company a ouvert sa première succursale à Hong Kong en juin 1983, puis des bureaux à Shenzhen, Zhuhai et Xiamen, ainsi que des bureaux de représentation au Japon, aux États-Unis, en Corée du Sud, en Australie et ailleurs, construisant ainsi un réseau commercial propice à l'internationalisation des produits en tungstène et en carbure cémenté.

2. Structure organisationnelle

La structure organisationnelle de l'entreprise de métaux non ferreux est conçue pour répondre aux besoins de gestion des industries du tungstène et du carbure cémenté. Elle est divisée en un siège social et des unités subordonnées, couvrant la production, le commerce et la recherche et développement technologiques (selon l'Annuaire de l'industrie des métaux non ferreux de Chine 1985) :

Le siège social

est situé à Pékin et se compose de :

Département de gestion de la production : responsable de la planification de l'extraction du tungstène et de la production de carbure cémenté, et de la gestion des principaux projets d'extraction de tungstène à travers le pays.

Département du commerce d'importation et d'exportation : Responsable de l'attribution des quotas d'exportation et du développement du marché international des produits en tungstène et en carbure cémenté.

Département R&D technologique : Coordonner l'introduction et le développement des technologies du tungstène et du carbure cémenté.

Département des finances : gère les fonds et les coûts.

Département des Ressources Humaines : responsable de la gestion du personnel.

les unités

impliquées dans le tungstène et le carbure cémenté comprennent :

Usine de carbure cémenté de Zhuzhou

Fondée en 1954, l'usine est affiliée à la Nonferrous Metals Company. C'est la plus grande usine de production de carbure cémenté de mon pays, produisant des outils de coupe en WC-Co et des matériaux résistants à l'usure.

Usine de carbure cémenté de Nanchang

L'usine a été créée en 1965 pour produire de la poudre de carbure de tungstène et des produits en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carbure cémenté.

Société nationale chinoise d'importation et d'exportation de métaux non ferreux

Créée en 1983, elle est responsable de l'exportation de tungstène et de carbure cémenté et de l'importation de matières premières.

Centre de recherche et développement technologique de l'industrie du tungstène

Elle a été créée en 1988 en collaboration avec l'Institut de recherche sur les métaux de l'Académie chinoise des sciences, pour développer des alliages haute température à base de tungstène .

Succursales à l'étranger

La succursale de Hong Kong (établie en juin 1983) est la principale fenêtre pour les exportations de tungstène et de carbure cémenté, et les bureaux de représentation au Japon, aux États-Unis, en Corée du Sud et en Australie soutiennent le commerce international.

3. Ressources en tungstène et développement de l'industrie du carbure cémenté

Les entreprises de métaux non ferreux dominent le développement des ressources en tungstène et l'industrie du carbure cémenté en Chine, s'appuyant sur d'abondantes réserves de tungstène et une technologie de pointe.

Développement des ressources en tungstène

Les réserves de tungstène de la Chine sont d'environ 2 millions de tonnes d'équivalent trioxyde de tungstène, soit 47 % du monde (données ITIA 2023), et le Jiangxi représente plus de 60 % du pays. Dans les années 1980, la société non ferreuse a intégré la mine de tungstène de Xihuashan dans le Jiangxi (découverte en 1907, avec une réserve de 200 000 tonnes), la mine de tungstène de Dajishan à Ganzhou (développée en 1958, avec une réserve de 150 000 tonnes) et la mine polymétallique de tungstène de Shizhuyuan dans le Hunan (développée dans les années 1980) . En 1984, le « Sixième Plan quinquennal pour l'industrie des métaux non ferreux » (1981-1985) proposait de limiter le volume annuel d'extraction de minerai de tungstène à 35 000 tonnes afin de préserver la pérennité des ressources. En 1990, la production annuelle de concentré de tungstène des filiales de l'entreprise était d'environ 30 000 tonnes, soit 70 % de la production nationale (Annuaire statistique industriel 1990 du Bureau national des statistiques).

Production de carbure cémenté

Les entreprises de métaux non ferreux favorisent le développement de l'industrie du carbure cémenté. En 1985, l'usine de carbure cémenté de Zhuzhou a introduit la technologie soviétique de la métallurgie des poudres, et la durée de vie de coupe des outils en carbure cémenté WC-6%Co produits était trois fois supérieure à celle de l'acier rapide (Archives techniques de l'Association chinoise de l'industrie des métaux non ferreux). En 1987, l'usine de carbure cémenté de Nanchang a construit une ligne de production avec une production annuelle de 500 tonnes de poudre de carbure de tungstène, pour une valeur de production annuelle d'environ 80 millions de yuans (Statistiques industrielles du Bureau national des statistiques en 1987). En 1990, la production nationale de carbure cémenté était d'environ 15 000 tonnes, dont les filiales de la société des métaux non ferreux ont contribué à environ 60 % (Données du Bureau national des statistiques en 1990). En 1988, le Centre de recherche et de développement technologique a développé des alliages haute température

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

à base de tungstène destinés à être utilisés dans les moteurs des lanceurs.

Gestion des activités d'import-export :

Nonferrous Metals Company est le principal canal d'importation et d'exportation de tungstène et de carbure cémenté. En juin 1983, le Conseil d'État a publié l'« Avis sur l'ajustement de la réglementation relative à l'administration des exportations de métaux non ferreux » (Guofa [1983] n° 87), désignant Nonferrous Metals Company comme responsable de la gestion des quotas. En 1985, environ 15 000 tonnes de produits en tungstène (alliages durs et fils de tungstène) ont été exportées, soit 85 % du pays (Statistiques de l'Administration générale des douanes de 1985), et les principaux marchés étaient le Japon (Mitsui & Co.), les États-Unis (General Electric) et le Canada (Noranda). En 1986, la succursale de Hong Kong s'est enregistrée à la Bourse des métaux de Londres, a coté des produits en tungstène et a participé aux négociations de l'Accord international sur le tungstène. Au début des années 1990, environ 500 tonnes de matières premières de tungstène de haute pureté étaient importées chaque année pour soutenir la production de carbures cémentés haut de gamme (données du ministère du Commerce en 1992).

Politique et soutien technique

En 1988, le Centre de recherche et de développement technologique a développé des alliages haute température à base de tungstène destinés à l'industrie aérospatiale. En 1992, les « Mesures pour l'administration de l'industrie du tungstène » (State Economic and Trade [1992] No. 123) ont réglementé l'exploitation minière et les exportations et restreint l'exploitation minière sans discrimination dans les petites mines.

4. Dissolution et héritage

Le 16 avril 1997, la « Décision sur l'approfondissement de la réforme des entreprises publiques » (Guofa [1997] n° 5) du Conseil des affaires d'État a promu la réorganisation de la Société des métaux non ferreux, et les actifs de haute qualité ont été cédés pour former China Nonferrous Metals Construction (NFC). Le 20 novembre 1997, China Nonferrous Metals Construction a été cotée en bourse (code boursier : 000758) et a repris l'activité d'ingénierie (site web officiel de China Nonferrous Metals Construction : www.nfc.com.cn). En octobre 2003, les « Avis directeurs sur la réorganisation des entreprises publiques » du Conseil d'État (Guofa [2003] n° 96) ont approuvé la dissolution de la Nonferrous Metals Company, et l'activité tungstène et carbure cémenté a été transférée à Jiangxi Tungsten Industry et China Minmetals Group, et les droits de gestion des importations et des exportations ont été restitués au ministère du Commerce.

5. Importance et impact

Les entreprises de métaux non ferreux ont favorisé la transformation du tungstène et du carbure cémenté en Chine, passant d'une économie planifiée à une économie de marché. Grâce à leur stratégie d'internationalisation, les exportations de tungstène représentent 50 % du total mondial (rapport ITIA 1990). En 2023, la production de concentré de tungstène atteindra 114 000 tonnes et la part de la transformation en profondeur du carbure cémenté atteindra 40 % (données du Bureau national des statistiques en 2023), témoignant des bases industrielles qu'elles ont posées.

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 :

**ISO 513:2012 Classification et application des matériaux de coupe durs,
arêtes pour la coupe des métaux - Désignation des principales catégories et catégories
d'application**

Classification et application des matériaux de coupe durs pour l'enlèvement de métal avec des arêtes de coupe définies — Désignation des principaux groupes et groupes d'application

Version chinoise de la norme internationale « ISO 513:2012 »

Norme n°
ISO 513:2012

Nom standard (chinois)

Classification et application des matériaux de coupe durs, matériaux à arêtes de coupe définies pour la coupe des métaux - Désignation des classes principales et des classes d'application

Nom standard (original anglais)

Classification et application des matériaux de coupe durs pour l'enlèvement de métal avec des arêtes de coupe définies — Désignation des principaux groupes et groupes d'application

Agence d'édition

Organisation internationale de normalisation (ISO)

Comité technique

ISO/TC 29/SC 9 (Comité technique pour les petits outils/Sous-comité sur les matériaux de coupe durs)

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

Première date de sortie

5 novembre 2012

État de la version actuelle

Date de sortie : 5 novembre 2012

Dernière révision et confirmation : 2018

État actuel : Actuellement en vigueur (au 20 mai 2025)

Langues

Langues officielles : anglais, français

Traduction chinoise : version non officielle (ce document est traduit du chinois)

Champ d'application

La présente Norme internationale spécifie la classification et l'application des matériaux de coupe durs pour les opérations d'enlèvement de copeaux métalliques, notamment des matériaux tels que le carbure cémenté (métal dur), la céramique, le diamant et le nitrure de bore cubique, et identifie leurs principales catégories et catégories d'application. Elle s'applique aux outils à arêtes de coupe définies pour les opérations de coupe de matériaux métalliques.

Champ d'application non applicable :

Outils miniers et autres outils d'impact ;

Filières de tréfilage;

Outils pour le travail par déformation des métaux ;

Contact comparateur et autres utilisations.

Système de classification

Cette norme divise les matériaux de coupe durs en catégories principales et catégories d'application, qui sont les suivantes :

Principales catégories par type de matériau :

Carbure cémenté (métal dur, code : H) : à base de carbure de tungstène (WC) ou de carbure de titane (TiC), associé à des liants tels que le cobalt (Co) ou le nickel (Ni).

Céramiques (code : C) : notamment l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), le nitrure de silicium (Si_3N_4), etc.

Diamant (code : D) : comprend le diamant naturel et le diamant polycristallin synthétique (PCD).

Nitrure de bore cubique (code : B) : comprend le nitrure de bore cubique monocristallin (CBN) et le nitrure de bore cubique polycristallin (PCBN).

Catégories de candidatures (par finalité de traitement) :

Catégorie P (adapté au traitement de l'acier) : comme l'acier ordinaire, l'acier inoxydable et l'acier

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

allié.

Classe M (adapté au traitement de l'acier inoxydable et des alliages résistants à la chaleur) : tels que l'acier inoxydable austénitique et les alliages à base de nickel.

Classe K (adapté au traitement de la fonte) : comme la fonte grise et la fonte ductile.

Catégorie N (adapté au traitement des métaux non ferreux) : tels que l'aluminium, le cuivre et leurs alliages.

Catégorie S (adapté au traitement des alliages haute température) : tels que les alliages de titane et les alliages haute température à base de nickel.

Classe H (adapté à l'usinage de matériaux durs) : tels que l'acier trempé (dureté > 45 HRC) et la fonte dure.

Comment spécifier la catégorie d'application

Structure du code : Chaque catégorie d'application est représentée par une combinaison de lettres et de chiffres.

La lettre indique le type de matériau traité (P, M, K, N, S, H).

Le nombre indique le niveau des conditions de coupe ou des propriétés du matériau (généralement de 01 à 50, plus le nombre est élevé, plus les conditions de coupe sont sévères ou plus le matériau est dur).

Exemple : P10 signifie une coupe à charge légère adaptée au traitement de l'acier ; K20 signifie une coupe à charge moyenne adaptée au traitement de la fonte.

Exemple de combinaison :

Outils en carbure, nom de code « HM P20 » : désigne un matériau en carbure (HM), adapté à la coupe à charge moyenne (20) du traitement de l'acier (P).

Outil en nitrure de bore cubique, nom de code « BN H05 » : indique un matériau en nitrure de bore cubique (BN), adapté à la découpe à charge légère (05) du traitement des matériaux durs (H).

Objectif de la norme

Classification unifiée : Fournir un système de classification unifié à l'échelle mondiale pour les matériaux de coupe durs, permettant aux fabricants et aux utilisateurs de choisir plus facilement les matériaux de coupe appropriés.

Guide d'application : En spécifiant les principales catégories et catégories d'application, il aide les utilisateurs à sélectionner les matériaux de coupe durs les plus adaptés en fonction des matériaux de traitement et des conditions de coupe.

Promouvoir le commerce : Normaliser les codes et les classifications pour promouvoir le commerce international et les échanges techniques de matériaux de coupe durs.

Normes connexes

ISO 1832 : Système de désignation des outils coupants utilisé pour spécifier la géométrie et le matériau de l'outil.

ISO 5608 : Système de désignation des outils de tournage et de fraisage.

ISO 9001 : Norme relative au système de gestion de la qualité (relative à la production de matériaux de coupe durs).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Scénarios d'utilisation

Cette norme est largement utilisée dans l'industrie de l'usinage, y compris, mais sans s'y limiter :

Fabrication automobile : usinage de pièces de moteurs, vilebrequins, engrenages, etc.

Aérospatiale : Traitement de pièces en alliage haute température et en alliage de titane.

de moules : usinage de moules en acier trempé .

Machines générales : traitement de pièces en fonte et en métaux non ferreux.

Comment l'obtenir

Source officielle : [Des versions PDF ou papier sont disponibles à l'achat en anglais ou en français sur le site officiel de l'ISO \(www.iso.org\).](#)

Autres canaux : Obtenir auprès de distributeurs agréés tels que ANSI (American National Standards Institute), BSI (British Standards Institution), etc.

Remarque : certains pays et régions peuvent fournir des versions traduites, mais l'exactitude des versions traduites doit être garantie.

Histoire

ISO 513:2004 : Version précédente, publiée en 2004 et remplacée par la version actuelle en 2012.

ISO 513:1991 : Version antérieure, publiée en 1991 et remplacée en 2004.

Notes supplémentaires

Cette norme ne traite pas des paramètres de performance spécifiques des matériaux de coupe durs (tels que la dureté, la résistance à la flexion, etc.). Les utilisateurs doivent faire leurs choix en fonction des données fournies par le fournisseur du matériau.

Le code de catégorie d'application de cette norme doit être utilisé en conjonction avec les conditions de coupe (telles que la vitesse de coupe, la vitesse d'avance, la méthode de refroidissement) pour garantir les meilleurs résultats d'usinage.

en conclusion

La norme ISO 513:2012 fournit une spécification unifiée à l'échelle mondiale pour la classification et l'application des matériaux de coupe durs. Elle couvre une variété de matériaux tels que le carbure cémenté, la céramique, le diamant et le nitrure de bore cubique, et convient à divers scénarios d'usinage des métaux. Grâce à un système de codes clair, les utilisateurs peuvent rapidement sélectionner les matériaux de coupe adaptés pour améliorer l'efficacité de l'usinage et la durée de vie des outils. Cette norme revêt une importance capitale pour l'industrie de l'usinage et favorise la normalisation et l'application internationale des matériaux de coupe durs.

Notes supplémentaires

Le contenu ci-dessus est basé sur des informations provenant du site Web officiel de l'ISO et d'autres bases de données standard pour garantir l'exactitude et l'autorité.

Les noms chinois et certaines descriptions sont traduits et édités, et ne constituent pas la version chinoise officielle de l'ISO, et sont fournis à titre de référence uniquement.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Si vous avez besoin d'obtenir le texte original de la norme ou des informations plus détaillées, il est recommandé de visiter le site Web officiel de l'ISO ou de contacter un distributeur agréé.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Classification et application des matériaux de coupe durs pour l'enlèvement de métal avec des arêtes de coupe définies — Désignation des principaux groupes et groupes d'application
Classification et application des matériaux de coupe durs, matériaux à arêtes de coupe définies pour la coupe des métaux
- Désignation des catégories principales et des catégories d'application

Norme internationale *ISO 513:2012* (version anglaise)

Numéro standard
ISO 513:2012

Titre standard (anglais)

Classification et application des matériaux de coupe durs pour l'enlèvement de métal avec des arêtes de coupe définies — Désignation des principaux groupes et groupes d'application

Titre standard (traduit en chinois pour référence)

Classification et application des matériaux de coupe durs, matériaux à arêtes de coupe définies pour la coupe des métaux - Désignation des classes principales et des classes d'application

Organisation d'édition

Organisation internationale de normalisation (ISO)

Comité technique

ISO/TC 29/SC 9 (Comité technique pour les petits outils / Sous-comité pour les matériaux de coupe durs)

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

Date de première publication

5 novembre 2012

État de la version actuelle

Date de publication : 5 novembre 2012

Dernière révision et confirmation : 2018

Statut actuel : Actif (au 20 mai 2025)

Versions linguistiques

Langues officielles : anglais, français

Autres langues : Des traductions non officielles peuvent être disponibles dans certaines régions (par exemple , le chinois, comme indiqué ci-dessus)

Portée

La présente Norme internationale spécifie la classification et l'application des matériaux de coupe durs utilisés pour l'enlèvement de métal à arêtes de coupe définies, notamment les métaux durs (carbures), les céramiques, le diamant et le nitrure de bore cubique. Elle désigne les principaux groupes et domaines d'application de ces matériaux. La norme s'applique aux outils à arêtes de coupe définies utilisés pour la coupe de matériaux métalliques.

Exclusions :

Outils pour l'exploitation minière ou autres applications d'impact ;

Filières de tréfilage;

Outils utilisés pour le formage des métaux par déformation ;

Applications telles que les pointes de contact de comparateur ou autres utilisations non coupantes.

Système de classification

La norme classe les matériaux de coupe durs en groupes principaux et groupes d'application comme suit :

Groupes principaux (en fonction du type de matériau) :

Métaux durs (Code : H) : À base de carbure de tungstène (WC) ou de carbure de titane (TiC) avec du cobalt (Co) ou du nickel (Ni) comme liants.

Céramique (Code : C) : Comprend l'aluminium (Al_2O_3), le nitrure de silicium (Si_3N_4), etc.

Diamant (Code : D) : Comprend le diamant naturel et le diamant polycristallin (PCD).

Nitrure de bore cubique (code : B) : comprend le nitrure de bore cubique monocristallin (CBN) et le nitrure de bore cubique polycristallin (PCBN).

Groupes d'application (en fonction de l'utilisation de l'usinage) :

Groupe P (pour l'usinage de l'acier) : comprend l'acier ordinaire, l'acier inoxydable et l'acier allié.

Groupe M (Pour l'usinage de l'acier inoxydable et des alliages résistants à la chaleur) : Comprend

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'acier inoxydable austénitique et les alliages à base de nickel.

Groupe K (Pour l'usinage de la fonte) : Comprend la fonte grise, la fonte ductile.

Groupe N (pour l'usinage des métaux non ferreux) : comprend l'aluminium, le cuivre et leurs alliages.

Groupe S (Pour l'usinage d'alliages à haute température) : Comprend les alliages de titane, les superalliages à base de nickel.

Groupe H (Pour l'usinage de matériaux durs) : Comprend l'acier trempé (> 45 HRC), la fonte dure.

Méthode de désignation des groupes d'application

Structure du code : Chaque groupe d'applications est représenté par une combinaison de lettres et de chiffres.

La lettre indique le type de matériau à usiner (P, M, K, N, S, H).

Le numéro indique l'état de coupe ou le niveau de performance du matériau (généralement de 01 à 50 ; les numéros plus élevés indiquent des conditions plus exigeantes ou des matériaux plus durs).

Exemple : P10 indique l'aptitude à la découpe de l'acier sous charge légère ; K20 indique l'aptitude à la découpe de la fonte sous charge moyenne.

Exemples de combinaisons :

en métal dur , code « HM P20 » : Indique un matériau en métal dur (HM) adapté à la coupe à charge moyenne (20) de l'acier (P).

Outil en nitrure de bore cubique, code « BN H05 » : Indique un matériau en nitrure de bore cubique (BN) adapté à la coupe sous faible charge (05) de matériaux durs (H).

Objectif de la norme

Classification unifiée : fournit un système de classification reconnu mondialement pour les matériaux de coupe durs, facilitant la sélection par les fabricants et les utilisateurs.

Guide d'application : aide les utilisateurs à sélectionner le matériau de coupe le plus approprié en fonction du matériau usiné et des conditions de coupe.

Facilitation du commerce : normalise les codes et les classifications pour promouvoir le commerce international et les échanges techniques de matériaux de coupe durs.

Normes connexes

ISO 1832 : Système de désignation des outils coupants, spécifiant la géométrie et le matériau de l'outil.

ISO 5608 : Système de désignation des outils de tournage et de fraisage.

ISO 9001 : Norme relative au système de gestion de la qualité (applicable à la production de matériaux de coupe durs).

Scénarios d'utilisation

Cette norme est largement appliquée dans l'industrie de l'usinage, y compris, mais sans s'y limiter :

Fabrication automobile : Usinage de composants de moteurs, vilebrequins, engrenages, etc.

Aéronautique : Usinage d'alliages haute température et d'alliages de titane.

Fabrication de moules : Usinage de moules en acier trempé.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Machines générales : Usinage de composants en fonte et en métaux non ferreux.

Disponibilité

Source officielle : Disponible à l'achat au format PDF ou papier sur le site officiel de l'ISO (www.iso.org).

Autres canaux : Disponibles auprès de distributeurs agréés tels que ANSI (American National Standards Institute), BSI (British Standards Institution), etc.

Remarque : Certaines régions peuvent fournir des versions traduites, mais l'exactitude doit être vérifiée par rapport aux versions officielles anglaises ou françaises.

Versions historiques

ISO 513:2004 : Version précédente, publiée en 2004, remplacée par la version 2012.

ISO 513:1991 : Version antérieure, publiée en 1991, remplacée par la version de 2004.

Notes supplémentaires

Cette norme ne spécifie pas les paramètres de performance des matériaux de coupe durs (par exemple , dureté, résistance à la flexion). Les utilisateurs doivent se référer aux données des fournisseurs de matériaux pour des spécifications détaillées.

Les codes de groupe d'application doivent être utilisés en conjonction avec les conditions de coupe (par exemple , la vitesse de coupe, la vitesse d'avance, la méthode de refroidissement) pour garantir des performances d'usinage optimales.

Conclusion

La norme ISO 513:2012 fournit un cadre normalisé à l'échelle mondiale pour la classification et l'application des matériaux de coupe durs, couvrant les métaux durs , les céramiques, le diamant et le nitrure de bore cubique. Elle s'applique à un large éventail de situations d'usinage. Grâce à un système de désignation clair, la norme permet aux utilisateurs de sélectionner efficacement les matériaux de coupe appropriés, améliorant ainsi l'efficacité de l'usinage et la durée de vie des outils. Cette norme joue un rôle important dans l'industrie de l'usinage, favorisant la normalisation et l'application internationale des matériaux de coupe durs.

Notes supplémentaires

Le contenu est compilé sur la base des informations provenant du site Web officiel de l'ISO et des bases de données standard, garantissant ainsi l'exactitude et l'authenticité.

La traduction chinoise fournie précédemment est fournie à titre de référence uniquement et ne constitue pas une version ISO officielle.

Pour le texte standard original ou pour plus de détails, il est recommandé de visiter le site Web officiel de l'ISO ou de contacter un distributeur agréé.

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 :

Comparaison du carbure cémenté, de l'acier rapide et des matériaux extra-durs

1. Définition et composition

Type de matériau	définition	Ingrédients principaux
carbure cémenté Métal dur / carbure cémenté	Un matériau composite fritté à partir de particules de carbure dur et de liant métallique, avec une dureté élevée et une forte résistance à l'usure.	Phase dure : carbure de tungstène (WC, 70,95%), carbure de titane (TiC), carbure de tantale (TaC). Phase liante : cobalt (Co, 5,15%), nickel (Ni).
Acier rapide Acier rapide , HSS	Acier à outils hautement allié contenant du carbone et divers éléments d'alliage, adapté à la coupe à grande vitesse et à une bonne ténacité.	Alliage à base de fer : carbone (C, 0,71,5 %), tungstène (W, 6,18 %), molybdène (Mo, 5,10 %), chrome (Cr, 4 %), vanadium (V, 1,5 %) et cobalt (Co, 0,8 %).
Matériaux extra-durs Matériaux ultra-durs	Les matériaux dont la dureté est proche ou supérieure à celle du diamant naturel sont utilisés pour un traitement de haute précision ou extrême.	Diamant naturel, diamant synthétique (PCD), nitrure de bore cubique (CBN), céramiques (telles que Si ₃ N ₄ , Al ₂ O ₃).

Support de données :

Carbure cémenté : dureté WC ~1600-2200 HV, la teneur en cobalt affecte la ténacité (ScienceDirect, 2020).

Acier rapide : les nuances typiques incluent M2 (W6Mo5Cr4V2), dureté ~6065 HRC (ASTM A600).

Matériaux ultra-durs : dureté du diamant ~8000-10000 HV, CBN ~4500 HV (Wikipedia, 2024).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Comparaison des performances

performance	carbure cémenté	Acier rapide	Matériaux extra-durs
dureté	Élevé (1400-2200 HV), deuxième après les matériaux super durs, avec une excellente résistance à l'usure.	Moyen (6065 HRC, environ 700850 HV), inférieur au carbure cémenté.	Très élevé (400010000 HV), très résistant à l'usure, adapté aux conditions extrêmes.
dureté	Une teneur moyenne à élevée en cobalt (par exemple 10 à 15 %) présente une bonne ténacité, mais est sujette à l'écaillage.	Haute résistance aux chocs, adaptée aux coupes complexes.	Faible, facile à cassant et nécessite un support matriciel (tel que du PCD attaché au carbure cémenté).
Résistance à la chaleur	Bon (8001000°C), adapté à la découpe à haute température.	Moyenne (500-600°C), la dureté diminue à haute température.	Excellent (diamant ~700°C, CBN ~1400°C), le CBN présente une résistance à la chaleur particulièrement bonne.
Résistance à la corrosion	Mieux encore, la phase cobalt est résistante à la corrosion, aux acides et aux alcalis.	En général, il s'oxyde facilement et nécessite une protection par revêtement.	Excellente stabilité chimique élevée du diamant/CBN.
Vitesse de coupe	Haute vitesse (100 500 m/min), adaptée à un traitement efficace.	Moyen (30100 m/min), inférieur au carbure.	Très haute vitesse (500-2000 m/min), adaptée à l'usinage à très grande vitesse .

Support de données :

Carbure cémenté : la vitesse de coupe est 35 fois supérieure à celle de l'acier rapide (Sandvik, 2023).

Acier rapide : après traitement thermique, la dureté peut atteindre 65 HRC, mais elle se ramollit au-dessus de 600°C (ScienceDirect, 2020).

Matériaux ultra-durs : la vitesse de coupe du CBN des alliages à haute température peut atteindre 1 000 m/min (Wikipedia, 2024).

3. Processus de fabrication

Type de matériau	Processus de fabrication	Caractéristiques
carbure cémenté	Métallurgie des poudres : Mélange de poudre de carbure (WC, TiC) et de poudre de cobalt, moulage par compression et frittage à haute température (1350-1450°C).	Le procédé est mature, la granulométrie est contrôlable (0,52 μ m) et la teneur en cobalt peut ajuster les performances.
Acier rapide	Fusion, coulée, traitement thermique (trempe + revenu), et peut être formé par forgeage et laminage.	Nécessite un traitement thermique précis (comme une trempe à 1200°C) et peut être rectifié à plusieurs reprises.
Matériaux extra-durs	Synthèse haute pression et haute température (HPHT, 5000°C, 5 GPa, comme PCD, CBN), dépôt chimique en phase vapeur (CVD, revêtement diamant).	Le processus est complexe, le coût est élevé et il nécessite le support d'un substrat (tel que du carbure cémenté).

Support de données :

Carbure cémenté : le temps de frittage est de 12 heures, la taille des grains affecte la coercivité (ISO 3326:2013).

Acier rapide : le processus de traitement thermique est répétable et améliore la durée de vie de l'outil (ASTM A600).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Matériaux ultra-durs : la synthèse HPHT consomme beaucoup d'énergie et l'épaisseur du revêtement CVD est de 520 µm (ScienceDirect, 2020).

4. Domaines d'application

Type de matériau	Principales applications	Scénarios typiques
carbure cémenté	Outils de coupe (outils de tournage, fraises), matrices, forets, outils miniers.	Traitement de l'acier, de la fonte, de l'acier inoxydable ; tels que les outils YG8 pour le traitement grossier.
Acier rapide	Forets, fraises, tarauds, lames de scie et outils pour formes complexes.	Découpe à basse vitesse, traitement de matériaux tendres (tels que l'aluminium, le cuivre) ; tels que les forets M2.
Matériaux extra-durs	Outils d'usinage de précision, outils abrasifs, matrices de tréfilage, revêtements résistants à l'usure.	Traitement d'alliages, de céramiques et de matériaux composites à haute température ; comme l'utilisation d'outils CBN pour traiter des pièces d'aviation.

Support de données :

Carbure cémenté : représente environ 50 % du marché mondial des outils.

Acier rapide : faible coût, représentant environ 30 % du marché des outils bas de gamme.

Matériaux ultra-durs : marché haut de gamme, les outils PCD/CBN sont utilisés dans l'aérospatiale .

5. Comparaison des avantages et des inconvénients

Type de matériau	avantage	défaut
carbure cémenté	Dureté élevée, forte résistance à l'usure. Bonne résistance à la chaleur, convient à la coupe à grande vitesse. Performances réglables (teneur en cobalt, granulométrie).	Sa ténacité est inférieure à celle de l'acier rapide et son tranchant est facile à casser. Son coût est supérieur à celui de l'acier rapide. Il n'est pas adapté aux usinages à basse vitesse et à fort impact.
Acier rapide	Haute ténacité, forte résistance aux chocs. Rectification répétable, faible coût. Outils de formes complexes faciles à usiner.	Faible dureté et résistance à la chaleur. Vitesse de coupe lente et faible rendement. Usure facile et remplacement fréquent.
Matériaux extra-durs	Dureté extrêmement élevée et longue durée de vie. Convient à l'usinage ultra-rapide et de précision. Stabilité chimique et résistance à la corrosion élevées.	Très fragile et sujet à l'écaillage. Fabrication extrêmement coûteuse. Ne convient pas à l'usinage des métaux ferreux (diamant).

Support de données :

Carbure cémenté : la durée de vie de l'outil est 510 fois plus longue que celle de l'acier rapide (Sandvik, 2023).

Acier rapide : Le coût n'est que de 20 à 30 % de celui du carbure cémenté ().

Matériaux ultra-durs : la durée de vie de l'outil CBN peut atteindre 1050 fois celle du carbure cémenté (Wikipedia, 2024).

6. Coût et économie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Type de matériau	coût	Économique
carbure cimenté	Moyen (50 100 \$ par kg).	à coût élevé , adaptées au traitement de milieu à haut de gamme, longue durée de vie et fréquence de remplacement réduite.
Acier rapide	Faible (520 \$ par kg).	Convient pour un traitement à faible coût et en petits lots, mais avec un coût de maintenance élevé (un broyage est nécessaire).
Matériaux extra-durs	Élevé (1 000 à 5 000 \$ par kg).	Convient pour l'usinage haut de gamme et de précision, avec un coût initial élevé mais une durée de vie extrêmement longue.

7. Sélectionnez les suggestions

Carbure cimenté : adapté à la coupe à vitesse moyenne et élevée , au traitement général (acier, fonte, acier inoxydable), dureté et ténacité équilibrées, largement utilisé dans la production industrielle.

Acier rapide : adapté à la coupe à basse vitesse, au traitement de matériaux tendres (aluminium, cuivre) ou aux outils complexes (tarauds, outils de formage), et est privilégié lorsque le budget est limité.

Matériaux ultra-durs : adaptés à l'usinage ultra-rapide et de précision (alliages haute température, céramiques, matériaux composites), tels que les pièces aérospatiales et automobiles, qui nécessitent une haute précision et une longue durée de vie.

Exemple:

Usinage fonte : outil carbure (YG6), vitesse 150 m/min, durée de vie 23 heures.

Traitement de l'alliage d'aluminium : foret en acier rapide (M2), vitesse 50 m/min, faible coût.

Traitement de l'alliage de titane : lame CBN, vitesse 800 m/min, durée de vie 10 heures.

En conclusion

Le carbure cimenté, l'acier rapide et les matériaux ultra-durs ont chacun leurs propres avantages et conviennent à différents scénarios de traitement :

Métal dur / carbure cimenté : dureté élevée, résistance à l'usure, adapté à la coupe à vitesse moyenne et élevée , performances de coût élevées et pilier de l' industrie.

Acier rapide (HSS) : haute ténacité, faible coût, adapté à l'usinage à basse vitesse et aux outils complexes, mais faible résistance à la chaleur.

Matériaux ultra-durs (PCD/CBN) : dureté et durée de vie extrêmement élevées, adaptés à l'usinage de précision et à grande vitesse, mais coût élevé et fragilité élevée.

Le choix doit être basé sur le matériau à traiter (acier, aluminium, céramique), la vitesse de coupe, les exigences de précision et le budget. Le carbure est un choix courant, l'acier rapide est adapté aux applications à faible coût, et les matériaux extra-durs sont destinés aux applications haut de gamme.

Données de référence :

Dureté : carbure cimenté 14002200 HV, acier rapide 700850 HV, matériaux extra-durs 400010000 HV (ScienceDirect, 2020).

Norme : ISO 3326, ASTM B886, GB/T 3849 (test de saturation magnétique des alliages durs).

Marché : Le carbure représente environ 50 % du marché des outils et les matériaux ultra-durs environ 10 % (Sandvik, 2023).

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 :

Qu'est-ce que le carbure de tungstène ?

1. Qu'est-ce que l'acier au tungstène ?

L'acier au tungstène est un acier fortement allié dont le tungstène (W) est le principal élément d'alliage. Sa teneur en tungstène est généralement comprise entre 3 et 18 % (fraction massique), complétée par du carbone (C, 0,5 à 1,5 %), du chrome (Cr, 1 à 5 %), du molybdène (Mo, 0,5 à 5 %), du vanadium (V, 0,5 à 2 %) et d'autres éléments. Cet alliage métallique est obtenu par fusion, forgeage, laminage et traitement thermique. Il est reconnu pour sa dureté élevée (HV 600 à 1 000), son excellente résistance à l'usure, sa bonne dureté à rouge (maintien de la dureté à haute température, $\leq 700\text{ }^{\circ}\text{C}$) et sa ténacité élevée ($K_{Ic} 20\text{ à }50\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), et est largement utilisé dans les outils de coupe, les moules, les couteaux, les pièces résistantes à l'usure et les domaines militaires.

Acier au tungstène et carbure cémenté

Le carbure cémenté est un matériau composite composé de carbures tels que le carbure de tungstène (WC) comme matrice, liés au cobalt (Co) ou au nickel (Ni) par métallurgie des poudres. Sa dureté est plus élevée (HV1000–1800), mais sa ténacité est plus faible. L'acier au tungstène est un alliage métallique homogène. Le tungstène est présent dans la matrice de fer (Fe) sous forme de solution solide ou de carbure (comme le WC, le W₂C). Sa ténacité et son usinabilité sont supérieures, et son coût est environ trois fois inférieur à celui du carbure cémenté. L'acier au tungstène est également souvent considéré comme une sous-catégorie de l'acier rapide (HSS), mais sa teneur en tungstène et ses performances sont plus étendues.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Selon les prévisions du marché pour 2025, le marché de l'acier au tungstène représentera environ 22 milliards de RMB, soit 16 % du marché de l'acier allié, avec un taux de croissance annuel composé (TCAC) d'environ 5,2 %. Les principaux moteurs de cette croissance sont la croissance de la demande pour la fabrication industrielle, les moules automobiles, les nouveaux équipements énergétiques et les couteaux médicaux.

2. Types et caractéristiques de l'acier au tungstène

L'acier au tungstène se divise en plusieurs types selon leur teneur en tungstène, leurs éléments d'alliage et leur application. Chaque type est optimisé pour des performances spécifiques. Voici les principaux types et leurs caractéristiques, présentés dans un tableau pour une présentation claire :

Type d'acier au tungstène	Notes typiques	Ingrédients principaux	Dureté (HV)	Ténacité (K _{1c} , MPa·m ^{1/2})	Dureté rouge (°C)	Résistance à l'abrasion (ASTM G65, mm ³)	Applications typiques
Acier au tungstène rapide	T1, M2, M35	W 6–12 %, Cr 3–5 %, V 1–2 %, Mo 0,5–5 %, C 0,7–1,2 %	800–900	25–40	≤650	20–40	Outils de coupe (tels que fraises, forets)
Moule en acier au tungstène	D2, A2, H13	W 5–10 %, Cr 4–6 %, Mo 1–3 %, C 1–1,5 %	700–850	30–50	≤600	30–50	Matrice d'estampage à froid, matrice de forgeage à chaud
Acier au tungstène super dur	PM-M4, ASP23	W 9–18 %, Cr 3–5 %, V 1–3 %, C 0,8–1,3 %	900–1000	20–30	≤700	<30	Outils de haute précision, moules complexes
Acier au tungstène résistant à la corrosion	440C, acier au tungstène médical	W 5 à 10 %, Cr 10 à 15 %, Ni 1 à 3 %, C 0,5 à 1 %	700–850	25–40	≤600	30–50	Couteaux médicaux, équipements chimiques
Acier au tungstène militaire	Alliage de noyau perforant	W 10–18 %, Cr 3–5 %, Mo 1–5 %, C 0,8–1,2 %	800–950	20–35	≤650	20–40	Noyaux perforants, pièces d'armure
Acier au tungstène issu de la	ASP60, Vanadis 4 Extra	W 6–12 %, Cr 3–5 %, V 1–3 %, C 0,7–1,2 %	900–1000	25–35	≤700	<30	Outils de coupe haut de gamme,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Historique du développement de l'acier au tungstène

Le développement de l'acier au tungstène est étroitement lié à la révolution industrielle et à l'industrie manufacturière moderne. Voici quelques étapes clés :

Fin du XIXe siècle (années 1860-1890)

Contexte : La révolution industrielle nécessitait des matériaux d'outillage hautement résistants à l'usure, mais les premiers aciers à outils n'étaient pas suffisamment durs (HV200–300).

Percée : En 1868, le métallurgiste britannique Robert Mushet a ajouté pour la première fois du tungstène à l'acier et a développé un « acier auto-durcissant » (acier Mushet) contenant 2 à 3 % de tungstène, avec une dureté de HV400 et une résistance à l'usure deux fois plus élevée, pour une utilisation dans les outils de tour.

Limites : Faible teneur en tungstène, dureté rouge insuffisante (<400°C).

Début du XXe siècle (années 1900-1920)

La naissance de l'acier rapide : En 1900, Taylor et White des États-Unis ont développé un acier rapide (T1) contenant 7 % de tungstène, avec une dureté de HV600–700, une dureté rouge $\leq 600^{\circ}\text{C}$ et une vitesse de coupe multipliée par 3, posant ainsi les bases de l'acier au tungstène.

Application industrielle : Dans les années 1910, les outils de coupe en acier au tungstène étaient largement utilisés dans la fabrication automobile (comme la chaîne de production du modèle T de Ford), augmentant l'efficacité de 50 %.

Événements clés : 1914-1918, la demande de la Première Guerre mondiale stimule l'extraction du tungstène (Chine, Portugal), les prix du tungstène montent à 10 \$/kg.

Milieu du XXe siècle (années 1930-1960)

Optimisation des alliages : Dans les années 1930, Cr, Mo et V ont été ajoutés pour développer des nuances telles que M2 (6 % W) et D2 (8 % W), avec une dureté de HV700-850 et une ténacité augmentée de 20 %.

Technologie de traitement thermique : Dans les années 1940, le processus de trempe + revenu en plusieurs étapes était mature, réduisant les contraintes internes de 30 % et prolongeant la durée de vie du moule de 2 fois.

Application militaire : Pendant la Seconde Guerre mondiale, l'acier au tungstène a été utilisé dans les noyaux de balles perforantes (contenant 12 % de W), augmentant la pénétration de 30 %.

Métallurgie des poudres : Dans les années 1960, la granulométrie de l'acier au tungstène de métallurgie des poudres (tel que PM-M4) a été affinée à $<10\ \mu\text{m}$, la dureté était HV900 et la résistance à l'usure a été augmentée de 40 %.

Fin du XXe siècle (années 1970-1990)

TiN et TiAlN déposés par PVD/CVD (épaisseur 2 à 5 μm) ont réduit le coefficient de frottement à $<0,4$ et prolongé la durée de vie de l'outil de 3 à 5 fois.

Acier au tungstène ultra-dur : années 1990, ASP23, ASP60 et autres nuances avec une dureté HV950-1000, défiant le marché bas de gamme du carbure cémenté.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Domaine médical : L'acier au tungstène médical contenant 6 à 8 % de tungstène est utilisé dans les couteaux chirurgicaux et sa résistance à la corrosion est augmentée de 50 %.

21e siècle (années 2000-2025)

Nano-renforcement : Dans les années 2010, l'acier au tungstène renforcé au nano-carbure (<0,5µm) présente une dureté proche de HV1000 et une résistance à l'usure augmentée de 30%.

Fabrication verte : Dans les années 2020, le recyclage de l'acier au tungstène (taux de recyclage > 85 %) réduira les coûts de 20 % et l'empreinte carbone de 30 %.

Applications émergentes : D'ici 2025, la demande en acier au tungstène dans les moules de véhicules à énergie nouvelle (durée de vie prolongée de 40 %), les engrenages éoliens (résistance à l'usure multipliée par 2) et le forage géothermique (résistance aux hautes températures > 600°C) va augmenter considérablement.

Intelligence : l'IA optimise les paramètres de traitement thermique (erreur < 3 %), augmentant l'efficacité de la production de 25 %.

5. Utilisations de l'acier au tungstène

L'acier au tungstène est largement utilisé dans les domaines suivants en raison de sa dureté élevée, de sa dureté à chaud et de sa ténacité. Les utilisations et cas spécifiques sont présentés dans le tableau suivant :

utiliser	Produits typiques	Marque	Dureté (HV)	Performances clés	Applications typiques	Cas
Outils de coupe	Fraise, foret	M2	850	Dureté rouge ≤ 650 °C, volume d'usure 20-40 mm³	Traitement de l'acier et des alliages d'aluminium	Fraise Sandvik M2, traitement de l'alliage d'aluminium aéronautique, efficacité augmentée de 25 %, le coût est de 40 % du carbure cémenté
Fabrication de moules	Matrice d'estampage à froid, matrice de forgeage à chaud	D2	800	Portez Life 1,5 million de fois	Emboutissage de pièces automobiles	Poinçon Zhuzhou Diamond D2, plaque d'acier d'emboutissage, durée de vie de 1,5 million de fois
Couteaux et outils de coupe	Scalpel, ciseaux	440C	900	Résistance à la corrosion (perte de poids < 0,2 mg/cm²)	Chirurgie orthopédique, découpe industrielle	Scalpel en acier Aichi, précision de coupe ± 0,005 mm, résistance à la corrosion augmentée de 50 %
Pièces résistantes à l'usure	Arbre de pompe, manchon palier	Alliage contenant 8 % de poids	750	Usure < 50 mm³	Ingénierie marine, équipements chimiques	Arbre de pompe China First Heavy Industries, durée de vie de la résistance à l'usure doublée
Militaire	Noyau	Alliage	900	Pénétration : 600 mm	Projectiles	Noyau US M829A4, pénétration

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	perforant	contenant 15 % de poids		de blindage	perforants, pièces d'armure	augmentée de 20 %
Nouvelle énergie	Forets géothermiques, engrenages pour éoliennes	Alliage contenant 8 % de poids	850	Résistance aux hautes températures > 600°C	Forage géothermique, équipement éolien	Foret géothermique Epiroc, 15 % plus efficace
Fabrication médicale et de précision	Forets dentaires, micro-fraises	Contient 6 % de tungstène médical	850-900	Précision ± 0,01 mm, résistant à la corrosion	Chirurgie dentaire, usinage de précision	Foret dentaire diamanté de Zhuzhou, résistance à l'usure multipliée par 3, exportations vers l'UE augmentées de 25 % en 2024

illustrer:

Application : Couvrant les outils de coupe, les moules, les outils de coupe, les pièces résistantes à l'usure, l'industrie militaire, les nouvelles énergies, le traitement médical et l'extraction de données quantitatives.

Cas : Chaque utilisation correspond à un cas spécifique, répertoriant des données telles que l'amélioration des performances et la comparaison des coûts, et ne conservant que les descriptions chinoises.

6. Similitudes et différences entre l'acier au tungstène et l'acier rapide

L'acier au tungstène et l'acier rapide se recoupent en termes de composition et d'application, mais présentent des différences significatives. Le tableau suivant compare leurs similitudes et leurs différences :

caractéristiques	Acier au tungstène	Acier rapide (HSS)
définition	Une large gamme d'aciers fortement alliés contenant 3 à 18 % de tungstène, couvrant un large éventail d'utilisations	Une sous-catégorie d'acier au tungstène, contenant 6 à 12 % de tungstène, conçue pour la coupe à grande vitesse
Notes typiques	D2, H13, 440C, PM-M4	T1, M2, M35, M42
Ingrédients principaux	W 3-18 %, Cr 1-15 %, Mo 0,5-5 %, V 0,5-2 %, C 0,5-1,5 %	W 6-12 %, Cr 3-5 %, Mo 0,5-5 %, V 1-2 %, C 0,7-1,2 %
Dureté (HV)	600-1000	800-900
Ténacité (K _{1c} , MPa · m ^{1/2})	20-50	25-40
Dureté rouge (°C)	≤700	≤650
Résistance à la corrosion	Certaines nuances sont excellentes (comme le 440C, perte de poids au brouillard salin < 0,2 mg/cm ²)	Général (faible teneur en Cr)
Processus de fabrication	Fusion, forgeage, traitement thermique ; un peu de métallurgie des poudres	Fusion, forgeage, traitement thermique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Coût (USD/kg)	10–50	15–30
Applications typiques	Outils de coupe, moules, pièces résistantes à l'usure, industrie militaire, médicale	Outils de coupe (tels que forets, fraises)

illustrer:

Similitudes : Les deux sont des aciers fortement alliés contenant du tungstène, du Cr, du Mo, du V, etc., utilisant des procédés de fusion et de traitement thermique, adaptés à la découpe et aux moules.

Différences : L'acier au tungstène a une gamme plus large (y compris l'acier rapide, l'acier à matrice, etc.) et des applications diversifiées ; l'acier rapide est optimisé pour la coupe à grande vitesse, et sa dureté rouge et sa résistance à la corrosion sont légèrement inférieures.

Comparaison de cas :

Acier rapide : foret M2 (6%W), dureté HV850, pour le traitement de l'acier à faible teneur en carbone, avec une durée de vie 5 fois supérieure à celle de l'acier ordinaire.

Acier au tungstène : matrice D2 (8% W), dureté HV800, acier inoxydable embouti, durée de vie jusqu'à 1 million de fois.

7. Similitudes et différences entre l'acier au tungstène et le carbure cémenté

L'acier au tungstène et le carbure cémenté utilisent tous deux le tungstène comme élément clé, mais leurs propriétés et leurs applications diffèrent sensiblement. Le tableau suivant compare leurs similitudes et leurs différences :

caractéristiques	Acier au tungstène	carbure cémenté
définition	Acier fortement allié, contenant 3 à 18 % de tungstène, alliage métallique homogène	Composites à base de carbure, contenant 70 à 94 % de WC, etc. + Co/Ni
Ingrédients principaux	W 3–18 %, Cr 1–15 %, Mo 0,5–5 %, V 0,5–2 %, C 0,5–1,5 %, base Fe	WC, TiC, TaC (70 à 94 %), Co/Ni (6 à 20 %)
structure	Particules de martensite + carbure (WC, Cr ₃ C ₂)	Particules de carbure + phase liante
Dureté (HV)	600–1000	1000–1800
Ténacité (K _{1c} , MPa · m ^{1/2})	20–50	8–20
Dureté rouge (°C)	≤700	≤1000
Résistance à la corrosion	Certaines nuances sont excellentes (comme le 440C, perte de poids au brouillard salin < 0,2 mg/cm ²)	À base de Ni (comme YN8, perte de poids < 0,1 mg/cm ²)
Densité (g/cm ³)	7,8–8,5	12–15,6
Processus de fabrication	Fusion, forgeage, traitement thermique ; un peu de métallurgie des poudres	Métallurgie des poudres (mélange, pressage, frittage)
Coût (USD/kg)	10–50	50–150
Applications typiques	Outils de coupe, moules, engrenages militaires, médicaux et éoliens	Outils de haute précision, pics miniers, matériaux de pulvérisation

illustrer:

Similitudes : les deux contiennent du tungstène et ont une meilleure dureté et résistance à l'usure

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

que l'acier ordinaire, ce qui les rend adaptés aux couteaux et aux pièces résistantes à l'usure.

Différences : L'acier au tungstène est un alliage métallique à haute ténacité et à faible coût ; le carbure cémenté est un matériau composite à haute dureté mais également à haute fragilité.

Comparaison de cas :

Acier au tungstène : fraise M2 (6%W), dureté HV850, traitement en alliage d'aluminium, le coût est de 40% du carbure cémenté.

Carbure : lame YG6 (base WC, 6% Co), dureté HV1500, traitement de l'acier inoxydable, durée de vie 3 fois supérieure à celle de l'acier au tungstène.

8. Procédé de fabrication de l'acier au tungstène

L'acier au tungstène est préparé par un procédé métallurgique traditionnel, le déroulement du processus est le suivant :

Préparation des matières premières :

Tungstène : ajouté sous forme de ferrotungstène (FeW , contenant 70 à 80 % W) ou de poudre de tungstène, avec une pureté > 99,5 %.

Autres éléments : Cr, Mo, V sous forme de ferroalliage, C ajouté sous forme de graphite.

Mélange : Le four de fusion sous vide assure l'homogénéité de la composition (écart < 0,5%).

Fonte:

Équipement : Four à arc électrique ou four à induction moyenne fréquence, température de fusion 1500–1600°C.

Procédé : désoxydation et désulfuration, contrôle de la teneur en oxygène à < 50 ppm et de la teneur en soufre à < 0,02 %.

Coulée et formage :

Coulée continue : formation de lingots avec écart dimensionnel <1%.

Forgeage/laminage à chaud : 1 000 à 1 200 °C, affinage du grain à 5 à 20 µm, augmentation de la résistance de 15 %.

Traitement thermique :

Trempe : 850–950°C, refroidissement eau/huile, formage de martensite, dureté HV800–1000.

Revenu : 200–600 °C, revenu en plusieurs étapes, ténacité augmentée de 20 %, contrainte interne réduite de 30 %.

Recuit : 700–800 °C (pour l'acier à matrice) pour améliorer l'aptitude au traitement.

Traitement de surface :

Cémentation/nitruration : la dureté de surface est augmentée à HV1000 et la résistance à l'usure est augmentée de 30 %.

Revêtement PVD/CVD : TiN , TiAlN , CrN (épaisseur 2–5 µm), coefficient de frottement < 0,4, durée de vie prolongée de 3 fois.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Acier au tungstène issu de la métallurgie des poudres

Procédé : Poudre brute (granulométrie 1–10 μm) \rightarrow pressage \rightarrow frittage (1400–1500 $^{\circ}\text{C}$) \rightarrow pressage isostatique à chaud (HIP).

Avantages : granulométrie uniforme (<10 μm), dureté HV900–1000 et résistance à l'usure augmentée de 40 %.

9. Normes relatives à l'acier au tungstène en Chine, aux États-Unis, à l'international et dans le monde entier

En tant qu'acier fortement allié, ses performances et son application sont strictement réglementées par les normes établies par divers pays et organismes internationaux de normalisation. Ces normes précisent la composition chimique, les propriétés mécaniques, le procédé de traitement thermique et les méthodes d'essai de l'acier au tungstène afin de garantir la qualité et la cohérence des produits dans le commerce international. Les normes applicables à l'acier au tungstène sont présentées ci-dessous, du point de vue de la Chine, des États-Unis, de l'ISO et d'autres pays (Japon, Union européenne, Australie, etc.), et sont comparées à l'aide de tableaux.

9.1 Normes chinoises

Les normes chinoises relatives à l'acier au tungstène sont élaborées par l'Administration nationale de normalisation (SAC) et le Système national de normalisation chinois (GB/T). Elles couvrent l'acier rapide, l'acier pour matrices et les aciers alliés spéciaux. La Chine étant le premier producteur mondial de tungstène (67 000 tonnes de métal en 2024, soit 83 % de la production mondiale), ses normes ont une influence significative sur le marché mondial de l'acier au tungstène.

Principales normes de l'acier au tungstène en Chine :

GB/T 9943-2008 : Acier à outils rapide

La composition chimique (par exemple W 6–18 %), la dureté (HV800–900) et le processus de traitement thermique des nuances telles que T1 (W18Cr4V) et M2 (W6Mo5Cr4V2) sont spécifiés.

GB/T 1299-2014 : Acier à outils allié

Couvre les aciers à matrice tels que D2 (Cr12Mo1V1, contenant 8% W) avec une résistance à la traction spécifiée (> 1500 MPa) et une résistance à l'usure (volume d'usure ASTM G65 < 50 mm^3).

GB/T 20878-2007 : Acier inoxydable et acier résistant à la chaleur

L'acier au tungstène médical standard (tel que le 440C, contenant 5 à 10 % de W) nécessite une résistance à la corrosion (perte de poids au brouillard salin < 0,2 mg/cm^2).

Caractéristiques : Accent mis sur une dureté et une résistance à l'usure élevées, adapté aux besoins de l'industrie manufacturière chinoise (comme les moules automobiles, le forage géothermique).

Intégrer les normes ISO (telles que ISO 4957) pour garantir la conformité des produits d'exportation.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ressources en tungstène par le biais de quotas d'extraction de tungstène (13 582 tonnes de quotas d'exportation en 2024) et de tarifs douaniers à l'exportation (tarif de 10 % sur les États-Unis en février 2025), affectant la chaîne d'approvisionnement mondiale.

9.2 Normes américaines

Les normes américaines relatives à l'acier au tungstène sont principalement élaborées par ASTM International et l'AISI (American Iron and Steel Institute) et sont largement utilisées en Amérique du Nord et sur le marché mondial. Les normes ASTM sont reconnues pour leur rigueur et leur internationalisation (12 575 normes, adoptées par plus de 140 pays).

Principales normes des normes américaines en acier au tungstène :

ASTM A600-92a (2021) : Acier à outils rapide

Normaliser les grades tels que T1 et M2, spécifier la teneur en W (6–18 %), la dureté (HV800–900) et la dureté rouge ($\leq 650^{\circ}\text{C}$).

ASTM A681-08 (2022) : Acier à outils allié

Couvre les aciers moulés tels que D2 et H13, nécessitant une ténacité ($K_{Ic} 30\text{--}50 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) et résistance à l'usure (perte par usure $< 50 \text{ mm}^3$).

ASTM A276/A276M-23 : Barres et profilés en acier inoxydable

Spécification de l'acier au tungstène médical contenant du W (tel que 440C), nécessitant une résistance à la corrosion et une précision ($\pm 0,01 \text{ mm}$).

Caractéristiques : Accent mis sur les tests de performance mécanique (tels que la résistance à la traction ASTM E8, la résistance à l'abrasion ASTM G65) pour garantir la cohérence du produit.

Elle est souvent citée dans les réglementations fédérales américaines (comme le National Technology Transfer and Promotion Act de 1995) et devient une norme obligatoire.

Application : Les normes ASTM sont largement utilisées dans l'industrie militaire américaine (comme le noyau de projectile perforant M829A4) et dans la fabrication aéronautique (fraise Sandvik M2).

9.3 Normes internationales (ISO)

L'Organisation internationale de normalisation (ISO) élabore des normes mondiales pour l'acier au tungstène, coordonne les normes nationales et favorise les échanges commerciaux et techniques. La Chine, les États-Unis et le Japon sont membres de l'ISO, et la Chine participe à ses activités depuis 1947.

Critères principaux :

ISO 4957:2018 : Aciers à outils, spécification pour les aciers rapides (tels que T1, M2) et les

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aciers pour matrices (tels que D2)

La teneur en W (3–18 %), la dureté (HV600–1000) et le processus de traitement thermique sont spécifiés.

ISO 683-17:2023 : Acier traité thermiquement, acier allié et acier inoxydable

Couvre les aciers médicaux au tungstène contenant du W (par exemple 440C) où la résistance à la corrosion et la biocompatibilité sont requises (conformément à la norme ISO 10993).

ISO 513:2012 : Classification des outils coupants en carbure cémenté et en acier rapide

Définir les propriétés des outils de coupe en acier au tungstène (telles que la dureté rouge $\leq 700^{\circ}\text{C}$).

Caractéristiques : Fournit un cadre commun, permettant aux pays de développer des normes locales dans le cadre de l'ISO (comme GB/T faisant référence à l'ISO 4957).

En mettant l'accent sur la reconnaissance mutuelle transfrontalière, l'ISO et le Comité européen de normalisation (CEN) ont renouvelé en 2022 leur accord de coopération technique pour étendre l'application des normes sur le carbure de tungstène.

Application : Les normes ISO sont largement utilisées dans la fabrication mondiale d'outils de coupe (outils de coupe Kennametal M2), de moules et d'équipements de nouvelles énergies.

9.4 Autres normes dans le monde

Les normes relatives à l'acier au tungstène dans d'autres pays (tels que le Japon, l'Union européenne, l'Australie et l'Afrique) ont leurs propres caractéristiques, reflétant les besoins régionaux et les contextes industriels :

Japon (JIS)

JIS G 4403:2021 : Acier à outils rapide

Les spécifications pour SKH2 (T1) et SKH51 (M2) nécessitent une valeur W de 6 à 18 % et une dureté HV800 à 900, qui conviennent aux outils de coupe dans les zones sujettes aux tremblements de terre.

Caractéristiques : Accent mis sur la résistance aux chocs et la haute précision. En 2025, JIS prévoit de mettre à jour la norme G4403 et d'y ajouter des normes sur l'acier au tungstène médical.

Application : Couteau chirurgical en acier Aichi, conforme à la norme JIS G4404 (acier inoxydable).

Union européenne (EN) :

EN ISO 4957:2018 : Synchronisé avec l'ISO

Spécifications 1.2080 (D2), 1.2379 (y compris l'acier à matrice W), exigences de résistance à l'usure (usure $< 50 \text{ mm}^3$) et certification CE.

Caractéristiques : Accent mis sur la protection de l'environnement et la résistance à la corrosion. En 2025, l'UE prévoit de réviser la norme EN 10083 et d'ajouter une nouvelle norme pour l'acier militaire contenant du W.

Application : outil Bohler ASP60 selon EN ISO 4957.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Australie (AS/NZS) :

AS 1444:2007 : Acier allié

La spécification spécifie un acier à outils contenant du W avec une dureté de HV600–900, adapté aux équipements miniers.

Caractéristiques : En référence à l'ISO et à l'ASTM, la norme AS 1444 devrait être mise à jour en 2025 pour ajouter des normes en acier au tungstène pour les nouveaux engrenages énergétiques.

Afrique:

SANS 50025 (Afrique du Sud) et ISO 10721

Spécification pour les aciers de construction et d'outillage, y compris les aciers contenant du W destinés à être utilisés dans l'exploitation minière et le forage géothermique.

Caractéristiques : En raison de l'absence de normes unifiées, l'Afrique adopte majoritairement les normes ISO. En 2025, l'Union africaine prévoit de lancer des normes régionales pour l'acier au tungstène.

9.5 Comparaison standard

Le tableau suivant compare les normes d'acier au tungstène de la Chine, des États-Unis, de l'ISO et des principaux pays, en soulignant les différences de nuances, de composition et d'application :

organismes de normalisation	Norme représentative	Notes typiques	Teneur en tungstène (%)	Dureté (HV)	Exigences clés	Applications typiques
Chine GB/T	GB/T 9943-2008	T1 (W18Cr4V), M2 (W6Mo5Cr4V2)	6–18	800–900	Dureté rouge $\leq 650^{\circ}\text{C}$, volume d'usure $< 40 \text{ mm}^3$	Outils de coupe, moules
ASTM	ASTM A600-92a	T1, M2, D2	6–18	800–900	Ténacité $K_{Ic} 25\text{--}50 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, résistance à la traction ASTM E8	Couteaux militaires
ISO internationale	ISO 4957:2018	T1, M2, D2	3–18	600–1000	Procédé de traitement thermique, résistance à la corrosion	Outils de coupe et moules mondiaux
JIS du Japon	JIS G4403:2021	SKH2 (T1), SKH51 (M2)	6–18	800–900	Résistance aux chocs, précision $\pm 0,01 \text{ mm}$	Couteaux médicaux et outils de coupe
UE FR	EN ISO 4957:2018	1,2080 (D2), 1,2379	5–10	700–850	Certifié CE, résistance à l'abrasion $< 50 \text{ mm}^3$	Moules et outils de coupe

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Australie AS/NZS	AS 1444:2007	acier à outils contenant du W	3-10	600-900	Résistance à l'usure minière	Équipement minier, forets géothermiques
---------------------	--------------	----------------------------------	------	---------	------------------------------	---

Gamme standard : les normes chinoises GB/T et américaines ASTM mettent l'accent sur la dureté et la résistance à l'usure, l'ISO fournit un cadre général, le JIS japonais se concentre sur la résistance aux chocs et la précision, et l'EN de l'UE exige une certification environnementale.

Reconnaissance mutuelle : la norme ISO 4957 est la référence mondiale. Les normes GB/T 9943, ASTM A600 et JIS G4403 font toutes référence à l'ISO pour garantir la cohérence des échanges transfrontaliers.

9.6 Application standard et défis

application:

Chine : la norme GB/T 9943 régleme les outils de coupe Zhuzhou Diamond M2 et les exportations vers l'UE doivent être conformes à la norme ISO 4957.

États-Unis : la norme ASTM A600 garantit la qualité des fraises Sandvik M2, et les normes militaires (telles que MIL-STD) exigent une pénétration plus élevée.

International : La norme ISO 4957 harmonise la production mondiale d'outils de Kennametal et réduit les barrières commerciales.

défi:

Différences entre les normes : la gamme de composition (par exemple C 0,5-1,5 %) et les méthodes d'essai (ASTM E8 vs. ISO 6892) des différents pays ne sont pas totalement cohérentes, ce qui augmente le coût de la certification transfrontalière.

Délai de mise à jour : Le développement de normes pour de nouveaux matériaux tels que l'acier au tungstène issu de la métallurgie des poudres (PM-M4) est lent et les révisions en 2025 doivent être accélérées.

10. Tendances futures du carbure de tungstène

Acier au tungstène ultra-dur : contient 12 à 18 % de tungstène, avec une dureté de HV950 à 1000, remplaçant le carbure cémenté bas de gamme, et sa part de marché devrait atteindre 20 %.

Technologie de revêtement : Le revêtement nano-composite (tel que TiSiN) a un coefficient de frottement de < 0,3 et prolonge la durée de vie de l'outil de 5 fois.

Fabrication verte : taux de recyclage > 90%, empreinte carbone réduite à 15 kg CO₂/kg, coût réduit de 25%.

Intelligence : l'IA optimise les processus de traitement thermique et de revêtement, avec une erreur de paramètre inférieure à 2 % et une efficacité augmentée de 30 %.

Applications émergentes :

Nouvelles énergies : engrenages pour éoliennes (résistance à l'usure multipliée par 2), moules pour véhicules électriques (durée de vie prolongée de 40%).

Médical : Outils de coupe en acier micro tungstène, précision ± 0,005 mm, croissance de la demande 15 %/an.

Géothermie/hauts fonds : Foret en acier au tungstène résistant aux hautes températures et à la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

corrosion, efficacité augmentée de 20 %.

11. Limites et défis du carbure de tungstène

Limite de dureté : HV600–1000, inférieure à celle du carbure cimenté (HV1000–1800), ne convient pas à l'usure sous charge ultra-élevée.

Résistance à la corrosion : La teneur en Cr est limitée et la résistance aux acides ($\text{pH} < 4$) n'est pas aussi bonne que celle du carbure cimenté à base de Ni (YN8).

Performances à haute température : dureté rouge ≤ 700 °C, inférieure au carbure cimenté (≤ 1000 °C), limitant la coupe à haute température.

Dépendance aux ressources : les fluctuations du prix du tungstène (réserves mondiales de 3,4 millions de tonnes, dont 70 % en Chine) (20 à 30 dollars/kg) affectent les coûts.

Difficulté de traitement : après la trempe, la dureté est élevée et un meulage au diamant est nécessaire, et le coût de traitement représente 20 à 30 %.

12. Conclusion

En tant qu'acier fortement allié, l'acier au tungstène joue un rôle important dans les outils de coupe, les moules, les outils de coupe, les pièces résistantes à l'usure, l'industrie militaire et les nouvelles énergies grâce à sa dureté, sa résistance à l'usure, sa dureté à chaud et sa ténacité élevées. Il existe différents types (acier au tungstène rapide, acier au tungstène pour moules, acier au tungstène extra-dur, etc.) et ses performances sont constamment optimisées grâce aux traitements thermiques, aux revêtements et à la métallurgie des poudres. Comparé à l'acier rapide, l'acier au tungstène est plus largement utilisé ; comparé au carbure cimenté, il offre une ténacité élevée et un faible coût, mais sa dureté et sa résistance aux hautes températures sont légèrement inférieures. La Chine, les États-Unis, l'ISO et d'autres normes nationales (telles que GB/T, ASTM, ISO 4957) réglementent la production d'acier au tungstène afin de garantir la qualité et la cohérence commerciale. À l'avenir, l'acier au tungstène extra-dur, la fabrication verte et les procédés intelligents favoriseront son application dans la fabrication de haute précision et l'industrie durable. Malgré les défis liés à la dépendance aux ressources, à la difficulté de traitement et aux différences de normes, l'acier au tungstène restera un matériau clé à l'ère de l'industrie 4.0 et des nouvelles énergies.

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