

Guide complet de l'électroérosion en fil de molybdène

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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

PRÉSENTATION DE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, une filiale en propriété exclusive dotée d'une personnalité juridique indépendante établie 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. CHINATUNGSTEN ONLINE, fondée en 1997 avec www.chinatungsten.com comme point de départ – le premier site Web de produits en tungstène de premier plan en Chine – est la société de commerce électronique pionnière du pays axée sur les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares. S'appuyant sur 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, des services supérieurs et de la réputation commerciale mondiale de sa société mère, devenant ainsi un fournisseur de solutions d'application complètes dans les domaines des produits chimiques à base de tungstène, des métaux de tungstène, des carbures cémentés, des alliages à haute densité, du molybdène et des alliages de molybdène.

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, desservant près de 100 000 abonnés et fournissant quotidiennement des informations gratuites à des centaines de milliers de professionnels de l'industrie dans le monde entier. Avec des milliards de visites cumulatives sur son site Web et son compte officiel, elle est devenue un centre d'information mondial reconnu et faisant autorité pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares, fournissant des informations multilingues 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, les performances des produits, les prix du marché et les tendances du marché.

S'appuyant sur la technologie et l'expérience de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP se concentre sur la satisfaction des besoins personnalisés des clients. À l'aide de la technologie de l'IA, elle conçoit et produit en collaboration des produits en tungstène et en molybdène avec des compositions chimiques et des propriétés physiques spécifiques (telles que la taille des particules, la densité, la dureté, la résistance, les dimensions et les tolérances) avec ses clients. Elle offre des services intégrés complets allant de l'ouverture du moule, de la production d'essai, à la finition, à l'emballage et à 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, jetant ainsi les bases d'une fabrication personnalisée, flexible et intelligente. S'appuyant sur cette base, CTIA GROUP approfondit encore la fabrication intelligente et l'innovation intégrée des matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel.

Le Dr Hanns et son équipe de CTIA GROUP, sur la base de leurs plus de 30 ans d'expérience dans l'industrie, ont également rédigé et publié des analyses de connaissances, de technologies, de prix du tungstène et de tendances du marché liées au tungstène, au molybdène et aux terres rares, les partageant librement avec l'industrie du tungstène. Le Dr Han, avec 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 à haute densité, est un expert renommé dans les produits de tungstène et de molybdène, tant au niveau national qu'international. Adhérant au principe de fournir des informations professionnelles et de haute qualité à l'industrie, l'équipe de CTIA GROUP rédige en permanence des documents de recherche technique, des articles et des rapports sur l'industrie en fonction des pratiques de production et des besoins des clients du marché, ce qui lui vaut de nombreux éloges dans l'industrie. Ces réalisations constituent un soutien solide à l'innovation technologique, à la promotion des produits et aux échanges industriels de CTIA GROUP, ce qui lui permet de devenir un chef de file mondial dans la fabrication de produits en tungstène et en molybdène et les services d'information.



Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Répertoire

Chapitre 1 : Introduction

- 1.1 Définition et aperçu de l'électroérosion à fil de molybdène
- 1.2 Contexte technique de l'électroérosion à fil
- 1.3 L'importance du fil de molybdène dans l'EDM
- 1.4 Importance de la recherche et de l'application

Chapitre 2 : Caractéristiques de l'électroérosion à fil de molybdène

- 2.1 Propriétés chimiques de l'électroérosion en fil de molybdène
 - 2.1.1 Propriétés chimiques de base de l'élément molybdène
 - 2.1.2 Exigences de pureté
 - 2.1.3 Résistance à la corrosion
- 2.2 Propriétés physiques de l'électroérosion à fil de molybdène
 - 2.2.1 Point de fusion élevé
 - 2.2.2 Densité et dureté
 - 2.2.3 Conductivité électrique et thermique
- 2.3 Caractéristiques mécaniques de l'électroérosion à fil de molybdène
 - 2.3.1 Résistance à la traction
 - 2.3.2 Allongement
 - 2.3.3 Courbure et uniformité du diamètre du fil
- 2.4 Propriétés géométriques de l'électroérosion en fil de molybdène
 - 2.4.1 Tolérance du diamètre du fil
 - 2.4.2 Douceur et rondeur de la surface
- 2.5 Propriétés thermophysiques de l'électroérosion à fil de molybdène
 - 2.5.1 Stabilité à haute température
 - 2.5.2 Résistance aux hautes températures
- 2.6 Autres caractéristiques de l'électroérosion en fil de molybdène
 - 2.6.1 Traitement de surface
 - 2.6.2 Résistance à l'abrasion et durabilité
- 2.7 Fiche signalétique de l'électroérosion en fil de molybdène de CTIA GROUP LTD

Chapitre 3 : Classifications de l'électroérosion à fil de molybdène

- 3.1 Fil de molybdène à haut rendement pour l'électroérosion
- 3.2 Fil de molybdène de haute précision pour EDM
- 3.3 Fil de molybdène pour HS-EDM
- 3.4 Fil de molybdène pour MS-EDM
- 3.5 Fil de molybdène spécial pour l'EDM

Chapitre 4 : Processus de préparation et de production de l'électroérosion en fil de molybdène

- 4.1 Sélection des matières premières pour l'électroérosion en fil de molybdène
 - 4.1.1 Matières premières de molybdène de haute pureté
 - 4.1.2 Dopage des éléments des terres rares

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 4.2 Processus de production de l'électroérosion en fil de molybdène
 - 4.2.1 Métallurgie des poudres de molybdène
 - 4.2.2 Frittage et forgeage
 - 4.2.3 Procédé d'emboutissage rotatif
 - 4.2.4 Processus de tréfilage
 - 4.2.5 Traitement de surface de l'électroérosion à fil de molybdène
- 4.3 Technologies clés de l'électroérosion à fil de molybdène
 - 4.3.1 Technologie de matrice de tréfilage de haute précision
 - 4.3.2 Technologie de contrôle de la température et de traitement thermique
 - 4.3.3 Optimisation du processus de dopage
- 4.4 Contrôle de la qualité de l'électroérosion à fil de molybdène
 - 4.4.1 Contrôle de la cohérence du diamètre du fil
 - 4.4.2 Détection et traitement des défauts de surface
 - 4.4.3 Essai de résistance à la traction

Chapitre 5 : Utilisations de l'électroérosion à fil de molybdène

- 5.1 Traitement par électroérosion à fil
 - 5.1.1 Fabrication de moules
 - 5.1.2 Traitement complexe des formes et des microstructures
 - 5.1.3 Traitement de pièces de haute précision
- 5.2 Application de la source lumineuse électrique
 - 5.2.1 Barrières, crochets, entretoises
 - 5.2.2 Fil central et fil chauffant
- 5.3 Pulvérisation thermique
 - 5.3.1 Renforcement et réparation de la surface
 - 5.3.2 Préparation des revêtements résistants à l'usure
- 5.4 Autres applications industrielles
 - 5.4.1 Traitement des matériaux aérospatiaux
 - 5.4.2 Fabrication d'instruments médicaux
 - 5.4.3 Applications dans l'industrie électronique

Chapitre 6 : Équipement de production pour l'électroérosion à fil de molybdène

- 6.1 Équipement de préparation des matières premières
 - 6.1.1 Équipement de production de poudre de molybdène
 - 6.1.2 Fours de frittage
- 6.2 Équipement de tréfilage
 - 6.2.1 Machine de tréfilage de haute précision
 - 6.2.2 Matrices de dessin de pierres précieuses
- 6.3 Équipement de traitement de surface
 - 6.3.1 Équipement de lavage caustique
 - 6.3.2 Équipement de polissage électrolytique
 - 6.3.3 Équipement de revêtement en émulsion de graphite
- 6.4 Équipement de traitement thermique

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 6.4.1 Fours de traitement thermique sous vide
- 6.4.2 Fours de recuit
- 6.5 Équipement d'essai et de contrôle de la qualité
- 6.5.1 Instrument de mesure du diamètre du fil
- 6.5.2 Détecteur de défauts de surface
- 6.5.3 Machine d'essai de résistance à la traction

Chapitre 7 : Normes nationales et étrangères pour l'électroérosion à fil de molybdène

- 7.1 Normes nationales pour l'électroérosion à fil de molybdène
 - 7.1.1 GB/T 4182-2017
 - 7.1.2 GB/T 3462-2017
 - 7.1.3 Autres normes pertinentes de l'industrie
- 7.2 Normes internationales pour l'électroérosion à fil de molybdène
 - 7.2.1 Spécification standard ASTM B387 pour les barres, les fils et les plaques en molybdène et en alliage de molybdène
 - 7.2.2 Certification du système de management de la qualité ISO 9001
 - 7.2.3 Autres normes internationales pour les produits à base de molybdène
- 7.3 Analyse comparative standard de l'électroérosion à fil de molybdène
 - 7.3.1 Différences entre les normes canadiennes et étrangères
 - 7.3.2 L'impact des normes sur la qualité des produits

Chapitre 8 : Méthodes de détection de l'électroérosion à fil de molybdène

- 8.1 Essai de composition chimique de l'électroérosion à fil de molybdène
 - 8.1.1 Analyse spectrale (ICP-MS)
 - 8.1.2 Essais de pureté du molybdène
- 8.2 Essai des propriétés physiques
 - 8.2.1 Mesure du diamètre et de la tolérance du fil
 - 8.2.2 Essai de rugosité de surface
- 8.3 Essai des propriétés mécaniques
 - 8.3.1 Essai de résistance à la traction
 - 8.3.2 Essai d'allongement et de courbure
- 8.4 Essai des propriétés thermophysiques
 - 8.4.1 Essai de stabilité à haute température
 - 8.4.2 Essais de conductivité électrique et thermique
- 8.5 Inspection de la qualité de surface
 - 8.5.1 Observation microscopique
 - 8.5.2 Techniques d'essais non destructifs
- 8.6 Essai d'adaptabilité environnementale
 - 8.6.1 Essai de résistance à la corrosion
 - 8.6.2 Essai d'oxydation à haute température

Chapitre 9 : Optimisation et amélioration technique de l'électroérosion à fil de molybdène

- 9.1 Méthodes d'amélioration de la résistance à la traction et de la durabilité

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 9.2 Optimisation du processus de traitement de surface
- 9.3 Techniques pour réduire le taux de rupture du fil
- 9.4 Innovations pour améliorer l'efficacité de la coupe
- 9.5 Application de la technologie de production intelligente
 - 9.5.1 Contrôle automatique du tréfilage
 - 9.5.2 Système de surveillance de la qualité en temps réel

Chapitre 10 : Marché et développement de l'électroérosion à fil de molybdène

- 10.1 Aperçu du marché mondial
 - 10.1.1 Principaux pays et régions producteurs
 - 10.1.2 Taille du marché et analyse de la demande
- 10.2 Tendances du développement
 - 10.2.1 Recherche et développement de diamètres de fil plus minces
 - 10.2.2 Procédés de production respectueux de l'environnement
 - 10.2.3 Substitution de nouveaux matériaux

Chapitre 11 : Installation et utilisation de l'électroérosion en fil de molybdène

- 11.1 Étapes d'installation de l'électroérosion à fil
 - 11.1.1 Enfilage et fixation du fil de molybdène
 - 11.1.2 Contrôle de contact entre la roue de guidage et le bloc conducteur
- 11.2 Précautions d'emploi
 - 11.2.1 Réglage des paramètres de courant et de tension
 - 11.2.2 Prévenir la rupture et le glissement du fil
- 11.3 Entretien et remplacement
 - 11.3.1 Réglage de la tension du fil de molybdène
 - 11.3.2 Nettoyage et inspection réguliers

Chapitre 12 : Sécurité et protection de l'environnement de l'électroérosion à fil de molybdène

- 12.1 Mesures de sécurité pendant la production
 - 12.1.1 Traitement des poussières et des gaz d'échappement
 - 12.1.2 Règlement sur la sécurité du fonctionnement de l'équipement
- 12.2 Exigences en matière de protection de l'environnement
 - 12.2.1 Recyclage et élimination des déchets
 - 12.2.2 Technologies de production vertes

Chapitre 13 : Problèmes courants et solutions de l'électroérosion à fil de molybdène

- 13.1 Problèmes de rupture de fil et méthodes de traitement
- 13.2 Solutions à une précision de coupe insuffisante
- 13.3 Problèmes de qualité de surface et mesures d'amélioration
- 13.4 Stratégies d'adaptation en cas de perte excessive de fil

Chapitre 14 : Perspectives d'avenir de l'électroérosion à fil de molybdène

- 14.1 Potentiel dans la fabrication haut de gamme

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

14.2 Défis posés par les nouveaux matériaux et les technologies de remplacement

14.3 Tendances en matière d'intelligence et d'automatisation

Appendice

A. Glossaire des termes

B. Références

Chapitre 1 Introduction

1.1 Définition et aperçu de l'électroérosion en fil de molybdène

L'électroérosion à fil de molybdène est un fil fin fabriqué principalement à partir de molybdène de haute pureté (avec une teneur en Mo généralement $\geq 99,3\%$), et est largement utilisé dans l'usinage par électroérosion au fil (WEDM). En raison de son point de fusion élevé (environ 2623°C), de son excellente résistance à la traction (allant de 700 à 1200 MPa, selon le processus de fabrication), de sa bonne conductivité électrique et de sa résistance aux hautes températures, le fil de molybdène est devenu un matériau d'électrode couramment utilisé dans l'électroérosion par fil. Son diamètre varie généralement entre 0,08 mm et 0,3 mm, avec une tolérance contrôlée dans $\pm 0,001$ mm pour répondre aux exigences d'usinage de haute précision. Les traitements de surface, tels que le revêtement en émulsion de graphite ou le fil de molybdène blanc lavé alcalin, améliorent encore ses performances de décharge et sa durabilité.

Le fil de molybdène est principalement utilisé dans les fils rapides, les fils à vitesse moyenne et certaines machines d'électroérosion à fil lent de haute précision. Comparé au fil de cuivre, au fil de tungstène ou au fil de laiton, le fil de molybdène offre des avantages tels que la rentabilité, une résistance élevée à l'usure et l'aptitude à plusieurs coupes, ce qui le rend particulièrement dominant sur les marchés asiatiques comme la Chine et le Japon. Selon l'Association internationale du molybdène (IMOA), le molybdène est considéré comme un métal stratégique et sa demande dans les applications industrielles ne cesse de croître. En tant que branche majeure des produits en molybdène, la consommation annuelle mondiale d'électroérosion en fil de molybdène est estimée à plusieurs milliers de tonnes, en particulier dans les domaines de la fabrication de moules et du traitement de pièces de précision.

La production de fil de molybdène implique la métallurgie des poudres, le sertissage rotatif, le tréfilage et les processus de traitement de surface. Ces étapes doivent garantir un diamètre de fil uniforme, une finition de surface lisse et des propriétés mécaniques optimales pour répondre aux exigences de la coupe à grande vitesse et de haute précision. Pour améliorer encore les performances du fil de molybdène, les fabricants innovent constamment, par exemple en développant des fils dopés avec des éléments de terres rares (par exemple, le lanthane, l'yttrium) pour améliorer la résistance à la traction et à la corrosion.

1.2 Contexte technique de l'électroérosion à fil

L'électroérosion à fil (WEDM) est une technologie de traitement non conventionnelle qui fait fondre ou vaporiser des matériaux à haute température (environ $8000-12000^{\circ}\text{C}$) en utilisant une décharge d'impulsion à haute tension entre le fil d'électrode et la pièce pour obtenir une coupe précise. Cette technologie est apparue dans les années 40 du 20^e siècle, lorsque les anciens scientifiques soviétiques Lazarenko et sa femme ont proposé pour la première fois le principe de l'usinage par électroérosion (EDM). Dans les années 1960, des fabricants de machines-outils suisses et japonais, tels que AgieCharmilles et Fanuc, ont développé des machines d'électroérosion à fil CNC, ce qui a conduit à l'adoption industrielle du WEDM.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Il existe trois types de technologie d'électroérosion à fil : rapide, moyenne et lente :

Fil rapide : principalement du fil de molybdène, vitesse de ligne élevée (8-12 m/s), faible coût, largement utilisé dans le traitement des moules et des pièces en Chine et sur d'autres marchés, vitesse de coupe jusqu'à 100-150 mm² / min, mais précision légèrement inférieure (rugosité de surface Ra 2,5-3,2 µm).

Fil moyen : Combinant les avantages du fil rapide et du fil lent, le fil de molybdène ou le fil galvanisé est utilisé, avec une précision et une qualité de surface supérieures (Ra 1,0-1,6 µm) et une vitesse de coupe d'environ 50-100 mm² / min, qui est rapidement devenu populaire sur le marché chinois ces dernières années.

Fil lent : Le laiton ou le fil revêtu (par exemple le fil de cuivre galvanisé) est généralement utilisé, avec une faible vitesse de fil (0,2-0,3 m/s) et une précision extrêmement élevée (Ra 0,2-0,8 µm), que l'on trouve couramment dans la fabrication haut de gamme au Japon et en Europe.

Selon l'International Association for Manufacturing Technology (AMT), le marché mondial des machines-outils d'électroérosion à fil vaudra environ 3 milliards de dollars en 2023 et devrait croître à un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 4,5 % d'ici 2030, la Chine représentant plus de 40 % de la part de marché mondiale. En raison de ses performances et de son applicabilité à coût élevé, le fil de molybdène est devenu le choix principal des équipements à fil rapide et à fil moyen, en particulier dans les industries asiatiques de fabrication de moules et de traitement du matériel. Les marchés européens et nord-américains sont plus enclins aux machines à fil lentes, utilisant des fils à base de cuivre ou composites, mais le fil de molybdène est toujours utilisé dans le traitement de certains matériaux à haute résistance.

Les progrès de la technologie de l'électroérosion à fil ont bénéficié des améliorations de la technologie de commande numérique, de l'alimentation par impulsions et du contrôle de l'automatisation. Les machines modernes d'électroérosion à fil sont équipées d'alimentations à impulsions à haute fréquence (jusqu'à 1 MHz) et d'un système intelligent de contrôle de la tension pour assurer un fonctionnement stable du fil de molybdène sous des charges élevées et réduire le risque de rupture du fil.

1.3 L'importance du fil de molybdène dans l'EDM

L'importance du fil de molybdène dans l'électroérosion à fil découle de ses propriétés physiques et chimiques uniques, ce qui le rend idéal pour l'usinage de matériaux de forme complexe à haute dureté tels que l'acier matricieux, le carbure, les alliages de titane. Voici les principaux avantages du fil de molybdène dans WEDM :

Point de fusion élevé et stabilité thermique : Le point de fusion élevé (2623°C) du fil de molybdène lui permet de résister à la température élevée générée par la décharge, d'éviter la fusion ou la déformation et d'assurer la stabilité pendant le processus de coupe. Comparé au fil de cuivre (point de fusion de 1083°C), le fil de molybdène est plus durable sous une décharge à haute énergie.

Excellente résistance à la traction : La résistance à la traction du fil de molybdène (700-1200 MPa) est beaucoup plus élevée que celle du fil de laiton (environ 400-600 MPa), ce qui le rend

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

adapté à un fonctionnement à haute tension et réduit la probabilité de rupture du fil, en particulier lors de l'usinage de pièces épaisses (>100 mm).

Rentable : Le prix du fil de molybdène est inférieur à celui du fil de tungstène (environ 1/3-1/5), et il peut être réutilisé (le fil de molybdène peut être recyclé des centaines de fois dans l'équipement de fil rapide), ce qui réduit considérablement les coûts de traitement. Selon les données du marché chinois, le coût par mètre de fil de molybdène est d'environ 0,1 à 0,3 yuan, tandis que le fil de tungstène peut atteindre 1 à 2 yuans.

Adaptabilité du traitement de surface : Le fil de molybdène peut optimiser les performances de surface grâce à un revêtement en émulsion de graphite ou à un traitement de lavage alcalin, améliorer l'efficacité de décharge et la résistance à l'usure, et s'adapter à une variété de conditions de travail de fil rapide et de fil moyen.

Usinage de géométries complexes : La haute résistance et les diamètres de fil fins (jusqu'à 0,08 mm) du fil de molybdène permettent l'usinage de microstructures et de contours complexes pour répondre aux besoins de haute précision des industries de l'aérospatiale, des dispositifs médicaux et de l'électronique.

À l'échelle mondiale, l'application du fil de molybdène dans les équipements à fil rapide et à fil moyen domine, en particulier dans l'industrie chinoise de la fabrication de moules, où environ 80 % des machines-outils d'électroérosion de fil utilisent du fil de molybdène. Selon le rapport de l'IMOA, le fil de molybdène se comporte bien dans l'usinage des aciers à matrice (par exemple Cr12MoV), du carbure cémenté et des superalliages, avec une précision de coupe de $\pm 0,005$ mm et une rugosité de surface de Ra 1,0-2,5 μm . En revanche, le fil de laiton, couramment utilisé pour les fils lents, est plus adapté à l'usinage de très haute précision (Ra < 0,5 μm), mais le coût et la fréquence de remplacement des consommables sont plus élevés.

Les limites du fil de molybdène incluent que la conductivité est légèrement inférieure à celle du fil à base de cuivre (environ 5,5 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ pour le molybdène et 1,7 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ pour le laiton), il peut affecter l'efficacité de la décharge et il n'est pas aussi fin que le fil revêtu dans des scénarios de très haute précision. Cependant, les performances des fils de molybdène modernes ont été considérablement améliorées en dotant les éléments de terres rares tels que le lanthane ou l'yttrium ou en optimisant les paramètres de décharge, compensant en partie ces lacunes.

1.4 Importance de la recherche et de l'application

La recherche et l'application de l'électroérosion à fil de molybdène sont d'une grande importance pour l'industrie manufacturière, ce qui se reflète dans le progrès technologique, la mise à niveau industrielle et les avantages économiques.

Moteur d'une fabrication de haute précision : L'électroérosion à fil de molybdène prend en charge le traitement de géométries complexes et de matériaux à haute dureté, et est largement utilisée dans la fabrication de moules (moules d'estampage, moules d'injection), l'aérospatiale (aubes de turbine, pièces en alliage de titane), les dispositifs médicaux (implants orthopédiques) et l'électronique (moules à semi-conducteurs). Sa haute précision et sa stabilité répondent aux besoins de la fabrication moderne pour des tolérances au micron. Par exemple, la machine de découpe de fil

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

japonaise Fanuc utilise le traitement du fil de molybdène avec une précision de $\pm 2 \mu\text{m}$, ce qui améliore considérablement la capacité de fabrication haut de gamme.

Réduction des coûts de production : La grande durabilité et la recyclabilité du fil de molybdène réduisent le coût des consommables pour le traitement par électroérosion à fil, en particulier dans les machines à fil rapides, où un seul fil de molybdène peut couper des milliers de mètres carrés de surface de pièce. Le marché mondial de la fabrication de moules dépend fortement de l'avantage de coût du fil de molybdène, en particulier dans les marchés émergents tels que la Chine et l'Inde.

Promouvoir l'innovation technologique : la recherche et le développement du fil de molybdène sont à l'origine des progrès de la science des matériaux et des processus de fabrication. Par exemple, le fil de molybdène dopé avec des éléments de terres rares (tels que le fil d'alliage La-Mo) améliore la résistance à la traction et la résistance à l'oxydation à haute température, prolongeant ainsi la durée de vie. De plus, le contrôle intelligent de la tension et la technologie de décharge adaptative optimisent encore l'efficacité de traitement du fil de molybdène.

Soutenir la fabrication verte : Le taux élevé de recyclage des déchets dans la production de fils de molybdène (jusqu'à plus de 90 %) est conforme à la tendance mondiale de la fabrication verte. Par rapport au fil à base de cuivre à usage unique, le recyclage du fil de molybdène réduit le gaspillage de ressources.

Impact sur l'industrie mondiale : La recherche et l'application de l'électroérosion en fil de molybdène ont favorisé la régionalisation de l'industrie manufacturière mondiale. En tant que plus grand pays ressource en molybdène au monde (représentant environ 43 % des réserves mondiales), l'industrie chinoise du fil de molybdène a été exportée vers l'Asie du Sud-Est, l'Afrique et d'autres endroits dans le cadre de l'initiative « Belt and Road », qui a promu la modernisation industrielle régionale. La recherche sur les fils de molybdène en Europe et en Amérique du Nord se concentre sur le dopage haute performance et la modification de surface afin de fournir un soutien technique pour la fabrication haut de gamme.

À l'avenir, les orientations de recherche de l'électroérosion à fil de molybdène comprennent un diamètre de fil plus mince ($< 0,05 \text{ mm}$) pour soutenir le micro-usinage, une technologie de revêtement composite pour améliorer l'efficacité de la décharge et des systèmes de traitement intelligents combinés à l'intelligence artificielle. La demande de fabrication de haute précision et à faible coût sur le marché mondial continuera de stimuler le développement de la technologie des fils de molybdène, en particulier dans les domaines des véhicules à énergie nouvelle, des équipements 5G et des dispositifs médicaux.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Chapitre 2 Caractéristiques de l'électroérosion à fil de molybdène

2.1 Propriétés chimiques de l'électroérosion à fil de molybdène

2.1.1 Propriétés chimiques de base de l'élément molybdène

Le molybdène (symbole de l'élément Mo, numéro atomique 42) est un métal de transition blanc argenté qui appartient à l'élément de la sixième période et possède des propriétés chimiques stables. La configuration électronique du molybdène est de $[Kr] 4d^5 5s^1$, qui présente une inertie chimique élevée et ne réagit pas de manière significative avec l'oxygène, l'acide ou l'alcali à température ambiante. Les états d'oxydation du molybdène vont de -2 à +6, le plus souvent +4 et +6, et l'oxyde de molybdène (MoO_3) peut se former à des températures élevées, mais la surface du fil de molybdène est généralement stable dans un environnement typique de coupe de fil (fluide de travail à base d'eau ou d'huile).

La stabilité chimique du molybdène le rend adapté aux environnements de décharge à haute température (jusqu'à 8000-12000°C) pour l'électroérosion à fil coupé (WEDM). Selon l'International Molybdenum Association (IMO), le molybdène présente peu ou pas de corrosion dans les fluides de travail faiblement acides ou neutres (par exemple, l'eau déminéralisée, pH 6-8) et est supérieur aux fils à base de cuivre (qui sont sensibles à la corrosion dans les environnements acides). Le molybdène est également résistant aux additifs (par exemple, émulsifiants, inhibiteurs de corrosion) dans les fluides EDM courants, assurant ainsi une stabilité à long terme. Les fabricants mondiaux se sont dopés avec des quantités infimes d'éléments de terres rares (par exemple, le lanthane, l'yttrium) pour améliorer encore la résistance à l'oxydation du molybdène et réduire les pertes chimiques lors de décharges à haute température.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

2.1.2 Exigences de pureté (teneur en Mo \geq 99,3 %)

Les performances de l'électroérosion par fil de molybdène dépendent fortement de sa pureté, et les normes de l'industrie exigent généralement une teneur en molybdène de \geq 99,3 % pour garantir une excellente conductivité électrique, une résistance mécanique et une résistance à la corrosion. Le fil de molybdène de haute pureté (Mo \geq 99,95 %) est plus largement utilisé dans les équipements haut de gamme de marche à fil moyen et à fil lent, ce qui peut réduire l'instabilité de décharge causée par les impuretés. Les impuretés courantes comprennent le fer (Fe), le nickel (Ni), le carbone (C) et l'oxygène (O) et doivent être contrôlées dans les plages suivantes (selon GB/T 4182-2017 et ASTM B387) :

Fe : \leq 0,005 %

Ni : \leq 0,003 %

C : \leq 0,01 %

O : \leq 0,003 %

Des impuretés excessives peuvent entraîner des défauts de surface dans le fil de molybdène, une efficacité de décharge réduite ou un risque accru de rupture du fil. Par exemple, l'excès d'oxygène peut former une couche d'oxyde cassante qui réduit la résistance à la traction ; Les impuretés de carbone peuvent provoquer un durcissement local et affecter l'uniformité du diamètre du fil. Certaines entreprises mondiales utilisent la fusion sous vide et la technologie de purification en plusieurs étapes (comme la réduction de l'hydrogène) pour produire du fil de molybdène de haute pureté, avec une teneur en Mo allant jusqu'à 99,97 %, ce qui améliore considérablement la précision et la stabilité du traitement. Sur le marché chinois, certains fils de molybdène économiques ont une teneur en Mo comprise entre 99,3 et 99,5 %, ce qui convient aux équipements de fil rapide pour répondre aux besoins de coût de la fabrication de moules.

2.1.3 Résistance à la corrosion

L'électroérosion à fil de molybdène est exposée à des fluides de travail à base d'eau ou d'huile dans l'électroérosion, et sa résistance à la corrosion affecte directement la durée de vie et la qualité de traitement. Le molybdène a une excellente résistance à la corrosion à l'eau, aux acides faibles (par exemple, l'acide sulfurique, la solution diluée d'acide chlorhydrique) et aux solutions alcalines à température ambiante. Selon le test de l'American Society of Corrosion Engineers (NACE), le molybdène a un taux de corrosion inférieur à 0,01 mm/an dans l'eau désionisée à un pH de 4-10, ce qui est bien meilleur que le fil de laiton (environ 0,05-0,1 mm/an). Dans des conditions de décharge à haute température, une fine couche d'oxyde (MoO_2 ou MoO_3) peut se former à la surface du fil de molybdène, mais l'oxydation peut être efficacement anti-oxydée par un revêtement en émulsion de graphite ou un lavage alcalin.

Dans les applications pratiques, la résistance à la corrosion du fil de molybdène est affectée par la composition du fluide de travail, la fréquence de décharge et l'environnement de traitement. Par exemple, le fil de molybdène de haute pureté utilisé dans la machine de découpe de fil japonaise Fanuc peut fonctionner en continu pendant des centaines d'heures sans corrosion évidente dans un fluide de travail contenant des inhibiteurs de corrosion. Des études européennes ont montré que le

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

fil de molybdène dopé avec 0,5 à 1 % de lanthane (La) a une résistance à la corrosion d'environ 15 % dans un environnement à haute température et à forte humidité, car les éléments de terres rares réduisent la réactivité à l'oxydation. La résistance à la corrosion est également étroitement liée au traitement de surface, le fil de molybdène recouvert d'émulsion de graphite noir étant plus stable dans les environnements humides et électrolytiques, tandis que le fil de molybdène blanc (lavé à l'alcali) est plus adapté au traitement de haute précision mais doit éviter une exposition à long terme à des environnements corrosifs.

2.2 Propriétés physiques de l'électroérosion à fil de molybdène

2.2.1 Point de fusion élevé (environ 2623°C)

Le point de fusion élevé du fil de molybdène (2623°C±10°C) est son principal avantage dans le WEDM, lui permettant de résister aux températures élevées générées par la décharge sans fondre ni se déformer. Par rapport aux fils de laiton (point de fusion d'environ 900-1000°C) ou aux fils de cuivre (1083°C), les fils de molybdène conservent leur intégrité structurelle sous des décharges d'impulsions à haute énergie (densités de courant jusqu'à 10⁶ A/cm²). Selon la Société japonaise d'électro-usinage (JSPE), le taux de perte de surface du fil de molybdène dans un environnement transitoire de 8000-10000°C n'est que de 0,001-0,002 mm³/h, ce qui est beaucoup plus bas que celui du fil de laiton 0,01-0,02 mm³/h.

Le point de fusion élevé soutient également la stabilité du fil de molybdène lors de l'usinage de matériaux de haute dureté tels que le carbure et les alliages de titane. Par exemple, lors de l'usinage de carbure cimenté WC-Co (dureté HRC 60-70), le fil de molybdène maintient un espace de décharge stable (environ 0,01-0,03 mm) pour assurer la précision de coupe. Les fabricants mondiaux optimisent la microstructure du fil de molybdène, comme les grains fins, afin d'améliorer encore sa résistance aux chocs thermiques et de prolonger sa durée de vie.

2.2.2 Densité et dureté

La densité du fil de molybdène est de 10,22 g/cm³, ce qui est légèrement supérieur à celui du cuivre (8,96 g/cm³) mais inférieur à celui du tungstène (19,25 g/cm³), ce qui lui confère un équilibre entre poids et résistance. Le molybdène a une dureté d'environ 5,5 sur l'échelle de Mohs et une dureté Vickers (HV) comprise entre 180 et 220 et convient pour résister à une tension élevée (10-20 N) et à l'usure mécanique dans la coupe de fil. La combinaison de la densité et de la dureté permet au fil de molybdène d'être cyclé à grande vitesse (8-12 m/s) dans un équipement de marche rapide sans être facile à casser.

La haute densité garantit que le fil de molybdène a une faible amplitude de vibration sous contrôle de tension, réduisant ainsi l'erreur d'ondulation pendant le traitement. Selon la norme nationale chinoise (GB/T 3462-2017), la dureté du fil de molybdène doit être uniforme et la taille des grains doit être contrôlée à 5-10 µm pour éviter la concentration de contraintes locales.

2.2.3 Conductivité électrique et thermique

La conductivité du fil de molybdène est de 1,8×10⁷ S/m (la résistivité est d'environ 5,5 µΩ·cm), ce qui est inférieur à celui du cuivre (5,9×10⁷ S/m) mais supérieur à celui du tungstène (1,1×10⁷ S/m),

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

offrant une efficacité de décharge modérée dans le WEDM. Sa conductivité thermique de 138 W/(m·K) est meilleure que celle du tungstène (173 W/(m·K)) mais inférieure à celle du cuivre (401 W/(m·K)), ce qui permet de dissiper rapidement la chaleur et de réduire l'accumulation de chaleur au point de décharge.

La conductivité électrique a un impact direct sur la fréquence de décharge et l'efficacité du transfert d'énergie. Selon les recherches du programme d'usinage suisse GF, la stabilité à la décharge du fil de molybdène est meilleure que celle du fil de cuivre dans des conditions de fréquence d'impulsion de 50 à 200 kHz, en particulier lors de l'usinage de pièces épaisses (>100 mm), la conductivité thermique du fil de molybdène peut réduire efficacement le risque de surchauffe locale. Les fabricants de machines-outils du monde entier ont encore amélioré l'efficacité de décharge du fil de molybdène en optimisant l'alimentation pulsée (courant de crête 50-200 A) avec des vitesses de coupe allant jusqu'à 150-200 mm²/min.

2.3 Caractéristiques mécaniques de l'électroérosion à fil de molybdène

2.3.1 Résistance à la traction

La résistance à la traction ultime (UTS) du fil de molybdène est généralement comprise entre 700 et 1200 MPa, en fonction de la pureté, du processus de dopage et des conditions de traitement thermique. La résistance élevée à la traction permet au fil de molybdène de résister à la tension élevée (10-20 N) dans l'équipement de coupe de fil et d'éviter la rupture du fil. Par rapport au fil de laiton (UTS 400-600 MPa), le fil de molybdène est plus stable lors de l'usinage de matériaux de haute dureté ou de pièces épaisses. Selon la norme ASTM B387, la résistance à la traction de l'électroérosion à fil de molybdène doit répondre aux exigences suivantes :

Fil de molybdène pur : 700-900 MPa

Fil de molybdène dopé (tel que Mo-La) : 900-1200 MPa

Selon les données de R & D des entreprises chinoises, la résistance à la traction du fil de molybdène dopé avec 0,5 à 1 % de lanthane peut atteindre 1100 MPa, et le taux de rupture du fil est réduit d'environ 20 %. La résistance à la traction est également liée au diamètre du fil, et la résistance du fil de molybdène avec un diamètre de fil fin (0,08-0,12 mm) est plus élevée, mais un contrôle de tension plus strict est nécessaire. Des études européennes ont montré que l'optimisation du processus de recuit peut maintenir le fil de molybdène à un faible allongement à haute tension et prolonger la durée de vie.

2.3.2 Allongement (caractéristiques de faible allongement)

L'allongement à la rupture de l'EDM du fil de molybdène est généralement contrôlé à 1-3 %, ce qui est beaucoup plus faible que celui du fil de laiton (10-20 %). Le faible allongement garantit que le fil de molybdène reste rigide sous haute tension, ce qui réduit la déformation et les vibrations pendant l'usinage, améliorant ainsi la précision de coupe. Par exemple, lors de l'usinage de contours complexes, tels que les profils de dents de moule, le faible allongement maintient l'écart de décharge stable avec une précision de $\pm 0,005$ mm.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Un faible allongement présente également des défis : les fils de molybdène sont sensibles aux fluctuations de tension, et une tension trop élevée peut entraîner la rupture du fil. La machine globale d'électroérosion à fil adopte un système intelligent de contrôle de la tension, qui ajuste la tension en temps réel (erreur $\pm 0,1$ N) à l'aide de servomoteurs, compensant les limites du faible allongement du fil de molybdène.

2.3.3 Courbure et uniformité du diamètre du fil

La courbure fait référence au degré auquel un fil de molybdène conserve sa courbure naturelle après avoir été étiré, généralement exprimé en termes de rayon de courbure par mètre (idéal > 10 m). Le faible taux de courbure assure un fonctionnement en douceur du fil de molybdène entre la roue de guidage et le bloc conducteur, réduisant ainsi le glissement ou le décalage. L'uniformité du diamètre du fil nécessite que l'écart de diamètre soit contrôlé à $\pm 0,001$ mm pour assurer la cohérence de l'écart de décharge. Un diamètre de fil non uniforme peut entraîner une décharge instable et affecter la rugosité de la surface.

Les fabricants mondiaux contrôlent l'uniformité du diamètre des fils avec des matrices d'étrépage de haute précision, telles que les matrices en diamant naturel. Le contrôle de l'enroulement repose sur des processus de recuit et de tréfilage, et certains fabricants intelligents utilisent la technologie de recuit sous vide pour réduire la courbure du fil de molybdène à moins de 5 m, ce qui convient aux équipements de marche de fil de haute précision.

2.4 Propriétés géométriques de l'électroérosion en fil de molybdène

2.4.1 Tolérances de diamètre du fil

Le diamètre du fil EDM du fil de molybdène est généralement de 0,08 à 0,3 mm, et la tolérance est contrôlée à $\pm 0,001$ mm pour assurer la précision de l'écart de décharge (généralement 1,5 à 2 fois le diamètre du fil). Selon GB/T 4182-2017, les diamètres de fil courants comprennent 0,18 mm (fil rapide standard), 0,12-0,15 mm (fil moyen) et 0,08 mm (micro-usinage). Par exemple, l'écart de décharge du fil de molybdène de 0,18 mm est d'environ 0,27 à 0,36 mm, et le dépassement de la tolérance peut entraîner des fluctuations de l'écart et réduire la qualité de surface.

L'équipement de tréfilage de haute précision dans le monde utilise des pieds à coulisse laser pour surveiller en temps réel afin de s'assurer que la tolérance est contrôlée à $\pm 0,0005$ mm. Des tests menés par Mitsubishi Electric ont montré qu'un fil de molybdène avec une tolérance de diamètre de fil de $\pm 0,001$ mm peut atteindre une précision de coupe de ± 3 μ m, ce qui convient à l'usinage de pièces aérospatiales. Le choix du diamètre du fil est également lié à l'épaisseur de la pièce : 0,2-0,3 mm pour les pièces épaisses (> 100 mm) et 0,08-0,12 mm pour les pièces minces ou le micro-usinage.

2.4.2 Douceur et rondeur de la surface

La rugosité de surface est exprimée en valeur Ra, et le Ra de l'électroérosion à fil de molybdène est généralement contrôlé à 0,1-0,3 μ m pour réduire la concentration de l'arc et l'usure de surface pendant la décharge. La circularité exige que la section transversale du fil de molybdène soit proche de la rondeur parfaite, avec un écart de $< 0,001$ mm pour éviter une décharge inégale. Selon la norme ISO 1101, des erreurs de circularité excessives peuvent entraîner des traînées ou des brûlures sur la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

surface usinée.

La douceur de surface est obtenue par tréfilage et électropolissage en plusieurs passes. Le contrôle de la circularité s'appuie sur des matrices d'emboutissage de haute précision et une inspection en temps réel, et les principaux fabricants mondiaux utilisent la microscopie à rayons X pour inspecter les sections transversales afin de minimiser les erreurs de circularité.

2.5 Propriétés thermophysiques de l'électroérosion à fil de molybdène

2.5.1 Stabilité à haute température

La stabilité à haute température fait référence à la capacité de rétention des performances du fil de molybdène à haute température de décharge (8000-12000°C) et à une contrainte thermique cyclique. Le point de fusion élevé du fil de molybdène et son faible coefficient de dilatation thermique (environ $5,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) le rendent moins sensible au ramollissement ou à la rupture à des températures élevées transitoires. Selon l'American Society for Materials (ASM), les performances en fatigue thermique du fil de molybdène en dessous de 1000°C sont meilleures que celles du fil de base en cuivre, et la perte de résistance est de <5 % après 1 million de cycles de décharge.

La stabilité à haute température est également liée à la structure du grain. Les filaments de molybdène à grains fins (5-10 μm) ont une résistance plus élevée aux chocs thermiques et conviennent aux décharges d'impulsions à haute fréquence (50-200 kHz). Des études chinoises ont montré que le fil de molybdène dopé à 0,5 % d'yttrium réduit le taux d'oxydation de 30 % à 1500 °C, prolongeant ainsi la durée de vie dans les environnements à haute température. Les fabricants de machines-outils du monde entier ont encore amélioré la stabilité à haute température du fil de molybdène en optimisant le fonctionnement des systèmes de refroidissement par fluide.

2.5.2 Résistance aux hautes températures

La résistance aux hautes températures fait référence à la résistance à l'oxydation et au ramollissement du fil de molybdène à des températures élevées continues. Le fil de molybdène est facile à former un MoO_3 volatil à > 600°C dans l'air, mais dans la solution de travail à base d'eau de WEDM, la réaction d'oxydation est inhibée et la résistance à haute température est exceptionnelle. Selon les recherches de JSPE, le fil de molybdène peut fonctionner en continu jusqu'à 500 heures à 1000°C dans de l'eau désionisée avec une teneur en oxygène de < 10 ppm, et l'épaisseur de la couche d'oxyde à la surface est de < 0,1 μm .

Le fil de molybdène dopé avec des éléments de terres rares (tels que Mo-La, Mo-Y) a une meilleure résistance aux hautes températures et la température d'oxydation initiale est augmentée à plus de 800°C. La résistance à haute température rend le fil de molybdène adapté au traitement des superalliages (tels que l'Inconel 718, point de fusion d'environ 1300 °C), qui est largement utilisé dans le domaine aérospatial.

2.6 Autres caractéristiques de l'électroérosion à fil de molybdène

2.6.1 Traitement de surface (revêtement en émulsion de graphite noir et fil de molybdène blanc)

Le traitement de surface de l'électroérosion en fil de molybdène est divisé en deux types : revêtement

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

en émulsion de graphite noir et fil de molybdène blanc :

Revêtement en émulsion de graphite noir : La surface du fil de molybdène est recouverte d'une émulsion de graphite (lubrifiant à base de carbone) d'une épaisseur d'environ 1 à 2 μm , ce qui améliore la résistance à l'usure et la conductivité, et réduit la chaleur de frottement lors de la décharge. Le revêtement en émulsion de graphite protège également le fil de molybdène du fluide de travail et prolonge la durée de vie (environ 20 à 30 % de plus). Sur le marché chinois, 90 % du fil de molybdène à marche rapide est traité de cette manière, ce qui est peu coûteux et adapté au traitement à haute résistance.

Fil de molybdène blanc : Les oxydes et les impuretés à la surface sont éliminés par lavage alcalin ou polissage électrolytique, et la valeur Ra peut atteindre 0,1 μm . Le fil de molybdène blanc convient aux équipements de passage de fil moyen, réduisant les résidus de décharge et améliorant la qualité de surface (Ra 0,8-1,2 μm). La plupart des fils de molybdène haut de gamme en Europe et au Japon sont des fils de molybdène blancs, qui conviennent au traitement de moules de précision.

Le choix du traitement de surface dépend des besoins de traitement. Le fil de molybdène noir est plus adapté à la coupe à grande vitesse de fil rapide (vitesse 150 mm^2/min), tandis que le fil de molybdène blanc est plus performant dans l'usinage de haute précision (précision $\pm 2 \mu\text{m}$). Les fabricants mondiaux optimisent les formulations de revêtement, telles que l'ajout de nanoparticules de carbone, afin d'améliorer encore l'efficacité et la durabilité de la décharge.

2.6.2 Résistance à l'abrasion et durabilité

La résistance à l'usure du fil de molybdène fait référence à sa capacité à résister à l'usure des roues de guidage, des blocs conducteurs et de la décharge. La dureté élevée du molybdène (HV 180-220) et le revêtement en émulsion de graphite le rendent plus résistant à l'usure que le fil de laiton (environ 1/2 de laiton).

La durabilité est également liée au taux de filament. La résistance à l'usure et à la fatigue du fil de molybdène dopé (tel que le Mo-La) est améliorée, et le taux de rupture du fil est réduit à 0,1-0,5 fois/heure (le fil de molybdène pur est d'environ 0,5-1 temps/heure). Des études mondiales ont montré que l'optimisation du contrôle de la tension et des débits de liquide de refroidissement peut prolonger la durée de vie des fils de molybdène.

2.7 Fiche signalétique de l'électroérosion en fil de molybdène de CTIA GROUP LTD

Ce qui suit est un résumé de la fiche de données de sécurité (FDS) basée sur CTIA GROUP LTD, qui est conforme aux normes internationales de sécurité chimique (telles que l'OSHA et le GHS). La fiche signalétique fournit des informations chimiques, physiques et de sécurité sur le fil de molybdène afin d'assurer la sécurité pendant la production, le transport et l'utilisation.

Identification du produit

Nom du produit : Fil de molybdène EDM

N° CAS : 7439-98-7 (Molybdène)

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Nom chimique : molybdène (Mo), pureté $\geq 99,3$ %, peut contenir des traces de lanthane (La) ou d'yttrium (Y)

Utilisations : Fil métallique pour le traitement EDM à fil

Identification des dangers

Dangers physiques : le fil de molybdène solide ne présente aucun risque d'explosion ou d'inflammabilité ; Les fines poussières de molybdène peuvent provoquer des explosions de poussières (énergie d'inflammation minimale > 100 mJ).

Risques pour la santé : L'inhalation à long terme de poussière de molybdène peut irriter les voies respiratoires, et il est recommandé de porter un masque de protection (NIOSH N95). Il n'y a pas de danger évident en cas de contact avec la peau.

Risques environnementaux : Le molybdène est un métal à faible toxicité, et les déchets doivent être traités comme des déchets dangereux pour éviter de polluer les plans d'eau.

Composition et informations sur la composition

Molybdène (Mo) : $\geq 99,3$ %

Impuretés : $Fe \leq 0,005$ %, $Ni \leq 0,003$ %, $C \leq 0,01$ %, $O \leq 0,003$ %

Éléments dopés : La ou Y ≤ 1 % (le cas échéant)

Revêtement de surface : émulsion de graphite (substance non dangereuse à base de carbone)

Mesures de premiers secours

Inhalation : Déplacez la personne dans un endroit ventilé et consultez immédiatement un médecin si la respiration est difficile.

Contact avec la peau : Laver à l'eau savonneuse sans traitement particulier.

Contact avec les yeux : Rincez abondamment à l'eau pendant 15 minutes et, si l'irritation persiste, consultez un médecin.

Ingestion accidentelle : Situation inattendue, consulter immédiatement un médecin et fournir une fiche signalétique.

Mesures de protection contre l'incendie

Agent extincteur : extincteur à poudre sèche ou à dioxyde de carbone, l'eau est interdite.

Dangers particuliers : Des vapeurs MoO_3 peuvent être libérées à des températures élevées et des respirateurs à pression positive doivent être portés.

Traitement d'urgence des fuites

Méthode : Récupérez les filaments de molybdène ou la poussière éparpillés, scellez-les dans des conteneurs à déchets dangereux pour éviter la poussière.

Équipement de protection : Portez des gants de protection, des masques anti-poussière et des lunettes de protection.

Manutention et entreposage

Précautions d'utilisation : pour éviter la poussière de molybdène, la zone d'opération doit être bien ventilée. L'équipement de traitement doit être équipé d'un système de dépoussiérage.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Conditions de stockage : Stocker dans un environnement sec et ventilé (température < 40°C, humidité <60 %), à l'abri des acides forts, des alcalis forts et des oxydants.

Contrôle de l'exposition et protection individuelle

Contrôle technique : Utiliser un équipement d'évacuation locale pour contrôler la concentration de poussière < 10 mg/m³.

Protection personnelle : Portez un masque anti-poussière, des gants de protection et des lunettes de protection certifiés par le NIOSH.

Propriétés physicochimiques

Aspect : fil métallique blanc argenté ou fil revêtu noir, diamètre 0,08-0,3 mm

Point de fusion : 2623 °C

Densité : 10,22 g/cm³

Solubilité : insoluble dans l'eau, légèrement soluble dans les acides forts.

Stabilité et réactivité

Stabilité : Stable à température ambiante et solution de travail WEDM, oxydé dans l'air à haute température (>600°C).

Substances incompatibles : agents oxydants puissants (par exemple acide nitrique, peroxyde d'hydrogène).

Informations toxicologiques

Toxicité aiguë : DL50 (voie orale, rat) >5000 mg/kg, faible toxicité.

Toxicité chronique : L'inhalation à long terme de fortes concentrations de poussières de molybdène peut provoquer une irritation des poumons et aucun signe de cancérogénicité (classification du CIRC : aucune).

Informations écologiques

Impact environnemental : Le fil de molybdène lui-même n'a pas de dommages directs à l'environnement, mais les déchets doivent être correctement recyclés pour éviter de pénétrer dans le plan d'eau.

Bioaccumulation : Aucun risque significatif de bioaccumulation.

Disposition

Méthode : Selon la réglementation locale, il sera remis à une institution professionnelle pour le recyclage, et la fusion à haute température est recommandée pour récupérer le molybdène métallique.

Précautions : Il est interdit de le jeter à volonté pour éviter de polluer le sol ou la source d'eau.

Informations sur l'expédition

Numéro ONU : marchandises non dangereuses, pas de numéro ONU.

Exigences d'expédition : Utilisez un emballage hermétique pour éviter les fuites de poussière et respectez les réglementations internationales en matière d'expédition (par exemple, IATA).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Informations réglementaires

Conforme aux réglementations chinoises GB/T 4182-2017, américaines ASTM B387 et européennes REACH.

Soumis aux normes de classification chimique OSHA (29 CFR 1910.1200) et GHS.

Informations complémentaires

Fournisseur : CTIA GROUP LTD

Tél. : 0592-5129696/5129595



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Chapitre 3 Classification de l'électroérosion à fil de molybdène

En fonction de ses performances, de ses scénarios d'application et de sa technologie de traitement, l'électroérosion en fil de molybdène peut être divisée en fil de molybdène à haut rendement pour l'EDM, fil de molybdène de haute précision pour l'EDM, fil de molybdène à fil rapide EDM, fil de molybdène à fil moyen EDM et fil de molybdène spécial pour l'EDM. Ces classifications reflètent les divers besoins du fil de molybdène dans l'électroérosion à fil coupé (WEDM) et couvrent un large éventail d'applications allant de la production à haut rendement et à grand volume à l'usinage de formes complexes de haute précision. Ce qui suit est une introduction détaillée aux caractéristiques, au processus de fabrication, aux équipements applicables et aux applications typiques de divers types de fils de molybdène.

3.1 Fil de molybdène à haut rendement pour EDM

Le fil de molybdène à haut rendement pour l'électroérosion est conçu pour le processus d'électroérosion à fil qui recherche une vitesse de coupe élevée et une efficacité de production, et est largement utilisé dans les équipements de fil rapide, en particulier dans les industries de fabrication de moules et de traitement du matériel en Chine et en Asie du Sud-Est. Le fil de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

molybdène à haut rendement maximise l'efficacité de décharge et la durabilité en optimisant la formulation des matériaux et le traitement de surface, et convient à l'usinage de pièces avec des exigences de précision moyennes.

3.1.1 Caractéristiques

Résistance à la traction : 800-1000 MPa, ce qui garantit que le fil n'est pas facile à rompre à haute tension (15-20 N) et à grande vitesse (vitesse de ligne 8-12 m/s).

Le diamètre du fil : 0,18-0,25 mm est couramment utilisé et la tolérance est $\pm 0,001$ mm pour assurer un écart de décharge stable (environ 0,27-0,375 mm).

Traitement de surface : Un revêtement en émulsion de graphite noir (épaisseur 1-2 μm) est généralement utilisé pour améliorer la résistance à l'usure et la conductivité, et réduire les pertes de chaleur de refoulement.

Vitesse de coupe : jusqu'à 150-200 mm^2/min , environ 30 % plus élevée que le fil de molybdène ordinaire (100-150 mm^2/min).

Durabilité : 6 000-10 000 mm^2 peuvent être coupés en une seule utilisation, avec une durée de vie de 500 à 800 heures (selon les conditions de fonctionnement).

3.1.2 Procédé de fabrication

Le fil de molybdène à haut rendement est généralement composé de molybdène de haute pureté ($\text{Mo} \geq 99,5$ %) comme matériau de base, partiellement dopé avec 0,3 à 0,5 % d'éléments de terres rares (tels que le lanthane ou l'yttrium) pour améliorer la résistance à la traction et la résistance à la fatigue thermique. Le processus de production comprend :

Métallurgie des poudres : une poudre de molybdène de haute pureté d'une taille de particule de 5 à 10 μm est sélectionnée et l'ébauche est formée par pressage isostatique.

Emboutissage rotatif et tréfilage : processus d'étirage à chaud et d'étirage à froid en plusieurs passes, combiné à des matrices de tréfilage au diamant, pour assurer l'uniformité du diamètre du fil.

Revêtement de surface : Le processus de pulvérisation ou de trempage d'émulsion de graphite est utilisé pour former une couche lubrifiante uniforme à base de carbone et réduire le coefficient de frottement (environ 0,1-0,2).

Traitement thermique : Le recuit sous vide (1000-1200°C) élimine les contraintes internes et améliore la ténacité et la résistance à l'usure.

3.1.3 Scénarios d'application

Le fil de molybdène à haut rendement est principalement utilisé dans les équipements de marche rapide pour traiter des matériaux tels que l'acier sous matrice (tel que Cr12MoV), l'acier au carbone et l'alliage d'aluminium. Les applications typiques comprennent :

Matrices d'emboutissage : telles que les moules de panneaux automobiles, épaisseur de coupe 20-100 mm, rugosité de surface Ra 2,0-3,2 μm .

Pièces de quincaillerie : comme l'usinage grossier d'engrenages et de pignons, l'efficacité prime sur la précision.

Production de masse : telle que la fabrication à grande échelle de moules d'appareils

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

électroménagers et de moules en plastique.

3.2 Fil de molybdène de haute précision pour EDM

Le fil de molybdène de haute précision pour l'EDM est conçu pour le traitement de formes complexes et de haute précision, et convient aux fils moyens et à certains équipements de marche lente, et est largement utilisé dans les industries aérospatiale, médicale et électronique. Comparé au fil de molybdène à haut rendement, il met l'accent sur la précision de coupe et la qualité de surface.

3.2.1 Caractéristiques

Résistance à la traction : 900-1200 MPa, adapté au fonctionnement à haute tension (12-18 N), assurant de faibles vibrations et une décharge stable.

Diamètre du fil : 0,08-0,15 mm, tolérance $\pm 0,0005$ mm, adapté à la microfabrication (écart de balayage 0,12-0,225 mm).

Traitement de surface : le fil de molybdène blanc (lavage alcalin ou polissage électrolytique) est le principal, et la rugosité de surface est Ra 0,1-0,15 μm , ce qui réduit les résidus de décharge.

Précision de coupe : jusqu'à $\pm 2-3$ μm , rugosité de surface Ra 0,8-1,2 μm .

Durabilité : 4000-7000 mm^2 par zone de coupe, 300-600 heures de durée de vie.

3.2.2 Procédé de fabrication

Le fil de molybdène de haute précision nécessite une pureté plus élevée ($\text{Mo} \geq 99,95\%$) et un contrôle plus strict du processus :

Matières premières : Fusion sous vide des lingots de molybdène, la teneur en impuretés (telles que Fe, Ni) est contrôlée en dessous de 0,001 %.

Tréfilage de précision : à l'aide d'un moule en diamant naturel, d'un étirage à froid multi-passes, d'un écart de diamètre de fil $< 0,0005$ mm.

Traitement de surface : Le polissage électrolytique élimine les micro-défauts de surface et se combine avec le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) pour former une couche protectrice ultramince.

Traitement thermique : recuit en plusieurs étapes (800-1000°C), contrôle de la taille des grains de 3-5 μm , résistance améliorée aux chocs thermiques.

3.2.3 Scénarios d'application

Le fil de molybdène de haute précision convient au traitement de moules et de pièces de haute précision :

Moules de précision : tels que les moules d'injection, les moules à semi-conducteurs, le traitement de contours complexes (tels que les formes de micro-dents) avec une précision de ± 3 μm .

Aérospatiale : Usinage de pièces en alliage de titane (par exemple Ti-6Al-4V) ou en superalliage (par exemple Inconel 718) d'une épaisseur de 10 à 50 mm.

Dispositifs médicaux : tels que les implants orthopédiques, le traitement de la microstructure des outils chirurgicaux, la rugosité de surface $\text{Ra} < 1,0$ μm .

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

3.3 Fil de molybdène pour HS-EDM

Le fil de molybdène pour HS-EDM est un consommable standard pour les équipements de fil rapide (vitesse de ligne 8-12 m/s), qui se caractérise par des performances et un recyclage à coût élevé, et est largement utilisé dans les industries de fabrication de moules et de traitement du matériel en Chine et en Asie du Sud-Est.

3.3.1 Caractéristiques

Résistance à la traction : 700-900 MPa, adapté à une tension moyenne (10-15 N).

Diamètre du fil : 0,16-0,20 mm (0,18 mm est le plus courant), tolérance $\pm 0,001$ mm.

Traitement de surface : Revêtement en émulsion de graphite noir (1-3 μm d'épaisseur) pour réduire les frottements et les pertes de chaleur.

Vitesse de coupe : 100-150 mm^2/min , rugosité de surface Ra 2,5-3,2 μm .

Recyclage : 500-1000 cycles, rouleau unique (2000-4000 m) zone de coupe jusqu'à 8000-12000 mm^2 .

3.3.2 Procédé de fabrication

Matière première : Mo $\geq 99,3$ %, le fil de molybdène économique est souvent dopé ou une petite quantité dopée (0,1-0,3 % La).

Procédé de tréfilage : étirage à chaud multi-passes, matrice de tréfilage en carbure cémenté, le coût est inférieur mais la précision est légèrement inférieure.

Traitement de surface : Tremper l'émulsion de graphite, l'uniformité du revêtement est contrôlée à $\pm 0,5$ μm .

Recuit : Recuit continu (900-1100°C) pour équilibrer résistance et ténacité.

3.3.3 Scénarios d'application

Le fil de molybdène Fast wire est principalement utilisé pour l'ébauche sensible aux coûts :

Matrices d'emboutissage : telles que les moules d'appareils ménagers, les moules de pièces automobiles, épaisseur de traitement 20-80 mm.

Pièces de quincaillerie : telles que la production en série d'écrous et de fixations.

Pièces de moins haute précision : telles que les pièces d'engins de construction, les exigences de précision sont $\pm 10-20$ μm .

3.3.4 Tendances du marché mondial et de la technologie

La Chine représente environ 70 % du marché mondial du fil de marche rapide et du fil de molybdène, et le prix est aussi bas que 0,1-0,2 yuan / mètre, ce qui est beaucoup plus bas que celui du fil de laiton (0,5-1 yuan / mètre). Les principaux fournisseurs sont la Chine Jindui City et Ningbo Zhongyuan. Les tendances technologiques comprennent le développement de fils de molybdène à faible coût et à haute résistance (par exemple, dopés CE) et la technologie de filetage automatisé pour réduire les coûts de main-d'œuvre. La demande sur les marchés de l'Asie du Sud-Est (par exemple, le Vietnam et la Thaïlande) augmente rapidement, avec un TCAC de 5 % de 2025 à 2030.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

3.4 Fil de molybdène pour MS-EDM

Combinant l'efficacité de la coupe rapide du fil et la précision de la coupe lente du fil, le fil de molybdène pour MS-EDM convient aux équipements à fil moyen, qui ont été rapidement popularisés sur le marché chinois ces dernières années, remplaçant progressivement certaines applications de fil rapide.

3.4.1 Caractéristiques

Résistance à la traction : 900-1100 MPa, adapté à la haute tension (12-18 N).

Diamètre du fil : 0,12-0,18 mm, tolérance $\pm 0,0008$ mm.

Traitement de surface : fil de molybdène blanc (Ra 0,1-0,2 μm) ou fil de molybdène finement revêtu pour réduire les résidus de décharge.

Précision de coupe : $\pm 3-5$ μm , rugosité de surface Ra 1,0-1,6 μm .

Durabilité : 5000-8000 mm^2 par zone de coupe, durée de vie de 400-700 heures.

3.4.2 Procédé de fabrication

Matières premières : Mo $\geq 99,7$ %, souvent dopé avec 0,5 à 1 % d'éléments de terres rares (tels que La, Y).

Tréfilage de précision : à l'aide d'une matrice diamantée, d'un étirage à froid multi-passes, d'un écart de diamètre de fil $< 0,0008$ mm.

Traitement de surface : électropolissage ou revêtement en émulsion de graphite mince (épaisseur < 1 μm).

Traitement thermique : recuit multi-étapes sous vide (800-1000°C), granulométrie 3-5 μm .

3.4.3 Scénarios d'application

Le fil de molybdène pour MS-EDM convient à l'usinage de moyenne précision et à haut rendement :

Moules de précision : tels que les moules de coque de téléphone portable, les moules de connecteur électronique, épaisseur de traitement 10-50 mm.

Pièces d'aviation : telles que les pièces structurales en alliage d'aluminium et en alliage de titane, avec une précision de ± 5 μm .

Dispositifs médicaux : par exemple outils dentaires, implants miniatures, rugosité de surface Ra $< 1,2$ μm .

3.5 Fil de molybdène spécial pour l'EDM

Le fil de molybdène spécial pour l'électroérosion est conçu pour des applications ou des matériaux spécifiques, tels que les matériaux à très haute dureté, les pièces ultra-minces ou le traitement en environnement extrême, et est personnalisé pour les équipements WEDM haut de gamme.

3.5.1 Caractéristiques

Résistance à la traction : 1000-1400 MPa, dopé avec des terres rares ou des éléments d'alliage (tels que La, Y, Zr).

Diamètre du fil : 0,05-0,12 mm, tolérance $\pm 0,0005$ mm, adapté au micro-usinage.

Traitement de surface : fil de molybdène blanc ou revêtement composite (par exemple revêtement

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

nano-carbone ou céramique), Ra 0,05-0,1 μm .

Précision de coupe : $\pm 1-2 \mu\text{m}$, rugosité de surface Ra 0,4-0,8 μm .

Propriétés particulières : résistance à l'oxydation à haute température ($>800^\circ\text{C}$), résistance à la corrosion ou résistance aux interférences électromagnétiques.

3.5.2 Procédé de fabrication

Matières premières : Mo $\geq 99,97\%$, dopé avec 1 à 2 % de terres rares ou de métaux de transition (tels que Zr, Ti).

Tréfilage ultra-précis : matrice diamantée monocristallin avec un écart de diamètre de fil de $< 0,0003 \text{ mm}$.

Traitement de surface : Dépôt chimique en phase vapeur (CVD) ou dépôt physique en phase vapeur (PVD) pour former des revêtements fonctionnels.

Traitement thermique : recuit à ultra-basse température ($600-800^\circ\text{C}$), granulométrie 2-3 μm , résistance accrue à la fatigue thermique.

3.5.3 Scénarios d'application

Un fil de molybdène spécial est utilisé dans des scénarios exigeants :

Industrie des semi-conducteurs : traitement de moules de plaquettes de silicium et de pièces microélectroniques avec une précision de $\pm 1 \mu\text{m}$.

Aérospatiale : Traitement de superalliages (par exemple GH4169) ou de composites céramiques d'une épaisseur de 5 à 30 mm.

Industrie médicale : par exemple instruments microchirurgicaux, microstructures d'implants, Ra $< 0,5 \mu\text{m}$.

Matériaux spéciaux : usinage de précision de composites en fibre de carbone et d'électrodes en graphite.



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Chapitre 4 Processus de préparation et de production de l'électroérosion en fil de molybdène

La préparation de l'électroérosion à fil de molybdène est un processus complexe qui implique plusieurs étapes, de la sélection des matières premières à l'usinage de précision, garantissant que le fil de molybdène a une excellente stabilité à haute température, une résistance à la traction et une qualité de surface pour répondre aux exigences de haute précision et d'efficacité élevées de l'électroérosion à fil coupé (WEDM). Ce chapitre détaille la sélection des matières premières, le processus de production, les technologies clés et les mesures de contrôle de la qualité de l'électroérosion en fil de molybdène, soulignant l'importance de l'application de technologies de fabrication avancées et de l'optimisation des processus à l'échelle mondiale.

4.1 Sélection des matières premières pour l'électroérosion en fil de molybdène

La sélection des matières premières est la base de la préparation de l'électroérosion en fil de molybdène, ce qui affecte directement sa stabilité chimique, ses propriétés mécaniques et ses propriétés de traitement. L'électroérosion à fil de molybdène est principalement basée sur du molybdène de haute pureté et dopée à des éléments traces de terres rares selon les exigences de performance afin d'optimiser ses performances dans des environnements de décharge à haute température.

4.1.1 Matières premières de molybdène de haute pureté

La production de l'électroérosion en fil de molybdène commence par la sélection de matières premières de molybdène de haute pureté, généralement disponibles sous forme de poudre de molybdène ou de lingots de molybdène. Le molybdène est un métal de transition blanc argenté avec un point de fusion élevé et une excellente stabilité chimique, ce qui le rend adapté à l'environnement difficile des décharges transitoires à haute température dans le WEDM. La matière première pour la production de molybdène de haute pureté est d'abord extraite du concentré de molybdène (principalement MoS_2), qui est converti en oxyde de molybdène (MoO_3) par grillage, puis réduction en plusieurs étapes dans une atmosphère d'hydrogène pour générer de la poudre de molybdène de haute pureté. Le processus de réduction nécessite un contrôle strict de la température et de l'atmosphère pour éliminer les impuretés telles que l'oxygène et le soufre afin de garantir que la pureté de la poudre de molybdène répond aux exigences de l'industrie.

L'uniformité de la taille des particules et la pureté chimique de la poudre de molybdène de haute pureté sont essentielles pour les processus ultérieurs. Les particules fines et uniformes de poudre de molybdène aident à former une ébauche dense, réduisant la porosité et les défauts pendant le processus de frittage. Le premier fabricant mondial utilise les technologies de séchage par atomisation et de sphéroïdisation au plasma pour optimiser la morphologie et la fluidité des particules de poudres de molybdène. De plus, les impuretés telles que le carbone, le fer et le nickel doivent être contrôlées pendant le processus de production pour éviter d'affecter la conductivité et les propriétés mécaniques du fil de molybdène. La haute qualité de la poudre de molybdène constitue la base du processus de frittage et d'étirage ultérieur, garantissant que le fil de molybdène a des performances de décharge stables et une durabilité en WEDM.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

4.1.2 Dopage des terres rares (p. ex. lanthane, yttrium)

Pour améliorer la résistance à la traction, la résistance aux hautes températures et la résistance à l'oxydation de l'électroérosion à fil de molybdène, les fabricants dosent souvent la matrice de molybdène avec des éléments de terres rares traces tels que le lanthane (La), l'yttrium (Y) ou le cérium (Ce). Le dopage aux terres rares améliore la stabilité du molybdène dans les environnements de décharge à haute résistance et à haute température en modifiant sa structure cristalline et ses propriétés microscopiques. Par exemple, le lanthane peut affiner le grain de molybdène, augmenter la résistance des joints de grains et réduire le glissement intergranulaire à haute température ; L'yttrium peut améliorer la résistance à l'oxydation et ralentir la perte par oxydation de la surface du fil de molybdène pendant le processus de décharge.

Le processus de dopage est généralement effectué dans l'étape de préparation ou de frittage de la poudre de molybdène. Une méthode courante consiste à mélanger des oxydes de terres rares (par exemple, La_2O_3 , Y_2O_3) avec de la poudre de molybdène, qui est uniformément répartie par broyage à billes ou mélange humide. Une autre méthode consiste à introduire des éléments de terres rares dans la matrice de molybdène par coprécipitation chimique pour former une solution solide homogène ou une phase diffuse. Les fabricants mondiaux ont développé des fils de molybdène haute performance avec un contrôle précis des taux de dopage et des distributions, améliorant considérablement leurs performances dans les équipements d'alimentation de fil de moyenne précision. Le dopage aux terres rares doit également être évité en excès pour éviter la formation de phases fragiles ou affecter la douceur du processus de tréfilage.

4.2 Processus de production de l'électroérosion en fil de molybdène

Le processus de production du fil EDM comprend la métallurgie de la poudre de molybdène, le frittage et le forgeage, le sertissage rotatif, le tréfilage et le traitement de surface, dont chaque étape doit être contrôlée avec précision pour garantir que les performances du fil de molybdène répondent aux exigences de WEDM. Les points forts techniques et les pratiques globales pour chaque étape du processus sont décrits en détail ci-dessous.

4.2.1 Métallurgie des poudres de molybdène

La métallurgie des poudres de molybdène est le point de départ de la préparation des ébauches de fils de molybdène, qui vise à convertir la poudre de molybdène de haute pureté en tiges de molybdène denses ou en ébauches de molybdène. Le processus commence par le pressage de la poudre de molybdène, qui est généralement pressée dans une ébauche cylindrique à haute pression (100-200 MPa) à l'aide de la technologie de pressage isostatique à froid (CIP). Le pressage isostatique à froid assure une densité uniforme des billettes et réduit la porosité interne. Ensuite, la billette est pré-frittée dans un environnement d'hydrogène ou de vide à une température contrôlée dans une plage basse (environ 1000-1200°C) pour éliminer les impuretés volatiles et améliorer la résistance de la billette.

La clé de la métallurgie des poudres de molybdène est de contrôler la taille des particules et le processus de compactage de la poudre. Les fines particules de poudre de molybdène (d'une taille de 5 à 10 μm) contribuent à la formation d'ébauches de haute densité, mais les poudres trop fines

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

peuvent entraîner un mauvais écoulement et affecter l'uniformité de la compression. Les fabricants mondiaux assurent une microstructure homogène de la billette en optimisant le processus de criblage et de mélange des poudres. De plus, la contamination de l'air doit être évitée pendant le processus de pressage afin d'éviter la formation d'oxydation ou de porosité, ce qui peut entraîner un risque de rupture du fil lors de l'étirage ultérieur.

4.2.2 Frittage et forgeage

Le frittage est une étape critique dans la conversion d'ébauches pressées en tiges de molybdène haute densité, généralement dans un four de protection sous vide ou à hydrogène à haute température. La température de frittage augmente progressivement jusqu'à 1800-2000°C, ce qui permet aux particules de molybdène de se combiner pour former une structure métallique dense. Pendant le processus de frittage, la vitesse de chauffage et le temps de maintien doivent être contrôlés pour éviter la prolifération des grains ou la formation de fissures. La densité des tiges de molybdène fritté de haute qualité est proche de la valeur théorique (10,22 g/cm³) et la porosité interne est inférieure à 1 %, ce qui constitue une base solide pour le forgeage ultérieur.

Le forgeage améliore encore la densité et les propriétés mécaniques des tiges de molybdène, généralement à l'aide de techniques de forgeage à chaud ou de forgeage à froid. Le forgeage à chaud est effectué à 1200-1500°C, et la tige de molybdène est déformée plastiquement par martelage ou pressage, affinant les grains et éliminant les défauts mineurs. Les plus grandes entreprises du monde utilisent un processus de forgeage en plusieurs étapes, combiné à un contrôle précis de la température, pour s'assurer que la structure cristalline des tiges de molybdène est homogène et que la résistance à la traction et la ténacité sont optimales. La tige de molybdène forgé a généralement un diamètre de 10 à 20 mm et est prête pour le sertissage rotatif et le tréfilage ultérieurs.

4.2.3 Procédé d'emboutissage rotatif

Le forgeage rotatif est une étape clé dans le traitement des tiges de molybdène en ébauches de fil de molybdène minces, et la pression radiale sur les tiges de molybdène est appliquée par l'équipement de forgeage rotatif pour réduire progressivement son diamètre. Le sertissage rotatif est effectué à des températures élevées (1000-1300°C) combinées à une protection contre l'oxydation par l'hydrogène. L'équipement de forgeage rotatif est équipé de plusieurs ensembles de matrices de haute précision, et le diamètre de la tige de molybdène est progressivement réduit de 10-20 mm à 1-3 mm pour former une ébauche de fil grossière adaptée au tréfilage.

Au cœur du processus d'emboutissage rotatif se trouve le contrôle du taux de déformation et du gradient de température. Une déformation rapide peut entraîner des fissures à la surface de la tige de molybdène, tandis qu'une température trop élevée peut provoquer des grains grossiers et réduire la résistance. Les fabricants du monde entier obtiennent un contrôle précis avec des équipements de sertissage rotatifs automatisés pour garantir la circularité et la qualité de surface des ébauches de fil grossiers. Le sertissage rotatif peut également améliorer la structure cristalline fibreuse du molybdène, améliorer la résistance à la traction et la ténacité et jeter les bases du processus de tréfilage ultérieur.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

4.2.4 Procédé de tréfilage (étirage à froid et étirage à chaud)

Le processus de tréfilage permet d'étirer l'ébauche grossière du fil après forgeage rotatif dans le diamètre final du fil (0,08-0,3 mm) de l'EDM au fil de molybdène, qui est divisé en deux voies : l'étirage à chaud et l'étirage à froid. Le tirage thermique est effectué à 800-1000°C, et la ductilité du fil de molybdène est maintenue à l'aide d'un four de chauffage, qui convient aux grandes déformations dans la phase initiale. L'étirage à froid est effectué à température ambiante ou à basse température (<200°C), et le diamètre du fil est progressivement réduit par l'étirage en plusieurs passes, ce qui convient au moulage de haute précision.

Des matrices d'étirage de haute précision (généralement du diamant naturel ou du diamant polycristallin) sont utilisées dans le processus d'étirage pour assurer l'uniformité du diamètre du fil et la douceur de la surface. Des lubrifiants tels que l'émulsion de graphite ou les lubrifiants à base d'huile sont utilisés pour réduire la friction et prévenir les rayures à la surface du fil de molybdène. Les fabricants mondiaux utilisent un processus d'étirage en plusieurs étapes combiné à un recuit intermédiaire (600-800°C) pour soulager les contraintes et garantir les propriétés mécaniques et la précision géométrique du fil de molybdène. Le processus d'étirage à froid est particulièrement important pour affiner les grains et améliorer la résistance à la traction et les caractéristiques de faible allongement du fil de molybdène.

4.2.5 Traitement de surface de l'électroérosion à fil de molybdène (revêtement en émulsion de graphite, lavage alcalin, polissage électrolytique)

Les traitements de surface optimisent les performances de décharge, la résistance à l'abrasion et à la corrosion du fil de molybdène, les méthodes courantes comprennent le revêtement en émulsion de graphite, le lavage caustique et le polissage électrolytique :

Revêtement en émulsion de graphite : Le fil de molybdène est immergé ou pulvérisé avec une émulsion de graphite à base de carbone pour former une couche lubrifiante noire de 1 à 3 µm d'épaisseur, ce qui améliore la conductivité électrique et la résistance à l'usure, et réduit la chaleur de frottement lors de la décharge. Le revêtement en émulsion de graphite convient au fil de molybdène à marche rapide, qui est largement utilisé dans le traitement des moules sur le marché chinois.

Lavage caustique : Utilisez une solution d'hydroxyde de sodium ou d'hydroxyde de potassium pour nettoyer la surface du fil de molybdène afin d'éliminer les oxydes et les impuretés pour former un fil de molybdène blanc brillant. La rugosité de surface du fil de molybdène après lavage alcalin est faible, ce qui convient aux équipements de marche à fil moyen de haute précision.

Polissage électrolytique : La surface du fil de molybdène est encore lissée par réaction électrochimique pour obtenir un effet miroir (Ra 0,1-0,15 µm), réduisant les résidus de décharge et le rendant adapté à l'usinage de précision. Ce procédé est couramment utilisé par les fabricants européens et japonais pour produire du fil de molybdène haut de gamme.

Le traitement de surface doit être sélectionné en fonction de l'utilisation de fil de molybdène. Par exemple, le fil de molybdène recouvert d'émulsion de graphite convient à la découpe à grande vitesse, tandis que le fil de molybdène blanc lavé aux alcalis ou poli par électrolyse est utilisé pour

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'usinage de haute précision. Les entreprises mondiales automatisent les équipements de revêtement et de polissage pour assurer l'uniformité et la cohérence du traitement de surface.

4.3 Technologies clés de l'électroérosion à fil de molybdène

La performance de l'électroérosion à fil de molybdène repose sur la synergie de plusieurs technologies clés, notamment les matrices d'étirage de haute précision, le contrôle de la température et le traitement thermique, ainsi que l'optimisation des procédés de dopage. Ces technologies assurent une haute précision et une stabilité du fil de molybdène dans le WEDM.

4.3.1 Technologie de matrice de tréfilage de haute précision

Les matrices d'étirage de haute précision sont au cœur de l'uniformité du diamètre du fil et de la qualité de surface du fil de molybdène. Les matrices en diamant naturel ou en diamant polycristallin (PCD) sont largement utilisées en raison de leur dureté élevée et de leur résistance à l'usure. La précision de l'ouverture de la matrice d'étirage doit être contrôlée au niveau du micron et la finition de surface du trou de la matrice est élevée pour éviter les rayures ou la déformation à la surface du fil de molybdène. Le fabricant mondial utilise le traitement laser et la technologie de meulage ultra-précise pour fabriquer des matrices d'étirage qui garantissent une déviation du diamètre de trou inférieure à 0,5 μm .

La conception de la matrice d'étirage doit également tenir compte de la dilatation thermique et de la répartition des contraintes du fil de molybdène. L'angle du cône et la zone de lubrification du trou de la matrice doivent être optimisés pour réduire la chaleur de frottement et la concentration des contraintes pendant le processus d'emboutissage. Le processus d'étirage en plusieurs passes combiné à une surveillance en temps réel (par exemple, un pied à coulisse laser) garantit la cohérence et la circularité du diamètre du fil de molybdène et répond aux exigences du WEDM de haute précision.

4.3.2 Technique de régulation de la température et de traitement thermique

Le contrôle de la température passe par le frittage, le sertissage, le tréfilage et le traitement de surface de la préparation du fil de molybdène. Le frittage et l'emboutissage rotatif sont effectués sous vide ou protection hydrogène, et la température est contrôlée avec précision dans la plage de $\pm 10^\circ\text{C}$ pour éviter l'oxydation ou les gros grains. Le traitement thermique (recuit) est une étape clé pour éliminer les contraintes internes du fil de molybdène, optimiser la structure cristalline et équilibrer la résistance et la ténacité en chauffant et en refroidissant lentement à 600-1000°C.

Les fabricants du monde entier utilisent des fours de recuit sous vide ou des fours de traitement thermique continu pour assurer l'uniformité de la température. Le traitement thermique doit également être ajusté en fonction du type de fil de molybdène, par exemple, le fil de molybdène à haut rendement est orienté vers le recuit à haute ténacité, et le fil de molybdène de haute précision doit affiner le grain pour améliorer la résistance.

4.3.3 Optimisation du processus de dopage

Les procédés de dopage aux terres rares (par exemple, le lanthane, l'yttrium) améliorent la résistance à la traction et la résistance aux températures élevées du molybdène en modifiant sa microstructure.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le processus de dopage doit s'assurer que les éléments de terres rares sont répartis uniformément et que la ségrégation locale est évitée. Les méthodes courantes comprennent :

Dopage en poudre : Des oxydes de terres rares sont ajoutés lors de l'étape de préparation de la poudre de molybdène, et un mélange homogène est obtenu par broyage à billes à haute énergie.

Dopage en phase liquide : Les éléments de terres rares sont introduits dans la matrice de molybdène par co-précipitation chimique pour former une phase diffuse à l'échelle nanométrique.

Dopage en phase vapeur : L'introduction d'éléments de terres rares par dépôt en phase vapeur pendant la phase de frittage ou de traitement thermique.

4.4 Contrôle de la qualité de l'électroérosion à fil de molybdène

Le contrôle de la qualité est la clé pour garantir l'uniformité et la fiabilité des performances des fils EDM, couvrant la cohérence du diamètre du fil, la détection des défauts de surface et les essais de résistance à la traction. Les fabricants mondiaux veillent à ce que le fil de molybdène réponde aux exigences strictes de WEDM grâce à une technologie d'inspection avancée et à des systèmes automatisés.

4.4.1 Contrôle de la cohérence du diamètre du fil

La cohérence du diamètre du fil est l'indice de qualité de base de l'EDM au fil de molybdène, qui affecte directement l'écart de décharge et la précision d'usinage. Au cours du processus de production, le diamètre du fil de molybdène est surveillé en temps réel par un pied à coulisse laser, et les paramètres de dessin sont ajustés en combinaison avec un système de retour d'information automatique. L'inspection et le remplacement réguliers des matrices d'étrépage garantissent la précision des trous de matrice et évitent les écarts de diamètre de fil. Le leader mondial utilise la technologie de mesure laser multipoint pour détecter en temps réel les changements de circularité et de diamètre des fils de molybdène, garantissant ainsi une cohérence au micron.

De plus, la consistance du diamètre du fil doit être stable sur toute la bobine de fil de molybdène (2000-4000 m). En optimisant la vitesse d'étrépage et la formulation du lubrifiant, le fabricant réduit les fluctuations de diamètre du fil et garantit des performances stables du fil de molybdène à des vitesses élevées et à plusieurs cycles.

4.4.2 Détection et traitement des défauts de surface

Les défauts de surface (par exemple, les rayures, les fissures, les couches d'oxyde) peuvent réduire l'efficacité de décharge et la durabilité du fil de molybdène. Le contrôle de la qualité fait appel à diverses techniques de contrôle non destructif :

Microscope optique : vérifiez les rayures de surface et l'uniformité du revêtement avec un grossissement de 100 à 500x.

Contrôle par courants de Foucault : Détecte les microfissures internes et les zones non uniformes, adapté à la production continue.

Microscopie électronique à balayage (MEB) : Analyse la microstructure de surface pour identifier les défauts à l'échelle nanométrique.

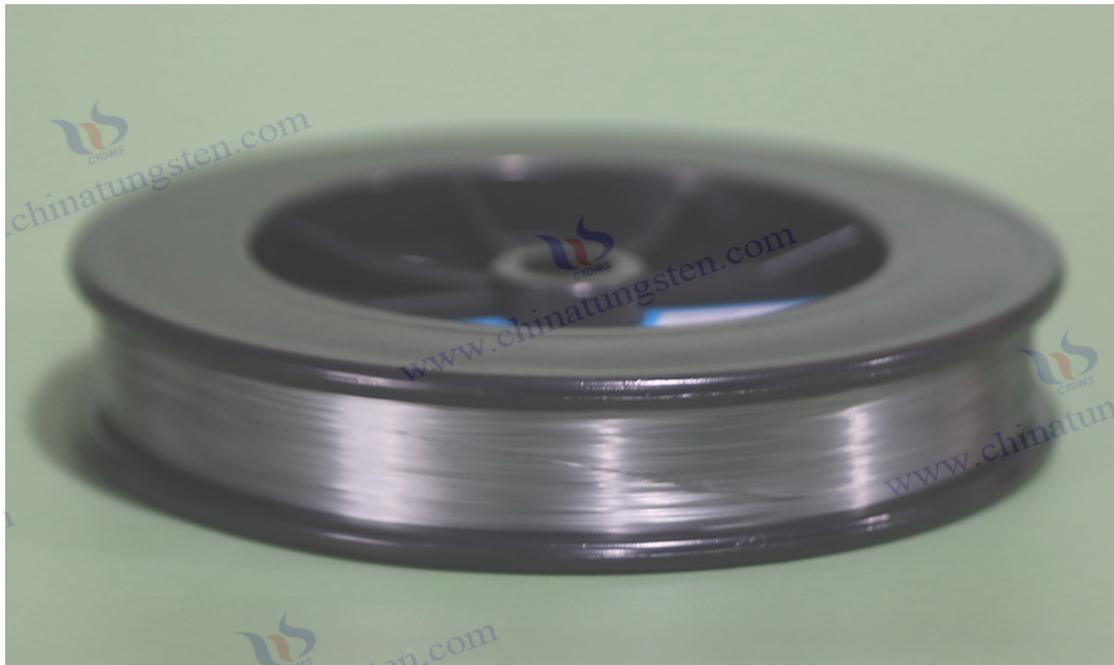
Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

La gestion des défauts comprend le repolissage ou le rejet des segments non conformes. China Xiamen Tungsten Co., Ltd. identifie et rejette les défauts de surface en temps réel grâce à un système d'inspection visuelle automatisé, avec un taux de réussite de plus de 99,5 %. Les fabricants européens combinent les microscopes à rayons X pour détecter les défauts internes et s'assurer que la qualité de surface du fil de molybdène répond aux besoins d'un usinage de haute précision.

4.4.3 Essai de résistance à la traction

Les essais de résistance à la traction vérifient les propriétés mécaniques du fil de molybdène pour s'assurer qu'il peut résister aux contraintes de traction et cycliques élevées que l'on trouve dans le WEDM. L'essai utilise une machine d'essai universelle des matériaux pour appliquer une force de traction à une éprouvette standard et enregistrer la charge maximale avant la rupture. L'environnement d'essai simule les conditions WEDM (par exemple, température ambiante ou température élevée) et combine l'analyse de l'allongement et de la topographie de rupture pour évaluer la ténacité et la résistance à la fatigue du fil de molybdène.

Les fabricants mondiaux utilisent des équipements de test automatisés, combinés à un contrôle statistique des processus (SPC), pour garantir une résistance à la traction constante du fil de molybdène d'un lot à l'autre. L'essai comprend également un essai de fatigue pour simuler les performances du fil de molybdène sous des cycles de décharge et de tension à haute fréquence afin de vérifier sa durabilité. Pour les lots non conformes, le fabricant optimise en ajustant les paramètres de recuit ou en redessinant.



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Chapitre 5 Utilisations de l'électroérosion à fil de molybdène

En tant que matériau métallique haute performance, le fil de molybdène joue un rôle important dans plusieurs domaines industriels en raison de ses excellentes propriétés physiques et chimiques, telles que le point de fusion élevé, la résistance élevée, la résistance à la corrosion et la bonne conductivité électrique et thermique. En particulier dans le traitement EDM découpé au fil, la fabrication de sources lumineuses électriques, la technologie de pulvérisation thermique et d'autres domaines de haute technologie, le fil de molybdène est devenu un matériau indispensable en raison de ses propriétés uniques. Ce chapitre abordera en détail les applications spécifiques du fil de molybdène dans ces domaines, et analysera en profondeur ses avantages techniques et ses cas pratiques pour démontrer pleinement l'importance du fil de molybdène dans l'industrie moderne.

5.1 Traitement par électroérosion à fil

L'usinage par électroérosion au fil (WEDM) est une technologie de pointe qui utilise le principe de la décharge électrique pour effectuer un usinage de haute précision, qui est largement utilisé dans la fabrication de moules, l'usinage de formes complexes et la fabrication de pièces de haute précision. Le fil de molybdène est devenu le matériau de fil d'électrode le plus couramment utilisé dans l'électroérosion à fil en raison de sa haute résistance, de sa résistance à haute température et de son excellente conductivité électrique. Ce qui suit détaillera les utilisations spécifiques du fil de molybdène dans l'électroérosion à fil sous trois aspects : la fabrication de moules, le traitement de formes et de microstructures complexes et le traitement de pièces de haute précision.

5.1.1 Fabrication de moules

La fabrication de moules est l'un des domaines d'application les plus importants de la technologie EDM à fil, dans laquelle le fil de molybdène joue un rôle central. Les moules sont des composants clés de la production industrielle, largement utilisés dans la construction automobile, la production d'appareils électroménagers, les produits en plastique et l'emboutissage des métaux et d'autres domaines, et leur précision et leur qualité affectent directement les performances du produit final. L'application du fil de molybdène dans la fabrication de moules se reflète principalement dans les aspects suivants :

Traitement de moules de haute précision

Les fils de molybdène ont généralement un diamètre compris entre 0,1 mm et 0,3 mm, petits et homogènes, capables d'atteindre une précision d'usinage au micron dans les machines d'électroérosion à fil. Par exemple, dans le traitement des matrices d'emboutissage, le fil de molybdène peut découper avec précision des contours complexes et des espaces étroits, garantissant ainsi que la géométrie du moule répond aux exigences de conception. Par rapport aux méthodes d'usinage traditionnelles, la découpe au fil de molybdène peut traiter des aciers matriciels d'une dureté extrêmement dure (par exemple, Cr12MoV, SKD11) sans usure de l'outil due à la dureté du matériau.

Mise en œuvre de structures de moules complexes

Les conceptions de moules modernes incluent souvent des géométries complexes telles que des

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

structures multi-courbes, des rainures profondes et des angles vifs. Le fil de molybdène est capable de s'adapter facilement à ces structures complexes en déchargeant les matériaux corrodés dans l'électroérosion à fil. Par exemple, dans la fabrication de moules de panneaux automobiles, le fil de molybdène peut être découpé en surfaces courbes complexes avec une qualité de surface élevée, ce qui répond aux exigences de précision et d'esthétique des pièces extérieures automobiles. De plus, la haute résistance à la traction du fil de molybdène garantit qu'il n'est pas facile de se casser lors d'un traitement à long terme, assurant ainsi la continuité et la stabilité du traitement.

Production efficace et contrôle des coûts

L'utilisation de fil de molybdène améliore considérablement l'efficacité de la fabrication des moules. Par rapport au fil de laiton traditionnel, le fil de molybdène a une résistance à l'usure plus élevée et une résistance aux températures élevées, et peut être utilisé pendant une longue période dans un environnement de décharge à haute intensité, réduisant la fréquence de remplacement du fil d'électrode, réduisant ainsi les coûts de production. Par exemple, dans la production de masse de moules d'injection, la grande durabilité du fil de molybdène peut prendre en charge un traitement continu pendant des heures, réduisant ainsi les temps d'arrêt et augmentant l'efficacité de la production.

Exemples pratiques

Si l'on prend l'exemple d'un fabricant de pièces automobiles, lors de la fabrication de matrices d'emboutissage de précision, il utilise du fil de molybdène d'un diamètre de 0,18 mm pour la découpe de fils EDM et traite avec succès des pièces moulées avec des tolérances comprises dans $\pm 0,005$ mm. Ce moule de haute précision est largement utilisé dans la production de blocs moteurs et de carters de transmission automobiles, améliorant considérablement la qualité et la cohérence du produit.

5.1.2 Traitement complexe de formes et de microstructures

Le fil de molybdène est également largement utilisé dans l'électroérosion à fil pour traiter des formes et des microstructures complexes, en particulier dans les zones industrielles où une haute précision et des géométries complexes sont requises. Voici quelques points clés de l'application du fil de molybdène dans ce domaine :

Capacité à traiter des microstructures

Le diamètre fin et l'excellente conductivité électrique du fil de molybdène le rendent particulièrement adapté à l'usinage de pièces à structures microniques. Par exemple, dans la fabrication de systèmes microélectromécaniques (MEMS), le fil de molybdène peut couper des micro-engrenages, des microcanaux ou des micro-connecteurs d'une largeur de seulement quelques dizaines de microns. Ces microstructures sont largement utilisées dans les capteurs, les micromoteurs et les dispositifs médicaux. La haute résistance et les propriétés de traction du fil de molybdène garantissent qu'il ne se déforme pas ou ne se casse pas lors du traitement des microstructures.

Réalisation de structures tridimensionnelles complexes

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

La technologie EDM à fil peut réaliser le traitement de structures tridimensionnelles complexes en contrôlant la trajectoire de mouvement du fil de molybdène. Par exemple, dans le secteur aérospatial, le fil de molybdène est utilisé pour découper des trous de refroidissement dans les aubes de turbine, qui ont généralement un diamètre inférieur à 0,2 mm et ont des trajectoires tridimensionnelles complexes. Le point de fusion élevé et la résistance aux températures élevées du fil de molybdène lui permettent de fonctionner de manière stable dans un environnement de décharge à haute énergie, garantissant ainsi la précision de l'usinage et la finition de surface.

Compatibilité multi-matériaux

Le fil de molybdène est capable d'usiner une large gamme de matériaux de haute dureté (tels que le titane, la céramique et le carbure cémenté) en électroérosion à fil, ce qui le rend largement applicable dans l'usinage de formes complexes. Par exemple, dans la fabrication d'engrenages de précision, le fil de molybdène peut découper des structures d'engrenages complexes avec une précision de profil de dent ISO 5 pour répondre aux besoins des machines et équipements haute performance.

Exemples pratiques

Dans une entreprise de fabrication d'instruments optiques, le fil de molybdène est utilisé pour traiter des pièces de moule pour des lentilles optiques de haute précision. Ces composants contiennent des structures sphériques complexes et des micro-rainures, et sont usinés avec des tolérances de $\pm 0,002$ mm. En utilisant un fil de molybdène de 0,12 mm de diamètre, l'entreprise a réussi à traiter ces structures complexes sur une machine d'électroérosion à fil, améliorant ainsi considérablement la qualité d'image de la lentille optique.

5.1.3 Traitement de pièces de haute précision

L'usinage de composants de haute précision est un autre domaine d'application important du fil de molybdène dans l'électroérosion à fil, en particulier dans les industries où la précision dimensionnelle et la qualité de surface sont extrêmement exigeantes. L'application du fil de molybdène dans le traitement de pièces de haute précision présente les caractéristiques suivantes :

Usinage de très haute précision

Le diamètre fin et les performances de décharge stables du fil de molybdène lui permettent d'atteindre une précision d'usinage inférieure au micron. Par exemple, dans l'industrie des machines de précision, le fil de molybdène est utilisé pour usiner des boîtiers de roulements et des composants de transmission de haute précision, qui sont généralement soumis à des tolérances de $\pm 0,001$ mm. La conductivité élevée et les caractéristiques de décharge uniformes du fil de molybdène assurent la stabilité de l'espace de décharge pendant le traitement, assurant ainsi la précision dimensionnelle des pièces.

Excellente qualité de surface

L'électroérosion à fil utilise du fil de molybdène pour usiner des pièces avec une finition de surface extrêmement élevée, généralement inférieure à Ra 0,1 micron. Cette qualité de surface élevée est particulièrement importante dans les pièces qui nécessitent un faible frottement et une résistance élevée à l'usure. Par exemple, dans la fabrication de bobines hydrauliques de haute précision, la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

découpe au fil de molybdène peut assurer la douceur de la surface de la bobine, réduire la résistance aux fluides et améliorer l'efficacité de la vanne.

Adaptabilité aux matériaux complexes et aux structures spéciales. Voici une analyse plus détaillée du domaine :

Traitement de matériaux complexes

Dans le secteur aérospatial, le fil de molybdène est largement utilisé pour traiter des pièces de précision à partir de superalliages (par exemple, Inconel 718, GH4169) et d'alliages de titane (par exemple, Ti-6Al-4V). Par exemple, la structure du tenon et de la rainure d'un disque de turbine de moteur d'avion nécessite une précision géométrique et une finition de surface extrêmement élevées, et le fil de molybdène peut contrôler avec précision l'écart de décharge grâce à la découpe de fil EDM, en découpant des tenons et des rainures complexes avec des tolérances comprises entre $\pm 0,002$ mm, tout en évitant la concentration des contraintes du matériau et les problèmes de microfissures qui peuvent résulter de l'usinage traditionnel. De plus, le fil de molybdène peut maintenir des performances stables lors du traitement des composites à matrice céramique (CMC), répondant ainsi aux besoins des moteurs d'avion de nouvelle génération pour les pièces résistantes aux hautes températures.

Usinage simultané multi-axes

Les équipements modernes d'électroérosion à fil sont souvent équipés d'un système CNC multi-axes qui, combiné à la flexibilité du fil de molybdène, permet de réaliser un usinage de pièces tridimensionnel complexe. Par exemple, dans la fabrication de micro-engrenages dans les instruments de précision, le fil de molybdène peut être utilisé pour couper des structures dentaires avec des courbes spatiales complexes grâce à une liaison à cinq axes avec une précision ISO 4. Cette capacité est particulièrement importante dans la fabrication de dispositifs optiques, d'instruments de précision et de montres haut de gamme.

Exemples pratiques

En prenant l'exemple d'une entreprise de fabrication d'instruments de précision, dans la production de supports de miroir de haute précision pour télémètres laser, elle utilise un fil de molybdène de 0,15 mm de diamètre pour la découpe de fils EDM, et traite avec succès un support avec des formes géométriques complexes, la tolérance dimensionnelle est contrôlée à $\pm 0,0015$ mm et la rugosité de surface atteint Ra 0,08 microns. Ce support de haute précision améliore considérablement la précision de mesure du télémètre et est largement utilisé dans les domaines de l'exploration géologique et de l'arpentage et de la cartographie des bâtiments.

Protection de l'environnement et durabilité

L'utilisation de fil de molybdène dans le traitement de pièces de haute précision présente également certains avantages environnementaux. Par rapport à l'usinage conventionnel, l'électroérosion à fil ne nécessite pas l'utilisation d'une grande quantité de liquide de coupe, ce qui réduit la génération de déchets liquides. De plus, la grande durabilité du fil de molybdène signifie des taux de consommation plus faibles et moins de déchets de matériaux. Par exemple, dans la production de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

masse de pièces de précision, le taux de réutilisation du fil de molybdène peut atteindre plus de 80 %, ce qui réduit considérablement les coûts de production et l'impact environnemental.

5.2 Application de la source lumineuse électrique

En raison de son point de fusion élevé (environ 2623 °C), de sa bonne conductivité et de sa résistance à l'oxydation, le fil de molybdène est largement utilisé dans l'industrie des sources lumineuses électriques pour fabriquer divers composants clés, tels que des portes, des crochets, des entretoises, des noyaux et des fils chauffants.

5.2.1 Barrières, crochets, entretoises

Dans les sources de lumière électrique telles que les lampes fluorescentes, halogènes et à décharge haute pression, le fil de molybdène est utilisé comme composant clé tel que les portails, les crochets et les entretoises en raison de sa capacité à maintenir la stabilité structurelle et les propriétés électriques dans des environnements à haute température et sous vide poussé.

Fabrication de la porte

Les portes sont des composants importants dans certaines sources de lumière électrique, telles que les lampes aux halogénures métalliques, pour contrôler le flux d'électrons ou pour stabiliser le processus de décharge. En raison de sa résistance élevée et de sa résistance à la corrosion, le fil de molybdène peut fonctionner pendant une longue période dans un environnement de décharge à haute température sans déformation. Par exemple, dans la fabrication de vannes de lampes au sodium haute pression, les fils de molybdène sont transformés en filaments d'un diamètre de 0,05 mm à 0,2 mm, qui sont enroulés avec précision pour former une structure de grille afin d'assurer la stabilité de l'arc et le rendement lumineux de la lampe.

Crochets et entretoises

Des crochets et des entretoises sont utilisés pour maintenir les éléments électrogènes (par exemple, des fils de tungstène ou des électrodes) à l'intérieur de la source lumineuse électrique. Le point de fusion élevé et la résistance mécanique du fil de molybdène en font un matériau idéal. Par exemple, dans la production de lampes halogènes automobiles, le fil de molybdène est transformé en un crochet miniature pour suspendre des luminaires à filament de tungstène afin de s'assurer qu'ils ne se cassent pas ou ne se déforment pas dans un environnement de fonctionnement à haute température (environ 3000°C). De plus, le faible coefficient de dilatation thermique du fil de molybdène assure la stabilité dimensionnelle du crochet et de l'entretoise pendant le cycle thermique, et évite la défaillance structurelle de la lampe due à la dilatation et à la contraction thermiques.

Exemples pratiques

Par exemple, une entreprise internationale d'éclairage utilise des fils de molybdène de 0,1 mm de diamètre pour fabriquer des entretoises et des crochets dans la production de lampes à décharge de gaz à haute intensité (lampes HID). Ces composants sont capables de fonctionner de manière stable à une température de fonctionnement de plus de 2 000 °C, ce qui garantit une durée de vie du luminaire de plus de 20 000 heures. Cette grande fiabilité rend les lampes HID largement utilisées dans le domaine de l'éclairage routier et de l'éclairage industriel.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

5.2.2 Fil central et fil chauffant

Une autre application importante du fil de molybdène dans les sources lumineuses électriques est celle du noyau et du fil chauffant, en particulier dans les lampes à incandescence, les tubes à vide et certaines sources lumineuses spéciales.

Applications de base

Le fil de molybdène est souvent utilisé comme noyau dans les lampes à incandescence et les tubes à vide pour soutenir les filaments de tungstène ou d'autres matériaux électroluminescents. Le point de fusion élevé et la bonne conductivité électrique du fil de molybdène lui permettent de transmettre le courant de manière stable dans des environnements à haute température. Par exemple, dans les lampes à incandescence traditionnelles, le fil de molybdène est enroulé dans un noyau en spirale qui soutient le luminaire à filament de tungstène et garantit qu'il ne s'affaisse pas ou ne se casse pas à des températures élevées. De plus, la résistance à l'oxydation du fil de molybdène le rend adapté à une utilisation dans des environnements sous vide ou à gaz inerte, prolongeant ainsi la durée de vie de la lampe.

Application du fil chauffant

Dans certaines sources lumineuses spéciales, telles que les lampes chauffantes infrarouges, le fil de molybdène est utilisé directement comme fil chauffant. Sa résistivité élevée et sa résistance aux températures élevées lui permettent de générer des températures élevées dans un court laps de temps pour un chauffage rapide ou un rayonnement infrarouge. Par exemple, dans les équipements de séchage infrarouge industriels, le fil chauffant en fil de molybdène peut rapidement augmenter la température à plus de 1000°C, ce qui est utilisé pour le séchage rapide du bois, de la peinture ou des aliments.

Exemples pratiques

Dans une entreprise de fabrication d'équipements de chauffage infrarouge, le fil de molybdène est utilisé pour produire du fil chauffant pour une lampe infrarouge haute puissance, et le fil de molybdène d'un diamètre de 0,3 mm est enroulé avec précision pour former un élément chauffant, qui peut élever la température à 1200 °C en 5 secondes. Cette performance de chauffage efficace est largement utilisée dans les lignes de revêtement automobile et dans l'industrie alimentaire.

5.3 Projection thermique

La technologie de pulvérisation thermique est une technologie de traitement de surface qui pulvérise des matériaux fondus ou semi-fondus sur la surface du substrat pour former un revêtement, et le fil de molybdène est largement utilisé dans ce domaine en raison de son point de fusion élevé et de son excellente résistance à l'usure. Ce qui suit est une analyse détaillée de deux aspects : le renforcement et la réparation de la surface, et la préparation du revêtement résistant à l'usure.

5.3.1 Renforcement et réparation de la surface

Le fil de molybdène est utilisé comme matériau de pulvérisation dans la technologie de pulvérisation thermique pour former un revêtement haute performance par pulvérisation à l'arc ou par projection plasma, qui est utilisé pour renforcer la surface du substrat ou réparer les pièces usées.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Renforcement de surface

Les revêtements par pulvérisation de fil de molybdène offrent une dureté et une résistance à la corrosion extrêmement élevées, ce qui peut améliorer considérablement les propriétés de surface des substrats. Par exemple, dans l'industrie pétrochimique, le fil de molybdène est pulvérisé sur la surface des vannes de pipeline pour former un revêtement de molybdène d'une épaisseur d'environ 0,2 mm, qui peut résister efficacement aux gaz acides et à la corrosion à haute température, et prolonger la durée de vie de la vanne. De plus, le faible coefficient de frottement du revêtement en molybdène lui confère d'excellentes propriétés anti-usure dans les pièces coulissantes telles que les segments de piston.

Réparation de composants

La projection thermique de fil de molybdène est également utilisée pour réparer les pièces mécaniques usées. Par exemple, dans l'industrie de la machinerie lourde, les pièces d'arbre usées (par exemple, les vilebrequins, les arbres de transmission) peuvent être restaurées à leur taille et à leurs performances d'origine par pulvérisation de fil de molybdène. La force d'adhérence élevée du revêtement en molybdène (jusqu'à plus de 70 MPa) garantit que les pièces réparées peuvent résister à des charges et des chocs élevés. De plus, le coût de la réparation par pulvérisation de fil de molybdène est beaucoup plus faible que le remplacement de pièces neuves, ce qui présente des avantages économiques importants.

Exemples pratiques

Prenons l'exemple d'une entreprise de construction navale, lors de la réparation du vilebrequin d'un moteur diesel marin, elle a utilisé du fil de molybdène pour la pulvérisation à l'arc afin de former un revêtement de molybdène de 0,3 mm d'épaisseur, ce qui a permis de restaurer avec succès la précision dimensionnelle et la dureté de surface du vilebrequin. Le vilebrequin réparé présente une excellente résistance à l'usure et à la fatigue lors d'un fonctionnement à charge élevée, ce qui prolonge la durée de vie d'environ 30 %.

5.3.2 Préparation des revêtements résistants à l'usure

Le fil de molybdène est également utilisé dans la pulvérisation thermique pour préparer des revêtements résistants à l'usure, qui sont largement utilisés dans les scénarios industriels nécessitant une résistance élevée à l'usure.

Propriétés de revêtement résistant à l'abrasion

Le revêtement formé par la pulvérisation de fil de molybdène a une dureté élevée (environ HV 800-1000) et d'excellentes propriétés anti-usure, ce qui le rend adapté aux environnements à fort frottement. Par exemple, dans les équipements miniers, du fil de molybdène est pulvérisé sur la surface des dents de l'excavatrice pour former un revêtement résistant à l'usure qui peut résister efficacement à l'usure du sable et des minéraux et prolonger la durée de vie des dents. De plus, les propriétés autolubrifiantes du revêtement en molybdène le rendent excellent dans les environnements de friction à haute température.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Applications multisectorielles

Dans l'industrie sidérurgique, des revêtements par pulvérisation de fils de molybdène sont appliqués sur les surfaces des rouleaux pour améliorer leur résistance à l'usure et leur résistance à la fatigue thermique. Par exemple, les rouleaux de plaques d'acier laminées à chaud sont sujets à l'usure de surface dans des environnements à haute température et à haute pression, et le revêtement formé par la pulvérisation de fil de molybdène peut prolonger la durée de vie du rouleau de 2 à 3 fois. De plus, dans les centrales éoliennes, la pulvérisation de fils de molybdène est utilisée pour le traitement de surface des roulements de pales, ce qui améliore considérablement la résistance à l'usure des roulements.

Exemples pratiques

Dans une entreprise de production de ciment, le fil de molybdène est utilisé pour pulvériser la plaque de revêtement d'une cimenterie afin de former un revêtement résistant à l'usure d'une épaisseur de 0,5 mm. La dureté élevée et la résistance à la corrosion du revêtement le rendent résistant à l'usure intense du clinker de ciment, et la durée de vie du revêtement est prolongée de 6 mois à 18 mois, ce qui réduit considérablement les coûts de maintenance.

5.4 Autres applications industrielles

En plus des principaux domaines d'application mentionnés ci-dessus, le fil de molybdène joue également un rôle important dans plusieurs domaines de haute technologie tels que l'aérospatiale, les dispositifs médicaux et les industries électroniques. Voici l'analyse.

5.4.1 Traitement des matériaux aérospatiaux

L'industrie aérospatiale a des exigences de performance extrêmement élevées pour les matériaux, et le fil de molybdène est largement utilisé dans le traitement des composants critiques en raison de sa haute résistance, de sa résistance aux hautes températures et de sa résistance à la corrosion.

Usinage d'aubes de turbine

Le fil de molybdène est utilisé dans l'électroérosion à fil pour usiner les trous de refroidissement et les contours complexes des aubes de turbine des moteurs d'avion. Ces trous de refroidissement ont généralement un diamètre compris entre 0,1 et 0,3 mm et ont des chemins spatiaux complexes, auxquels répondent le diamètre fin et les capacités d'usinage de haute précision du fil de molybdène. Par exemple, lors de l'usinage de lames en superalliage à base de nickel, le fil de molybdène est capable d'atteindre une tolérance de trou de $\pm 0,002$ mm, assurant ainsi le refroidissement et les performances de la lame.

Usinage des composites

Les composites en fibre de carbone (CFRP) et les composites à matrice céramique (CMC), qui sont largement utilisés dans l'industrie aérospatiale, ont une dureté élevée et une faible conductivité, qui sont difficiles à traiter avec l'usinage traditionnel. Le fil de molybdène peut être traité efficacement par électroérosion à fil pour traiter ces matériaux, par exemple dans la fabrication de revêtements d'ailes d'avions, où il est utilisé pour découper des ouvertures complexes et des trous de connexion dans des panneaux composites.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Exemples pratiques

Si l'on prend l'exemple d'une entreprise de fabrication de moteurs d'avion, dans la production de pales de turboréacteurs, elle utilise un fil de molybdène de 0,18 mm de diamètre pour la découpe de fils EDM, et traite avec succès un trou de refroidissement d'un diamètre de 0,2 mm, et la rugosité de la paroi du trou atteint Ra 0,1 micron. Cet usinage de haute précision améliore considérablement l'efficacité thermique et la durée de vie des lames.

5.4.2 Fabrication d'instruments médicaux

L'application du fil de molybdène dans la fabrication de dispositifs médicaux est principalement axée sur des scénarios avec des exigences de haute précision et de biocompatibilité.

Instruments chirurgicaux mini-invasifs

Le fil de molybdène est utilisé pour traiter des instruments chirurgicaux mini-invasifs tels que les composants endoscopiques, les fils-guides et les stents. Par exemple, dans la fabrication de stents cardiaques, le fil de molybdène peut être usiné en une structure de grille miniature d'un diamètre inférieur à 0,05 mm par électroérosion à fil, garantissant ainsi l'élasticité et la biocompatibilité du stent. De plus, la finition de surface élevée du fil de molybdène réduit la friction et la réponse inflammatoire causées par l'appareil dans le corps humain.

Implants dentaires et orthopédiques

Le fil de molybdène est utilisé dans le traitement des implants dentaires et des dispositifs de fixation orthopédiques tels que les implants dentaires et les vis à os. Ces composants nécessitent souvent des géométries complexes et une qualité de surface élevée, et les capacités d'usinage de précision du fil de molybdène sont en mesure de répondre à ces exigences. Par exemple, dans la fabrication d'implants dentaires, le fil de molybdène peut être utilisé pour couper des fils de taille micrométrique afin d'améliorer la force de liaison de l'implant.

Exemples pratiques

Dans une entreprise de dispositifs médicaux, le fil de molybdène est utilisé pour traiter les vis à os en alliage de titane, la tolérance de filetage est contrôlée à $\pm 0,003$ mm et la rugosité de surface atteint Ra 0,05 micron. Cette vis de haute précision est largement utilisée dans la chirurgie de fixation des fractures, améliorant considérablement le taux de réussite de la chirurgie et la vitesse de récupération du patient.

5.4.3 Applications dans l'industrie électronique

L'application du fil de molybdène dans l'industrie électronique se reflète principalement dans la fabrication de semi-conducteurs et le traitement de dispositifs microélectroniques.

Traitement des moules de semi-conducteurs

Le fil de molybdène est utilisé dans l'électroérosion des fils pour traiter les moules d'emballage de puces à semi-conducteurs et les modèles de découpe de plaquettes. Par exemple, dans la production de moules d'emballage à circuit intégré (CI), le fil de molybdène est capable de découper des rainures microscopiques d'une largeur de seulement 0,02 mm, assurant une précision et une

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

cohérence élevées du moule.

Connecteurs microélectroniques

Le fil de molybdène est utilisé pour traiter les structures complexes des connecteurs microélectroniques, tels que les trous de connexion des cartes de circuits imprimés d'interconnexion à haute densité (HDI). Ces trous de connexion ont généralement un diamètre inférieur à 0,1 mm, et la capacité d'usinage de haute précision du fil de molybdène est capable de répondre à ses tolérances serrées.

Exemples pratiques

Dans une entreprise de fabrication de semi-conducteurs, le fil de molybdène est utilisé pour traiter les modèles de découpe de plaquettes, et la tolérance de largeur de rainure du modèle est contrôlée à $\pm 0,001$ mm, et la rugosité de surface atteint Ra 0,03 micron. Ce modèle de haute précision améliore considérablement le taux de rendement de la découpe des plaquettes et est largement utilisé dans la production de puces 5G et de puces d'IA.



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Chapitre 6 Équipement de production pour l'électroérosion à fil de molybdène

En tant que matériau métallique haute performance, le fil de molybdène est largement utilisé dans les domaines de haute technologie tels que l'électroérosion à fil, la source de lumière électrique, la pulvérisation thermique et l'aérospatiale, et son processus de production a des exigences extrêmement élevées pour l'équipement. La production de fil de molybdène implique de multiples maillons, de la préparation de la matière première au tréfilage, au traitement de surface, au traitement thermique et à l'inspection finale de la qualité, chacun d'entre eux nécessitant un équipement spécial pour garantir la haute précision, la haute résistance et l'excellente qualité de surface du fil de molybdène. Ce chapitre aborde en détail les différents types d'équipements impliqués dans la production de fil de molybdène et analyse en profondeur leurs fonctions, leurs caractéristiques

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

techniques et leurs paramètres de processus.

6.1 Équipement de préparation des matières premières

La production de fil de molybdène commence par la préparation de matériaux en molybdène de haute pureté, et la qualité des matières premières détermine directement les performances du fil de molybdène final. L'équipement de préparation des matières premières comprend principalement des équipements de production de poudre de molybdène et des fours de frittage, et ses fonctions et applications seront décrites en détail ci-dessous.

6.1.1 Équipement de production de poudre de molybdène

La poudre de molybdène est la matière première de base pour la production de fil de molybdène, et sa pureté, sa taille de particule et son uniformité sont cruciales pour le traitement ultérieur. L'équipement de production de poudre de molybdène comprend principalement des fours de réduction, des broyeurs à boulets et des équipements de criblage, qui sont utilisés pour convertir le concentré de molybdène ou le molybdate d'ammonium en poudre de molybdène de haute pureté.

Four de réduction de l'hydrogène Le four de réduction de l'hydrogène est l'équipement de base pour la production de poudre de molybdène, qui réduit le molybdate d'ammonium ou l'oxyde de molybdène (MoO_3) en poudre de molybdène métallique en utilisant l'hydrogène comme agent réducteur à haute température. Le four de réduction adopte généralement une conception à plusieurs étages, et la température est contrôlée entre 600°C et 1100°C , qui est divisée en deux étapes : réduction à basse température et réduction à haute température. L'oxyde de molybdène est réduit en dioxyde de molybdène (MoO_2) à basse température ($600\text{-}800^\circ\text{C}$) et réduit en poudre de molybdène métallique à haute température ($900\text{-}1100^\circ\text{C}$). Les fours de réduction modernes sont équipés de systèmes de contrôle précis de la température et de dispositifs de contrôle du débit de gaz pour garantir que la pureté de la poudre de molybdène atteint plus de 99,95 % et que la taille des particules est uniformément répartie (généralement de 1 à 5 microns).

Le broyeur à boulets est utilisé pour raffiner la poudre de molybdène préalablement réduite afin de contrôler davantage la distribution granulométrique. L'intérieur de l'équipement adopte une plaque de revêtement en céramique ou en acier au tungstène de haute dureté pour éviter l'introduction d'impuretés dans le processus de broyage de la poudre de molybdène. La vitesse et le temps de broyage du broyeur à boulets doivent être contrôlés avec précision, généralement à 200-400 tr/min, et une vitesse trop élevée peut entraîner l'agglomération de la poudre de molybdène, ce qui affectera l'effet de frittage ultérieur. Le broyage à billes humide peut également améliorer l'efficacité du broyage en ajoutant des supports tels que l'éthanol et empêcher l'oxydation de la poudre de molybdène.

Équipement de criblage et de classement L'équipement de criblage (par exemple, les tamis vibrants ou les classificateurs à jet) est utilisé pour séparer les poudres de molybdène de différentes tailles de particules afin de s'assurer que la distribution granulométrique répond aux exigences de l'emboutissage. Le classificateur à air sépare la poudre de molybdène par la taille des particules grâce à un flux d'air à grande vitesse, avec une précision de $\pm 0,1$ micron, ce qui convient aux

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

matières premières nécessaires à la production de fils de molybdène ultra-fins. De plus, l'équipement de criblage est équipé de dispositifs anti-poussière et anti-oxydation pour empêcher la poudre de molybdène de s'oxyder dans l'air.

6.1.2 Fours de frittage

Le four de frittage est utilisé pour presser la poudre de molybdène en ébauches de molybdène, fournissant une ébauche uniforme à haute densité pour le processus de tréfilage ultérieur. Le processus de frittage doit être effectué à des températures élevées et dans une atmosphère protectrice pour éviter l'oxydation du matériau molybdène.

Four de frittage à haute température Le four de frittage à haute température adopte généralement un chauffage par résistance ou un chauffage par induction, et la température de travail peut atteindre 1800-2200 °C. L'hydrogène ou l'argon est introduit dans le four sous forme d'atmosphère protectrice pour empêcher l'oxydation des billettes de molybdène. Les fours de frittage modernes sont équipés d'un système de contrôle de la température à plusieurs étages, qui peut contrôler avec précision la vitesse de chauffage (généralement 5-10°C/min) et le temps de maintien (2-4 heures) pour garantir que la densité de la billette de molybdène atteint plus de 98 %.

Afin d'améliorer encore l'uniformité et la résistance des billettes de molybdène, certaines entreprises utilisent des fours de frittage par pressage isostatique à chaud (HIP). L'équipement HIP utilise de l'argon à haute pression (100-200 MPa) et à haute température (1800-2000 °C) pour fermer les pores internes de la billette de molybdène et améliorer considérablement la résistance du matériau.

6.2 Équipement de tréfilage

Le tréfilage est le processus de base de la production de fils de molybdène, et l'ébauche de molybdène est progressivement transformée en filament par tréfilage en plusieurs passes. L'équipement de tréfilage comprend une machine de tréfilage de haute précision et une matrice de tréfilage de pierre précieuse, et ses fonctions et exigences techniques seront analysées en détail ci-dessous.

6.2.1 Machine de tréfilage de haute précision

La tréfileuse de haute précision est un équipement clé pour la production de fils de molybdène, qui est utilisé pour étirer des flans de molybdène en filaments d'un diamètre de 0,05 à 0,3 mm. La machine à tréfiler doit disposer d'un contrôle de tension de haute précision et d'une vitesse de fonctionnement stable pour assurer la cohérence dimensionnelle et la qualité de surface du fil de molybdène.

Le tréfilage du fil de molybdène de la machine à tréfiler à plusieurs passes nécessite généralement 20 à 30 passes et le diamètre est progressivement réduit. Les machines d'étirage multi-passes modernes sont entraînées par des servomoteurs et équipées d'un système de contrôle de la tension, capable d'ajuster la vitesse d'étirage (5-20 m/s) et la tension (0,1-2 N) en temps réel pour éviter la rupture du fil de molybdène pendant le processus d'étirage.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Les systèmes de lubrification et de refroidissement génèrent beaucoup de chaleur pendant le processus d'étirage, et les machines de tréfilage de haute précision sont équipées de systèmes de lubrification et de refroidissement efficaces, souvent à base d'huile ou d'eau. Le lubrifiant réduit non seulement les frottements, mais empêche également les rayures à la surface du fil de molybdène.

6.2.2 Matrices d'étirage de pierres précieuses

La matrice d'étirage de pierres précieuses est le composant central du processus d'étirage, ce qui affecte directement la précision dimensionnelle et la qualité de surface du fil de molybdène. Les matrices brossées sont généralement faites de diamant naturel ou de diamant polycristallin synthétique (PCD).

Les matrices d'étirage au diamant ont une dureté et une résistance à l'usure extrêmement élevées et conviennent au traitement des fils de molybdène de haute dureté. Le diamètre du trou de matrice est progressivement réduit de 1 mm à 0,05 mm, et la rugosité de surface du trou de matrice doit être contrôlée en dessous de Ra 0,01 micron pour s'assurer que la surface du fil de molybdène est lisse. Les matrices de tréfilage modernes utilisent la technologie de perçage laser et l'erreur de circularité du trou de la matrice est inférieure à 0,5 micron.

Conception et maintenance des trous de matrice La conception des trous de matrice comprend les zones d'entrée, de travail et de sortie, et les angles et les longueurs de chaque zone doivent être calculés avec précision pour optimiser l'effet d'emboutissage. Par exemple, l'angle de la zone d'entrée est généralement de 30 à 40 ° et la longueur de la zone de travail est de 0,5 à 1 fois le diamètre du trou de la matrice. La matrice d'étirage doit être nettoyée et polie régulièrement pendant l'utilisation pour éliminer les résidus de poudre de molybdène et l'usure de surface.

6.3 Équipement de traitement de surface

La qualité de surface du fil de molybdène est essentielle à ses performances dans l'électroérosion à fil, et les équipements de traitement de surface sont utilisés pour éliminer les couches d'oxyde de surface, améliorer les finitions et appliquer des revêtements fonctionnels. Ce qui suit est une analyse détaillée de trois aspects : le lavage alcalin, le polissage électrolytique et le revêtement en émulsion de graphite.

6.3.1 Équipement de lavage caustique

L'équipement de lavage caustique est utilisé pour éliminer les oxydes, les huiles et autres impuretés de la surface du fil de molybdène afin d'améliorer la propreté de la surface.

Les bains caustiques et les bains caustiques en solution sont généralement en acier inoxydable ou en plastiques résistants à la corrosion, et la solution est une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (NaOH) ou d'hydroxyde de potassium (KOH) avec une concentration de 5 à 10 %. La température de lavage caustique est contrôlée à 60-80 °C, et le fil de molybdène passe à travers la cuve de lavage caustique continue à une vitesse de 5-10 m / min, et le temps de nettoyage est de 10-20 secondes.

Les déchets liquides générés dans le processus de traitement de protection de l'environnement du

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

lavage alcalin doivent être neutralisés pour répondre aux exigences de protection de l'environnement. Les équipements modernes de lavage caustique sont équipés d'un système de récupération des déchets liquides, qui augmente le taux d'élimination des ions métalliques lourds dans les déchets liquides à plus de 95 % grâce à des dispositifs de neutralisation et de filtration acido-alcalins.

6.3.2 Équipement de polissage électrolytique

Le polissage électrolytique améliore encore la finition et la résistance à la corrosion de la surface du fil de molybdène grâce à des réactions électrochimiques.

Cuve de polissage électrolytique La cuve de polissage électrolytique est faite de matériaux résistants aux acides tels que le PTFE, et l'électrolyte est généralement une solution d'acide sulfurique ou d'acide phosphorique avec une concentration de 20 à 30 %. En tant qu'anode, la saillie microscopique à la surface du fil de molybdène est dissoute après avoir été mise sous tension, et la rugosité de surface peut être réduite à moins de Ra 0,02 micron. L'équipement de polissage électrolytique est équipé d'une alimentation à courant constant, la densité de courant est contrôlée à 10-20 A/dm² et le temps de polissage est de 5-15 secondes.

La qualité de l'électropolissage contrôlé par le processus dépend de l'adaptation précise de la température de l'électrolyte (50-70°C), de la densité du courant et de la vitesse à laquelle le fil de molybdène passe. L'équipement moderne adopte un système de contrôle PLC pour surveiller les paramètres électrolytiques en temps réel afin de garantir des résultats de polissage cohérents.

6.3.3 Équipement de revêtement en émulsion de graphite

L'équipement de revêtement en émulsion de graphite est utilisé pour appliquer un revêtement de graphite sur la surface du fil de molybdène afin d'améliorer son pouvoir lubrifiant et sa résistance à l'usure, en particulier dans l'application de l'électroérosion à fil.

Équipement de revêtement L'équipement de revêtement d'émulsion de graphite comprend généralement une cuve de revêtement, une fourve de séchage et un système de traction. Le fil de molybdène passe à travers la cuve de revêtement contenant une émulsion de graphite à une vitesse de 5 à 10 m/min, et l'épaisseur du revêtement est contrôlée à 1 à 2 microns. La température du four est de 100-150°C, ce qui garantit que le revêtement durcit rapidement.

Formulation d'émulsion de graphite L'émulsion de graphite est généralement composée de poudre, de liant et de solvant de graphite de haute pureté avec une teneur en graphite de 10 à 20 %. L'équipement d'enrobage est équipé d'un dispositif d'agitation pour assurer l'homogénéité du lait graphite.

6.4 Équipement de traitement thermique

Le traitement thermique est une partie importante de la production de fil de molybdène, qui est utilisé pour éliminer les contraintes internes et améliorer la ductilité et les propriétés mécaniques des matériaux pendant le processus de tréfilage. L'équipement de traitement thermique comprend principalement un four de traitement thermique sous vide et un four de recuit.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

6.4.1 Fours de traitement thermique sous vide

Les fours de traitement thermique sous vide sont utilisés pour traiter thermiquement le fil de molybdène dans un environnement sous vide à haute température afin d'éviter l'oxydation et d'améliorer la structure cristalline.

Structure du four à vide Le four de traitement thermique sous vide utilise du molybdène ou du tungstène comme élément chauffant, la température de fonctionnement peut atteindre 1600-1800 °C et le degré de vide est contrôlé en dessous de 10^{-3} Pa. Le four est équipé d'un système de contrôle de la température à plusieurs étages, la vitesse de chauffage est contrôlée à 5-10°C/min et le temps de maintien est de 1-2 heures.

Le traitement thermique sous vide peut éliminer efficacement la contrainte résiduelle à l'intérieur du fil de molybdène, améliorant ainsi sa ductilité et sa ténacité. Les fours à vide modernes sont équipés d'un système de surveillance en ligne pour détecter la température et le degré de vide du fil de molybdène en temps réel afin de garantir que l'effet du traitement thermique est cohérent.

6.4.2 Fours de recuit

Les fours de recuit sont utilisés pour recuire le fil de molybdène à des températures plus basses afin d'optimiser davantage ses propriétés mécaniques.

Four de recuit continu Le four de recuit continu adopte de l'hydrogène ou de l'argon pour protéger l'atmosphère, la température est contrôlée à 800-1200 °C et le fil de molybdène passe à travers le corps du four à une vitesse de 5-15 m/min. Le four de recuit est équipé d'un thermomètre infrarouge avec une précision de contrôle de la température de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Processus de recuit segmenté Le processus de recuit est généralement divisé en trois étapes : préchauffage, conservation de la chaleur et refroidissement, la température de préchauffage est de 600-800 °C, la température de maintien est de 1000-1100 °C et le refroidissement adopte une injection de gaz inerte pour éviter l'oxydation.

6.5 Équipement d'essai et de contrôle de la qualité

La qualité du fil de molybdène affecte directement ses performances dans l'électroérosion à fil, et des équipements d'inspection et de contrôle de la qualité sont utilisés pour s'assurer que la précision dimensionnelle, la qualité de surface et les propriétés mécaniques du fil de molybdène répondent aux exigences. Voici une analyse détaillée sous trois aspects : mesure du diamètre du fil, détection des défauts de surface et essai de résistance à la traction.

6.5.1 Instrument de mesure du diamètre du fil

Les calibres de diamètre de fil sont utilisés pour mesurer avec précision le diamètre du fil de molybdène afin de s'assurer qu'il respecte les tolérances.

Instrument de mesure du diamètre du fil laser L'instrument de mesure du diamètre du fil laser adopte un principe de mesure sans contact, avec une précision de $\pm 0,0001$ mm, et convient aux fils de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

molybdène d'un diamètre de 0,05 à 0,3 mm. L'équipement est équipé d'un système de balayage à grande vitesse avec une fréquence de mesure allant jusqu'à 1000 fois par seconde, qui peut détecter le changement de diamètre du fil de molybdène en temps réel.

L'instrument moderne de mesure du diamètre du fil est intégré dans la ligne de production de tréfilage, et le diamètre du fil de molybdène est surveillé en temps réel par le système d'inspection en ligne, et renvoyé à la machine de tréfilage pour un réglage automatique.

6.5.2 Détecteur de défauts de surface

Les détecteurs de défauts de surface sont utilisés pour détecter les défauts tels que les rayures, les fissures et les oxydes à la surface du fil de molybdène afin d'assurer sa qualité de surface.

Inspection au microscope optique L'inspecteur de microscope optique est équipé d'une caméra CCD haute résolution avec un grossissement allant jusqu'à 1000 fois, capable de détecter des défauts au micron à la surface du fil de molybdène.

Équipement d'essai par courants de Foucault L'équipement d'essai par courants de Foucault détecte les défauts internes et les fissures de surface à la surface du fil de molybdène grâce au principe de l'induction électromagnétique, qui convient à l'inspection continue à grande vitesse. L'appareil a une sensibilité allant jusqu'à 0,1 micron et une vitesse de détection allant jusqu'à 20 m/min.

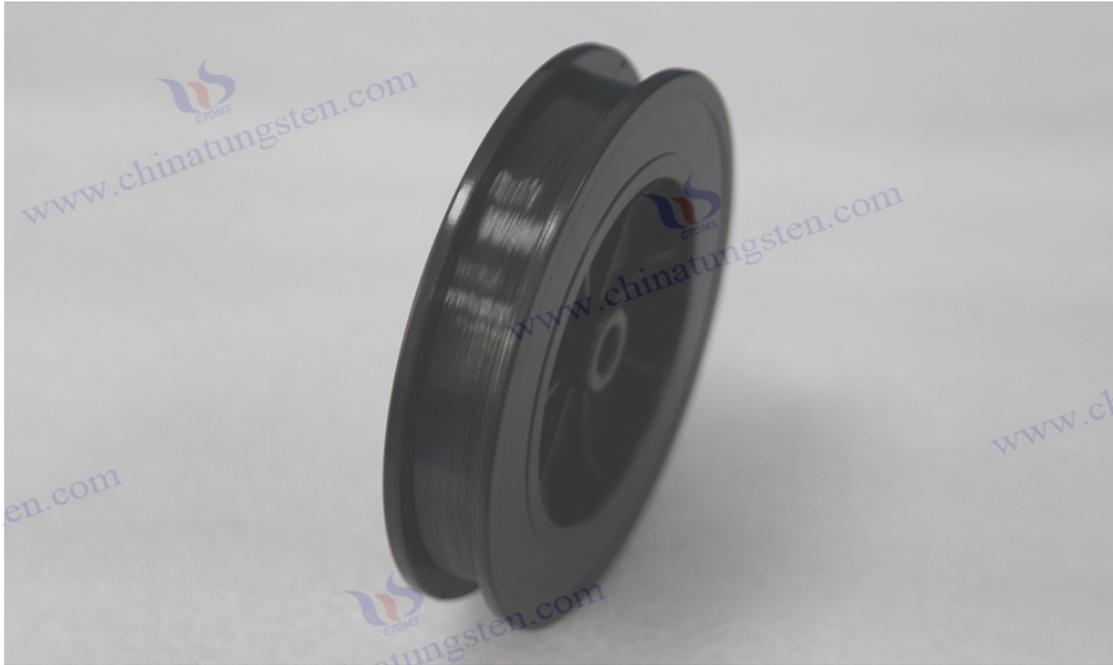
6.5.3 Machine d'essai de résistance à la traction

Des machines d'essai de résistance à la traction sont utilisées pour mesurer les propriétés mécaniques du fil de molybdène afin de s'assurer qu'il ne se brise pas dans un environnement de coupe de fil à haute résistance.

Machine d'essai de micro-traction La machine d'essai de micro-traction est conçue pour les fils de molybdène de diamètre fin, avec une plage d'essai de 0,1 à 100 N et une précision de $\pm 0,1$ %. L'équipement est équipé de fixations de haute précision pour éviter d'endommager le fil de molybdène pendant le processus de serrage.

Les testeurs de résistance à la traction modernes sont équipés de fonctions de charge dynamique qui simulent l'état de contrainte réel du fil de molybdène dans l'électroérosion à fil.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Chapitre 7 Normes nationales et étrangères pour l'électroérosion à fil de molybdène

Afin de normaliser la production, les tests et l'application du fil de molybdène, une série de normes strictes ont été formulées au pays et à l'étranger, couvrant de nombreux aspects tels que la composition chimique, les propriétés mécaniques, la précision dimensionnelle, la qualité de surface et le contrôle du processus de production. Ces normes fournissent une base technique aux fabricants, fournissent aux utilisateurs un cadre de référence pour l'évaluation de la qualité et favorisent le progrès continu de la technologie de fabrication des fils de molybdène. Ce chapitre aborde en détail les normes nationales et internationales de l'électroérosion en fil de molybdène et l'analyse comparative des deux, et analyse en profondeur les exigences techniques, les impacts sur les processus et les scénarios d'application des normes.

7.1 Norme nationale pour l'électroérosion en fil de molybdène

En tant que pays majeur dans les réserves mondiales de molybdène et la production de produits à base de molybdène, la Chine a formulé un certain nombre de normes nationales (GB / T) et de normes industrielles pour réglementer la production et l'application de fil de molybdène. Ces normes imposent des exigences strictes en matière de pureté chimique, de propriétés mécaniques, de précision dimensionnelle et de qualité de surface de l'électroérosion en fil de molybdène, qui sont largement utilisées dans les domaines de l'électroérosion à fil, de la fabrication de moules, de l'industrie électronique et des sources lumineuses électriques. Vous trouverez ci-dessous une analyse détaillée de son contenu technique et de son importance pour l'application à partir des normes spécifiques.

7.1.1 GB/T 4182-2017

GB / T 4182-2017 « Fil de molybdène » est la norme nationale de base pour le fil de molybdène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

formulée par la Chine, qui convient au fil de molybdène dans l'électroérosion de fil, l'industrie électronique, la source de lumière électrique et d'autres domaines de haute technologie. La norme réglemente de manière exhaustive la qualité du fil de molybdène à partir de nombreux aspects tels que la composition chimique, les propriétés mécaniques, la précision dimensionnelle, la qualité de surface et les méthodes d'essai.

Exigences en matière de composition chimique

GB/T 4182-2017 stipule que la teneur en molybdène du fil de molybdène pour la coupe du fil doit atteindre plus de 99,95 % et que la teneur totale en éléments impuretés (tels que le fer, le nickel, le carbone, l'oxygène, l'azote, etc.) ne doit pas dépasser 0,05 %. Plus précisément, la teneur en fer (Fe) $\leq 0,005$ %, la teneur en nickel (Ni) $\leq 0,003$ %, la teneur en carbone (C) $\leq 0,01$ %, la teneur en oxygène (O) $\leq 0,003$ % et la teneur en azote (N) $\leq 0,002$ %. Des exigences de pureté élevées garantissent que le fil de molybdène a une excellente stabilité chimique dans les décharges à haute fréquence et les environnements à haute température. Par exemple, dans l'électroérosion à fil, le fil de molybdène de haute pureté peut réduire considérablement les pertes d'électrodes lors de la décharge, prolonger la durée de vie et améliorer l'efficacité de la coupe. De plus, le contrôle strict des oligo-éléments dans la norme réduit également la tendance à l'oxydation du fil de molybdène à haute température, améliorant ainsi sa fiabilité dans les environnements de traitement complexes.

Exigences en matière de propriétés mécaniques

La résistance à la traction et l'allongement à la rupture du fil de molybdène sont spécifiés en détail dans la norme. La résistance à la traction de l'EDM du fil de molybdène dans la plage de 0,05 à 0,3 mm et l'allongement à la rupture doivent atteindre 1800-2200 MPa, et l'allongement à la rupture doit être de ≥ 2 %. Ces indicateurs de performance garantissent que le fil de molybdène peut résister à des contraintes mécaniques continues et à des chocs de décharge sans se rompre lors de la coupe de fils à haute résistance. La norme exige également que le fil de molybdène subisse un traitement thermique approprié (tel que le recuit sous vide ou le recuit à l'hydrogène) pendant le processus de production afin d'optimiser sa structure cristalline et d'éliminer les contraintes internes générées pendant le processus d'étirage, améliorant ainsi la ténacité et la résistance à la fatigue.

Précision dimensionnelle et qualité de surface

GB/T 4182-2017 a des exigences extrêmement strictes pour la précision dimensionnelle du fil de molybdène, la tolérance de diamètre doit être contrôlée à $\pm 0,002$ mm et l'erreur de circularité $\leq 0,001$ mm pour assurer l'uniformité de l'espace de décharge et la stabilité de la précision d'usinage dans le processus de coupe du fil. En termes de qualité de surface, la norme exige que la rugosité de surface du fil de molybdène soit de $Ra \leq 0,05$ micron, et qu'il n'y ait pas de fissures, de rayures, d'oxydes, de taches d'huile ou d'autres défauts microscopiques sur la surface. Ces exigences sont essentielles à la stabilité de la décharge et à la finition de surface de l'électroérosion à fil, en particulier lors de l'usinage de microstructures ou de moules de haute précision, où la qualité de surface du fil de molybdène affecte directement la précision géométrique et la rugosité de surface des pièces usinées.

Méthodes d'essai et contrôle de la qualité

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

La norme spécifie en détail les méthodes d'essai pour le fil de molybdène, y compris l'analyse de la composition chimique, les tests de propriétés mécaniques, la mesure dimensionnelle et les tests de qualité de surface. L'analyse de la composition chimique utilise des instruments de haute précision tels que la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) ou la spectroscopie d'absorption atomique (AAS) pour assurer une mesure précise de la teneur en impuretés. L'essai des propriétés mécaniques utilise une machine d'essai de traction miniature pour mesurer la résistance à la traction et l'allongement à la rupture avec une précision de $\pm 0,1$ %. La mesure de la taille adopte un instrument de mesure du diamètre du fil laser, et la fréquence de détection peut atteindre 1000 fois / seconde pour assurer la cohérence du diamètre. L'inspection de la qualité de surface combine un microscope optique (grossissement de 1000x) et un détecteur à courants de Foucault pour identifier les défauts de surface dans la gamme de 0,1 micron. La norme exige également que les fabricants mettent en place un système de contrôle de la qualité solide, y compris des tests d'entrée des matières premières, la surveillance du processus de production et l'inspection de l'usine de produits finis, afin de garantir l'uniformité des performances de chaque lot de fil de molybdène.

Importance de la demande

GB/T 4182-2017 fournit une spécification technique unifiée pour la production de fil de molybdène EDM et promeut la normalisation et le développement à grande échelle de l'industrie nationale du fil de molybdène. Les exigences élevées de cette norme ont incité les fabricants à optimiser la préparation des matières premières, les processus de tréfilage et les techniques de traitement de surface afin d'améliorer les performances et la fiabilité des fils de molybdène. En outre, la norme fournit aux utilisateurs des indicateurs de performance clairs pour la sélection des matériaux et l'évaluation de la qualité dans des domaines tels que la fabrication de moules, l'aérospatiale et l'électronique.

7.1.2 GB/T 3462-2017

GB / T 3462-2017 « Tige de molybdène et fil de molybdène » est une norme nationale générale pour la tige de molybdène et le fil de molybdène en Chine, qui convient à divers scénarios d'application tels que la coupe de fil, la source de lumière électrique, la pulvérisation thermique, etc. Sur la base de la norme GB/T 4182-2017, cette norme affine encore la classification, les exigences de performance et les spécifications du processus de production du fil de molybdène.

Classification et spécifications

La norme divise le fil de molybdène en trois catégories en fonction de son application : le fil de molybdène pour la coupe de fil, le fil de molybdène pour la source lumineuse électrique et le fil de molybdène à des fins spéciales. La plage de diamètres du fil de molybdène pour la coupe du fil est de 0,05 à 0,3 mm et l'exigence de tolérance de diamètre est de $\pm 0,002$ mm. La norme classe également l'état de surface du fil de molybdène, y compris le fil noir (non poli avec une couche d'oxyde sur la surface), le fil blanc (électropoli avec une surface lisse) et le fil revêtu (recouvert d'une émulsion de graphite ou d'un autre revêtement lubrifiant). Par exemple, le fil blanc pour l'électroérosion à fil nécessite une rugosité de surface de $Ra \leq 0,02$ micron pour améliorer la stabilité de la décharge, tandis que les fils revêtus doivent assurer une épaisseur de revêtement uniforme (1 à 2 microns) pour réduire le coefficient de frottement et prolonger la durée de vie.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Propriétés mécaniques et traitement thermique

GB / T 3462-2017 exige que la résistance à la traction du fil de molybdène pour la coupe de fil soit de 1800-2300 MPa et que l'allongement à la rupture soit de $\geq 1,5$ %. Par rapport à la norme GB/T 4182-2017, cette norme a des exigences de résistance légèrement plus élevées, reflétant les besoins particuliers de l'électroérosion à fil de molybdène dans un environnement de traitement à haute résistance. La norme spécifie également que le fil de molybdène doit être recuit ou traité thermiquement sous vide à une plage de température de 800 à 1200 °C et sous atmosphère protectrice d'hydrogène ou de vide poussé ($\leq 10^{-3}$ Pa) pour éliminer les contraintes résiduelles pendant le processus d'étirage et optimiser la taille des grains (généralement contrôlée à 5-10 microns). La standardisation du processus de traitement thermique assure la stabilité du fil de molybdène en décharge à haute fréquence et en étirement mécanique, et réduit le risque de rupture du fil.

Exigences en matière d'emballage et de stockage

La norme met en avant des exigences détaillées pour l'emballage et le stockage du fil de molybdène, qui doit être étanche à l'humidité et à l'oxydation, comme les sacs en plastique sous vide ou les emballages remplis de gaz inerte (argon ou azote), afin d'empêcher le fil de molybdène de s'oxyder ou de se laisser aller à l'humidité pendant le transport et le stockage. L'emballage doit être marqué avec les spécifications, le numéro de lot, le poids et la longueur du fil de molybdène, par exemple, la longueur de chaque bobine de fil de molybdène est généralement de 1000 à 3000 mètres et le poids est de 0,5 à 2 kg. La norme exige également que le matériau d'emballage ait une résistance à la compression suffisante pour éviter d'endommager le fil de molybdène pendant le transport. Ces exigences garantissent que le fil de molybdène est livré à l'utilisateur à son meilleur.

Importance de la demande

GB/T 3462-2017 fournit des conseils techniques ciblés pour différents scénarios d'application en affinant la classification et les exigences de performance du fil de molybdène. Par exemple, les exigences élevées de résistance et de finition de surface du fil de molybdène pour la coupe de fil le rendent adapté au traitement de moules de haute précision ; La stabilité à haute température du fil de molybdène pour source lumineuse électrique répond aux besoins de la fabrication de lampes. La mise en œuvre de cette norme a favorisé l'optimisation du processus de production du fil de molybdène et a favorisé le développement de l'industrie nationale du fil de molybdène dans le sens de hautes performances et de haute valeur ajoutée.

7.1.3 Autres normes pertinentes de l'industrie

En plus des normes nationales, la Chine a également formulé un certain nombre de normes industrielles qui proposent des exigences plus spécifiques pour le fil de molybdène dans des domaines d'application spécifiques. Ces normes jouent un rôle important dans les domaines de haute technologie tels que l'aérospatiale, les dispositifs médicaux et l'industrie électronique.

YS/T 357-2006

Cette norme industrielle est spécialement développée pour le fil de molybdène pour l'électroérosion à fil, en mettant l'accent sur sa composition chimique, sa précision dimensionnelle et sa qualité de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

surface. La norme exige une teneur en molybdène de $\geq 99,95\%$, une teneur totale en impuretés de $\leq 0,05\%$, une tolérance de diamètre de $\pm 0,0015$ mm et une rugosité de surface de $Ra \leq 0,02$ micron. La norme met également en avant des exigences pour la résistance à l'usure et la stabilité du fil de molybdène dans des environnements de décharge à haute fréquence, comme lors de la coupe de carbure cémenté ou de superalliage, le taux de perte du fil de molybdène doit être inférieur à $0,1\%$. De plus, la norme exige que le fil de molybdène soit électropoli ou recouvert d'une émulsion de graphite pour améliorer la finition de surface et le pouvoir lubrifiant, réduisant ainsi les pertes inégales d'arc et d'électrode lors de la décharge.

HB 7742-2004

Cette norme de l'industrie aérospatiale est destinée aux applications de fil de molybdène dans le secteur aérospatial, en mettant l'accent sur les performances à haute température, la résistance à la fatigue et la stabilité dimensionnelle. La norme exige que le fil de molybdène conserve des propriétés mécaniques stables dans un environnement à haute température de 1500°C , avec une résistance à la traction de ≥ 1800 MPa et une durée de vie en fatigue de $\geq 10^6$ fois. En termes de qualité de surface, la norme exige une rugosité de surface de $Ra \leq 0,015$ micron et aucun défaut microscopique sur la surface pour répondre aux exigences de haute précision du traitement des pièces de moteurs d'avion. La norme met également en avant des exigences spécifiques pour le processus de traitement thermique du fil de molybdène, comme le traitement thermique dans un environnement sous vide de $1600-1800^{\circ}\text{C}$ afin d'optimiser la structure cristalline et les propriétés mécaniques.

Autres normes de l'industrie

Dans le domaine des dispositifs médicaux, les normes industrielles pertinentes (telles que les séries YY/T) imposent des exigences plus élevées en matière de biocompatibilité et de qualité de surface du fil de molybdène. Par exemple, le fil de molybdène médical nécessite un traitement de surface spécial (tel que le polissage électrolytique et le nettoyage par ultrasons) pour garantir la non-toxicité et une faible rugosité de surface ($Ra \leq 0,01$ micron), ce qui convient au traitement de dispositifs médicaux de haute précision tels que les stents cardiaques et les vis à os. De plus, dans l'industrie électronique, les normes exigent que les fils de molybdène aient une consistance dimensionnelle et une conductivité extrêmement élevées pour répondre aux besoins de traitement des moules à semi-conducteurs et des connecteurs microélectroniques.

Importance de la demande

Ces normes industrielles complètent les lacunes des normes nationales et proposent des exigences plus précises pour les besoins d'application de domaines spécifiques. Par exemple, YS/T 357-2006 promeut l'application de l'électroérosion à fil de molybdène dans le traitement de matériaux à haute dureté ; HB 7742-2004 garantit la fiabilité du fil de molybdène dans le secteur aérospatial. La mise en œuvre de ces normes améliore non seulement la qualité du fil de molybdène, mais favorise également le progrès technologique et la compétitivité du marché des industries connexes.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

7.2 Norme internationale pour l'électroérosion à fil de molybdène

Les normes internationales fournissent un cadre technique mondial pour la production et l'application du fil de molybdène, qui est largement utilisé dans le commerce transfrontalier, l'échange de technologies et la coopération internationale. Ce qui suit est une analyse détaillée des exigences normatives internationales pour l'électroérosion en fil de molybdène basées sur ASTM, ISO et d'autres normes internationales.

7.2.1 Spécification standard ASTM B387 pour les barres, les fils et les plaques en molybdène et en alliage de molybdène

La norme ASTM B387 est une norme pour les produits en molybdène et en alliage de molybdène formulée par l'American Society for Testing and Materials (ASTM), qui est largement utilisée dans divers scénarios tels que l'EDM en fil de molybdène, le fil de molybdène à source lumineuse électrique et le fil de molybdène par projection thermique. Cette norme propose des exigences détaillées concernant la composition chimique, les propriétés mécaniques, la précision dimensionnelle et la qualité de surface du fil de molybdène.

Composition chimique et classification

La norme ASTM B387 classe le fil de molybdène en plusieurs grades, le type 361 (molybdène de haute pureté, teneur en molybdène \geq de 99,95 %) étant le principal type de fil de molybdène pour la coupe du fil. La norme exige que la teneur totale en éléments d'impuretés soit \leq 0,05 %, dont \leq 0,005 % de fer (Fe), \leq 0,003 % de nickel (Ni), \leq 0,01 % de carbone (C), \leq 0,005 % d'oxygène (O) et \leq 0,002 % d'azote (N). Par rapport à la norme nationale, la norme ASTM B387 a des exigences légèrement moins strictes pour la teneur en oxygène, mais le contrôle des autres impuretés est tout aussi strict. Les exigences de pureté élevées garantissent la stabilité du fil de molybdène dans des environnements à haute température et corrosifs, et conviennent à l'électroérosion à fil et à la fabrication de sources lumineuses électriques.

Exigences en matière de propriétés mécaniques

La norme stipule que la résistance à la traction du fil de molybdène pour la coupe du fil est de 1700 à 2200 MPa, et que l'allongement à la rupture est de \geq 2 %, et les performances spécifiques varient en fonction du diamètre et de l'application. Par exemple, un fil de molybdène d'un diamètre de 0,1 à 0,2 mm doit avoir une résistance à la traction élevée (\geq 2000 MPa) pour résister à la tension élevée lors de la coupe du fil. La norme exige également que le fil de molybdène soit recuit à une température de 800-1200°C et sous atmosphère protectrice d'hydrogène ou de vide pour optimiser les propriétés mécaniques et la ténacité. Le processus de recuit nécessite un contrôle strict de la vitesse de chauffage (5-10°C/min) et du temps de maintien (1-2 heures) pour éviter une granulométrie excessive ou des résidus de contraintes internes.

Précision dimensionnelle et qualité de surface

La norme ASTM B387 exige une tolérance de diamètre de fil de molybdène de \pm 0,002 mm, une erreur de circularité de \leq 0,001 mm, une rugosité de surface de $Ra \leq$ 0,05 microns et l'absence de fissures, de rayures, d'oxydes ou d'autres défauts sur la surface. Ces exigences garantissent l'uniformité de la décharge et la précision d'usinage du fil de molybdène dans l'électroérosion à fil.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

En outre, la norme met également en avant des exigences pour le traitement de surface du fil de molybdène, comme le polissage électrolytique ou le nettoyage chimique pour éliminer la couche d'oxyde de surface afin d'améliorer la finition de surface et la résistance à la corrosion.

Essais et certification

La norme spécifie les méthodes de détection du fil de molybdène, y compris l'analyse de la composition chimique (à l'aide de la spectroscopie de fluorescence X ou ICP-MS), l'essai des propriétés mécaniques (à l'aide d'une machine d'essai de micro-traction), la mesure dimensionnelle (à l'aide d'un instrument de mesure du diamètre du fil laser) et l'essai de la qualité de surface (à l'aide d'un microscope optique ou d'un microscope électronique à balayage). Les résultats des tests sont consignés dans un certificat de qualité et remis à l'utilisateur afin d'assurer la traçabilité de la qualité du produit. La norme exige également que les fabricants étalonnent régulièrement leurs équipements de test pour s'assurer que la précision de mesure répond aux exigences (par exemple, les instruments de mesure laser doivent être précis à $\pm 0,0001$ mm).

Importance de la demande

La norme ASTM B387 fournit une spécification technique unifiée pour les fabricants mondiaux de fils de molybdène et favorise la circulation et l'application du fil de molybdène sur le marché international. Les exigences élevées de cette norme ont entraîné des améliorations dans les processus de production, telles que l'application d'un tréfilage de haute précision, d'un traitement thermique sous vide et d'une technologie de polissage de surface, qui ont amélioré les performances et la fiabilité du fil de molybdène. En outre, la norme fournit aux utilisateurs des indicateurs de performance clairs pour la sélection des matériaux et l'évaluation de la qualité dans l'aérospatiale, l'industrie électronique et la fabrication de moules.

7.2.2 Certification du système de management de la qualité ISO 9001

ISO 9001 est une norme de système de gestion de la qualité formulée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO), bien qu'elle ne soit pas une norme spéciale pour le fil de molybdène, elle est largement utilisée dans la gestion de la qualité des entreprises de production de fil de molybdène pour assurer la normalisation du processus de production et la stabilité de la qualité du produit.

Exigences du système de management de la qualité

La norme ISO 9001 exige des fabricants qu'ils mettent en place un système complet de management de la qualité, couvrant l'approvisionnement en matières premières, le contrôle des processus de production, les tests de produits, l'emballage et le transport, ainsi que le service après-vente. Pour la production de fil de molybdène, il est nécessaire d'assurer la contrôlabilité de l'ensemble du processus, de la préparation de la poudre de molybdène, du frittage, du tréfilage, du traitement de surface au traitement thermique. La norme exige des entreprises qu'elles élaborent un plan de contrôle de la qualité détaillé, y compris des normes d'acceptation des matières premières, la surveillance des paramètres de production, les spécifications d'essai des produits finis, etc. Par exemple, la poudre de molybdène de la matière première doit subir une analyse de composition chimique et des tests de taille de particules, la tolérance de diamètre et la qualité de surface doivent

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

être surveillées en temps réel pendant le processus de tréfilage, et le fil de molybdène fini doit être testé pour sa résistance à la traction et sa rugosité de surface.

Contrôle et traçabilité des processus

La norme ISO 9001 met l'accent sur la traçabilité du processus de production et exige des entreprises qu'elles enregistrent les paramètres de production (par exemple, la vitesse d'étirage, la température de recuit, le processus de traitement de surface) et les données d'essai (par exemple, tolérance de diamètre, rugosité de surface, résistance à la traction) de chaque lot de fil de molybdène. Ces registres sont conservés pendant au moins 3 ans et peuvent être mis à la disposition des utilisateurs pour suivre la qualité de leurs produits. En outre, la norme exige des entreprises qu'elles procèdent régulièrement à des audits internes et à des revues de direction afin d'identifier les problèmes potentiels dans le processus de production et de mettre en œuvre des améliorations. Par exemple, en analysant les données sur le taux de casse pendant le processus d'emboutissage, les entreprises peuvent optimiser les formulations de lubrifiants ou dessiner la conception des matrices pour améliorer l'efficacité de la production.

Amélioration continue et satisfaction client

La norme exige des entreprises qu'elles améliorent la qualité des produits et la satisfaction des clients grâce à une amélioration continue. Par exemple, les fabricants de fils de molybdène peuvent réduire les taux de rejet et améliorer l'uniformité des produits en introduisant des équipements d'inspection automatisés tels que des instruments de mesure du diamètre des fils laser en ligne ou en optimisant les processus de traitement thermique. L'ISO 9001 exige également des entreprises qu'elles mettent en place des mécanismes de retour d'information des clients afin de traiter les problèmes de qualité et d'améliorer les processus de production en temps opportun, renforçant ainsi la compétitivité du marché.

Importance de la demande

La certification ISO 9001 fournit un cadre international de gestion de la qualité pour les fabricants de fils de molybdène, ce qui contribue à améliorer l'efficacité de la production et la qualité des produits. Par exemple, en mettant en œuvre la norme ISO 9001, les entreprises peuvent réduire le taux de défaillance du fil de molybdène de 0,1 % à 0,02 % et raccourcir le cycle de production de 20 %. De plus, la certification ISO 9001 renforce la compétitivité de l'entreprise sur le marché international, en facilitant l'accès à des marchés soumis à des exigences de qualité strictes tels que l'Europe, les États-Unis et le Japon.

7.2.3 Autres normes internationales pour les produits en molybdène

En plus des normes ASTM B387 et ISO 9001, il existe plusieurs normes internationales liées au fil de molybdène, qui mettent en avant des exigences plus spécifiques pour des domaines d'application spécifiques.

JIS H 4461

La norme industrielle japonaise (JIS H 4461) convient aux fils de molybdène dans les sources lumineuses électriques, l'électroérosion à fil et les applications à haute température. La norme exige

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

une teneur en molybdène de $\geq 99,95$ %, une teneur totale en impuretés de $\leq 0,05$ %, une résistance à la traction de 1700-2100 MPa et une tolérance de diamètre de $\pm 0,002$ mm. La norme met un accent particulier sur la stabilité des performances du fil de molybdène dans des environnements à haute température, comme le maintien des propriétés mécaniques et de la stabilité dimensionnelle à 1500°C. JIS H 4461 impose également des exigences sur le traitement de surface du fil de molybdène, telles que l'élimination de la couche d'oxyde de surface par polissage électrolytique ou nettoyage chimique, et la rugosité de surface de $Ra \leq 0,03$ micron pour répondre aux exigences élevées de la fabrication de sources lumineuses électriques.

DIN EN 10204 « Documentation d'inspection pour les produits métalliques »

Cette norme européenne exige que les fabricants de fils de molybdène fournissent des documents d'inspection prouvant que le produit répond aux spécifications techniques. Les types de documents comprennent 2.1 (Déclaration de conformité), 3.1 (Certification du fabricant) et 3.2 (Certification par une tierce partie). Pour l'électroérosion à fil de molybdène, le dossier d'inspection doit contenir des données d'essai sur la composition chimique, les propriétés mécaniques, la précision dimensionnelle et la qualité de surface. Par exemple, le certificat 3.1 doit enregistrer la résistance à la traction, la tolérance de diamètre et la rugosité de surface du fil de molybdène, et être signé et confirmé par le service qualité de l'entreprise. La norme DIN EN 10204 garantit la traçabilité de la qualité des fils de molybdène et renforce la confiance des utilisateurs dans leurs produits.

ISO 22489 Analyse par microfaisceaux - Microanalyse par microsonde

Cette norme s'applique à l'analyse de la surface et de la microstructure interne des fils de molybdène, en particulier dans les industries aérospatiale et électronique. La norme spécifie l'utilisation d'un microanalyseur à sonde électronique (EPMA) pour détecter la composition chimique et les défauts microscopiques des fils de molybdène avec une précision de 0,01 %. Par exemple, avec l'analyse EPMA, le fil de molybdène peut être détecté pour des oxydes ou des inclusions dans la gamme de 0,1 micron à la surface du fil de molybdène, optimisant ainsi le processus de traitement de surface. La norme ISO 22489 fournit un support technique avancé pour l'inspection des fils de molybdène de haute précision.

Importance de la demande

Ces normes internationales fournissent un soutien technique pour la production et l'application mondiales de fils de molybdène. Par exemple, JIS H 4461 promeut la production standardisée de fil de molybdène dans le domaine de la source lumineuse électrique et de la coupe de fil ; La norme DIN EN 10204 garantit la traçabilité de la qualité du produit ; L'ISO 22489 fournit un soutien technique pour l'analyse microscopique des fils de molybdène de haute précision. La mise en œuvre de ces normes a favorisé l'application généralisée du fil de molybdène dans les domaines de l'aérospatiale, de l'électronique et de la médecine, et a amélioré le niveau technique global de l'industrie mondiale du fil de molybdène.

7.3 Analyse comparative standard de l'électroérosion à fil de molybdène

La différence entre les normes nationales et étrangères affecte directement le processus de production, le contrôle de la qualité et l'application sur le marché du fil de molybdène. Grâce à

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'analyse comparative, nous pouvons comprendre en profondeur l'applicabilité des normes nationales et étrangères, les exigences techniques et leur impact sur la qualité des produits.

7.3.1 Différences entre les normes nationales et étrangères

Exigences en matière de composition chimique

Les normes nationales (telles que GB/T 4182-2017, GB/T 3462-2017) exigent une teneur en molybdène de $\geq 99,95\%$ et une teneur totale en impuretés de $\leq 0,05\%$, ce qui est fondamentalement conforme aux exigences de la norme ASTM B387 (type 361). Cependant, les normes nationales sont plus strictes dans le contrôle de certaines impuretés (telles que l'oxygène et l'azote), par exemple, GB/T 4182-2017 exige une teneur en oxygène $\leq 0,003\%$ et une teneur en azote $\leq 0,002\%$, tandis que la norme ASTM B387 autorise une teneur en oxygène $\leq 0,005\%$ et une teneur en azote $\leq 0,003\%$. Cette différence reflète les exigences de stabilité plus élevées des normes nationales pour l'électroérosion à fil de molybdène dans les environnements de décharge à haute fréquence, en particulier lors du traitement de matériaux à haute dureté (tels que le carbure cémenté et l'alliage de titane), la faible teneur en oxygène peut réduire la perte d'électrode lors de la décharge.

Exigences en matière de propriétés mécaniques

La norme nationale exige que la résistance à la traction de l'EDM en fil de molybdène soit de 1800 à 2300 MPa, ce qui est légèrement supérieur aux 1700 à 2200 MPa de la norme ASTM B387. En effet, les équipements domestiques d'électroérosion par fil adoptent généralement des réglages de tension élevée (tension jusqu'à 2-3 N), ce qui a des exigences plus élevées pour la résistance du fil de molybdène. De plus, les exigences d'allongement à la rupture de la norme nationale ($\geq 1,5\%$ - 2%) sont légèrement inférieures à celles de la norme ASTM B387 ($\geq 2\%$), ce qui reflète l'accent mis au niveau national sur la résistance du fil de molybdène plutôt que sur la ténacité. Cette différence conduit au fait que le fil de molybdène domestique est plus adapté au traitement de matériaux à haute résistance et à haute dureté, tandis que le fil de molybdène standard international présente plus d'avantages dans les scénarios avec des exigences de ténacité élevées (comme la fabrication de sources lumineuses électriques).

Précision dimensionnelle et qualité de surface

Les normes nationales et étrangères exigent une tolérance de diamètre de $\pm 0,002$ mm, mais les normes nationales ont des exigences plus strictes en matière de rugosité de surface ($R_a \leq 0,02$ micron contre $R_a \leq 0,05$ μm). Cela est lié aux exigences plus élevées de la découpe de fil EDM domestique pour la stabilité de la décharge et la précision de l'usinage. Par exemple, lors de l'usinage de microstructures (telles que des pièces MEMS), la faible rugosité de surface requise par les normes nationales peut réduire considérablement l'arc irrégulier lors du déchargement et améliorer la qualité de surface des pièces usinées. De plus, la norme nationale prévoit un contrôle plus strict des défauts de surface, exigeant que la surface soit exempte de rayures ou d'oxydes microscopiques, tandis que la norme ASTM B387 autorise les défauts de surface traces ($< 0,1$ micron de diamètre).

Méthodes d'essai et contrôle de la qualité

Les normes nationales et internationales sont fondamentalement les mêmes en termes de méthodes de détection, telles que ICP-MS pour analyser la composition chimique, l'instrument de mesure du

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

diamètre du fil laser pour détecter la précision dimensionnelle, le microscope optique et le détecteur à courants de Foucault pour détecter la qualité de surface. Cependant, les normes nationales mettent davantage l'accent sur les essais en ligne et le contrôle de la qualité de l'ensemble du processus. Par exemple, la norme GB/T 4182-2017 exige une surveillance en temps réel des tolérances de diamètre et de la rugosité de surface lors du tréfilage et de la préparation de surface, tandis que la norme ASTM B387 se concentre davantage sur l'inspection hors ligne des produits finis. Cette différence reflète les exigences plus élevées des fabricants nationaux en matière d'efficacité et de cohérence de la production, en particulier dans la production à grand volume, où l'inspection en ligne peut réduire considérablement le taux de défaillance.

Exigences en matière d'emballage et de stockage

Les normes nationales (telles que GB/T 3462-2017) ont des exigences plus détaillées pour l'emballage et le stockage, stipulant clairement que l'emballage sous vide ou sous gaz inerte est nécessaire pour empêcher le filament de molybdène de s'oxyder ou de se laisser aller à l'humidité, et nécessite que le numéro de lot, les spécifications et le poids soient marqués. La norme ASTM B387 a des exigences relativement clémentes pour l'emballage, exigeant seulement que l'emballage protège le fil de molybdène contre les dommages physiques. Cette différence reflète l'attention accrue portée par les normes nationales à la stabilité à long terme du stockage et du transport du fil de molybdène, en particulier dans les environnements humides ou à haute température.

7.3.2 L'impact des normes sur la qualité des produits

Optimisation du processus de production

Les exigences strictes des normes nationales et étrangères ont favorisé l'amélioration continue du processus de production de fil de molybdène. Par exemple, les exigences de GB/T 4182-2017 pour une faible teneur en oxygène ont incité les entreprises à adopter des fours de frittage sous vide poussé et des fours de réduction de l'hydrogène pour réduire l'oxydation de la poudre de molybdène et du fil de molybdène ; Les exigences de qualité de surface de la norme ASTM B387 ont conduit à l'utilisation généralisée de l'électropolissage, du revêtement en émulsion de graphite et des techniques de nettoyage par ultrasons. Ces améliorations de processus améliorent considérablement la stabilité chimique, les propriétés mécaniques et la finition de surface du fil de molybdène. Par exemple, en optimisant le processus de recuit sous vide (1700°C, maintien pendant 1,5 heure), la résistance à la traction du fil de molybdène peut être augmentée de 1800 MPa à 2200 MPa, et le taux de rupture peut être réduit de 60 %.

Qualité, cohérence et fiabilité

Les exigences normalisées de la norme garantissent l'uniformité et la fiabilité de la qualité du fil de molybdène. Par exemple, le système de gestion de la qualité ISO 9001 exige des entreprises qu'elles mettent en place un système de contrôle de la qualité de l'ensemble du processus, de l'approvisionnement en matières premières aux tests des produits finis, qui doit être enregistré et surveillé, afin de réduire le taux d'échec. Le contrôle strict des défauts de surface dans les normes nationales (telles que YS/T 357-2006) a incité les entreprises à introduire des équipements d'essai de haute précision (tels que les microscopes électroniques à balayage) pour augmenter le taux de détection des défauts de surface à plus de 99,5 %. Ces mesures garantissent les performances stables

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

du fil de molybdène dans des applications telles que l'électroérosion à fil, les sources lumineuses électriques et la projection thermique.

La compétitivité du marché est renforcée

Le fil de molybdène qui répond aux normes internationales a une plus grande compétitivité sur le marché mondial. Par exemple, le fil de molybdène conforme aux normes ASTM B387 et JIS H 4461 peut être directement introduit sur les marchés européens, américains et japonais et convient à une utilisation dans les domaines des semi-conducteurs, de l'aérospatiale et des sources lumineuses électriques. La certification ISO 9001 renforce encore la réputation de la marque de l'entreprise et la confiance du marché, et favorise l'exportation de fils de molybdène et la coopération internationale. De plus, les exigences élevées des normes nationales ont poussé les entreprises locales à investir dans la recherche et le développement technologiques et le contrôle de la qualité, ce qui leur a permis de rivaliser avec les leaders mondiaux sur le marché international.

Élargissement des domaines d'application

Des normes strictes favorisent l'application large du fil de molybdène dans les domaines de haute technologie. Par exemple, la norme HB 7742-2004 garantit les performances à haute température et la résistance à la fatigue du fil de molybdène dans le domaine aérospatial, et convient à l'usinage d'aubes de turbine et de pièces en alliage de titane ; La norme JIS H 4461 favorise l'application de fil de molybdène dans la fabrication de sources lumineuses électriques pour prolonger la durée de vie des lampes ; La norme ISO 22489 apporte un support technique à l'analyse microscopique des fils de molybdène, répondant aux exigences de très haute précision dans les secteurs des semi-conducteurs et des dispositifs médicaux. La mise en œuvre de ces normes permet au fil de molybdène de répondre aux besoins des différentes industries en matière de matériaux haute performance, et favorise le progrès technologique des industries connexes.

Innovation technologique et développement futur

Les exigences élevées des normes nationales et étrangères ont stimulé l'innovation continue de la technologie de production de fils de molybdène. Par exemple, afin de répondre aux exigences de la norme GB/T 4182-2017 en matière de rugosité de surface, l'entreprise a développé une nouvelle formulation de suspension de polissage électrolytique (acide sulfurique : acide phosphorique = 3:1) pour réduire la rugosité de surface de Ra 0,05 micron à Ra 0,01 micron. Afin de répondre aux exigences de résistance à la traction de la norme ASTM B387, la société a introduit la technologie d'emboutissage à plusieurs passes et des matrices d'étirage de haute précision, qui améliorent considérablement les propriétés mécaniques du fil de molybdène. À l'avenir, avec le développement rapide des industries de haute technologie, les normes de fil de molybdène seront encore affinées et unifiées, et le développement d'équipements de production intelligents, de technologies d'essai automatisées et de processus de production écologiques sera encouragé.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Chapitre 8 Méthodes de détection de l'électroérosion à fil de molybdène

Les performances de l'électroérosion à fil de molybdène affectent directement la précision d'usinage, l'efficacité et la fiabilité du produit final. Pour s'assurer que le fil de molybdène répond à des exigences de qualité strictes, une série de méthodes d'essai avancées sont nécessaires pour évaluer de manière exhaustive sa composition chimique, ses propriétés physiques, ses propriétés mécaniques, ses propriétés thermophysiques, sa qualité de surface et son adaptabilité environnementale. Ces méthodes d'essai fournissent non seulement une base pour le contrôle de la qualité pour les fabricants, mais fournissent également aux utilisateurs un cadre de référence pour l'évaluation des performances. Ce chapitre aborde en détail les différentes méthodes de détection de l'électroérosion à fil de molybdène et analyse en profondeur leurs principes techniques, les exigences en matière d'équipement, les paramètres de processus et l'importance de l'application.

8.1 Essai de composition chimique de l'électroérosion à fil de molybdène

Les tests de composition chimique sont à la base du contrôle de la qualité du fil de molybdène, qui est conçu pour garantir une haute pureté et une faible teneur en impuretés du fil de molybdène pour répondre aux besoins d'applications de haute précision telles que l'EDM à fil. Ce qui suit est une analyse détaillée sous deux aspects : l'analyse spectrale et la détection de la pureté du molybdène.

8.1.1 Analyse spectroscopique (ICP-MS)

La spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) est une méthode de haute précision pour détecter la composition chimique des fils de molybdène, et est largement utilisée pour l'analyse de la teneur en molybdène et des impuretés à l'état de traces.

Principe technique

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

L'ICP-MS utilise un échantillon liquide pour former un échantillon liquide en le dissolvant dans une solution acide (par exemple, de l'acide nitrique ou de l'acide chlorhydrique), qui est ensuite ionisée à l'aide d'un plasma (à une température d'environ 6 000-10 000 °C) et analysée par spectrométrie de masse pour déterminer le rapport masse/charge des ions. L'ICP-MS a des limites de détection allant jusqu'au ppb (parties par milliard) et est capable de mesurer avec précision les impuretés à l'état de traces dans les fils de molybdène tels que le fer (Fe), le nickel (Ni), le carbone (C), l'oxygène (O), l'azote (N), etc. La norme exige une teneur en molybdène de $\geq 99,95\%$ et une teneur totale en impuretés de $\leq 0,05\%$, comme $0,005\%$ de fer et $0,003\%$ d'oxygène \leq .

Paramètres de l'équipement et du processus

Les équipements ICP-MS modernes, tels que l'Agilent 7900 ou le Thermo Fisher iCAP Q, sont équipés d'un spectromètre de masse à haute résolution et d'un système d'échantillonnage automatisé avec une précision analytique de $\pm 0,001\%$. La préparation des échantillons doit être effectuée dans un environnement ultra-propre pour éviter la contamination du monde extérieur. Au cours du test, la puissance plasma est généralement de 1200 à 1500 W, le débit de gaz vecteur (argon) est de 0,8 à 1,2 L/min et le temps d'analyse est de 5 à 10 minutes. Afin d'améliorer l'efficacité de la détection, le mode d'analyse simultanée multi-éléments peut être adopté, couvrant le molybdène et plus de 10 éléments d'impuretés.

Optimisation des processus et défis

La dissolution du fil de molybdène nécessite l'utilisation d'acides de haute pureté (acide nitrique de qualité électronique ou acide chlorhydrique) pour éviter l'introduction d'impuretés supplémentaires. Au cours du test, l'instrument doit être étalonné et l'échantillon étalon de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,999\%$) est utilisé comme référence pour garantir la précision des résultats de mesure. De plus, la détection d'éléments non métalliques tels que l'oxygène et l'azote nécessite un module de détection spécial (par exemple, une cellule de réaction de collision) pour éliminer les interférences de l'argon. La haute sensibilité de l'ICP-MS lui permet de détecter des impuretés de l'ordre de 0,1 ppb, répondant ainsi aux exigences d'un fil de molybdène de haute précision pour l'EDM.

Importance de la demande

La détection ICP-MS garantit une grande pureté du fil de molybdène et réduit l'impact des impuretés sur la stabilité de la décharge du fil-EDM et la perte d'électrode. Par exemple, la faible teneur en oxygène peut réduire la tendance à l'oxydation du fil de molybdène dans les décharges à haute température et prolonger la durée de vie ; La faible teneur en fer réduit l'arc irrégulier pendant le processus de décharge et améliore la précision de l'usinage. ICP-MS fournit également des données traçables pour la certification de la qualité du fil de molybdène, qui répond aux exigences de normes telles que GB/T 4182-2017 et ASTM B387.

8.1.2 Essai de pureté du molybdène

Le test de pureté du molybdène est une mesure précise du contenu du composant principal du fil de molybdène (molybdène), généralement en combinaison avec des méthodes telles que l'ICP-MS, la spectroscopie de fluorescence X (XRF) ou la spectroscopie d'absorption atomique (AAS).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Principe technique

Les tests de pureté du molybdène vérifient s'il répond aux exigences standard de plus de 99,95 % en analysant la teneur relative en molybdène. La fluorescence X excite la surface du fil de molybdène par les rayons X, analyse l'intensité du spectre de fluorescence et détermine la teneur en molybdène et en impuretés, ce qui convient à une détection rapide et non destructive. L'AAS détermine avec précision la teneur en molybdène en mesurant l'absorption des atomes de molybdène par une longueur d'onde spécifique de la lumière, avec une précision de détection de $\pm 0,01$ %. Les deux méthodes doivent être combinées à l'ICP-MS pour améliorer l'exhaustivité et la précision du dosage.

Paramètres de l'équipement et du processus

L'équipement XRF (par exemple, le Bruker S8 TIGER) utilise une source de rayons X à haute énergie (50 kV, 1 mA) avec un temps d'inspection de 1 à 3 minutes, ce qui le rend adapté à l'inspection en ligne. Les appareils AAS, tels que le PerkinElmer PinAAcle 900, utilisent une lampe à cathode creuse en molybdène d'une longueur d'onde de 313,3 nm et d'une limite de détection de 0,01 ppm. La préparation de l'échantillon consiste à couper le fil de molybdène en petits segments (1 à 2 cm) et à nettoyer la surface pour éliminer l'huile et les oxydes afin de garantir des résultats fiables.

Optimisation des processus et défis

Les tests de pureté du molybdène nécessitent un contrôle strict des conditions environnementales pour éviter l'humidité ou l'oxydation de l'échantillon. L'analyse XRF nécessite l'étalonnage de l'instrument à l'aide d'un échantillon étalon de molybdène de haute pureté (certifié NIST) comme référence. La détection AAS doit optimiser la température de la flamme (environ 2700°C) et le débit de gaz (acétylène 2 L/min, air 10 L/min) pour améliorer la sensibilité de la mesure. Au cours du processus de détection, une attention particulière doit être accordée à l'interférence d'éléments non métalliques tels que le carbone et l'oxygène, et les impuretés de surface peuvent être éliminées par un prétraitement chimique (tel que le décapage).

Importance de la demande

Le test de pureté du molybdène est le maillon central du contrôle de la qualité, ce qui affecte directement les performances du fil de molybdène dans l'électroérosion à fil. Le fil de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95$ %) a une excellente conductivité et une résistance aux températures élevées, ce qui peut maintenir la stabilité dans les environnements de décharge à haute fréquence et réduire les pertes d'électrodes. Les résultats des tests fournissent également des données pour soutenir l'optimisation du processus de production de fil de molybdène, par exemple en analysant la source des impuretés, ce qui peut améliorer le processus de réduction et de frittage de la poudre de molybdène.

8.2 Essai des propriétés physiques de l'électroérosion à fil de molybdène

Les tests de propriétés physiques sont utilisés pour évaluer la précision dimensionnelle et les propriétés de surface du fil de molybdène afin de s'assurer qu'il répond aux exigences de haute précision et de qualité de surface de l'électroérosion à fil. Ce qui suit est une analyse détaillée sous

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

deux aspects : la mesure du diamètre et de la tolérance du fil, et le test de rugosité de surface.

8.2.1 Mesure du diamètre et de la tolérance du fil

La mesure du diamètre et de la tolérance du fil est un test clé pour garantir la cohérence dimensionnelle du fil de molybdène, ce qui affecte l'écart de décharge et la précision d'usinage dans le processus de coupe du fil.

Principe technique

La mesure du diamètre du fil utilise généralement la technologie de mesure laser sans contact, qui balaie la surface du fil de molybdène à travers un faisceau laser pour obtenir des données de diamètre avec une précision de $\pm 0,0001$ mm. La norme (telle que GB/T 4182-2017) exige que la tolérance de diamètre de l'EDM au fil de molybdène soit de $\pm 0,002$ mm et que l'erreur de circularité $\leq 0,001$ mm. Au cours du processus de mesure, l'influence de l'ovalité et des irrégularités de surface du fil de molybdène sur les résultats doit être prise en compte.

Paramètres de l'équipement et du processus

Les jauges de diamètre de fil laser, telles que la Keyence LS-9000, sont équipées d'un système de balayage laser à haute fréquence avec une fréquence de mesure allant jusqu'à 1000 fois/s et conviennent aux inspections en ligne et hors ligne. L'appareil doit être calibré selon le filament standard (erreur de diamètre $\pm 0,00005$ mm) pour garantir la précision de la mesure. Lors de l'inspection, le fil de molybdène traverse la zone de mesure à une vitesse de 5 à 20 m/min et la température ambiante est contrôlée à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ pour éviter les effets de la dilatation thermique.

Optimisation des processus et défis

Les essais en ligne doivent garantir la stabilité opérationnelle du fil de molybdène et éviter les erreurs de mesure causées par les vibrations ou les changements de tension. Pour la détection hors ligne, des fils de molybdène multi-segments (10 à 20 mètres par section) doivent être échantillonnés et mesurés, et le diamètre moyen et l'écart-type sont comptés pour assurer la cohérence. Pendant le processus d'inspection, la lentille laser doit être nettoyée régulièrement pour éviter les interférences de poussière. Pour augmenter l'efficacité, la technologie de mesure simultanée multipoint peut être utilisée pour inspecter simultanément plusieurs sections transversales de fils de molybdène.

Importance de la demande

La mesure précise du diamètre et de la tolérance du fil garantit l'uniformité de l'écart de décharge du fil de molybdène dans la découpe du fil EDM, évitant ainsi les écarts pendant le traitement. Par exemple, un fil de molybdène avec une tolérance de diamètre de $\pm 0,0015$ mm peut contrôler la tolérance d'usinage dans $\pm 0,005$ mm, ce qui répond aux besoins des moules de haute précision et du traitement des microstructures. Les données mesurées constituent également la base de l'optimisation du processus d'emboutissage, par exemple en analysant les écarts de diamètre, en ajustant la taille du trou de la matrice d'étirage ou en formulant du lubrifiant.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

8.2.2 Essai de rugosité de surface

L'essai de rugosité de surface est utilisé pour évaluer la finition de la surface du fil de molybdène, ce qui affecte directement la stabilité de décharge et la qualité de surface des pièces usinées lors de la coupe du fil.

Principe technique

L'essai de rugosité de surface est généralement effectué à l'aide d'une méthode avec ou sans contact. Les méthodes de contact (par exemple, les profilomètres) balayent la surface du fil de molybdène à l'aide d'une sonde, mesurent la variation de la hauteur de surface et calculent la valeur Ra (rugosité moyenne arithmétique). Les méthodes sans contact, telles que la microscopie laser, analysent la topographie de surface par réflexion laser avec une précision de 0,001 micron. La norme exige une rugosité de surface de $Ra \leq 0,02$ micron pour l'électroérosion par fil de molybdène afin d'assurer une décharge uniforme et des performances à faible frottement.

Paramètres de l'équipement et du processus

Les profileurs de contact (par exemple, Mitutoyo SJ-410) sont équipés d'une sonde diamantée avec une vitesse de balayage de 0,5 à 1 mm/s et une longueur de mesure de 2 à 5 mm. Les microscopes laser sans contact, tels que le Keyence VK-X1000, utilisent un laser de 405 nm avec un grossissement de 1000-2000x et une précision de mesure de $\pm 0,002 \mu\text{m}$. Au cours de l'inspection, le fil de molybdène doit être fixé sur une plate-forme non vibrante et l'humidité ambiante doit être contrôlée à 40-60 % pour éviter l'influence de l'humidité.

Optimisation des processus et défis

Le test de rugosité de surface garantit que la surface du fil de molybdène est propre, exempte d'huile ou d'oxydes, et que l'échantillon peut être prétraité par nettoyage par ultrasons (fréquence 40 kHz, temps de 5 minutes). Le test de contact doit contrôler la pression de la sonde (0,1-0,5 mN) pour éviter de rayer la surface du fil de molybdène ; Les essais sans contact nécessitent un étalonnage de la distance focale du laser pour garantir la précision des données topographiques. Au cours du processus de détection, un fil de molybdène multi-segments (5 à 10 cm par segment) doit être échantillonné et testé, et la plage de distribution de la valeur Ra est comptée.

Importance de la demande

Le fil de molybdène à faible rugosité de surface peut réduire l'arc inégal dans la coupe du fil EDM, améliorer la stabilité de la décharge et la précision de l'usinage. Par exemple, un fil de molybdène $\leq 0,015$ micron peut contrôler la rugosité de surface des pièces usinées en dessous de Ra 0,1 micron, ce qui répond aux exigences des moules de lentilles optiques et des pièces semi-conductrices. Les données de test constituent également une base pour l'optimisation des processus de traitement de surface tels que l'électropolissage.

8.3 Essai des propriétés mécaniques de l'électroérosion à fil de molybdène

Les tests de propriétés mécaniques sont utilisés pour évaluer la résistance et la ténacité du fil de molybdène afin de s'assurer qu'il ne se casse pas ou ne se déforme pas dans un environnement de coupe de fil à haute résistance. Ce qui suit est analysé sous deux aspects : l'essai de résistance à la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

traction, l'essai d'allongement et l'essai de courbure.

8.3.1 Essai de résistance à la traction

L'essai de résistance à la traction est une méthode essentielle pour évaluer les propriétés mécaniques du fil de molybdène, reflétant sa capacité à résister aux charges de traction.

Principe technique

L'essai de résistance à la traction calcule la résistance à la traction (unité : MPa) en fixant le fil de molybdène sur une machine d'essai de traction, en appliquant une force de traction progressivement croissante et en mesurant la charge maximale avant la rupture. La norme exige une résistance à la traction de 1800-2300 MPa pour l'électroérosion au fil de molybdène afin de répondre aux besoins de coupe de fils à haute tension (2-3 N). L'essai mesure également la déformation au point de rupture et évalue la ténacité du fil de molybdène.

Paramètres de l'équipement et du processus

Les machines d'essai de microtraction (par exemple, Instron 5948) sont conçues pour les fils de molybdène de diamètre fin avec une plage d'essai de 0,1 à 100 N et une précision de $\pm 0,1$ %. Le luminaire est enveloppé d'un matériau souple tel que le caoutchouc ou le PTFE pour éviter d'endommager le fil de molybdène pendant le processus de serrage. La vitesse de test est de 1 à 5 mm/min, la longueur de l'échantillon est de 50 à 100 mm et la température ambiante est contrôlée à 20 ± 2 °C pour garantir des résultats cohérents.

Optimisation des processus et défis

L'essai doit s'assurer que le fil de molybdène est serré uniformément pour éviter une rupture prématurée causée par des concentrations de contraintes locales. Les échantillons sont sélectionnés au hasard (10 à 20 échantillons par lot) couvrant différentes étapes de la production afin d'évaluer la cohérence des performances. Au cours de l'essai, la courbe contrainte-déformation est enregistrée pour analyser le module d'élasticité (environ 320 GPa) et le comportement à la rupture du fil de molybdène. Pour augmenter l'efficacité, des systèmes de test automatisés peuvent être utilisés pour enregistrer et analyser les données en temps réel.

Importance de la demande

Le fil de molybdène à haute résistance à la traction est capable de résister à la tension élevée et à l'impact de décharge pendant le processus de coupe du fil, réduisant ainsi le risque de rupture du fil. Par exemple, le fil de molybdène avec une résistance à la traction de 2200 MPa peut être stable et avoir une longue durée de vie dans l'usinage de matériaux à haute dureté tels que le carbure cémenté. Les données d'essai servent également de base à l'optimisation du processus de traitement thermique, par exemple en ajustant la température de recuit (1000-1200°C), ce qui peut augmenter la résistance à la traction de 10 à 15 %.

8.3.2 Essai d'allongement et de courbure

Les tests d'allongement et de courbure sont utilisés pour évaluer la ténacité et les propriétés d'enroulement du fil de molybdène, affectant son aptitude à l'enroulement et à la coupe du fil.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Principe technique

L'essai d'allongement calcule l'allongement à la rupture (1,5 % à 2 % comme l'exige la norme) en mesurant l'allongement du fil de molybdène avant la rupture. L'essai de courbure évalue la flexibilité du fil de molybdène en l'enroulant autour d'un mandrin standard (1 à 5 mm de diamètre) pour voir si des fissures ou des fractures apparaissent. La combinaison des deux reflète la capacité de déformation et la stabilité de l'enroulement du fil de molybdène dans un environnement à haute résistance.

Paramètres de l'équipement et du processus

L'essai d'allongement utilise une machine d'essai de traction miniature dans les mêmes conditions que l'essai de résistance à la traction, et enregistre l'allongement avant rupture (précision $\pm 0,01$ mm). L'essai de courbure utilise un dispositif d'enroulement spécial et le diamètre du mandrin est sélectionné en fonction de la spécification du fil de molybdène (par exemple, un mandrin de 2 mm est utilisé pour un fil de molybdène de 0,18 mm). L'essai doit être effectué dans un environnement sans vibrations avec une vitesse d'enroulement de 10 à 20 cycles par minute et un cycle d'enroulement de 5 à 10 tours.

Optimisation des processus et défis

Le test d'allongement doit s'assurer que la surface du fil de molybdène est exempte de défauts et que l'échantillon est prétraité par nettoyage par ultrasons. Le test de vitesse de courbure doit contrôler la tension d'enroulement (0,1-0,5 N) pour éviter de rayer le fil de molybdène à la surface de la tige du mandrin. Au cours du test, des fils de molybdène multi-segments doivent être échantillonnés, et l'allongement et le taux de défaut de courbure doivent être pris en compte pour garantir des performances constantes. Afin d'améliorer la précision de l'essai, la technologie d'analyse d'images numériques peut être utilisée pour enregistrer la déformation microscopique pendant le processus d'enroulement.

Importance de la demande

Le fil de molybdène à allongement et courbure élevés a d'excellentes propriétés de ténacité et d'enroulement, et convient aux machines de découpe de fil de haute précision et à la fabrication de sources lumineuses électriques. Par exemple, un fil de molybdène avec un allongement de 2 % peut être stabilisé à haute tension (3 N), réduisant ainsi la rupture du fil ; Le fil de molybdène à courbure qualifiée peut être enroulé en douceur sur une bobine de 2000 mètres de long pour répondre aux besoins d'un traitement continu.

8.4 Essai des propriétés thermophysiques de l'électroérosion à fil de molybdène

Le test de performance thermophysique est utilisé pour évaluer la stabilité et la conductivité électrique et thermique du fil de molybdène dans des environnements à haute température, ce qui affecte son effet d'application dans l'électroérosion à fil et la source lumineuse électrique.

8.4.1 Essai de stabilité à haute température

L'essai de stabilité à haute température est utilisé pour évaluer les propriétés mécaniques et la stabilité structurelle du fil de molybdène dans un environnement à haute température.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Principe technique

L'essai mesure la résistance à la traction, l'allongement et la structure cristalline du fil de molybdène en l'exposant à un environnement à haute température (1000-1800°C). La norme exige que le fil de molybdène maintienne une résistance à la traction de ≥ 1800 MPa à 1500°C, sans croissance ou oxydation évidente des grains. Le test est généralement effectué dans un environnement sous vide ou sous gaz inerte (argon ou hydrogène) pour éviter l'oxydation.

Paramètres de l'équipement et du processus

Les fours d'essai à haute température (par exemple Carbolite Gero HTF 1800) sont équipés d'éléments chauffants en molybdène ou en tungstène, avec une précision de contrôle de la température de $\pm 5^\circ\text{C}$ et un niveau de vide de $\leq 10^{-3}$ Pa. La longueur de l'échantillon d'essai était de 50 à 100 mm, la vitesse de chauffage était de 5 à 10 °C / min et le temps de maintien était de 1 à 2 heures. Après le test, la taille des grains a été analysée par diffraction des rayons X (XRD) et la topographie de surface a été observée par microscopie électronique à balayage (MEB).

Optimisation des processus et défis

Le test nécessite un contrôle strict de l'atmosphère protectrice pour éviter l'infiltration d'oxygène et l'oxydation du fil de molybdène. L'échantillon doit être chauffé uniformément pour éviter une croissance anormale des grains causée par une surchauffe locale. Au cours de l'essai, la courbe température-temps doit être enregistrée pour analyser la stabilité thermique du fil de molybdène. Pour augmenter l'efficacité, un système de test multicanaux peut être utilisé pour tester plusieurs fils de molybdène en même temps.

Importance de la demande

Les tests de stabilité à haute température garantissent la fiabilité du fil de molybdène dans la fabrication de fil EDM et de sources lumineuses électriques. Par exemple, le fil de molybdène stabilisé à 1500°C peut être utilisé pour traiter des pièces en superalliage et prolonger la durée de vie de l'électrode ; Les données d'essai constituent également une base pour l'optimisation du processus de traitement thermique, par exemple en ajustant la température de recuit, ce qui permet de contrôler la taille des grains de 5 à 10 microns.

8.4.2 Essais de conductivité électrique et thermique

Les tests de conductivité électrique et thermique sont utilisés pour évaluer les propriétés électriques et thermiques du fil de molybdène, affectant son efficacité dans l'EDM.

Principe technique

Le test de conductivité mesure la résistivité du fil de molybdène en mesurant la résistivité du fil de molybdène au moyen d'une méthode à quatre sondes et calcule la conductivité (la norme exige environ 18 MS/m). Le test de conductivité thermique calcule la conductivité thermique en mesurant la diffusivité thermique en mesurant la méthode du flash laser (la norme exige environ 138 W/m·K). La combinaison des deux reflète les capacités de transfert de courant et de diffusion de chaleur du fil de molybdène dans la décharge à haute fréquence.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Paramètres de l'équipement et du processus

Les tests de conductivité utilisent un résistimètre à quatre sondes (par exemple, Keithley 2635B) avec un espacement des sondes de 0,5 à 1 mm et une plage de courant de 1 à 10 mA avec une précision de mesure de $\pm 0,01$ %. Le test de conductivité thermique utilise un analyseur de flash laser (par exemple, Netzsch LFA 467) avec une énergie d'impulsion laser de 10 à 20 J, une épaisseur d'échantillon de 0,1 à 0,3 mm et une température d'essai de 20 à 1000 °C.

Optimisation des processus et défis

Le test doit s'assurer que la surface du fil de molybdène est propre et que la couche d'oxyde ou la contamination par l'huile n'affecte pas la mesure de résistivité. Le test de conductivité thermique nécessite un étalonnage de l'épaisseur de l'échantillon avec une erreur de $\pm 0,001$ mm. Au cours de l'essai, l'influence de la température sur la conductivité électrique et thermique doit être enregistrée, et le changement de performance du fil de molybdène dans une décharge à haute température doit être analysé. Pour augmenter l'efficacité, des systèmes de test automatisés peuvent être utilisés pour enregistrer des données en temps réel.

Importance de la demande

Le fil de molybdène à haute conductivité électrique et thermique peut améliorer l'efficacité de décharge de l'électroérosion par fil et réduire l'accumulation de chaleur. Par exemple, un fil de molybdène avec une conductivité de 18 MS/m peut réduire la perte d'énergie de décharge de 10 % ; Le fil de molybdène avec une conductivité thermique de 138 W/m·K peut dissiper rapidement la chaleur et prolonger la durée de vie de l'électrode. Les données d'essai constituent également une base pour le choix des matériaux et l'optimisation du processus de fil de molybdène.

8.5 Inspection de la qualité de surface de l'électroérosion à fil de molybdène

L'inspection de la qualité de surface est utilisée pour évaluer les défauts microscopiques et la finition de la surface du fil de molybdène, ce qui affecte directement la stabilité de la décharge et la précision de l'usinage.

8.5.1 Observation microscopique

La microscopie est une méthode courante pour détecter les défauts de surface dans les fils de molybdène, permettant d'identifier les rayures, les fissures et les oxydes au niveau du micron.

Principe technique

La morphologie de surface du fil de molybdène est observée au microscope optique à fort grossissement (1000-2000x) pour identifier les défauts dans la gamme de 0,1 micron. La microscopie électronique à balayage (MEB) offre une résolution plus élevée (0,01 micron) grâce au balayage par faisceau d'électrons pour analyser la microstructure de surface et la distribution élémentaire. La norme exige que la surface du fil de molybdène soit exempte de fissures, de rayures ou d'oxydes, et que la rugosité soit de $Ra \leq 0,02$ micron.

Paramètres de l'équipement et du processus

Les microscopes optiques (par exemple, Zeiss Axio Observer) sont équipés d'une caméra CCD avec

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

un grossissement de 1000x et un champ de vision de 0,1 à 1 mm. Les microscopes électroniques (par exemple, JEOL JSM-7800F) utilisent un faisceau d'électrons de 5 à 15 kV avec une vitesse de balayage de 1 à 10 secondes/image. Avant le test, le fil de molybdène doit être nettoyé par ultrasons (fréquence 40 kHz, temps 5 minutes) pour éliminer l'huile et la poussière de la surface.

Optimisation des processus et défis

L'essai doit être effectué dans un environnement exempt de vibrations et de poussière afin d'éviter les interférences externes. Le microscope optique doit calibrer l'intensité de la source lumineuse pour s'assurer que l'image est claire ; Le MEB doit optimiser l'énergie du faisceau d'électrons pour éviter d'endommager la surface du fil de molybdène. Au cours de l'essai, plusieurs segments de fil de molybdène (5 à 10 cm par section) doivent être échantillonnés, et la distribution et l'incidence des défauts doivent être comptées.

Importance de la demande

L'observation microscopique garantit que la surface du fil de molybdène est lisse et exempte de défauts microscopiques, et réduit l'arc inégal dans l'électroérosion du fil. Par exemple, un fil de molybdène sans rayures dans la plage de 0,1 micron peut contrôler la rugosité de surface de la pièce usinée en dessous de Ra 0,1 micron, ce qui répond aux exigences des moules de haute précision. Les données de test constituent également une base pour l'optimisation des processus de traitement de surface tels que l'électropolissage.

8.5.2 Techniques de contrôle non destructif (ultrasons, courants de Foucault)

La technologie de contrôle non destructif est utilisée pour détecter les défauts microscopiques à la surface et à l'intérieur des fils de molybdène afin d'assurer une qualité constante.

Principe technique

Le contrôle par ultrasons détecte les inclusions, la porosité ou les fissures à l'intérieur des fils de molybdène en propageant des ondes sonores à haute fréquence (1-10 MHz) jusqu'à une profondeur allant jusqu'à 0,01 mm. L'analyse par courants de Foucault utilise l'induction électromagnétique pour identifier les défauts de surface et près de la surface (par exemple, des rayures dans la gamme de 0,1 micron) avec une sensibilité de 0,05 micron. La combinaison des deux permet une évaluation complète de la qualité du fil de molybdène.

Paramètres de l'équipement et du processus

Les détecteurs à ultrasons, tels que l'Olympus EPOCH 650, utilisent une sonde de 5 MHz avec un couplant d'eau de haute pureté et une vitesse de balayage de 10 à 20 mm/s. Les détecteurs à courants de Foucault (par exemple, Eddyfi Ectane 2) utilisent une fréquence d'excitation de 100 kHz à 1 MHz avec un espacement des sondes de 0,1 à 0,5 mm. L'essai doit être effectué dans un environnement à température constante (20 ± 2 °C) afin d'éviter que les fluctuations de température n'affectent les résultats.

Optimisation des processus et défis

Le contrôle par ultrasons doit optimiser l'uniformité du revêtement du couplant pour éviter les

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

interférences de bulles. Les tests par courants de Foucault nécessitent un étalonnage de la sensibilité de la sonde pour assurer la détection des défauts dans la gamme de 0,1 micron. Au cours de l'essai, le fil de molybdène multi-segments doit être balayé en permanence pour calculer l'incidence et la distribution des défauts. Pour augmenter l'efficacité, un système de balayage automatisé peut être utilisé pour enregistrer les données sur les défauts en temps réel.

Importance de la demande

La technologie de contrôle non destructif garantit que le fil de molybdène est exempt de défauts internes et de surface, améliorant ainsi sa fiabilité dans la coupe de fil de haute précision. Par exemple, les tests par courants de Foucault peuvent identifier les rayures de surface dans la plage de 0,05 micron pour réduire les décharges inégales, tandis que les tests par ultrasons peuvent détecter des inclusions internes aussi profondes que 0,01 millimètre, réduisant ainsi le risque de rupture de fil. Les données d'essai constituent la base de l'optimisation des processus d'emboutissage et de traitement de surface.

8.6 Essai d'adaptabilité environnementale de l'électroérosion à fil de molybdène

Les tests d'adéquation environnementale sont utilisés pour évaluer les performances du fil de molybdène dans des environnements corrosifs ou à haute température, affectant sa stabilité dans des conditions de traitement complexes.

8.6.1 Essai de résistance à la corrosion

Les tests de résistance à la corrosion sont utilisés pour évaluer la stabilité du fil de molybdène dans des milieux corrosifs tels que les acides, les alcalis ou les solutions salines.

Principe technique

L'essai mesure le taux de perte de masse ou le degré de corrosion de surface en immergeant le fil de molybdène dans un milieu corrosif (par exemple, une solution de NaCl à 5 % ou une solution de HNO₃ à 10 %). La norme exige que le taux de perte de masse du fil de molybdène dans le test de corrosion de 24 heures soit de $\leq 0,01$ % et qu'il n'y ait pas de traces de corrosion évidentes à la surface. L'essai peut également être combiné avec des méthodes électrochimiques pour mesurer le potentiel de corrosion et la densité de courant du fil de molybdène.

Paramètres de l'équipement et du processus

Chambres d'essai de corrosion (par ex. Q-FOG CCT) température de contrôle 40-60°C, humidité 80-95 %, temps d'essai 24-72 heures. Les potentiostats (par exemple, l'interface Gamry 1010E) utilisent un système à trois électrodes (fil de molybdène comme électrode de travail, électrode de platine comme électrode auxiliaire et électrode de calomel saturée comme électrode de référence) avec une plage de potentiel d'essai de -1 à 1 V et une vitesse de balayage de 1 mV/s.

Optimisation des processus et défis

Des tests sont effectués pour garantir la pureté du média et pour éviter les interférences dues aux impuretés. Les tests électrochimiques nécessitent un étalonnage de l'espacement des électrodes (1-2 mm) pour garantir la précision de la mesure. Au cours de l'essai, la vitesse de corrosion et les

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

changements de morphologie de surface doivent être enregistrés, et le mécanisme de résistance à la corrosion du fil de molybdène doit être analysé. Pour augmenter l'efficacité, un système de test multicanaux peut être utilisé pour tester plusieurs fils de molybdène en même temps.

Importance de la demande

Le fil de molybdène à haute résistance à la corrosion peut être stabilisé dans des environnements humides ou acides, ce qui le rend adapté aux scénarios de coupe de fil avec un liquide de refroidissement corrosif. Par exemple, un fil de molybdène qui a passé avec succès le test de résistance à la corrosion peut fonctionner en continu pendant 100 heures dans un liquide de refroidissement contenant 5 % de NaCl sans aucune trace de corrosion en surface. Les données d'essai servent de base à la conception de revêtements de surface (par exemple en émulsion de graphite) en fil de molybdène.

8.6.2 Essai d'oxydation à haute température

Le test d'oxydation à haute température est utilisé pour évaluer la résistance à l'oxydation du fil de molybdène dans un environnement d'air à haute température.

Principe technique

Le test mesure le taux de gain de poids oxydatif ou l'épaisseur de la couche d'oxyde à la surface en plaçant le fil de molybdène dans de l'air à haute température (500-1000°C). La norme exige que le taux de gain de poids d'oxydation du fil de molybdène à 800°C pendant 24 heures soit de $\leq 0,1$ % et que l'épaisseur de la couche d'oxyde soit de $\leq 0,5$ micron. Le test peut également être combiné à l'analyse thermogravimétrique (TGA) pour enregistrer les changements de qualité en temps réel.

Paramètres de l'équipement et du processus

Les oxydants haute température (par ex. Nabertherm HT 08/18) régulent la précision de la température $\pm 5^\circ\text{C}$, le débit d'air 0,1-0,5 L/min, la durée du test 12-48 heures. Les analyseurs thermogravimétriques (par exemple, TA Instruments Q500) mesurent $\pm 0,1$ μg avec une vitesse de chauffage de 5 à 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$. Après le test, la composition et l'épaisseur de l'oxyde ont été analysées à l'aide d'un MEB et d'une spectroscopie à dispersion d'énergie (EDS).

Optimisation des processus et défis

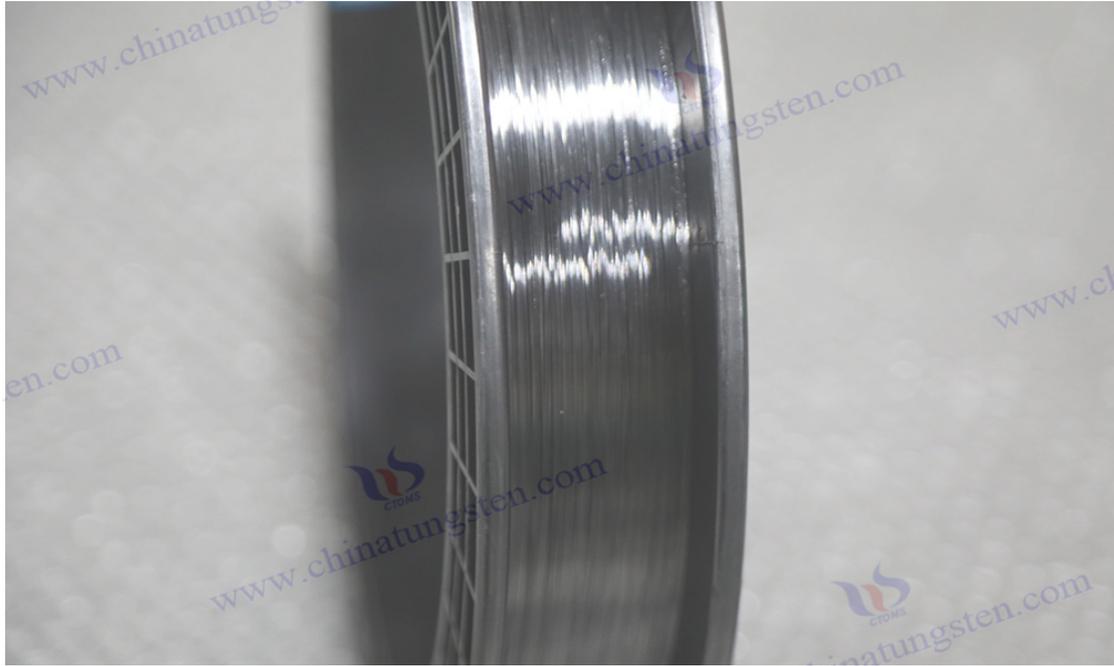
Le test doit contrôler l'humidité de l'air (< 10 %) pour éviter une oxydation accélérée de l'humidité. L'échantillon doit être chauffé uniformément pour éviter une surchauffe locale et une couche d'oxyde inégale. Au cours de l'essai, la courbe cinétique d'oxydation doit être enregistrée pour analyser le taux et le mécanisme d'oxydation. Pour augmenter l'efficacité, un analyseur thermogravimétrique multicanaux peut être utilisé pour tester plusieurs fils de molybdène en même temps.

Importance de la demande

Le fil de molybdène à haute résistance à l'oxydation peut rester stable dans un environnement de décharge à haute température et prolonger la durée de vie. Par exemple, le fil de molybdène avec un taux de gain de poids oxydatif de $\leq 0,05$ % à 800°C peut être utilisé dans la fabrication de sources

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

lumineuses électriques, et la résistance aux hautes températures est augmentée de 20 %. Les données d'essai constituent une base optimale pour le traitement thermique et le processus de protection de surface du fil de molybdène.



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Chapitre 9 Optimisation et amélioration technique de l'électroérosion à fil de molybdène

Avec la demande croissante de l'industrie moderne pour une haute précision, un rendement élevé et un faible coût, l'optimisation et l'amélioration technique du fil de molybdène sont devenues le centre de la recherche industrielle. Les orientations d'optimisation comprennent l'amélioration de la résistance à la traction et de la durabilité, l'amélioration des processus de traitement de surface, la réduction du taux de rupture du fil, l'amélioration de l'efficacité de la coupe et l'introduction de technologies de production intelligentes. Ce chapitre aborde en détail ces méthodes d'optimisation et ces améliorations techniques, et analyse en profondeur leurs principes techniques, leurs paramètres de processus, leurs exigences en matière d'équipement et l'importance de l'application, dans le but de fournir une référence technique complète pour la production et l'application du fil de molybdène.

9.1 Méthodes d'amélioration de la résistance à la traction et de la durabilité

La résistance à la traction et la durabilité sont les principaux indicateurs de performance de l'électroérosion à fil de molybdène, qui affectent directement sa stabilité et sa durée de vie dans les environnements de coupe de fil à haute résistance. Ce qui suit est une analyse détaillée des méthodes visant à améliorer la résistance à la traction et la durabilité du point de vue de l'optimisation des matériaux, de l'amélioration du traitement thermique, du contrôle de la microstructure et de la technologie de dopage.

Préparation et optimisation de poudre de molybdène de haute pureté

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

La résistance à la traction et la durabilité du fil de molybdène sont étroitement liées à la pureté de ses matières premières. La poudre de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$) peut réduire considérablement les dommages causés par les éléments impurifiés (tels que le fer, le nickel, le carbone, l'oxygène, l'azote) à la structure cristalline, améliorant ainsi la résistance et la ténacité du matériau. La préparation de la poudre de molybdène de haute pureté est généralement réalisée par un processus de réduction de l'hydrogène en plusieurs étapes, dans lequel l'oxyde de molybdène (MoO_3) est progressivement réduit en poudre de molybdène métallique à l'aide d'un four de réduction d'hydrogène continu (température de fonctionnement 600-1100°C, débit d'hydrogène 1-2 L/min, pression 0,1-0,5 MPa). Le processus de réduction est divisé en une phase à basse température (600-800 °C, MoO_2 est généré) et une étape à haute température (900-1100 °C, du molybdène métallique est généré), et la vitesse de chauffage (5-10 °C/min) et le maintien sont contrôlés avec précision (1-2 heures) pour garantir que la distribution granulométrique de la poudre de molybdène est de 1 à 3 microns et que l'écart d'uniformité de la taille des particules est $\leq 0,1$ micron. Le four de réduction moderne est équipé d'un système de contrôle de la température de haute précision (précision ± 5 °C) et d'un dispositif de purification des gaz (taux d'élimination $\geq 99,9\%$), qui contrôle la teneur en oxygène de la poudre de molybdène à $\leq 0,003\%$, la teneur en carbone $\leq 0,01\%$ et la teneur en fer $\leq 0,005\%$. De plus, la poudre de molybdène est tamisée par un classificateur à air (vitesse de l'air de 10 à 20 m/s, précision de séparation $\pm 0,05$ micron) pour éliminer les particules grosses et agglomérées afin d'améliorer encore la pureté et la consistance des matières premières. La poudre de molybdène optimisée fournit une ébauche homogène et de haute densité pour le processus de frittage ultérieur, garantissant que le fil de molybdène possède d'excellentes propriétés mécaniques.

Optimisation du processus de traitement thermique

Le traitement thermique est un élément clé de l'amélioration de la résistance à la traction et de la durabilité du fil de molybdène, de l'amélioration des performances en éliminant les contraintes internes pendant le processus d'étirage, de l'optimisation de la structure cristalline et de l'amélioration de la ténacité du matériau. Le traitement thermique est généralement effectué dans un four de traitement thermique sous vide (température 1600-1800°C, degré de vide $\leq 10^{-3}$ Pa) ou un four de recuit à l'hydrogène (température 800-1200 °C, débit d'hydrogène 0,5-1 L/min). Le traitement thermique sous vide peut contrôler la taille des grains du fil de molybdène à 5-10 microns, augmenter la résistance à la traction à 2000-2300 MPa et augmenter l'allongement à la rupture à 2-3 % à haute température (1700 °C) pendant 1 à 2 heures et la vitesse de chauffage de 5 à 10 °C / min. Le recuit à l'hydrogène est chauffé par sections (préchauffage 600-800 °C, maintien 1000-1100 °C, vitesse de refroidissement 5 °C/min), ce qui élimine efficacement les contraintes résiduelles et réduit le risque de rupture. Les fours de traitement thermique modernes sont équipés d'un système de contrôle de la température à plusieurs étages (précision ± 3 °C) et d'un dispositif de surveillance en ligne qui enregistre la température, la pression et le débit de gaz en temps réel pour assurer la stabilité du processus. De plus, en optimisant les paramètres de traitement thermique (par exemple, en prolongeant le temps de maintien à 2,5 heures ou en réduisant la vitesse de refroidissement à 3°C/min), l'uniformité du grain peut être encore améliorée et les défauts limitaires de grain peuvent être réduits, améliorant ainsi la résistance à la fatigue et la durabilité du fil de molybdène.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Microstructure control

La résistance à la traction et la durabilité du fil de molybdène sont étroitement liées à sa microstructure. En contrôlant la taille des grains et les propriétés des joints de grains, les propriétés mécaniques du matériau peuvent être considérablement améliorées. En utilisant la technologie de frittage par pressage isostatique à chaud (HIP) (température 1800-2000°C, pression 100-200 MPa, protection contre l'argon), la densité de la billette de molybdène peut être augmentée à 99,5 %, la porosité interne et les inclusions peuvent être réduites, et la résistance à la traction peut être augmentée à plus de 2200 MPa. Au cours du processus de tréfilage, grâce à l'étirage en plusieurs passes (20 à 30 passes, taux de réduction de surface en un seul passage de 10 à 15 %) et au recuit intermédiaire (900-1100 °C, maintien pendant 10 à 20 secondes), le grain (taille 3-8 microns) peut être affiné, la structure cristalline fibreuse peut être améliorée et la résistance et la ténacité du fil de molybdène peuvent être améliorées. De plus, la diffraction des rayons X (XRD) est utilisée pour analyser la taille et l'orientation des grains, et la microscopie électronique à balayage (MEB) est utilisée pour observer les défauts microscopiques afin de s'assurer que l'optimisation de la structure répond aux exigences des normes (par exemple, GB/T 4182-2017).

Technologie de dopage et alliage

L'ajout d'oligo-éléments (par exemple, lanthane, cérium, yttrium) au fil de molybdène peut encore améliorer sa résistance à la traction et sa durabilité. Par exemple, le dopage de 0,1 à 0,5 % d'oxyde de lanthane (La_2O_3) peut former de fines particules d'oxyde (0,1 à 0,5 μm de diamètre), ce qui peut augmenter la résistance à la traction à 2300-2500 MPa grâce à un mécanisme de renforcement par précipitation, tout en améliorant la résistance au fluage à haute température. Le processus de dopage doit répartir uniformément les éléments de dopage grâce à la technologie de métallurgie des poudres dans l'étape de frittage, la température de frittage est contrôlée à 1900-2100 °C et le temps de maintien est de 2-3 heures. Le fil de molybdène dopé peut toujours maintenir des propriétés mécaniques stables dans un environnement à haute température de 1500°C, et la durée de vie en fatigue est prolongée à plus de 10^6 fois. De plus, en contrôlant la taille des particules (0,05-0,2 micron) et l'uniformité de distribution (écart ≤ 5 %) des éléments dopés, l'effet d'agglomération peut être évité et la stabilité des propriétés du fil de molybdène peut être assurée.

Importance de la demande

Les méthodes qui améliorent la résistance à la traction et la durabilité améliorent considérablement les performances du fil de molybdène dans les environnements de coupe de fil à haute résistance. Le fil de molybdène avec une résistance à la traction de 2200 MPa peut résister à une tension de 3 à 5 N, ce qui convient au traitement de matériaux à haute dureté tels que le carbure cémenté et l'alliage de titane. Le fil de molybdène à durabilité optimisée peut fonctionner en continu pendant plus de 100 heures dans un environnement de décharge à haute fréquence, et le taux de rupture du fil est réduit à moins de 0,05 %. Ces améliorations offrent une plus grande stabilité et une plus grande efficacité à l'électroérosion à fil pour répondre aux exigences exigeantes de l'aérospatiale, de la fabrication de moules, etc.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

9.2 Optimiser le processus de traitement de surface

Le processus de traitement de surface affecte directement la qualité de surface, la finition et la résistance à l'usure du fil de molybdène, ce qui est très important pour la stabilité à la décharge et la précision d'usinage de l'électroérosion à fil. Vous trouverez ci-dessous une analyse détaillée des méthodes d'optimisation du processus de traitement de surface du point de vue du lavage alcalin, du polissage électrolytique et de la technologie de revêtement.

Optimisation du processus de lavage caustique

Le lavage caustique est utilisé pour éliminer les oxydes, les huiles et les particules de la surface du fil de molybdène afin d'améliorer la propreté de la surface. Le processus de lavage caustique optimisé adopte une cuve de lavage caustique continue (matériau : acier inoxydable ou PTFE), utilisant une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 5-10 %, la température est contrôlée à 60-80 °C, la vitesse de passage du fil de molybdène est de 5-10 m/min et le temps de nettoyage est de 10-20 secondes. Les équipements modernes de lavage de la soude caustique sont équipés d'un oscillateur à ultrasons (fréquence 40-60 kHz, puissance 100-200 W), qui augmente le taux d'élimination des impuretés de surface jusqu'à 99,9 % et réduit la rugosité de surface à Ra 0,05 micron. De plus, en optimisant la formulation de la solution (ajout de 0,5 % de tensioactif), l'effet nettoyant peut être amélioré et les résidus de surface peuvent être réduits. Afin de répondre aux exigences de la protection de l'environnement, l'équipement de lavage caustique est équipé d'un système de traitement des déchets liquides, qui augmente le taux d'élimination des ions de métaux lourds dans les déchets liquides à plus de 95 % grâce à la neutralisation acide-alcali (pH 6-8) et au dispositif de filtration (taille des pores 0,1 micron).

Amélioration de la technologie d'électropolissage

Le polissage électrolytique élimine les bosses microscopiques à la surface du fil de molybdène par des réactions électrochimiques, améliorant encore la finition de surface et la résistance à la corrosion. Le processus d'électropolissage optimisé utilise un électrolyte mixte d'acide sulfurique et d'acide phosphorique (rapport 3:1, concentration 20-30 %) à une température de 50-70°C, une densité de courant de 10-20 A/dm² et un temps de polissage de 5-15 secondes. Les équipements d'électropolissage modernes, tels que les cuves de polissage en continu, sont équipés d'une alimentation électrique à courant constant (précision ± 0,1 %) et d'un système de contrôle automatique de la température (précision ± 2 °C), ce qui réduit la rugosité de surface à moins de Ra 0,015 micron et augmente la réflectivité de surface à 90 %. En optimisant le taux de cycle de l'électrolyte (0,5-1 L/min) et l'espacement des électrodes (1-2 mm), il est possible de réduire l'arc électrique pendant le processus de polissage et d'améliorer l'uniformité de la surface. De plus, l'utilisation de la technologie de polissage électrolytique pulsé (fréquence d'impulsion 50-100 Hz, cycle de service 50-70 %) peut réduire davantage l'incidence des microfissures de surface à moins de 0,1 %.

Améliorations de la technologie de revêtement en émulsion de graphite

Le revêtement en émulsion de graphite réduit le coefficient de frottement et la résistance à l'usure en appliquant un revêtement lubrifiant de 1 à 2 microns d'épaisseur à la surface du fil de molybdène, prolongeant ainsi la durée de vie dans la coupe du fil. Le processus de revêtement optimisé utilise

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

un bain de revêtement continu (matériau : plastique résistant à la corrosion) et une formulation d'émulsion de graphite composée de 10 à 20 % de poudre de graphite de haute pureté (taille des particules de 0,1 à 0,5 micron), de liant (alcool polyvinylique ou silicate de sodium) et de solvant (eau déminéralisée). L'équipement de revêtement est équipé d'un dispositif d'agitation (vitesse 100-200 tr/min) et d'un four de séchage (température 100-150°C, temps de séchage 10-20 secondes) pour garantir que l'uniformité de l'épaisseur du revêtement est supérieure à 98 % et que la force de liaison est augmentée à 10 MPa. Les équipements de revêtement modernes utilisent la technologie de revêtement par pulvérisation ou par immersion pour contrôler l'écart d'épaisseur du revêtement $\pm 0,1$ micron, et la température de séchage est surveillée en temps réel par un thermomètre infrarouge (précision $\pm 1^\circ\text{C}$) pour éviter la fissuration ou l'écaillage du revêtement.

Nouvelle technologie de traitement de surface

Ces dernières années, la technologie de nano-revêtement et la technologie de modification de surface par plasma ont donné une nouvelle direction au traitement de surface du fil de molybdène. Les nano-revêtements (par exemple les revêtements en nitrure de titane ou en carbure de molybdène, d'une épaisseur de 0,5 à 1 micron) sont appliqués par dépôt physique en phase vapeur (PVD) ou par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) avec une dureté allant jusqu'à HV 2000 et un coefficient de frottement réduit à moins de 0,1. La modification de surface par plasma traite la surface du fil de molybdène avec un plasma à basse température (puissance 100-200 W, pression 0,1-1 Pa) pour former une couche d'oxyde dense (épaisseur 0,2-0,5 microns) afin d'améliorer la résistance à la corrosion et à l'usure. Ces technologies améliorent considérablement la stabilité du fil de molybdène dans les environnements de décharge à haute intensité.

Importance de la demande

Le processus de traitement de surface optimisé améliore considérablement l'état de surface et la résistance à l'usure du fil de molybdène. Le fil de molybdène avec une rugosité de surface de Ra 0,015 micron peut réduire l'arc inégal dans l'électroérosion par fil et améliorer la stabilité de la décharge de 30 % ; Le revêtement en émulsion de graphite réduit le coefficient de frottement de 40 % et prolonge la durée de vie de 50 %. Ces améliorations offrent une garantie fiable pour l'usinage de moules de haute précision et l'usinage de microstructures, qui répondent aux exigences strictes des secteurs des semi-conducteurs et de l'aérospatiale.

9.3 Techniques pour réduire le taux de filament cassé

Le fil cassé est un problème courant dans l'électroérosion à fil, affectant l'efficacité et le coût du traitement. La réduction du taux de casse nécessite l'optimisation des matériaux, l'amélioration des processus et le contrôle des équipements, et ce qui suit est une analyse détaillée des technologies pertinentes.

Optimisation des propriétés des matériaux

Le taux de rupture du filament est étroitement lié à la résistance à la traction, à la ténacité et à la microstructure du fil de molybdène. En utilisant de la poudre de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,97\%$) et des techniques de dopage telles que 0,3 % d'oxyde de lanthane, la résistance à la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

traction peut être augmentée à 2300 MPa et l'allongement à la rupture peut être augmenté à 2,5 %, réduisant considérablement le risque de rupture du fil. Dans le processus de tréfilage, la structure cristalline fibreuse peut être optimisée, la fissure de la limite de grain peut être réduite et le taux de rupture du fil peut être réduit à moins de 0,05 % en contrôlant le taux de réduction de surface en un seul passage (8-12 %) et la température de recuit intermédiaire (900-1100 °C).

Amélioration du processus de tréfilage

L'optimisation du processus d'étirage affecte directement l'uniformité et la qualité de surface du fil de molybdène. À l'aide d'une machine à tréfiler de haute précision (entraînée par un servomoteur, vitesse 5-20 m/s, tension 0,1-2 N), par tréfilage multi-passes (20-30 passes) et contrôle de tension en ligne (précision $\pm 0,01$ N), la tolérance de diamètre peut être contrôlée à $\pm 0,001$ mm et l'erreur de circularité $\leq 0,0005$ mm. L'utilisation de matrices d'étirage au diamant polycristallin (PCD) (rugosité de surface du trou de matrice Ra 0,01 microns, durée de vie de plus de 1000 heures) peut réduire les rayures de surface et réduire le taux de rupture du fil. De plus, la formulation optimisée du lubrifiant (lubrifiant à base d'huile avec 5 % de graphite avec une viscosité de 10-20 cSt) réduit de 50 % la chaleur de frottement lors du tréfilage et évite les micro-fissures causées par une surchauffe locale.

Optimisation des paramètres de l'équipement de coupe de fil

Les paramètres de fonctionnement de l'équipement de coupe de fil ont un impact important sur le taux de rupture du fil. L'optimisation des paramètres de décharge (par exemple, largeur d'impulsion 50-100 μ s, densité de courant 10-20 A/cm²) peut réduire le choc thermique pendant la décharge et réduire les dommages causés par la fatigue thermique du fil de molybdène. Le système de contrôle adaptatif de la tension (plage de tension 2-5 N, précision $\pm 0,05$ N) peut ajuster la tension en temps réel en fonction des conditions de traitement afin d'éviter la rupture du fil causée par une tension excessive. De plus, en optimisant la formulation du liquide de refroidissement (5 % d'inhibiteur de rouille, pH 7-8, débit 0,5-1 L/min), la tendance du fil de molybdène à se corroder et à s'oxyder pendant le traitement peut être réduite.

Surveillance en ligne et contrôle du retour d'information

Les équipements modernes de découpe de fil sont équipés d'un système de surveillance en ligne, qui surveille le diamètre et les défauts de surface du fil de molybdène en temps réel grâce à un instrument de mesure du diamètre du fil laser (précision $\pm 0,0001$ mm) et un détecteur de courants de Foucault (sensibilité 0,05 micron), et ajuste automatiquement les paramètres de tension ou de décharge lorsque des anomalies sont détectées. Par exemple, lorsqu'un écart de diamètre de $\pm 0,001$ mm est détecté, le système peut réduire la tension de 10 % ou interrompre le traitement pour éviter la rupture du fil. Le système de surveillance peut également enregistrer la fréquence de décharge et la distribution de la chaleur, optimiser les paramètres de traitement et réduire le taux de rupture du fil à moins de 0,03 %.

Importance de la demande

Les techniques qui réduisent le taux de rupture du filament améliorent considérablement la continuité et l'efficacité de la coupe du fil. Le fil de molybdène avec un fil cassé de moins de 0,05 % peut prendre en charge un traitement continu pendant plus de 100 heures, réduire les temps d'arrêt

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

et augmenter l'efficacité de la production de 20 %. Ces technologies fournissent un support stable pour l'usinage de matériaux à haute dureté tels que les alliages de titane et les céramiques afin de répondre aux exigences exigeantes de l'aérospatiale et de la fabrication de moules.

9.4 Innovations pour améliorer l'efficacité de la coupe

L'amélioration de l'efficacité de coupe de l'électroérosion à fil est un objectif important pour optimiser les performances du fil de molybdène, ce qui implique l'amélioration des matériaux, l'optimisation de la décharge et la mise à niveau de l'équipement. Voici une analyse détaillée des innovations pertinentes.

Développement d'un fil de molybdène hautement conducteur

L'augmentation de la conductivité du fil de molybdène (conductivité 18-20 MS/m) peut améliorer l'efficacité de la décharge et raccourcir le temps de traitement. En dotant des traces d'argent (Ag, 0,1-0,3 %) ou de cuivre (Cu, 0,2-0,5 %), la conductivité peut être augmentée de 10 % et la perte d'énergie de décharge peut être réduite de 15 %. Le processus de dopage est effectué dans un four de frittage sous vide (température 1900-2100°C, pression 0,1 MPa) pour assurer une répartition uniforme des éléments de dopage (écart ≤ 5 %). Le fil de molybdène à haute conductivité peut augmenter la fréquence de décharge (10-20 kHz) et augmenter la vitesse de coupe de 20-30 %.

Optimisation des paramètres de décharge

L'optimisation des paramètres de décharge est la clé pour améliorer l'efficacité de la coupe. Les équipements modernes d'électroérosion à fil utilisent une alimentation pulsée à haute fréquence (fréquence 10-50 kHz, largeur d'impulsion 20-100 μ s) qui augmente les taux d'enlèvement de matière jusqu'à 30 % grâce à un contrôle précis de l'énergie de décharge (10-50 J/cm²) et de l'espacement des impulsions (50-200 μ s). Par exemple, la vitesse de coupe peut être augmentée de 2 mm/min à 3 mm/min avec une décharge haute fréquence à impulsion courte (largeur d'impulsion 30 μ s, fréquence 30 kHz). De plus, en optimisant l'écartement des électrodes (0,01-0,03 mm) et le débit de liquide de refroidissement (0,5-1 L/min), l'accumulation de chaleur peut être réduite et la durée de vie du fil de molybdène peut être prolongée.

Nouveau système de refroidissement et d'injection

Le liquide de refroidissement joue un rôle dans la dissipation de la chaleur, l'élimination des scories et la protection contre la corrosion lors de la coupe de fil. La formulation optimisée du liquide de refroidissement (5-10 % d'éthylène glycol, 2 % d'inhibiteur de rouille, viscosité 5-10 cSt) peut améliorer la conductivité thermique (0,5 W/m·K) et l'efficacité d'élimination des scories, et augmenter la vitesse de coupe de 15 %. Le nouveau système d'injection à haute pression (pression 0,5-1 MPa, angle d'injection 30-45°) peut pulvériser uniformément le liquide de refroidissement dans la zone de refoulement, réduisant ainsi les dommages thermiques aux électrodes et augmentant l'efficacité du traitement de 10 à 20 %.

Attelage multi-axes et contrôle adaptatif

L'équipement de coupe de fil moderne adopte un système de commande numérique à cinq ou six axes et réalise le traitement de structures tridimensionnelles complexes grâce à une liaison multi-

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

axes (précision de rotation $\pm 0,001^\circ$), et l'efficacité de coupe est augmentée de 25 %. Le système de contrôle adaptatif réduit le temps de traitement de 15 à 20 % en surveillant le courant de décharge (précision $\pm 0,1$ A) et l'écartement des électrodes (précision $\pm 0,001$ mm) en temps réel, en ajustant dynamiquement les paramètres de décharge et la tension, en optimisant la trajectoire de coupe.

Importance de la demande

Les technologies innovantes qui augmentent l'efficacité de la coupe réduisent considérablement les temps d'usinage et les coûts de production. Le fil de molybdène à haute conductivité et les paramètres de décharge optimisés peuvent augmenter la vitesse de coupe de 30 %, ce qui convient au traitement de matériaux à haute dureté ; Les nouvelles technologies de refroidissement et multi-axes améliorent l'efficacité de l'usinage de structures complexes pour répondre aux besoins de l'aérospatiale, des semi-conducteurs et d'autres domaines.

9.5 Application de la technologie de production intelligente

La technologie de production intelligente améliore l'efficacité de la production de fils de molybdène et la cohérence de la qualité grâce à l'automatisation et à la surveillance en temps réel. Ce qui suit est une analyse sous deux aspects : le contrôle automatique des dessins et le système de surveillance de la qualité en temps réel.

9.5.1 Contrôle automatique du tréfilage

Le contrôle automatisé du tréfilage améliore la précision et l'efficacité du processus de tréfilage en intégrant des capteurs, des systèmes d'asservissement et un contrôle PLC.

Principe technique

Le système de contrôle automatique du tréfilage surveille en temps réel les changements de tension, de vitesse et de diamètre pendant le processus de tréfilage à l'aide de servomoteurs (puissance 5-10 kW, vitesse 100-2000 tr/min) et de capteurs de haute précision (précision de tension $\pm 0,01$ N, précision de diamètre $\pm 0,0001$ mm). Le système adopte un algorithme de contrôle en boucle fermée pour ajuster la vitesse d'étirage (5-20 m/s) et la tension (0,1-2 N) en fonction des données en temps réel, assurant une tolérance de diamètre de $\pm 0,001$ mm et une erreur de circularité de $\leq 0,0005$ mm.

Paramètres de l'équipement et du processus

Les tréfileuses automatisées (par exemple Schumag ou Niehoff) sont équipées de systèmes d'étirage multi-passes (20-30 passes, taux de réduction de surface 8-12 %) et d'instruments de mesure laser en ligne (fréquence 1000 passes/seconde). Le système de lubrification utilise un lubrifiant à base d'huile contenant 5 % de graphite (viscosité 10-20 cSt), qui est appliqué uniformément par une pompe à débit constant (débit 0,1-0,5 L/min) pour réduire la chaleur de frottement de 50 %. Les systèmes de contrôle PLC, tels que Siemens S7-1500, affichent les paramètres de processus en temps réel via une interface à écran tactile, prenant en charge la surveillance à distance et le stockage des données.

Optimisation des processus et défis

Le tréfilage automatisé doit optimiser la conception de la matrice d'étirage (trou de matrice PCD,

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

rugosité de surface Ra 0,01 microns, durée de vie 1000 heures) pour éviter l'écart de diamètre causé par l'usure du trou de matrice. Le système doit calibrer le capteur à intervalles réguliers (toutes les 500 heures) pour garantir la précision de la mesure. Le défi consiste à gérer les perturbations vibratoires dans le tréfilage à grande vitesse, qui peuvent être résolues en ajoutant des dispositifs d'amortissement (taux d'amortissement de 80 %) et en optimisant les formulations de lubrifiants.

Importance de la demande

Le contrôle automatique du tréfilage augmente l'efficacité de la production de 20 % et réduit le taux d'échec à 0,02 %, garantissant la cohérence du diamètre du fil de molybdène et la qualité de surface pour répondre aux besoins de coupe de fil de haute précision. Le système prend également en charge l'optimisation automatique des paramètres du processus, réduisant ainsi le cycle de production de 15 %.

9.5.2 Système de surveillance de la qualité en temps réel

Le système de surveillance de la qualité en temps réel garantit la cohérence de la qualité de l'ensemble du processus de production de fil de molybdène grâce à l'intégration d'équipements de test et de technologie d'analyse des données.

Principe technique

Le système de surveillance de la qualité en temps réel détecte le diamètre, les défauts de surface et la microstructure du fil de molybdène à l'aide d'un instrument de mesure du diamètre du fil laser (précision $\pm 0,0001$ mm), d'un détecteur de courants de Foucault (sensibilité de 0,05 microns) et d'un microscope optique (grossissement 1000-2000 fois). Le système utilise la technologie de l'Internet industriel des objets (IIoT) pour collecter des données via un réseau de capteurs, combinée à des algorithmes d'analyse de données et d'apprentissage automatique pour prédire les problèmes de qualité et optimiser les paramètres de processus.

Paramètres de l'équipement et du processus

Le système de surveillance est équipé d'un instrument de mesure laser haute fréquence (Keyence LS-9000, fréquence 1000 fois/sec), d'un détecteur de courants de TChemin de Fer (Eddyfi Ectane 2, fréquence 100 kHz-1 MHz) et d'un MEB (jeol JSM-7800F, résolution 0,01 microns). Fréquences d'acquisition de données de 10 à 100 Hz, capacité de stockage jusqu'à 1 To, sauvegarde dans le cloud et accès à distance. Le système est relié à l'équipement de production par l'intermédiaire d'un API pour ajuster la vitesse d'étrépage, la tension et les paramètres de traitement de surface en temps réel.

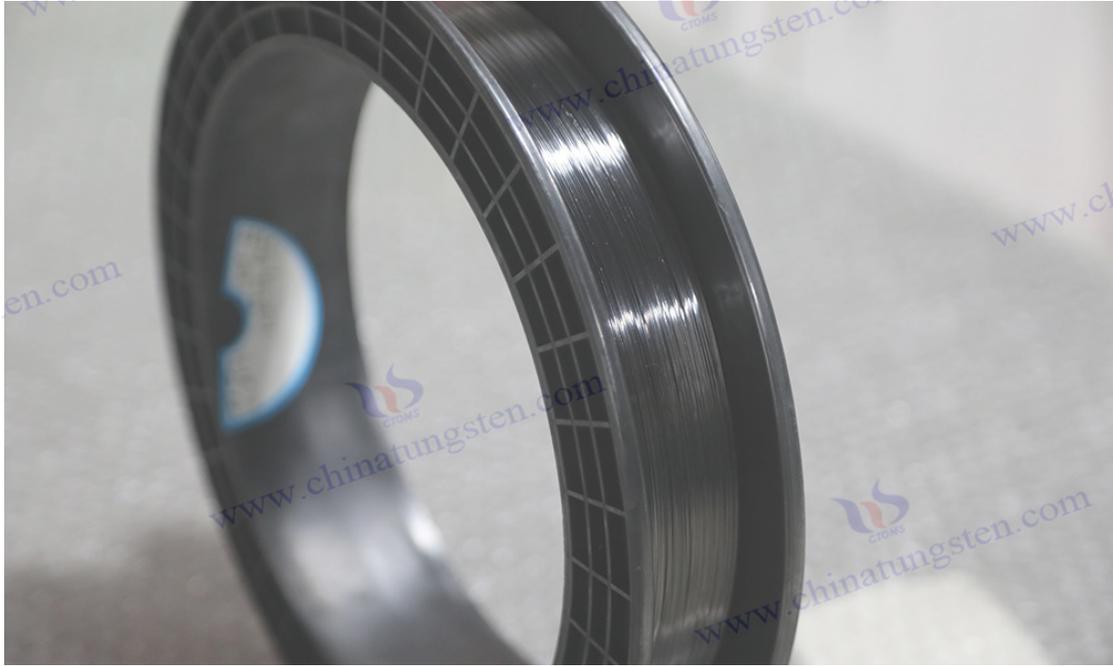
Optimisation des processus et défis

Le système de surveillance doit calibrer le capteur (toutes les 500 heures) pour garantir la précision de la détection. L'enjeu est de traiter l'analyse en temps réel de données à haute fréquence (1000 points/s), qui peuvent être augmentées par l'edge computing et les réseaux 5G avec une latence de < 10 ms. Le système doit également optimiser l'algorithme pour réduire le taux de fausses alarmes à moins de 0,01 % afin d'assurer la fiabilité du contrôle de la qualité.

Importance de la demande

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le système de surveillance de la qualité en temps réel réduit le taux de défaillance à 0,01 % et augmente l'efficacité de la production de 15 %, garantissant que les performances du fil de molybdène répondent aux normes GB/T 4182-2017 et ASTM B387. Le système prend également en charge la traçabilité des données de qualité, ce qui constitue une garantie fiable pour la découpe de fil de haute précision.



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Chapitre 10 Marché et développement de l'électroérosion à fil de molybdène

Avec la demande croissante d'usinage de haute précision, de fabrication de microélectronique et de production verte, le marché du fil EDM montre une tendance à l'expansion rapide et à la diversification. Ce chapitre discutera de manière exhaustive de la vue d'ensemble du marché mondial et de la tendance de développement future de l'EDM en fil de molybdène, et fournira une analyse approfondie des principaux pays producteurs, de la taille du marché, des moteurs de la demande et des orientations de l'innovation technologique, y compris la recherche et le développement de fils de molybdène de diamètre de fil plus fin, la promotion de processus de production respectueux de l'environnement et la tendance à la substitution de nouveaux matériaux.

10.1 Aperçu du marché mondial

Le marché mondial de l'électroérosion à fil de molybdène est stimulé par la demande d'usinage de haute précision, qui est largement utilisé dans la fabrication de moules, l'aérospatiale, les semi-conducteurs, les dispositifs médicaux et les nouvelles énergies, entre autres. Ce qui suit est une analyse détaillée de l'état actuel du marché mondial sous deux aspects : les principaux pays et régions producteurs, la taille du marché et l'analyse de la demande.

10.1.1 Principaux pays et régions producteurs

La production de fil de molybdène EDM dépend fortement des ressources en molybdène et de la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

technologie de traitement avancée, et les principaux pays et régions de production du monde comprennent la Chine, les États-Unis, le Japon, l'Europe (représentée par l'Allemagne et l'Autriche) et la Russie. Ces pays et régions occupent une position importante sur le marché mondial du fil de molybdène en raison de la synergie des avantages en matière de ressources, de l'accumulation de technologies et de la demande du marché.

Chine

La Chine est le plus grand producteur mondial de ressources en molybdène, avec de riches réserves de minerai de molybdène (représentant environ 50 % du total mondial), comme Luanchuan dans la province du Henan et Jinduicheng dans la province du Shaanxi, avec une production annuelle de plus de 100 000 tonnes de concentré de molybdène. S'appuyant sur les avantages des ressources, la Chine est devenue un important producteur de fil de molybdène, représentant plus de 60 % du marché mondial. Des entreprises nationales telles que Jinduicheng Molybdenum Industry et Luoyang Molybdenum Industry ont produit des fils de molybdène haute performance conformément à la norme GB / T 4182-2017 avec une plage de diamètres de 0,05 à 0,3 mm, une résistance à la traction de 1800 à 2300 MPa et une rugosité de surface de $Ra \leq 0,02$ microns grâce à l'introduction d'équipements de production avancés (tels qu'une tréfileuse de haute précision et un four de traitement thermique sous vide) et d'un processus optimisé (réduction de l'hydrogène en plusieurs étapes et à chaud frittage sous pression isostatique). Les produits de fil de molybdène de la Chine répondent non seulement aux besoins de la fabrication de moules nationaux et de l'aérospatiale, mais en exportent également un grand nombre vers l'Asie du Sud-Est, l'Europe et l'Amérique du Nord, représentant plus de 40 % du marché mondial. En outre, les entreprises chinoises ont maintenu leur compétitivité par rapport aux prix grâce à l'innovation technologique (par exemple, le dopage à l'oxyde de lanthane) et au contrôle des coûts, le prix moyen du fil de molybdène de 0,18 mm étant de 50 à 70 dollars américains le kilomètre.

États-Unis

Les États-Unis sont le deuxième plus grand producteur mondial de fil de molybdène, avec des ressources abondantes en minerai de molybdène (comme la mine Climax dans le Colorado) et une technologie de production avancée. Des entreprises telles que Climax Molybdenum et Plansee USA se spécialisent dans le développement de fils de molybdène haute performance conformes aux normes ASTM B387 pour une utilisation dans les domaines des semi-conducteurs et de l'aérospatiale. La production de fil de molybdène aux États-Unis se concentre sur la haute pureté ($\geq 99,95$ %) et la qualité de surface ($Ra \leq 0,05$ microns), et améliore la résistance à l'usure grâce aux technologies de revêtement par dépôt physique en phase vapeur (PVD) telles que les revêtements en nitrure de titane, d'une épaisseur de 0,5 à 1 micron. Le marché américain connaît une forte demande de fil de molybdène de diamètre fin (0,05-0,1 mm), représentant 30 % de sa production totale, principalement dans le traitement de la microélectronique et des dispositifs médicaux. Le prix du fil de molybdène aux États-Unis est relativement élevé, en moyenne de 80 à 100 dollars le kilomètre, ce qui reflète son positionnement haut de gamme sur le marché.

Japon

Le Japon est connu pour sa haute précision et sa qualité dans la production de fil de molybdène, et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

des entreprises telles que Sumitomo Electric et Toshiba Materials produisent du fil de molybdène conformément à la norme JIS H 4461, qui est largement utilisée dans les sources de lumière électrique et la fabrication de moules de précision. La technologie de production de fil de molybdène du Japon se concentre sur le contrôle du grain (taille 3-8 microns) et le traitement de surface (tel que le polissage électrolytique, $Ra \leq 0,03$ microns), par tréfilage en plusieurs passes (25-35 passes, taux de réduction de surface 8-12 %) et le recuit sous vide (1600-1800 °C), pour atteindre une résistance à la traction de 2000-2200 MPa. La demande de fil de molybdène ultra-fin ($\leq 0,08$ mm de diamètre) sur le marché japonais augmente rapidement, représentant 25 % de sa production totale, principalement pour le découpage de plaquettes de semi-conducteurs et la fabrication de MEMS. Les exportations japonaises de fil de molybdène se font principalement vers l'Asie et l'Amérique du Nord, et le prix est de 70 à 90 dollars le kilomètre.

Europe

La production de fil de molybdène en Europe est dominée par l'Allemagne et l'Autriche, et des entreprises telles que le groupe Plansee et H.C. Starck utilisent des processus de production de pointe (par exemple, des machines de tréfilage continu, modification de surface par plasma) pour produire du fil de molybdène conformément à la norme DIN EN 10204. Le marché européen se concentre sur une production respectueuse de l'environnement, en utilisant des fours de frittage à faible consommation d'énergie (20 % de consommation d'énergie en moins) et des lubrifiants recyclables, conformément à la directive européenne RoHS. Le fil de molybdène en Europe est principalement utilisé dans la fabrication de moules aérospatiaux et automobiles, avec un diamètre de 0,1 à 0,2 mm représentant 50 % de la production totale, une résistance à la traction de 1900 à 2300 MPa et une rugosité de surface de $Ra \leq 0,02$ micron. Le prix du fil de molybdène en Europe est plus élevé, avec une moyenne de 90 à 120 dollars par kilomètre, ce qui reflète sa technologie haut de gamme et son contrôle de qualité strict.

Russie

La Russie a une forte présence sur le marché mondial avec de riches ressources en minerai de molybdène, comme la zone minière sibérienne, avec une production annuelle d'environ 20 000 tonnes de concentré de molybdène. Les fabricants de fils de molybdène en Russie, tels que l'usine métallurgique de Tcheliabinsk, se spécialisent dans les fils de molybdène de grand diamètre (0,2-0,3 mm) pour la pulvérisation thermique et les applications aérospatiales. Le produit est conforme à la norme GOST, avec une résistance à la traction de 1800-2100 MPa et une rugosité de surface de $Ra \leq 0,05$ microns. Le prix du fil de molybdène en Russie est relativement bas, en moyenne de 40 à 60 dollars le kilomètre, et il est principalement exporté vers les marchés d'Europe de l'Est et d'Asie.

Autres régions

D'autres pays tels que le Chili, le Canada et l'Australie produisent également du fil de molybdène, mais la production est plus petite et repose principalement sur du concentré de molybdène importé pour le traitement. La production de fil de molybdène dans ces régions vise principalement à répondre aux besoins du marché local, et le niveau technique est relativement faible, et les produits sont principalement utilisés dans la fabrication générale de moules, avec un prix de 50 à 80 dollars américains par kilomètre.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Répartition du marché et paysage concurrentiel

Le marché mondial du fil de molybdène présente un modèle de concurrence régionale, la Chine dominant avec un faible coût et une production élevée, les États-Unis et le Japon se concentrant sur les applications de haute technologie et haut de gamme, l'Europe se concentrant sur la protection de l'environnement et la certification de la qualité, et la Russie en concurrence avec des avantages de prix. Les entreprises multinationales ont renforcé leur compétitivité sur le marché mondial en intégrant leurs ressources par le biais de la coopération technique et des fusions et acquisitions. À l'avenir, la coopération interrégionale favorisera davantage le partage de technologies et l'expansion des marchés.

10.1.2 Analyse de la taille du marché et de la demande

La taille du marché mondial de l'électroérosion à fil de molybdène continue de croître avec la croissance de la demande d'usinage de haute précision, et ce qui suit est analysé sous trois aspects : la taille du marché, les moteurs de la demande et la distribution régionale.

Taille du marché

Selon les données de l'industrie, la taille du marché mondial de l'EDM en fil de molybdène sera d'environ 500 millions de dollars en 2024 et devrait atteindre 750 millions de dollars d'ici 2030, avec un taux de croissance annuel composé (TCAC) d'environ 7 %. La croissance de la taille du marché est principalement due à la large application de l'équipement d'électroérosion à fil dans la fabrication de moules, l'aérospatiale et les industries des semi-conducteurs. En termes de production, la production mondiale de fil de molybdène en 2024 sera d'environ 12 000 tonnes, dont la Chine représentera 60 % (7 200 tonnes), les États-Unis 15 % (1 800 tonnes), le Japon 10 % (1 200 tonnes), l'Europe 10 % (1 200 tonnes) et les autres régions 5 % (600 tonnes). Par domaine d'application, la fabrication de moules représentait 40 % de la part de marché, l'aérospatiale 25 %, les semi-conducteurs 20 %, les sources lumineuses électriques 10 % et les autres domaines 5 %.

Moteurs de la demande

Besoins de fabrication de moules : La fabrication de moules est le plus grand domaine d'application du fil EDM, en particulier dans les industries de l'automobile, de l'électronique et de l'électroménager. Les moules de haute précision (tolérances $\pm 0,005$ mm) ont des exigences strictes en matière de tolérance de diamètre ($\pm 0,001$ mm), de résistance à la traction (≥ 2000 MPa) et de rugosité de surface ($Ra \leq 0,02$ microns) des fils de molybdène, ce qui stimule la croissance de la demande du marché.

Demande aérospatiale : Le domaine aérospatial a une forte demande de stabilité à haute température (résistance à la traction à $1500^{\circ}\text{C} \geq 1800$ MPa) et de résistance à la fatigue (durée de vie $\geq 10^6$ fois) du fil de molybdène, qui est utilisé pour traiter les aubes de turbine, les pièces en alliage de titane, etc., représentant 25 % de la demande du marché.

Demande de semi-conducteurs et de microélectronique : L'industrie des semi-conducteurs connaît une demande en croissance rapide de fils de molybdène ultra-fins (0,05 à 0,08 mm de diamètre) pour le découpage de plaquettes et la fabrication de MEMS, augmentant sa part de marché de 10 %

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

en 2015 à 20 % en 2024.

Demande de nouvelles sources d'énergie et de lumière électrique : Le nouveau domaine de l'énergie (tel que la fabrication de cellules photovoltaïques) et l'industrie des sources lumineuses électriques (telles que la lampe au sodium haute pression) ont des exigences élevées pour une conductivité élevée (18-20 MS/m) et une résistance à haute température (1500-2000 °C) du fil de molybdène, ce qui favorise le développement de la diversification du marché.

Mondialisation et progrès technologiques : La transformation numérique de l'industrie manufacturière mondiale et les technologies de production intelligentes (telles que les machines de découpe de fil CNC à cinq axes) ont amélioré l'efficacité de l'utilisation du fil de molybdène et stimulé la demande du marché.

Répartition régionale de la demande

Marché asiatique : L'Asie (en particulier la Chine, le Japon et la Corée du Sud) est le plus grand marché de consommation au monde pour le fil de molybdène, représentant 50 % du marché. Le développement rapide de l'industrie chinoise de la fabrication de moules a stimulé la demande de fil de molybdène de 0,18 à 0,2 mm, avec une consommation annuelle d'environ 4 000 tonnes. Le Japon et la Corée du Sud sont dominés par les applications de semi-conducteurs et de sources lumineuses électriques, et la demande de fil de molybdène ultra-fin représente 30 %.

Marché nord-américain : Le marché nord-américain représente 25 % de la part de marché mondiale, les industries de l'aérospatiale et des semi-conducteurs fournissant la principale demande. Il existe une forte demande de fil de molybdène haute performance (résistance à la traction ≥ 2200 MPa) de la part des entreprises américaines, avec une consommation annuelle d'environ 1 500 tonnes.

Marché européen : Le marché européen représente 20 % de la part de marché mondiale, dominé par l'Allemagne, la France et l'Italie, et la demande est concentrée dans la fabrication de moules aérospatiaux et automobiles, avec une consommation annuelle d'environ 1 000 tonnes. La demande de fils de molybdène respectueux de l'environnement (conforme à la directive RoHS) augmente rapidement en Europe.

Autres régions : L'Amérique du Sud, l'Afrique et le Moyen-Orient ont une demande plus faible de fil de molybdène, représentant 5 % de la part de marché mondiale, principalement utilisé pour la fabrication générale de moules et la pulvérisation thermique, avec une consommation annuelle d'environ 500 tonnes.

Défis et opportunités du marché

Les défis du marché comprennent la volatilité des prix des matières premières (fluctuations de 10 à 15 % des prix du concentré de molybdène), des réglementations environnementales strictes (par exemple, REACH de l'UE) et les pressions concurrentielles exercées par les nouveaux matériaux (par exemple, le fil d'acier galvanisé). Les opportunités résident dans la demande croissante d'usinage de haute précision, la diffusion des technologies de production intelligentes et l'essor

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

rapide des marchés émergents tels que l'Inde et l'Asie du Sud-Est. À l'avenir, le marché se développera dans le sens de la haute performance, de la protection de l'environnement et du faible coût.

10.2 Tendances du développement

Le développement futur de l'électroérosion en fil de molybdène est influencé par l'innovation technologique, les exigences de protection de l'environnement et la concurrence dans les nouveaux matériaux. Ce qui suit est une analyse détaillée de la tendance de développement de l'industrie sous trois aspects : la recherche et le développement de fils de diamètre plus fin, la protection de l'environnement, le processus de production et la tendance à la substitution de nouveaux matériaux.

10.2.1 Recherche et développement d'un diamètre de fil plus mince

Avec le développement rapide des industries de la microélectronique, des semi-conducteurs et des dispositifs médicaux, la demande de fil de molybdène de diamètre de fil ultra-fin ($\leq 0,08$ mm de diamètre) continue de croître. Ce qui suit analyse la tendance de la R&D du fil de molybdène de diamètre plus mince sous trois aspects : les défis techniques, l'amélioration des processus et les perspectives d'application.

Défis techniques

La production de fils de molybdène ultra-fins (diamètre 0,03-0,08 mm) impose des exigences plus élevées en matière de matières premières, de processus de tréfilage et de technologie d'essai. La matière première doit utiliser de la poudre de molybdène de très haute pureté (pureté $\geq 99,99$ %, taille des particules de 0,5 à 2 microns) pour réduire les dommages causés par les impuretés à la microstructure. Le processus de tréfilage nécessite une machine de tréfilage de très haute précision (précision de contrôle de la tension $\pm 0,005$ N, vitesse 2-10 m/s) et une matrice de tréfilage au diamant naturel (rugosité de surface du trou de matrice Ra 0,005 microns, durée de vie 500 heures), et le taux de réduction de surface en un seul passage est contrôlé à 5-8 % pour éviter la rupture du fil. La technologie d'inspection nécessite l'utilisation d'un instrument de mesure de fil laser haute résolution (précision $\pm 0,00005$ mm) et d'un microscope électronique à balayage (résolution 0,01 micron) pour assurer une tolérance de diamètre de $\pm 0,0005$ mm et une rugosité de surface de Ra $\leq 0,01$ micron.

Améliorations des processus

Technologie de tréfilage micro : en utilisant un processus d'étirage 40 à 50 fois, combiné à un recuit intermédiaire (température 800-1000 °C, conservation de la chaleur 5-10 secondes, protection contre l'hydrogène), le diamètre du fil de molybdène peut être progressivement réduit de 0,5 mm à 0,05 mm, et le taux de rupture du fil est contrôlé en dessous de 0,01 %.

Optimisation du traitement de surface : le polissage électrolytique pulsé (fréquence 100 Hz, rapport cyclique 60 %, densité de courant 15 A/dm²) réduit la rugosité de surface à Ra 0,008 micron et améliore la stabilité de la décharge.

Dopage et alliage : 0,1 à 0,3 % d'oxyde de cérium (CeO₂) ou d'oxyde d'yttrium (Y₂O₃) est ajouté

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

pour augmenter la résistance à la traction à 2400 MPa grâce au renforcement par précipitation pour répondre aux exigences de haute résistance du fil de molybdène ultra-fin.

Surveillance en ligne : L'introduction de la mesure laser en ligne et du système de détection par courants de Foucault permet de surveiller les défauts de diamètre et de surface en temps réel, d'ajuster automatiquement les paramètres de dessin et d'augmenter l'efficacité de la production de 15 %.

Perspectives d'application

La recherche et le développement du fil de molybdène ultrafin a favorisé son application dans les domaines de la microélectronique et de la médecine. Un fil de molybdène d'un diamètre de 0,05 mm peut être utilisé pour le découpage de plaquettes de semi-conducteurs, et la tolérance de largeur de rainure \pm de 0,001 mm ; Le fil de molybdène de 0,03 mm de diamètre convient au traitement de dispositifs médicaux (par exemple, les moules de stent cardiaques) et a une rugosité de surface de Ra 0,005 microns, ce qui répond aux exigences d'une ultra-haute précision. À l'avenir, avec le développement de la 5G, de l'intelligence artificielle et de la technologie biomédicale, la demande du marché pour le fil de molybdène ultra-fin devrait croître à un taux de croissance annuel composé de 10 %, représentant 30 % du marché mondial d'ici 2030.

10.2.2 Processus de production respectueux de l'environnement

Le processus de production respectueux de l'environnement est une tendance de développement importante de l'industrie du fil de molybdène, qui répond aux exigences de la fabrication verte mondiale et du développement durable. Ce qui suit analyse le développement de procédés respectueux de l'environnement sous trois aspects : la production à faible consommation d'énergie, le traitement des déchets liquides et les matériaux recyclables.

Technologie de production à faible consommation d'énergie

La production conventionnelle de fils de molybdène (par exemple, frittage, traitement thermique) consomme beaucoup d'énergie (environ 5000 kWh par tonne de fil de molybdène). Les nouvelles technologies à faible consommation d'énergie comprennent :

Four de frittage à haut rendement : Four de frittage à induction moyenne fréquence (température 1800-2000°C, consommation d'énergie réduite de 20 %), équipé d'un système de récupération de chaleur (taux de récupération 30 %), la consommation totale d'énergie est réduite à 4000 kWh/tonne.

Machine de tréfilage à économie d'énergie : À l'aide d'une tréfileuse entraînée par un servomoteur (puissance de 5 à 8 kW, 15 % plus efficace), la consommation d'énergie de frottement est réduite de 30 % en optimisant la vitesse d'étirage (10-15 m/s) et la formulation du lubrifiant (viscosité 8-15 cSt).

Traitement thermique à basse température : Le développement de la technologie de recuit sous vide à basse température (température 1000-1200°C, degré de vide $\leq 10^{-4}$ Pa) réduit la consommation d'énergie du traitement thermique de 25 %, tout en maintenant la résistance à la traction de plus de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

2000 MPa.

Traitement des déchets liquides et gazeux

Le lavage caustique et l'électropolissage dans la production de fils de molybdène produisent des déchets liquides contenant des métaux lourds, qui sont coûteux et inefficaces à éliminer. Les nouvelles technologies de traitement respectueuses de l'environnement comprennent :

Traitement des déchets liquides en cycle fermé : La neutralisation acido-basique (pH 6-8) et la technologie de filtration membranaire (taille des pores de 0,1 micron) sont utilisées pour augmenter le taux d'élimination des ions de métaux lourds dans les déchets liquides à 98 % et réduire le coût du traitement de 30 %.

Purification des gaz d'échappement : Dans le processus de réduction de l'hydrogène et de traitement thermique, des unités d'adsorption sur charbon actif et de combustion catalytique (taux d'élimination ≥ 99 %) sont utilisées pour réduire les émissions de composés organiques volatils (COV) et d'oxydes à moins de 0,01 mg/m³, conformément aux normes d'émission de l'UE.

Récupération des ressources : Développer une technologie de récupération des ions molybdène dans les déchets liquides (comme la résine échangeuse d'ions, taux de récupération de 90 %), et utiliser le molybdène récupéré pour produire des produits à base de molybdène de faible pureté, réduisant ainsi les coûts des matières premières de 10 %.

Matériaux recyclables et emballages verts

L'utilisation de lubrifiants recyclables (contenant 5 % d'huile biosourcée, taux de dégradation de 95 %) et de matériaux d'emballage respectueux de l'environnement (par exemple, des plastiques biodégradables, épaisseur d'emballage sous vide de 0,05 mm) réduit la pollution de l'environnement dans le processus de production. La matrice d'étirage est fabriquée en diamant polycristallin renouvelable (PCD), ce qui prolonge la durée de vie de 20 % et réduit la consommation de ressources. Les emballages verts sont remplis sous vide ou sous gaz inerte (argon ou azote, pureté $\geq 99,99$ %) pour assurer la résistance à l'oxydation du fil de molybdène pendant le stockage et réduire les déchets d'emballage de 50 %.

Perspectives d'application

Le processus de production respectueux de l'environnement réduit l'impact environnemental de la production de fils de molybdène et est conforme aux tendances mondiales en matière de fabrication verte (par exemple, le Green Deal de l'UE). La technologie à faible consommation d'énergie et le système de traitement des déchets liquides réduisent les coûts de production de 15 à 20 % et améliorent la compétitivité du marché. L'utilisation de matériaux recyclables est à l'origine du modèle d'économie circulaire, et le fil de molybdène respectueux de l'environnement devrait représenter 40 % du marché mondial d'ici 2030, avec une croissance rapide en Europe et en Amérique du Nord, en particulier en Europe.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

10.2.3 Substitution de nouveaux matériaux

Avec le développement de nouvelles technologies de matériaux, l'électroérosion par fil de molybdène est confrontée à la pression concurrentielle d'autres matériaux haute performance. Ce qui suit analyse la tendance à la substitution de nouveaux matériaux sous trois aspects : les types de matériaux alternatifs, les défis techniques et les perspectives de marché.

Types de matériaux alternatifs

Fil d'acier galvanisé : Le fil d'acier galvanisé améliore la conductivité et la résistance à la corrosion en galvanisant la surface du fil d'acier (épaisseur 5-10 microns) à 50 % du fil de molybdène (20-30 \$ par kilomètre). Sa résistance à la traction (1500-1800 MPa) est inférieure à celle du fil de molybdène, mais elle convient à la fabrication de moules de faible précision.

Fil composite à base de cuivre : Le fil composite à base de cuivre (par exemple, un alliage cuivre-tungstène avec une teneur en tungstène de 20 à 30 %) a une conductivité élevée (25 à 30 MS/m) et une résistance à l'usure, adapté à l'électroérosion à fil de moyenne et haute précision, et le prix est de 40 à 60 \$ par kilomètre.

Filament composite en fibre de carbone : Le filament composite en fibre de carbone est léger (densité 1,8 g/cm³) et à haute résistance (2000 MPa) grâce à l'application d'un revêtement conducteur (graphite ou métal, épaisseur 1-2 microns), mais la conductivité (10-15 MS/m) est inférieure à celle du fil de molybdène, ce qui le rend adapté à des scénarios de microfabrication spécifiques.

Fils revêtus de céramique : Les fils revêtus de céramique (par exemple la zircone ou le nitrure de silicium, d'une épaisseur de 0,5 à 1 micron) ont une dureté élevée (HV 2000) et une résistance à haute température (1500°C), mais sont coûteux à produire (80 à 100 \$ le kilomètre).

Défis techniques

Les matériaux alternatifs ont des limites en termes de performances et de coût. La résistance aux températures élevées et la résistance à la traction du fil d'acier galvanisé sont insuffisantes, ce qui rend difficile de répondre aux besoins de l'aérospatiale et du traitement des semi-conducteurs ; Le processus de production du fil composite à base de cuivre est complexe et l'uniformité (écart ±0,002 mm) est difficile à comparer avec le fil de molybdène ; La faible conductivité et la stabilité de décharge du filament composite en fibre de carbone limitent son utilisation dans des environnements de décharge à haute fréquence. Le coût de production du fil revêtu de céramique est élevé et la résistance de liaison du revêtement (≤ 8 MPa) est inférieure à celle du revêtement en émulsion de graphite du fil de molybdène (10 MPa). De plus, les normes d'essai pour les matériaux alternatifs (par exemple, les tolérances de diamètre, la rugosité de surface) n'ont pas été harmonisées, ce qui limite leur adoption sur le marché.

Perspectives du marché

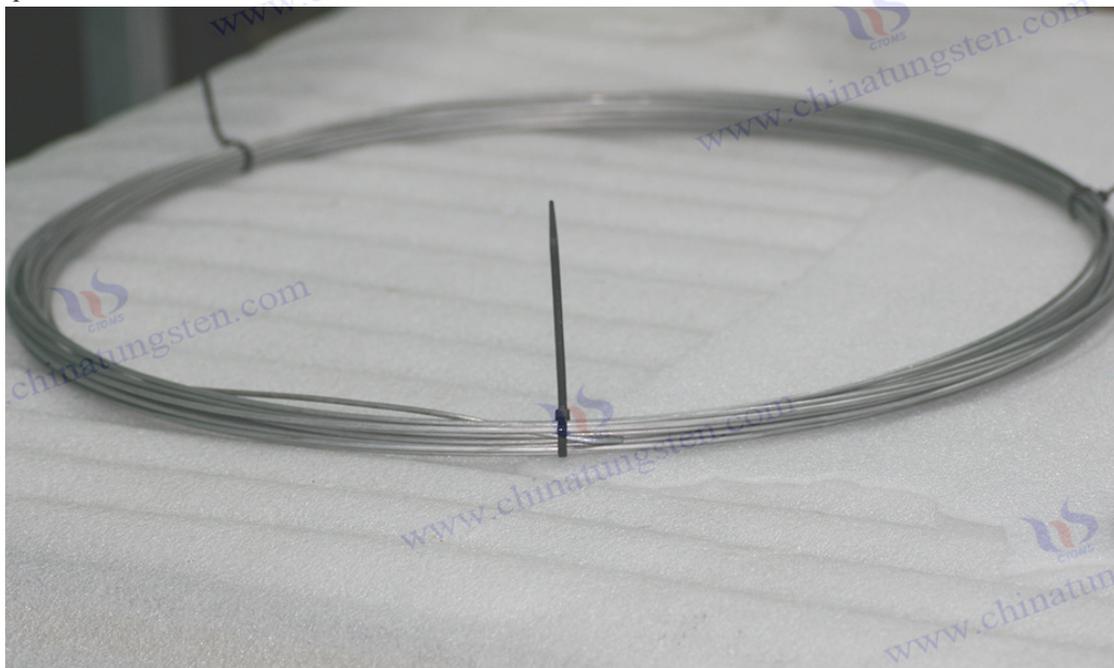
Malgré les avantages en termes de coûts des matériaux alternatifs, le fil de molybdène restera le matériau principal pour l'électroérosion à fil en raison de sa résistance élevée à la traction (2000-

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

2300 MPa), de son excellente conductivité électrique (18-20 MS/m) et de sa qualité de surface ($R_a \leq 0,02$ microns), et sa part de marché devrait rester supérieure à 70 % d'ici 2030. Les matériaux alternatifs occuperont un certain marché dans des domaines de faible précision et à faible coût, tels que la fabrication générale de moules, et devraient représenter 20 % du marché mondial. À l'avenir, la technologie composite du fil de molybdène et de nouveaux matériaux (tels que le fil composite molybdène-cuivre ou le fil revêtu de fibre de carbone molybdène) pourrait devenir une nouvelle direction de développement, combinant les avantages des deux pour répondre à la demande diversifiée du marché.

Perspectives d'application

La tendance à la substitution de nouveaux matériaux a favorisé le développement diversifié de la technologie de l'électroérosion à fil. Le fil de molybdène continuera de dominer le domaine du traitement des matériaux de haute précision et de haute dureté, tandis que le fil d'acier galvanisé et le fil composite à base de cuivre connaîtront une croissance rapide sur le marché bas de gamme. Les composites, tels que les fils revêtus de molybdène-céramique, devraient ouvrir de nouvelles applications dans la microélectronique et les dispositifs médicaux, avec une part de marché de 10 % qui devrait atteindre 10 % d'ici 2030.



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Chapitre 11 Installation et utilisation de l'électroérosion en fil de molybdène

En tant que consommables de base dans la découpe de fils EDM, l'installation, le fonctionnement et la maintenance de l'EDM à fil de molybdène affectent directement la précision de traitement, l'efficacité et la durée de vie de l'équipement. Des étapes d'installation correctes, des méthodes d'utilisation standardisées et des mesures de maintenance scientifiques peuvent maximiser les performances du fil de molybdène, réduire le taux de rupture du fil et améliorer la qualité du traitement. Ce chapitre aborde en détail les étapes d'installation, les précautions d'emploi et les méthodes d'entretien et de remplacement de l'électroérosion en fil de molybdène, et analyse en profondeur les principes techniques, les spécifications de fonctionnement, les exigences en matière d'équipement et les paramètres de processus.

11.1 Étapes d'installation du fil EDM

L'installation correcte de l'électroérosion à fil de molybdène est la base pour garantir la stabilité et la précision du traitement. Le processus d'installation implique le filetage, la fixation, le réglage de la roue et le contrôle de contact du bloc conducteur, ce qui nécessite un fonctionnement précis pour éviter d'endommager le fil de molybdène ou de tomber en panne de l'équipement. Ce qui suit est une analyse détaillée sous deux aspects : le filetage et la fixation, et le contrôle de contact entre la roue de guidage et le bloc conducteur.

11.1.1 Enfilage et fixation du fil de molybdène

Le filetage et la fixation du fil de molybdène sont une étape clé avant le démarrage de l'équipement de coupe de fil, ce qui affecte directement la stabilité de la tension et le bon fonctionnement du fil de molybdène.

Principe technique

Le filetage du fil est le processus qui consiste à faire passer le fil de molybdène du baril de stockage du fil à travers la roue de guidage, le bloc conducteur et la zone de traitement, et enfin à le fixer sur la roue d'enroulement. Le processus de fixation doit garantir que la tension du fil de molybdène est uniforme (généralement 2-5 N) et éviter la déformation ou la relaxation en traction. Le diamètre du fil de molybdène est généralement de 0,05 à 0,3 mm, la tolérance est de $\pm 0,001$ mm et la rugosité de surface $Ra \leq 0,02$ micron. Le luminaire doit fournir une force de serrage stable (10-20 N) pour éviter de glisser ou de se casser.

Procédure

Préparation : Vérifiez l'apparence du fil de molybdène pour vous assurer qu'il n'y a pas de rayures de surface, d'oxydes ou de défauts de gondolage (à l'aide d'une loupe, grossissement de 20 à 50x). Confirmez la propreté du tambour de stockage et de la roue d'enroulement, enlevez la poussière et l'huile (essuyage à l'éthanol absolu, pureté $\geq 99,9$ %). Calibrez la position de la roue de guidage et du bloc conducteur de l'électroérosion à fil pour vous assurer que la précision d'alignement $\pm 0,01$ mm.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Filetage : Le fil de molybdène est évacué du cylindre de stockage de fil et passé à travers la roue de guidage supérieure, la zone de traitement, la roue de guidage inférieure et le bloc conducteur par un dispositif de filetage manuel ou automatique (vitesse 1-5 m/min) à tour de rôle. Lors du filetage, il est nécessaire de maintenir le fil de molybdène droit, d'éviter l'enroulement ou le nouage et de contrôler la température de l'environnement de fonctionnement à $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ et l'humidité de 40 à 60 % pour éviter les interférences électrostatiques.

Fixation du fil de molybdène : L'extrémité du fil de molybdène est fixée sur la roue réceptrice et un dispositif de serrage spécial (force de serrage 15 N, surface de contact 2-5 mm²) est utilisé. La tension initiale (2-3 N) est réglée à l'aide d'un dispositif de réglage de la tension (précision $\pm 0,05$ N) afin de garantir que le fil de molybdène est sollicité uniformément dans la zone d'usinage. Vérifiez le chemin du fil en molybdène pour vous assurer qu'il n'y a pas de courbure excessive (rayon de courbure ≥ 10 mm).

Vérification et réglage : démarrez l'équipement pour qu'il fonctionne à basse vitesse (0,1-0,5 m/s), observez la trajectoire de fonctionnement du fil de molybdène et utilisez un télémètre laser (précision $\pm 0,001$ mm) pour vérifier l'uniformité de la tension et la déviation de la trajectoire. Ajustez la position de la roue de guidage (précision $\pm 0,005$ mm) pour vous assurer que le fil de molybdène fonctionne sans vibration ni décalage.

Optimisation des processus et défis

Pendant le processus d'enfilage, des outils d'enfilage spéciaux (tels que des aiguilles de guidage de fil en molybdène, de 0,5 mm de diamètre) doivent être utilisés pour éviter les dommages de surface causés par une utilisation manuelle. Le dispositif de filetage automatique (équipé d'un servomoteur avec une précision de contrôle de la vitesse $\pm 0,1$ m/min) augmente l'efficacité de 30 %, mais nécessite un étalonnage régulier (toutes les 500 heures). Le défi consiste à résoudre la rupture du fil de molybdène de diamètre fin ($\leq 0,08$ mm de diamètre), qui peut être résolue en réduisant la vitesse de filetage (1-2 m/min) et en optimisant le matériau de la roue de guidage (diamant céramique ou polycristallin, rugosité de surface Ra 0,01 μm). Pendant le processus de fixation, il est nécessaire d'éviter une force de serrage excessive (> 20 N) pour éviter la déformation locale du fil de molybdène.

Importance de la demande

Un filetage et une fixation corrects assurent la stabilité de la tension et le bon fonctionnement du fil de molybdène pendant le traitement. Le fil de molybdène avec un écart de tension de $\pm 0,05$ N peut réduire la fluctuation de l'écart de refoulement à 0,001 mm et améliorer la précision d'usinage de 20 %. Les étapes d'installation standardisées réduisent également la rupture du fil (de 0,1 % à 0,03 %) et prolongent la durée de vie du fil de molybdène (100 à 150 heures) pour l'outillage de haute précision et les pièces aérospatiales.

11.1.2 Contrôle de contact entre la roue de guidage et le bloc conducteur

La roue de guidage et le bloc conducteur sont les composants clés de la machine de découpe de fil pour contrôler le fonctionnement et la décharge du fil de molybdène, et leur contrôle de contact affecte directement la stabilité du traitement et la perte d'électrode.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Principe technique

Des poulies de guidage sont utilisées pour guider le fil de molybdène le long d'un chemin prédéterminé avec un faible frottement (coefficient de frottement $\leq 0,1$) et une grande précision (excentricité $\leq 0,005$ mm). Le bloc conducteur transmet un courant de décharge ($10-20$ A/cm²) à travers des fils de molybdène de contact, et la résistance de contact doit être garantie à $\leq 0,01$ ohms pour éviter la surchauffe ou les dommages causés par l'arc. Les matériaux des roues de guidage et des blocs conducteurs (par exemple les roues de guidage en céramique, les blocs conducteurs en alliage cuivre-tungstène) doivent avoir une résistance à l'usure (dureté HV 1500-2000) et une conductivité électrique (conductivité 20-30 MS/m) élevées.

Procédure

Installation et étalonnage de la roue de guidage : Sélectionnez une roue de guidage en céramique de haute précision (diamètre 10-20 mm, rugosité de surface Ra 0,01 micron), installez-la sur le siège de la roue de guidage et utilisez un instrument d'alignement laser (précision $\pm 0,002$ mm) pour calibrer l'axe de la roue de guidage afin de garantir que l'excentricité $\leq 0,005$ mm. Vérifiez la circularité de la rainure de la roue de guidage (erreur $\leq 0,001$ mm) pour vous assurer que le fil de molybdène passe sans décalage.

Installation du bloc conducteur : Le bloc conducteur en alliage cuivre-tungstène (teneur en tungstène 70-80 %, conductivité 25 MS/m) est sélectionné et installé sur le dispositif conducteur, la pression de contact est contrôlée à 5-10 N et la zone de contact est de 2-5 mm². La résistance de contact est mesurée à l'aide d'un appareil de mesure de haute précision (précision $\pm 0,001$ ohms) pour assurer une \leq de 0,01 ohms.

Contrôle de contact : La pression de contact de la roue de guidage et du bloc conducteur est ajustée par le système d'asservissement (précision $\pm 0,01$ N) pour maintenir la tension du fil de molybdène de 2 à 5 N. Surveillance en temps réel de la vitesse de la roue de guidage (100-500 tr/min) et de la température du bloc conducteur ($\leq 80^{\circ}\text{C}$) pour éviter les dommages causés par la chaleur par frottement ou l'arc.

Réglage dynamique : Démarrez l'appareil pour qu'il fonctionne à basse vitesse (0,1-0,5 m/s), utilisez un capteur de vibrations (sensibilité 0,01 mm/s²) pour détecter les vibrations de la roue de guidage, ajustez l'angle de la roue de guidage (précision $\pm 0,01^{\circ}$) pour éliminer la déviation. Un thermomètre infrarouge (précision $\pm 1^{\circ}\text{C}$) est utilisé pour surveiller la température du bloc conducteur et ajuster le débit du liquide de refroidissement (0,5-1 L/min) pour dissiper la chaleur.

Optimisation des processus et défis

Les roues de guidage doivent être nettoyées régulièrement (toutes les 100 heures, à l'aide d'un nettoyeur à ultrasons, fréquence 40 kHz, 5 minutes) pour éliminer les dépôts de surface et maintenir une faible friction. Le bloc conducteur doit être poli régulièrement (toutes les 200 heures, à l'aide de papier de verre diamanté, granulométrie 2000 mesh) pour s'assurer que la surface de contact est plane et que la résistance de contact est $\leq 0,01$ ohms. Le défi réside dans la grande sensibilité à la manipulation de fils de $\leq 0,08$ mm), qui peut être résolue en optimisant la conception de la rainure

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de la roue de guidage (rainure en V, angle 30-45°) et la surface de contact du bloc conducteur (1-2 mm²). Le système de contrôle automatique (PLC, temps de réponse <10 ms) ajuste les paramètres de contact en temps réel et améliore la stabilité de 30 %.

Importance de la demande

Un contrôle de contact précis entre la roue de guidage et le bloc conducteur permet de contrôler l'écart de course du fil de molybdène jusqu'à ±0,001 mm, et la stabilité de la décharge peut être améliorée de 25 %. La faible résistance de contact (≤0,01 ohms) réduit les pertes d'électrodes de 20 % et prolonge la durée de vie du bloc conducteur (500 à 1000 heures). Ces mesures garantissent un usinage de haute précision (par exemple, des tolérances de moule ± 0,005 mm) pour répondre aux besoins de l'industrie aéronautique et des semi-conducteurs.

11.2 Précautions d'utilisation de l'électroérosion à fil de molybdène

L'utilisation correcte de l'électroérosion à fil de molybdène est la clé pour garantir la qualité du traitement et l'efficacité de l'équipement, impliquant le réglage des paramètres de courant et de tension, la prévention de la rupture et du glissement du fil et d'autres aspects. Voici une analyse détaillée sous deux aspects.

11.2.1 Réglage des paramètres de courant et de tension

Les paramètres de courant et de tension affectent directement l'efficacité de décharge, la vitesse de traitement et la perte de fil de molybdène, et doivent être optimisés en fonction du matériau de la pièce, des exigences de traitement et des spécifications du fil de molybdène.

Principe technique

L'électroérosion à fil enlève de la matière en créant une étincelle entre le fil de molybdène et la pièce au moyen d'une décharge d'impulsion à haute fréquence (fréquence 10-50 kHz). La densité de courant (10-20 A/cm²) et la tension (50-100 V) doivent correspondre à la conductivité du fil de molybdène (18-20 MS/m) et à la conductivité du matériau de la pièce (par exemple 7-10 MS/m pour l'acier). Un courant ou une tension excessifs provoquera une surchauffe du fil de molybdène (température > 500°C), augmentant ainsi le risque de rupture du fil ; Des paramètres trop faibles réduiront l'efficacité du traitement. Les normes (p. ex., YS/T 357-2006) recommandent des largeurs d'impulsion de 20 à 100 µs et des intervalles d'impulsion de 50 à 200 µs.

Code de conduite

Sélection des paramètres : Sélectionnez les paramètres de courant et de tension en fonction du matériau de la pièce. Par exemple, lors de l'usinage de carbure de tungstène (dureté HRC 60-70), la densité de courant est fixée à 15 A/cm², la tension est de 80 V et la largeur d'impulsion est de 50 µs. Lors de l'usinage d'un alliage d'aluminium (conductivité 30 MS/m), la densité de courant est de 10 A/cm², la tension est de 60 V et la largeur d'impulsion est de 30 µs.

Réglages de la puissance d'impulsion : À l'aide d'une alimentation par impulsions haute fréquence (fréquence 20-30 kHz, précision ±0,1 %), la largeur et l'espacement des impulsions sont ajustés par un système de commande numérique (CNC, temps de réponse < 10 ms) pour assurer une énergie de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

décharge uniforme.

Adaptation du liquide de refroidissement : Utilisez un liquide de refroidissement contenant 5 % d'éthylène glycol (viscosité 5-10 cSt, pH 7-8) avec un débit de 0,5-1 L/min, maintenez la température de la zone de décharge $\leq 80^{\circ}\text{C}$ et réduisez les dommages thermiques du fil de molybdène.

Surveillance en temps réel : surveillance en temps réel des paramètres de décharge à l'aide de capteurs de courant (précision $\pm 0,1$ A) et de voltmètre (précision $\pm 0,1$ V), et réduction automatique de la fréquence d'impulsion (réduction de 20 %) ou suspension du traitement en cas de détection d'anomalies (telles qu'une fluctuation de courant > 10 %).

Optimisation des processus et défis

Les paramètres doivent être optimisés en fonction du diamètre du fil de molybdène, par exemple un fil de molybdène de 0,18 mm pour des densités de courant de 12-15 A/cm², un fil de molybdène de 0,08 mm pour 8-10 A/cm². Le défi consiste à équilibrer la vitesse de traitement avec la durée de vie du fil de molybdène, et à optimiser l'efficacité de la décharge en ajustant dynamiquement les paramètres avec un système de contrôle adaptatif (basé sur l'algorithme PID avec un temps de réponse de < 5 ms). Le liquide de refroidissement doit être filtré régulièrement (taille des pores 0,1 micron) pour éviter que les impuretés n'affectent la stabilité de la décharge.

Importance de la demande

Les paramètres de courant et de tension optimisés augmentent la vitesse de traitement jusqu'à 20 % (de 2 mm/min à 2,4 mm/min) et réduisent les pertes de fil de molybdène jusqu'à 15 %. Le réglage précis des paramètres garantit un écart de décharge uniforme (0,01-0,03 mm) et la tolérance d'usinage est contrôlée à $\pm 0,005$ mm, ce qui répond aux besoins d'usinage des moules de haute précision et des pièces microélectroniques.

11.2.2 Évitez les fils cassés et glissants

Les fils cassés et glissants sont des problèmes courants dans la coupe des fils, entraînant des interruptions d'usinage et une perte de précision. Ce qui suit est une analyse des mesures préventives en termes de contrôle de la tension, d'optimisation des décharges et de gestion de l'environnement.

Principe technique

Les filaments brisés sont généralement causés par une tension excessive (> 5 N), une fatigue thermique (température $> 500^{\circ}\text{C}$) ou des défauts de surface (rayures $> 0,1$ micron) ; Le fil glissant est dû à une tension insuffisante (< 2 N) ou à un coefficient de frottement élevé de la roue de guidage ($> 0,2$). Il est possible d'éviter la rupture et le glissement du fil en optimisant la tension (2-5 N), les paramètres de décharge (densité de courant 10-15 A/cm²) et la qualité de la roue de guidage (rugosité de surface Ra 0,01 μm).

Code de conduite

Contrôle de la tension : Maintenir la tension à 2-3 N (fil de molybdène de 0,18 mm) ou 1-2 N (fil de molybdène de 0,08 mm) à l'aide d'un système de contrôle de tension servo (précision $\pm 0,05$ N).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le capteur de tension (sensibilité 0,01 N) est surveillé en temps réel et s'ajuste automatiquement lorsque la tension fluctue > 10 %.

Optimisation de la décharge : Réglez l'intervalle d'impulsion de 100-150 μ s pour réduire l'accumulation de chaleur et éviter la surchauffe du fil de molybdène. L'utilisation d'une décharge à impulsions courtes (largeur 30-50 μ s) réduit les chocs thermiques et réduit le taux de rupture du fil à 0,03 %.

Entretien des roues et des blocs : Inspectez régulièrement la rainure de la roue de guidage (toutes les 100 heures) pour vous assurer qu'il n'y a pas d'usure (profondeur de la rainure < 0,1 mm). Le bloc conducteur doit être maintenu propre (nettoyé par ultrasons, fréquence 40 kHz) avec une résistance de contact de $\leq 0,01$ ohms.

Gestion de l'environnement : Maintenez la température de la zone de traitement à $20 \pm 2^\circ\text{C}$, l'humidité à 40-60 % et utilisez le dispositif antistatique (air ionisant, puissance 100 W) pour éviter l'adsorption électrostatique des impuretés. Le liquide de refroidissement doit être maintenu propre (teneur en impuretés < 0,01 %) et le débit doit être de 0,5 à 1 L/min.

Optimisation des processus et défis

Pour éviter les fils cassés, il est nécessaire de surveiller les défauts de surface du fil de molybdène en temps réel, et un testeur de courants de Foucault en ligne (sensibilité 0,05 micron) peut être utilisé pour identifier les rayures dans la gamme de 0,1 micron, et le traitement peut être suspendu lorsque des défauts sont détectés. Le problème du glissement peut être résolu en optimisant le matériau de la roue de guidage (céramique, coefficient de frottement 0,08) et du lubrifiant (5 % de graphite, viscosité 10 cSt). Le défi réside dans la rupture du diamètre du fil fin ($\leq 0,08$ mm), qui peut être résolu en réduisant la tension (1-1,5 N) et la fréquence de décharge (10-20 kHz).

Importance de la demande

Des mesures de précaution efficaces en cas de rupture et de glissement du fil réduisent le taux de rupture du fil à 0,02 % et augmentent la continuité du traitement de 30 %. Le fonctionnement stable du fil de molybdène garantit une tolérance de traitement de $\pm 0,005$ mm et une rugosité de surface de Ra 0,1 micron pour répondre aux exigences strictes de l'industrie aéronautique et des semi-conducteurs.

11.3 Entretien et remplacement de l'électroérosion en fil de molybdène

Un entretien régulier et le remplacement rapide du fil de molybdène sont la clé pour assurer le fonctionnement stable à long terme de l'équipement d'électroérosion à fil. Ce qui suit est une analyse sous deux aspects : l'ajustement de l'étanchéité, le nettoyage régulier et l'inspection.

11.3.1 Réglage de l'étanchéité du fil de molybdène

Le réglage de l'étanchéité est utilisé pour maintenir la stabilité de la tension du fil de molybdène et éviter les problèmes de traitement causés par le mou ou l'étanchéité.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Principe technique

La tension du fil de molybdène doit être maintenue à 2-5 N (selon le diamètre), trop élevée (>5 N) provoquera la rupture du fil, et trop basse (<2 N) provoquera un glissement ou un décalage. Le réglage de la tension est réalisé par des systèmes de contrôle de tension servo (précision $\pm 0,05$ N) et des capteurs de tension (sensibilité 0,01 N), qui sont optimisés dynamiquement en fonction du matériau à traiter et du diamètre du fil de molybdène.

Code de conduite

Réglage initial : Après avoir installé le fil de molybdène, réglez la tension initiale à l'aide d'un dispositif de réglage de la tension (2-3 N pour un fil de molybdène de 0,18 mm et 1-2 N pour un fil de 0,08 mm). La valeur de tension cible est saisie via l'interface CN (précision $\pm 0,01$ N) et le système ajuste automatiquement la vitesse de la roue d'enroulement (100-200 tr/min).

Réglage dynamique : Pendant l'usinage, les fluctuations de tension sont surveillées en temps réel (fréquence 10 Hz) à l'aide d'un capteur de tension, et ajustées automatiquement (temps de réponse < 5 ms) lorsqu'un écart de > 10 % est détecté. Par exemple, lors de l'usinage de carbure cémenté, la tension peut être augmentée à 4 N ; Lors de l'usinage de matériaux souples tels que le cuivre, celle-ci est réduite à 2 N.

Étalonnage et validation : Étalonnez le capteur de tension (à l'aide de poids standard avec une précision de $\pm 0,01$ N) toutes les 50 heures pour garantir des mesures précises. Faire fonctionner l'équipement à basse vitesse (0,1 m/s), à l'aide d'un télémètre laser (précision $\pm 0,001$ mm) pour vérifier la déviation de la trajectoire du fil de molybdène, ajuster la position de la roue de guidage (précision $\pm 0,005$ mm).

Enregistrement et analyse : Le système d'acquisition de données (capacité de mémoire 1 GB) enregistre la courbe de tension, analyse la stabilité de la tension et optimise les paramètres de traitement (par exemple, réduction de la fréquence de décharge de 10 %).

Optimisation des processus et défis

La dilatation thermique du fil de molybdène (coefficient $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) doit être prise en compte pour le réglage de la tension, et la tension doit être réduite de manière appropriée (0,2-0,5 N) lorsque la température de la zone de traitement augmente (>80°C). Le défi est que le fil fin ($\leq 0,08$ mm) est sensible aux changements de tension et peut être résolu par l'ajout de dispositifs d'amortissement (taux d'amortissement de 80 %) et l'optimisation du débit de liquide de refroidissement (0,8 L/min). Le système de contrôle automatisé de la tension réduit le temps de réglage jusqu'à 50 % et augmente l'efficacité.

Importance de la demande

Un réglage précis de l'étanchéité permet de contrôler l'écart de tension jusqu'à $\pm 0,05$ N, d'augmenter la précision d'usinage de 15 % et de réduire le taux de rupture du fil à 0,02 %. La tension stable assure un écart de décharge uniforme (0,01-0,03 mm), ce qui répond aux besoins de l'usinage de moules et de pièces microélectroniques de haute précision.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

11.3.2 Nettoyage et inspection réguliers

Un nettoyage et une inspection réguliers peuvent prolonger la durée de vie des fils de molybdène et des composants de l'équipement, réduisant ainsi les taux de défaillance et les défauts de traitement.

Principe technique

Le nettoyage élimine les résidus de décharge, les oxydes et les impuretés du liquide de refroidissement (taille des particules $> 0,1$ micron) de la surface des fils de molybdène, des roues de guidage et des blocs conducteurs pour maintenir la finition de surface et la conductivité. L'inspection a permis d'identifier l'usure du fil de molybdène (diamètre réduit $> 0,002$ mm), l'usure de la rainure de la roue de guidage (profondeur $> 0,1$ mm) et l'augmentation de la résistance de contact du bloc conducteur ($> 0,01$ ohms).

Code de conduite

Nettoyage des fils de molybdène : Utiliser un nettoyeur à ultrasons (fréquence 40 kHz, puissance 100 W, solution de nettoyage 5 % agent de nettoyage neutre, température 40-50 °C) toutes les 50 heures, temps de nettoyage 5-10 minutes, éliminer les résidus de surface et les oxydes (taux d'élimination ≥ 99 %). Après le lavage, rincer à l'eau déminéralisée (conductivité < 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et sécher à l'air chaud (60°C, 2 min).

Nettoyage et inspection des roues : démontez la roue de guidage toutes les 100 heures, utilisez un nettoyage par ultrasons (fréquence 40 kHz, temps 5 minutes), vérifiez la profondeur de la rainure (utilisez un profileur, précision $\pm 0,001$ mm), et remplacez-la lorsque l'usure $> 0,1$ mm. Vérifiez le roulement de la roue de guidage (écart de vitesse $\leq 0,01$ tr/min) et ajoutez 0,1 à 0,2 g de graisse.

Nettoyage et inspection du bloc conducteur : nettoyez le bloc conducteur toutes les 200 heures (utilisez de l'éthanol absolu, pureté $\geq 99,9$ %), polissez la surface de contact (papier de verre diamanté, granulométrie 2000 mesh). La résistance de contact est mesurée à l'aide d'un appareil de mesure de haute précision (précision $\pm 0,001$ ohms) et remplacée $> 0,01$ ohms.

Inspection environnementale de l'équipement : vérifiez la température (20 ± 2 °C), l'humidité (40-60 %) et la qualité du liquide de refroidissement (teneur en impuretés $< 0,01$ %) dans la zone de traitement toutes les 100 heures, et traitez le liquide de refroidissement avec un filtre (taille des pores 0,1 micron).

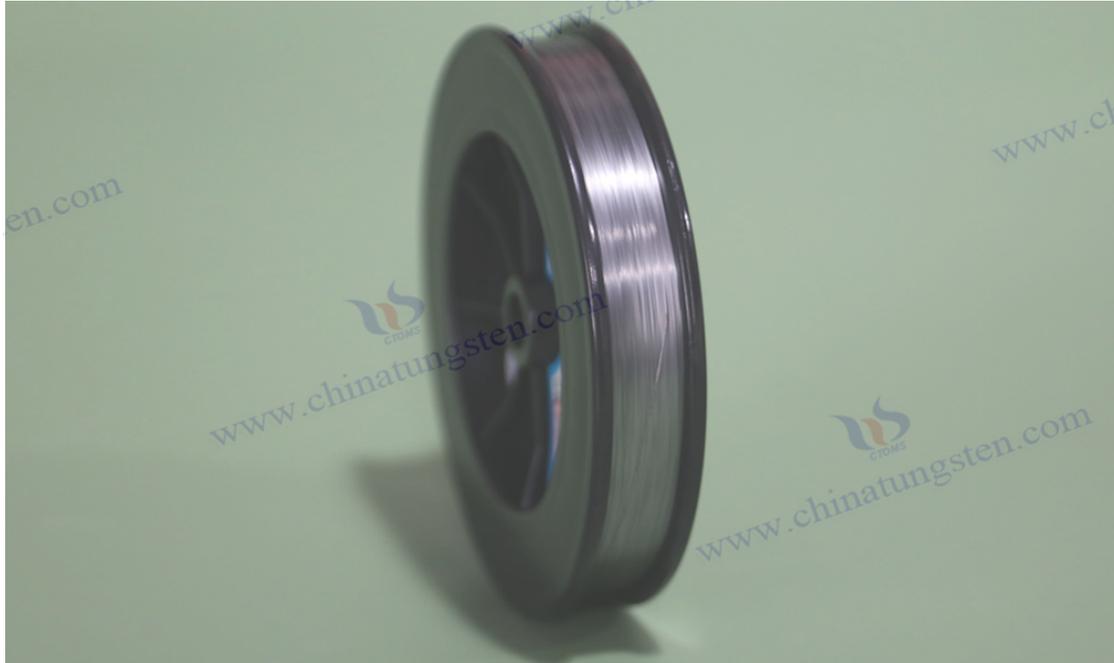
Optimisation des processus et défis

Des agents de nettoyage respectueux de l'environnement (taux de biodégradation ≥ 95 %) doivent être utilisés pour le nettoyage afin de réduire la pollution de l'environnement. L'inspection nécessite l'utilisation d'un équipement d'inspection de haute précision (p. ex., microscope laser, grossissement de 1000x) pour identifier les défauts de l'ordre de 0,05 micron. Le défi réside dans la fragilité des fils fins, qui peut être résolue en réduisant la concentration de la solution de nettoyage (3-5 %) et la puissance ultrasonique (50-80 W). Le système de nettoyage automatisé (temps de réponse < 10 secondes) réduit le temps de nettoyage jusqu'à 30 %.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Importance de la demande

Un nettoyage et une inspection réguliers maintiendront la rugosité de surface du fil de molybdène à Ra 0,015 microns, la résistance de contact du bloc conducteur $\leq 0,01$ ohms et réduiront le taux de défaillance de l'équipement de 20 %. Ces mesures prolongent la durée de vie du fil de molybdène (100-150 heures) et la durée de vie de la roue de guidage (1000 heures), assurant une tolérance d'usinage de $\pm 0,005$ mm pour répondre aux besoins de l'aérospatiale et de l'usinage des dispositifs médicaux.



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Chapitre 12 Sécurité et protection de l'environnement de l'électroérosion à fil de molybdène

La production de fil de molybdène implique des processus complexes tels que le frittage à haute température, le traitement chimique et le traitement mécanique, qui peuvent produire des polluants tels que la poussière, les gaz d'échappement et les déchets liquides, et il existe des risques pour la sécurité lors du fonctionnement de l'équipement. Au cours de l'utilisation, l'électroérosion du fil de molybdène produira des traces de copeaux métalliques et de déchets de réfrigérant, et des mesures de gestion scientifiques doivent être prises pour réduire l'impact environnemental. Ce chapitre traite en détail des mesures de sécurité et des exigences environnementales dans la production et l'utilisation de l'électroérosion à fil de molybdène, et fournit une analyse approfondie du traitement de la poussière et des gaz d'échappement, des spécifications de sécurité de fonctionnement de l'équipement, du recyclage et du traitement des déchets et des technologies de production écologique.

12.1 Mesures de sécurité lors de la production de l'électroérosion en fil de molybdène

La production de fil de molybdène implique des substances chimiques à haute température, à haute pression, ainsi que des machines et des équipements de précision, et il existe des risques potentiels pour la sécurité tels que l'explosion de poussière, l'intoxication aux gaz d'échappement et la défaillance de l'équipement. Des mesures de sécurité scientifiques peuvent réduire efficacement les

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

risques et assurer la sécurité du personnel et la stabilité de la production. Voici une analyse détaillée sous deux aspects : le traitement des poussières et des gaz d'échappement et les spécifications de sécurité de fonctionnement de l'équipement.

12.1.1 Traitement des poussières et des gaz d'échappement

La poussière et les gaz résiduels dans le processus de production du fil de molybdène proviennent principalement de la préparation, du frittage, de l'étirage et du traitement de surface de la poudre de molybdène, qui doivent être traités efficacement avec une technologie et des équipements de pointe pour prévenir la pollution de l'environnement et les risques pour la santé.

Principe technique : Lors de la préparation et du frittage de la poudre de molybdène, on génère de la poussière de molybdène de l'ordre du micron (taille des particules de 0,5 à 5 microns), qui présente un risque potentiel d'explosion (la limite inférieure d'explosion est d'environ 30 g/m³). Les gaz d'échappement comprennent principalement des composés organiques volatils (COV) émis par les fours de réduction de l'hydrogène, des gaz acides provenant du décapage et de l'électropolissage (par exemple la vapeur HNO₃) et des gaz oxydes (par exemple la vapeur MoO₃) provenant du traitement thermique. Le traitement de la poussière est effectué par une filtration à haute efficacité et une technologie de dépolluante humide, tandis que le traitement des gaz d'échappement utilise l'adsorption, la combustion catalytique ou la technologie de neutralisation acido-basique pour garantir que les émissions sont conformes aux normes internationales (par exemple, la directive européenne sur les émissions atmosphériques, COV ≤ 0,01 mg/m³).

Mesures de traitement de la poussière

Système de filtration à haute efficacité : Un filtre à haute efficacité (HEPA, efficacité de filtration ≥ 99,97 %, taille des particules 0,3 microns) est installé dans l'atelier de préparation et de frittage de poudre de molybdène pour capturer les poussières au micron, avec une capacité de traitement de 1000 à 5000 m³/h. Le système est équipé d'un capteur de pression différentielle (précision ± 10 Pa) pour surveiller le blocage du filtre en temps réel et remplacer automatiquement le filtre lorsque la pression différentielle > 500 Pa. Le filtre est fabriqué en matériau composite multicouche (fibre de verre + charbon actif), ce qui garantit une efficacité de capture de ≥ 99,99 % et une concentration d'émission de poussière de < 0,1 mg/m³. Remplacez régulièrement le tamis du filtre (toutes les 1000 heures) et recyclez le tamis du filtre à déchets de manière fermée pour éviter la pollution secondaire.

Dépolluante humide : Le dépolluante humide Venturi (débit de brouillard d'eau 0,5-1 L/min, pression de buse 0,2-0,5 MPa) est utilisé pour adsorber la poussière à travers le brouillard d'eau, et l'efficacité de capture est ≥ 99,5 %. Le dépolluante est équipé d'un système de traitement de l'eau à recirculation (taille des pores du filtre de 0,1 micron et capacité de 500 L/h) pour éliminer les particules de molybdène de l'eau par précipitation et filtration (taux d'élimination ≥ 98 %). Le système de recyclage de l'eau utilise un dispositif d'ajustement du pH (pH 6-8) pour s'assurer que les eaux usées respectent la norme de rejet (DCO ≤ 50 mg/L). Le dépolluante humide est également équipé d'une fonction de nettoyage automatique (cycle de nettoyage de 24 heures), ce qui réduit les coûts de maintenance de 20 %.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Mesures antidéflagrantes : Des systèmes de ventilation antidéflagrants (volume d'air 2000-3000 m³/h, classe antidéflagrante Ex d IIB T4) sont installés dans les zones à haut risque (par exemple les ateliers de préparation de poudre de molybdène) pour éviter l'accumulation de poussière au moyen d'une ventilation à pression négative (pression -50 Pa). Équipé d'un capteur de concentration de poussières (sensibilité 0,01 g/m³), lorsque la concentration de poussières > 20 g/m³, l'alarme se déclenche et le système de pulvérisation s'active automatiquement (pression de l'eau 0,3 MPa, temps de pulvérisation 10 secondes), réduisant le risque d'explosion à moins de 0,01 %.

Mesures de traitement des gaz d'échappement :

Système d'adsorption : La tour d'adsorption à charbon actif (capacité d'adsorption 500-1000 kg, efficacité d'adsorption ≥99 %), les COV et les gaz acides sont traités et la concentration d'émission < 0,01 mg/m³. La tour d'adsorption est équipée d'un système de régénération (régénération à la vapeur, température 120-150°C, pression 0,2 MPa) pour prolonger la durée de vie du charbon actif (2000-3000 heures).

Combustion catalytique : Dans le traitement des gaz d'échappement du four de frittage, un dispositif de combustion catalytique (le catalyseur est Pt/, température de fonctionnement 300-500 °C, efficacité de combustion ≥ 99,5 %), les COV sont convertis en CO₂ et H₂O, et l'émission est conforme à la norme UE EN 15058 (COV ≤ 0,005 mg/m³). L'usine est équipée d'un système de récupération de chaleur (30 % de récupération) permettant de réduire de 20 % la consommation d'énergie.

Neutralisation acido-basique : Les gaz d'échappement de décapage sont neutralisés par la tour de pulvérisation de lessive (solution de NaOH à 5-10 %, débit 1-2 L/min, hauteur de pulvérisation 2-3 mètres), et le taux d'élimination des gaz acides est de ≥98 %. La tour de pulvérisation est équipée d'un système de surveillance du pH (précision ± 0,1), qui ajuste automatiquement la concentration de la solution de lessive pour s'assurer que le pH des gaz d'échappement est de 6 à 8.

Optimisation des procédés et défi Poudre

Le dépoussiérage nécessite un entretien régulier du filtre (vérifié toutes les 500 heures) pour éviter le colmatage et entraîner une diminution de l'efficacité de la ventilation (<80 %). Dans le traitement des gaz résiduels, la formule du catalyseur (rapport Pt/1:1, le support est de γ-Al₂O₃) doit être optimisée pour améliorer l'efficacité de combustion à 99,8 %. Le défi consiste à traiter de fortes concentrations de vapeurs MoO₃ (0,1-0,5 mg/m³), qui peuvent être résolues en augmentant le nombre de couches de la tour de pulvérisation (3-5 couches) et en allongeant le temps de contact (5-10 secondes). Le système de contrôle automatique (PLC, temps de réponse <10 ms) ajuste le volume de ventilation et le débit de l'arroseur en temps réel, augmentant ainsi l'efficacité du traitement de 30 %.

Importance de la demande

Un traitement efficace des poussières et des gaz d'échappement permet de contrôler la concentration des émissions de poussières en dessous de 0,05 mg/m³, et les émissions de gaz d'échappement sont conformes aux normes internationales (COV ≤ 0,01 mg/m³), réduisant ainsi les risques pour la santé

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

au travail (tels qu'une réduction de 50 % du risque de maladies pulmonaires) et la pollution de l'environnement. Le système de traitement réduit également la corrosion des équipements (durée de vie prolongée de 20 %), améliore la sécurité de la production et répond aux exigences du système de gestion environnementale ISO 14001.

12.1.2 Spécifications de sécurité pour le fonctionnement de l'équipement

La production de fil de molybdène implique des fours de frittage à haute température, des machines de tréfilage à grande vitesse et des équipements de traitement chimique, qui peuvent entraîner un incendie, des blessures mécaniques ou une intoxication chimique s'ils ne sont pas manipulés correctement. Des règles de sécurité strictes garantissent la sécurité de l'opérateur et un fonctionnement stable de l'équipement.

Principe technique

Les règles de sécurité couvrent le fonctionnement et la gestion des équipements à haute température (température du four de frittage 1800-2000°C), des machines à grande vitesse (vitesse de la machine à tréfiler 5-20 m/s) et des produits chimiques (par exemple l'acide sulfurique, l'hydroxyde de sodium). Les mesures de sécurité comprennent la protection de l'équipement, la formation du personnel, les interventions d'urgence et la surveillance en temps réel pour assurer un taux d'accidents de < 0,01 %.

Code de conduite

Sécurité des équipements à haute température : Les fours de frittage et les fours de traitement thermique sont équipés d'une isolation thermique (fibres céramiques, épaisseur 50-100 mm, conductivité thermique 0,1 W/m·K) et d'une température de surface de < 60°C. L'opérateur doit porter des vêtements de protection haute température (résistance à la température 1000 °C, retardateur de flamme classe A), équipés d'un thermomètre infrarouge (précision ± 1 °C) pour surveiller la température du four en temps réel, et s'arrêter automatiquement en cas d'anomalie (> 2050 °C). Le four est équipé d'un capteur de pression (précision ± 10 Pa) et une alarme se déclenche lorsque le niveau de vide < 10^{-3} Pa pour éviter les fuites et les incendies.

Sécurité des machines et des équipements : La machine à tréfiler est équipée d'un couvercle de protection (épaisseur 2-3 mm, en acier inoxydable) pour éviter la rupture et les éclaboussures du fil de molybdène (vitesse > 10 m/s). La zone de fonctionnement est équipée d'un bouton d'arrêt d'urgence (temps de réponse < 0,5 seconde) et d'un capteur de vibrations (sensibilité 0,01 mm/s²) qui s'arrête automatiquement lorsque des vibrations anormales (>0,1 mm/s²) sont détectées. Les opérateurs sont tenus de porter des lunettes de protection (classe d'impact EN 166) et des gants (classe d'abrasion 4).

Sécurité chimique : Les bains de décapage et d'électropolissage sont équipés d'une hotte (volume d'air 1000-2000 m³/h, pression négative -50 Pa) pour éviter les fuites de gaz acides (concentration > 0,1 mg/m³). Les produits chimiques sont stockés dans des récipients scellés (PTFE, classe de résistance à la corrosion A) avec un détecteur de fuites (sensibilité 0,01 ppm) et une activation automatique du système d'échappement (1500 m³/h) lorsqu'une fuite est détectée. Les opérateurs

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

sont tenus de porter des masques à gaz (efficacité de filtration $\geq 99,9$ %) et des vêtements de protection (classe de résistance à la corrosion 5).

Formation du personnel et intervention d'urgence : Les opérateurs doivent recevoir une formation sur la sécurité (4 heures par séance deux fois par année) sur le fonctionnement de l'équipement, la manipulation des produits chimiques et le sauvetage d'urgence. L'atelier est équipé d'un extincteur (poudre sèche, capacité 5 kg, distance de pulvérisation 4-6 m) et d'une douche oculaire d'urgence (débit 15 L/min). Élaborez un plan d'urgence, et le temps de réponse en cas d'incident < 1 minute et le temps d'évacuation < 5 minutes.

Optimisation des processus et défis

Les règles de sécurité imposent une inspection régulière des équipements (toutes les 500 heures) pour s'assurer que les protections sont en bon état (taux de défaillance < 0,01 %). Les défis résident dans la forte consommation d'énergie (5000 kWh/tonne) et le risque de fuite de produits chimiques dans les équipements à haute température, qui peuvent être résolus en optimisant l'isolation (conductivité thermique < 0,08 W/m·K) et en mettant en place un système de surveillance automatisé (temps de réponse < 5 ms). Le système d'acquisition de données en temps réel (capacité de stockage 1 To) enregistre les paramètres de fonctionnement de l'équipement, analyse les causes d'accidents et optimise les mesures de sécurité.

Importance de la demande

Des réglementations strictes en matière de sécurité du fonctionnement de l'équipement ont permis de réduire le taux d'accidents à 0,005 % et le taux de blessures de 80 %. Les mesures de protection prolongent la durée de vie de l'équipement (10 000 à 15 000 heures) et réduisent les coûts de maintenance de 15 %. La formation à la sécurité et les interventions d'urgence améliorent la sécurité de l'atelier et sont conformes aux normes OSHA 1910, offrant une garantie stable pour la production de fils de molybdène.

12.2 Exigences de protection de l'environnement pour l'électroérosion à fil de molybdène

Les exigences de protection de l'environnement dans la production et l'utilisation du fil de molybdène répondent à la tendance mondiale de la fabrication verte, couvrant le recyclage et le traitement des déchets, la technologie de production verte, etc., visant à réduire la pollution de l'environnement et le gaspillage des ressources.

12.2.1 Recyclage et élimination des déchets

La production et l'utilisation de fil de molybdène produiront des déchets de fil de molybdène, de la ferraille métallique et des déchets de liquide de refroidissement, qui doivent être réduits par une technologie scientifique de recyclage et de traitement.

Principe technique : Les déchets de fils de molybdène (diamètre 0,05-0,3 mm, contenant du molybdène $\geq 99,95$ %) peuvent être recyclés par fusion, et le taux de récupération est de ≥ 90 %. Les copeaux métalliques (granulométrie 0,1-10 microns) sont récupérés par filtration et précipitation, les déchets de liquide de refroidissement (contenant 5 % d'éthylène glycol) sont traités par

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

distillation et séparation membranaire, et les rejets de déchets répondent aux normes internationales (par exemple, règlement REACH de l'UE, $DCO \leq 50$ mg/L).

Mesures de recyclage et d'élimination

Recyclage des déchets de fil de molybdène : Les déchets de fil de molybdène sont fondus dans un four à arc électrique sous vide (température 2500-3000°C, degré de vide $\leq 10^{-4}$ Pa) pour récupérer le molybdène métallique (pureté $\geq 99,9$ %). Le four est équipé d'un système de condensation (efficacité de condensation ≥ 95 %) pour récupérer les vapeurs volatiles de MoO_3 (taux de récupération ≥ 90 %). Le molybdène recyclé est utilisé pour produire des produits en molybdène de faible pureté (tels que des plaques de molybdène), ce qui réduit les coûts des matières premières de 10 %.

Traitement des copeaux métalliques : Les copeaux métalliques produits par la découpe du fil sont séparés par un filtre centrifuge (vitesse de rotation 3000-5000 tr/min, taille des pores du filtre 0,1 micron), et le taux de récupération est de ≥ 95 %. Les copeaux métalliques sont décapés (5 % HNO_3 , temps 5 minutes) pour éliminer les oxydes, puis refondus en billettes de molybdène (densité ≥ 99 %).

Traitement du liquide de refroidissement : Le liquide de refroidissement est éliminé par un système de séparation membranaire en plusieurs étapes (membrane d'osmose inverse, taille des pores 0,01 micron, capacité 500 L/h) pour éliminer les matières organiques et les ions métalliques, et la DCO est réduite à 30 mg/L. L'eau traitée est recyclée (taux de recyclage ≥ 80 %), et les déchets liquides restants sont recyclés par distillation (température 100-120°C, taux de récupération 90 %), réduisant les émissions de déchets liquides de 50 %.

Tri et stockage des déchets : Les déchets sont stockés séparément par type (fil de molybdène, copeaux de métal, liquide de refroidissement) dans des conteneurs scellés (acier inoxydable, 2 mm d'épaisseur) pour éviter les fuites. La zone de stockage est équipée d'un système de ventilation (1000 m^3/h) et d'un détecteur de fuites (sensibilité 0,01 ppm) pour plus de sécurité.

Optimisation des processus et défis

Le recyclage des déchets de fil de molybdène doit optimiser les paramètres de fusion (courant 1000-1500 A, temps de maintien 2 heures) pour augmenter le taux de récupération à 95 %. Le traitement par liquide de refroidissement nécessite un remplacement régulier des modules membranaires (toutes les 2000 heures) pour éviter l'encrassement et réduire l'efficacité (< 80 %). Le défi consiste à traiter des traces d'ions molybdène (0,01-0,1 mg/L), ce qui peut être résolu par l'ajout d'une résine échangeuse d'ions (taux d'adsorption ≥ 98 %). Le système de recyclage automatisé (contrôlé par PLC, temps de réponse < 10 ms) augmente l'efficacité de traitement de 20 %.

Importance de la demande

Le recyclage et le traitement des déchets permettent d'augmenter l'utilisation des ressources à 90 % et de réduire les rejets de déchets de 60 %, conformément à la norme ISO 14001. Le molybdène recyclé réduit les coûts de production de 10 % et le liquide de refroidissement traité peut être recyclé, ce qui réduit la consommation d'eau de 30 %. Ces mesures soutiennent l'économie circulaire et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

réduisent l'empreinte environnementale.

12.2.2 Technologies de production vertes

Les technologies de production vertes réduisent l'impact environnemental de la production de fils de molybdène grâce à des équipements à faible consommation d'énergie, des matériaux renouvelables et de l'énergie propre.

Les technologies de production vertes comprennent les fours de frittage à faible consommation d'énergie (4000 kWh/tonne), les lubrifiants renouvelables (huiles biosourcées, taux de dégradation $\geq 95\%$) et les énergies propres (solaire ou éolienne, 20-30 %). L'objectif est de réduire de 20 % la consommation d'énergie dans la production et de 50 % les émissions de déchets, conformément au pacte vert de l'UE et aux objectifs de neutralité carbone.

Mesures de production verte

Équipement à faible consommation d'énergie : Four de frittage à induction moyenne fréquence (température 1800-2000°C, consommation d'énergie 4000 kWh/tonne, réduction de 20 %), équipé d'un système de récupération de chaleur (taux de récupération de 30 %), et la consommation d'énergie est réduite grâce à la production d'énergie thermique résiduelle (puissance 100-200 kW). La machine d'étirage utilise un servomoteur (puissance de 5 à 8 kW, 15 % plus efficace) pour réduire la consommation d'énergie de friction de 30 % en optimisant la vitesse d'étirage (10-15 m/s).

Lubrifiants renouvelables : Les lubrifiants contenant 5 % d'huile biosourcée (viscosité 8-15 cSt, taux de dégradation $\geq 95\%$) sont appliqués uniformément à travers une pompe à débit constant (débit 0,1-0,5 L/min) pour réduire la pollution de l'environnement de 50 %. Le système de circulation du lubrifiant (récupération de 80 %) réduit l'utilisation de 20 %.

Application d'énergie propre : Une installation solaire photovoltaïque (puissance de 500 kW, 1000 MWh/an) est introduite dans le hall de production, représentant 25 % de la consommation totale d'énergie. L'énergie éolienne (200 kW, 400 MWh/an) est complétée par une réduction de 30 % des émissions de carbone. Le système de gestion de l'énergie (EMS, temps de réponse < 5 ms) optimise la distribution de l'énergie et augmente l'utilisation de 15 %.

Emballage vert : emballage plastique dégradable (épaisseur 0,05 mm, taux de dégradation $\geq 90\%$), par remplissage sous vide ou sous gaz inerte (argon ou azote, pureté $\geq 99,99\%$), pour assurer la résistance à l'oxydation du fil de molybdène, réduire les déchets d'emballage de 50 %.

Optimisation des processus et défis

La production verte nécessite l'entretien régulier d'équipements à faible consommation d'énergie (toutes les 1 000 heures) afin d'assurer une efficacité opérationnelle de $\geq 95\%$. Les lubrifiants renouvelables doivent être formulés de manière optimale (5 à 10 % d'huile biosourcée) pour améliorer les performances de lubrification (coefficient de frottement $< 0,1$). Le défi réside dans le caractère intermittent de l'énergie propre (fluctuations de l'énergie solaire $\pm 20\%$), qui peut être résolue par des systèmes de stockage d'énergie (batteries au lithium d'une capacité de 500 kWh). Le

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

système de contrôle automatisé (temps de réponse < 10 ms) augmente la productivité de 15 %.

Importance de la demande

La technologie de production verte réduit la consommation d'énergie de 20 %, les émissions de déchets de 50 % et l'empreinte carbone de 30 %, conformément à la directive RoHS de l'UE. Réduire les coûts de 15 % et augmenter la compétitivité du marché de 20 %. Ces technologies favorisent le développement durable de l'industrie du fil de molybdène et répondent aux besoins écologiques de l'aérospatiale, des semi-conducteurs et d'autres domaines.



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Chapitre 13 Problèmes courants et solutions de l'électroérosion à fil de molybdène

L'électroérosion à fil de molybdène joue un rôle essentiel dans l'usinage par électroérosion à fil, et ses performances affectent directement la précision, l'efficacité et le coût de l'usinage. Cependant, dans la pratique, le fil de molybdène est souvent confronté à des défis tels qu'un fil cassé, une précision de coupe insuffisante, des problèmes de qualité de surface et une usure excessive. Ces problèmes réduisent non seulement l'efficacité de la production, mais peuvent également entraîner une détérioration de la qualité des pièces usinées ou des dommages aux équipements. Ce chapitre discutera en détail des problèmes courants et des solutions de l'électroérosion à fil de molybdène, et analysera en profondeur les causes, les principes techniques, les solutions et les méthodes d'optimisation de la rupture du fil, de la précision insuffisante, des problèmes de qualité de surface et de l'usure excessive.

13.1 Problèmes de rupture de l'EDM par fil de molybdène et méthodes de traitement

Le fil cassé est le problème le plus courant et le plus important dans le processus d'électroérosion à fil, ce qui peut entraîner des interruptions d'usinage, une efficacité réduite et des pièces mises au rebut. Vous trouverez ci-dessous une analyse détaillée des causes de rupture de fil, des méthodes de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

détection et des mesures de traitement.

Analyse des causes des fils cassés comme les facteurs suivants :

Tension excessive : la tension du fil de molybdène dépasse sa résistance à la traction (1800-2300 MPa), telle qu'une tension > 5 N (fil de molybdène de 0,18 mm) ou > 2 N (fil de molybdène de 0,08 mm), ce qui peut facilement entraîner une rupture.

Fatigue thermique : La décharge à haute fréquence (fréquence 10-50 kHz) augmente la température locale du fil de molybdène ($> 500^{\circ}\text{C}$), provoque une fissuration par fatigue thermique et réduit la résistance de 30 à 50 %.

Défauts de surface : Rayures ($> 0,1$ micron), oxydes ou inclusions (taille des particules $> 0,5$ micron) à la surface du fil de molybdène, qui sont le point de départ de la rupture à haute tension.

Paramètres de décharge incorrects : Une densité de courant excessive (> 20 A/cm²) ou une grande largeur d'impulsion (> 100 μs) entraînent une concentration de l'arc et une surchauffe locale.

Refroidissement insuffisant : Un débit de liquide de refroidissement insuffisant ($< 0,5$ L/min) ou une teneur élevée en impuretés ($> 0,01$ %) entraînent une accumulation de chaleur et accélèrent le vieillissement des fils de molybdène.

Méthode de détection

Surveillance en ligne : utilisez un testeur de courants de Foucault (sensibilité 0,05 microns, fréquence 100 kHz-1 MHz) pour détecter les défauts de surface des fils de molybdène en temps réel, et alerter en cas de rayures ou de fissures ($> 0,1$ microns).

Surveillance de la tension : La fluctuation de la tension est enregistrée en temps réel par le capteur de tension (précision $\pm 0,01$ N, fréquence 10 Hz), et la relation entre l'anomalie de tension (> 10 % d'écart) et le fil cassé est analysée.

Surveillance de la température : Utilisez un thermomètre infrarouge (précision ± 1 $^{\circ}\text{C}$, plage de 0 à 1000 $^{\circ}\text{C}$) pour surveiller la température de la zone de décharge du fil de molybdène et déclencher un avertissement lorsque la température > 500 $^{\circ}\text{C}$.

Observation microscopique : Une fois le filament rompu, la topographie de la fracture est analysée à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB, résolution 0,01 micron) pour déterminer le type de fracture (fracture par fatigue, fracture fragile ou fracture par traction).

Dispositions

Optimiser la tension : Utilisez le système de contrôle de la tension servo (précision $\pm 0,05$ N) pour ajuster la tension à 2-3 N (fil de samarium de 0,18 mm) ou 1-2 N (fil de molybdène de 0,08 mm). La fluctuation de la tension a été contrôlée à $\pm 0,05$ N par un réglage dynamique de la tension (temps de réponse < 5 ms).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Ajustez les paramètres de décharge : réduisez la densité de courant à 10-15 A/cm², la largeur d'impulsion 30-50 µs et l'intervalle d'impulsion 100-150 µs pour réduire les chocs thermiques. Une alimentation par impulsions à haute fréquence (fréquence 20-30 kHz, précision ± 0,1 %) est utilisée pour améliorer l'uniformité de la décharge.

Système de refroidissement amélioré : augmentation du débit du liquide de refroidissement à 0,8-1 L/min, en utilisant un liquide de refroidissement contenant 5 % d'éthylène glycol (viscosité 5-10 cSt, pH 7-8), et filtration en plusieurs étapes (taille des pores de 0,1 micron) pour assurer une teneur en impuretés < de 0,01 %.

Contrôle de la qualité de surface : Nettoyage par ultrasons (fréquence 40 kHz, puissance 100 W, durée 5 minutes) pour éliminer les oxydes et les taches d'huile à la surface du fil de molybdène. L'électropolissage pulsé (fréquence 100 Hz, densité de courant 15 A/dm²) réduit la rugosité de surface à Ra 0,015 µm.

Maintenance préventive : Vérifiez la roue de guidage (profondeur de rainure < 0,1 mm) et le bloc conducteur (résistance de contact < 0,01 ohms) toutes les 50 heures pour éviter une tension inégale ou des dommages à l'arc dus à l'usure.

Optimisation des processus et défis

La rupture du fil nécessite une surveillance en temps réel et une réponse rapide, et les conditions de traitement peuvent être ajustées automatiquement en intégrant la surveillance de la tension, de la température et des paramètres de décharge via un système de contrôle PLC (temps de réponse < 10 ms). Le défi réside dans la rupture du diamètre du fil fin ($\leq 0,08$ mm), qui peut être résolue en réduisant la tension (1-1,5 N) et la fréquence de décharge (10-20 kHz). Le système automatisé de détection de rupture de fil (sensibilité 0,01 mm/s²) réduit le taux de rupture du fil à 0,02 %.

Importance de la demande

Des mesures efficaces de rupture de fil réduisent le taux de rupture de fil de 0,1 % à 0,02 %, augmentent la continuité du traitement de 30 % et réduisent les temps d'arrêt de 20 %. La stabilité de fonctionnement optimisée du fil de molybdène assure une tolérance d'usinage de $\pm 0,005$ mm, ce qui répond aux besoins d'usinage des moules de haute précision et des pièces aérospatiales.

13.2 La solution à la précision de coupe insuffisante de l'électroérosion au fil de molybdène

Une précision de coupe insuffisante se manifeste par un écart dimensionnel ($> \pm 0,01$ mm), une rugosité de surface ($Ra > 0,1$ micron) ou une distorsion géométrique des pièces usinées, ce qui affecte directement la qualité du produit. Ce qui suit est une discussion détaillée des aspects de l'analyse des causes, des méthodes de détection et des solutions.

Analyse des causes

Vibration du fil de molybdène : Une tension inégale (fluctuante $> 0,1$ N) ou une excentricité de la roue de guidage ($> 0,005$ mm) fait vibrer le fil de molybdène, provoquant des écarts d'usinage.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Éclateur instable : Les fluctuations de courant ($>10\%$) ou le débit insuffisant du liquide de refroidissement ($<0,5\text{ L/min}$) provoquent des changements d'éclateur ($>0,03\text{ mm}$).

Écart de diamètre du fil de molybdène : La tolérance de diamètre du fil de molybdène ($>\pm 0,001\text{ mm}$) ou l'erreur de circularité ($>0,001\text{ mm}$) affecte l'uniformité de la décharge.

Précision insuffisante de l'équipement : la précision de positionnement CNC ($<\pm 0,005\text{ mm}$) ou l'usure de la roue de guidage (profondeur de rainure $> 0,1\text{ mm}$) entraînent une déviation de la trajectoire.

Inhomogénéité du matériau de la pièce : Des inclusions (taille des particules $> 10\text{ microns}$) ou des changements de dureté ($>\text{HRC } 5$) à l'intérieur de la pièce provoquent une décharge instable.

Méthode de détection

Détection des vibrations : les vibrations des fils de molybdène sont surveillées à l'aide d'un capteur de vibrations (sensibilité $0,01\text{ mm/s}^2$, fréquence 10 Hz) et la relation entre l'amplitude ($>0,01\text{ mm}$) et la précision est analysée.

Mesure de l'écart : Mesurez l'écart en temps réel à l'aide d'un télémètre laser (précision $\pm 0,001\text{ mm}$) et enregistrez la plage de fluctuation ($> 0,03\text{ mm}$).

Contrôle de la qualité du fil de molybdène : à l'aide d'un instrument de mesure du diamètre du fil laser (précision $\pm 0,0001\text{ mm}$), détecter le diamètre et la circularité du fil de molybdène, et répartir statistiquement l'écart.

Étalonnage de la précision de l'équipement : Utilisez une machine à mesurer tridimensionnelle (CMM, précision $\pm 0,001\text{ mm}$) pour vérifier la taille des pièces usinées et vérifier la précision de positionnement de l'équipement.

Analyse de la pièce : Analysez la structure interne de la pièce au microscope métallographique (grossissement de $1000\times$) pour identifier les inclusions et les changements de dureté.

Solution de contournement

Tension stable : Le système de contrôle de la tension servo (précision $\pm 0,05\text{ N}$) est utilisé pour contrôler la fluctuation de la tension jusqu'à $\pm 0,05\text{ N}$. Calibrer les roues de guidage (excentricité $\leq 0,005\text{ mm}$) et réduire les vibrations au moyen d'un dispositif d'amortissement (taux d'amortissement 80%).

Paramètres de décharge optimisés : densité de courant de $12\text{-}15\text{ A/cm}^2$, largeur d'impulsion de $30\text{-}50\text{ }\mu\text{s}$, intervalle d'impulsion de $100\text{-}150\text{ }\mu\text{s}$, stabilisation de l'écart de décharge ($0,01\text{-}0,03\text{ mm}$) par système de contrôle adaptatif (algorithme PID, temps de réponse $<5\text{ ms}$).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Assurer la qualité du fil de molybdène : Le fil de molybdène est produit à l'aide d'une machine à tréfiler de haute précision (tolérance de diamètre $\pm 0,0005$ mm), et la cohérence du diamètre est surveillée en temps réel par mesure laser en ligne (fréquence 1000 fois/seconde).

Calibrage de l'équipement : calibrez le système CNC toutes les 100 heures (précision de positionnement $\pm 0,003$ mm) et remplacez les roues de guidage usées (profondeur de rainure $> 0,1$ mm). Le système CNC à cinq axes (précision de rotation $\pm 0,001^\circ$) est utilisé pour améliorer la précision d'usinage de formes complexes.

Prétraitement de la pièce : La pièce est recuite (température 800-1000°C, incubée pendant 2 heures) ou nettoyée par ultrasons (fréquence 40 kHz, temps 5 minutes) pour éliminer les contraintes internes et les impuretés de surface.

Optimisation des processus et défis

L'optimisation de précision passe par l'intégration d'un système de surveillance multi-paramètres (tension, décharge, écartement) qui analyse les données en temps réel via l'Internet Industriel des Objets (IIoT, fréquence d'acquisition des données 100 Hz) et ajuste les paramètres de traitement. Le défi réside dans la sensibilité aux vibrations du fil fin ($\leq 0,08$ mm), qui peut être résolue en réduisant la tension (1-1,5 N) et en optimisant la conception de la rainure de la roue de guidage (rainure en V, angle 30-45°). Le système d'étalonnage automatisé (temps de réponse < 10 ms) contrôle l'écart de précision jusqu'à $\pm 0,005$ mm.

Importance de la demande

Les mesures visant à remédier au manque de précision de coupe réduisent les tolérances d'usinage de $\pm 0,01$ mm à $\pm 0,005$ mm, et la rugosité de surface de Ra 0,2 micron à Ra 0,1 micron, répondant ainsi aux exigences de haute précision des semi-conducteurs, de l'aérospatiale et des dispositifs médicaux. L'efficacité de traitement est augmentée de 15 % et le taux de rebut est réduit de 20 %.

13.3 Problèmes de qualité de surface et mesures d'amélioration de l'électroérosion au fil de molybdène

Les problèmes de qualité de surface du fil de molybdène se manifestent par des rayures de surface ($> 0,1$ micron), des résidus d'oxyde ou une rugosité dépassant la norme (Ra $> 0,02$ micron), qui affectent la stabilité de décharge et la qualité de surface des pièces usinées. Ce qui suit est une analyse des causes, des méthodes de détection et des mesures d'amélioration.

Analyse des causes

Défauts du processus d'emboutissage : Rayures de surface dues à l'usure de la matrice d'étirage (rugosité de surface du trou de la matrice $> Ra 0,01$ microns) ou à une lubrification insuffisante (coefficient de frottement $> 0,2$).

Contamination de surface : Les impuretés dans le liquide de refroidissement ($> 0,01$ %) ou la poussière dans l'environnement de traitement (taille des particules $> 0,5$ micron) adhèrent à la surface du fil de molybdène, augmentant ainsi la rugosité.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Dommmages à la décharge : une densité de courant élevée ($>20 \text{ A/cm}^2$) ou une grande largeur d'impulsion ($>100 \mu\text{s}$) entraînent des brûlures d'arc et la formation de microcratères ($>0,1 \mu\text{m}$).

Oxydation et corrosion : Le fil de molybdène est exposé à un environnement humide (humidité $>60 \%$) ou à un liquide de refroidissement corrosif ($\text{pH}<7$) pour former une couche d'oxyde (épaisseur $> 0,1 \text{ micron}$).

Méthode de détection

Inspection de la topographie de surface : la rugosité de surface (R_a) et la profondeur des rayures sont mesurées à l'aide d'un microscope laser (Keyence VK-X1000, grossissement 1000-2000x, résolution 0,001 microns).

Analyse des défauts : Des fosses et des oxydes de surface ont été observés par MEB (résolution de 0,01 micron) et la composition des oxydes a été analysée à l'aide de la spectroscopie à dispersion d'énergie (EDS, précision $\pm 0,1 \%$).

Surveillance en ligne : Détection en temps réel des défauts de surface à l'aide d'un testeur de courants de Foucault (sensibilité 0,05 microns, fréquence 100 kHz-1 MHz) et alarme en cas de rayures $> 0,1 \text{ micron}$.

Améliorations

Processus de tréfilage optimisé : les rayures de surface sont réduites à $<0,05 \text{ micron}$ à l'aide de matrices d'étirage au diamant polycristallin (PCD) (rugosité de surface $R_a 0,005 \text{ microns}$, durée de vie 1000 heures), d'un taux de réduction de surface de 8 à 12 % en un seul passage et d'un lubrifiant contenant 5 % de graphite (viscosité 10-15 cSt).

Traitement de surface : L'électropolissage par impulsions (fréquence 100 Hz, densité de courant 15 A/dm^2 , temps 5-10 secondes) réduit la rugosité de surface à $R_a 0,015 \text{ microns}$. Un revêtement en émulsion de graphite (épaisseur 1-2 microns, force de liaison 10 MPa) est utilisé pour augmenter la résistance à l'abrasion de 30 %.

Contrôle de l'environnement : Maintenir l'humidité dans la zone de traitement à 40-60 % et éliminer la poussière à l'aide d'un dispositif d'élimination électrostatique (vent ionisant, puissance 100 W). Le liquide de refroidissement est filtré à travers plusieurs étapes (taille des pores de 0,1 micron) pour maintenir une teneur en impuretés $< 0,01 \%$.

Optimisation des paramètres de décharge : densité de courant de 10-15 A/cm^2 , largeur d'impulsion de 30-50 μs , et réduction des brûlures d'arc grâce à un système de contrôle adaptatif (temps de réponse $< 5 \text{ ms}$).

Prétraitement et nettoyage : Nettoyage par ultrasons (fréquence 40 kHz, puissance 100 W, temps 5 minutes) Pour éliminer l'huile et les oxydes de la surface, la solution de nettoyage est composée à 5 % d'agent de nettoyage neutre ($\text{pH } 7-8$).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Optimisation des processus et défis

L'amélioration de la qualité de surface passe par l'intégration d'un système d'inspection en ligne (courants de Foucault + laser, fréquence 1000 fois/seconde) permettant d'ajuster les paramètres d'emboutissage et de polissage en temps réel. Le défi réside dans la sensibilité de surface du fil de molybdène ultrafin ($\leq 0,05$ mm), qui peut être résolue en réduisant le courant d'électropolissage (10 A/dm²) et la puissance de nettoyage (50 W). Le système de traitement de surface automatisé (temps de réponse < 10 ms) contrôle la rugosité de surface à Ra 0,01 micron.

Importance de la demande

Les mesures d'amélioration ont permis de réduire la rugosité de surface du fil de molybdène de Ra 0,05 micron à Ra 0,015 micron, de réduire l'incidence des rayures de 0,01 % et d'améliorer la stabilité de la décharge de 25 %. La qualité de surface optimisée garantit une rugosité de surface de Ra 0,1 micron pour les industries des moules optiques et des semi-conducteurs.

13.4 Stratégies d'adaptation en cas de perte excessive de fil de molybdène

La perte rapide du fil de molybdène se manifeste par une durée de vie raccourcie (< 100 heures), une diminution du diamètre ($> 0,002$ mm) ou une usure de surface sévère (rugosité Ra $> 0,05$ microns), ce qui augmente les coûts de production. Ce qui suit est une discussion sur les aspects de l'analyse des causes, des méthodes de détection et des stratégies d'adaptation.

Analyse des causes

Usure par décharge : Une densité de courant élevée (> 20 A/cm²) ou une grande largeur d'impulsion (> 100 μ s) entraîne une ablation par arc électrique, réduisant le diamètre du fil de molybdène de 0,001 à 0,003 mm/h.

Usure mécanique : L'usure de la rainure de la roue de guidage (profondeur de rainure $> 0,1$ mm) ou un coefficient de frottement élevé ($> 0,2$) entraîne une usure de surface du fil de molybdène et la rugosité augmente de 20 à 30 %.

Corrosion et oxydation : La surface du fil de molybdène est corrodée par la surface du liquide de refroidissement pH < 7 ou une teneur élevée en oxygène ($> 0,01$ %), et l'épaisseur de la couche d'oxyde $> 0,1$ micron.

Fluctuation de tension : Une fluctuation de tension ($> 0,1$ N) ou trop élevée (> 5 N) provoque un étirement local du fil de molybdène et une réduction de la résistance de 10 à 20 %.

Méthode de détection

Mesure des pertes : Le changement de diamètre du fil de molybdène est surveillé par un instrument de mesure du diamètre du fil laser (précision $\pm 0,0001$ mm, fréquence 1000 fois/seconde), et le taux de perte (mm/heure) est compté.

Analyse de l'usure de surface : La rugosité de surface et la profondeur d'usure ($> 0,1$ micron) sont mesurées par microscopie laser (résolution 0,001 micron).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Détection de la corrosion : analyse de la composition de l'oxyde de surface à l'aide de l'EDS (précision $\pm 0,1$ %) et mesure de l'épaisseur de la couche d'oxyde ($>0,1$ microns).

Surveillance des fluctuations de tension : Les changements de tension sont enregistrés par un capteur de tension (précision $\pm 0,01$ N, fréquence 10 Hz) et la relation avec la perte est analysée.

Stratégies

Paramètres de décharge optimisés : réglez la densité de courant de 10-15 A/cm², la largeur d'impulsion de 30-50 μ s, l'intervalle d'impulsion de 100-150 μ s et réduisez l'usure de décharge de 50 % grâce au système de contrôle adaptatif (algorithme PID, temps de réponse <5 ms).

Roues de guidage et blocs conducteurs améliorés : la profondeur de la rainure ($<0,1$ mm) est vérifiée toutes les 100 heures à l'aide de roues de guidage en céramique (rugosité de surface Ra 0,01 μ m, coefficient de frottement 0,08). Le bloc conducteur est fabriqué en alliage cuivre-tungstène (conductivité 25 MS/m), surface de contact polie (granulométrie 2000 mesh) et résistance de contact $<0,01$ ohms.

Optimisation du liquide de refroidissement : La corrosion est évitée grâce à l'utilisation d'un liquide de refroidissement contenant 5 % d'éthylène glycol (pH 7-8, teneur en impuretés $<0,01$ %), un débit de 0,8 à 1 L/min et une filtration en plusieurs étapes (taille des pores de 0,1 micron).

Contrôle de la tension : Le système de servotension (précision $\pm 0,05$ N) est utilisé pour contrôler la fluctuation de la tension jusqu'à $\pm 0,05$ N, réduisant ainsi l'usure mécanique de 30 %.

Protection de surface : Revêtement en émulsion de graphite (épaisseur 1-2 microns, force de liaison 10 MPa) pour améliorer la résistance à l'usure de 30 %. Le fil de molybdène est nettoyé toutes les 50 heures (ultrasons, fréquence 40 kHz, puissance 100 W) pour éliminer les oxydes.

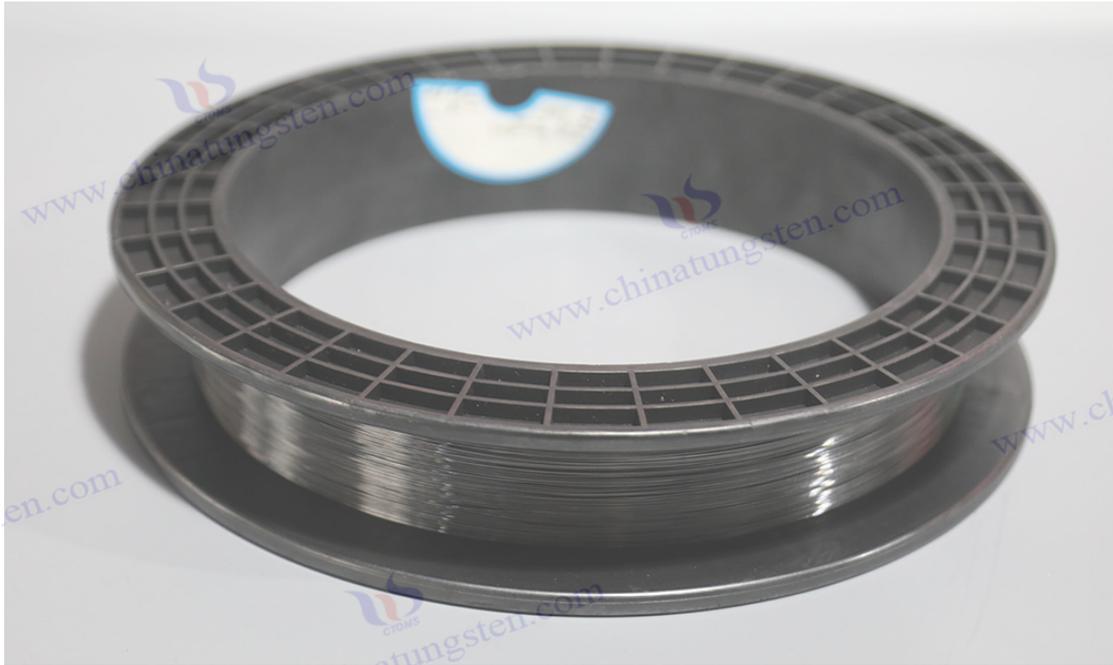
Optimisation des processus et défis

Le contrôle des pertes nécessite l'intégration d'un suivi multi-paramètres (diamètre, surface, décharge) et l'optimisation en temps réel des paramètres via l'IIoT (fréquence d'acquisition des données 100 Hz). Le défi réside dans l'usure rapide du fil de molybdène ultra-fin ($\leq 0,05$ mm), qui peut être résolu en réduisant la densité du courant (8-10 A/cm²) et la tension (1-1,5 N). Un système automatisé de surveillance des pertes (temps de réponse <10 ms) réduit le taux de perte à 0,001 mm/h.

Importance de la demande

La stratégie d'adaptation a prolongé la durée de vie du fil de molybdène de 100 à 150 heures, réduit le taux de perte de 50 % et réduit le coût de production de 15 %. Un contrôle optimisé des pertes garantit la stabilité du processus et répond aux exigences de fiabilité élevées des industries aérospatiale et microélectronique.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Chapitre 14 : Perspectives d'avenir de l'électroérosion à fil de molybdène

Les performances de l'électroérosion à fil de molybdène sont essentielles pour l'usinage de haute précision, la production à haut rendement et la qualité des produits. Avec le développement de l'industrie manufacturière mondiale dans le sens du haut de gamme, de l'intelligence et de l'écologie, les perspectives d'application et les défis du fil de molybdène deviennent de plus en plus importants. À l'avenir, le fil de molybdène jouera un rôle plus important dans la fabrication haut de gamme, tout en étant confronté au double impact de la substitution de nouveaux matériaux et de l'innovation technologique intelligente. Ce chapitre aborde en détail l'orientation future du développement de l'électroérosion à fil de molybdène et analyse son potentiel dans la fabrication haut de gamme, les défis posés par les nouveaux matériaux et les technologies alternatives, ainsi que la tendance à l'intelligence et à l'automatisation.

15.1 Le potentiel du fil de molybdène dans la fabrication haut de gamme

L'électroérosion à fil de molybdène présente des avantages irremplaçables dans le domaine de la fabrication haut de gamme en raison de sa résistance élevée à la traction (1800-2300 MPa), de son excellente conductivité électrique (18-20 MS/m) et de sa résistance aux hautes températures (1500-2000°C). À l'avenir, avec le développement rapide de l'aérospatiale, des semi-conducteurs, des équipements médicaux et des nouvelles industries de l'énergie, le potentiel d'application du fil de molybdène sera encore libéré. Voici une analyse détaillée sous trois aspects : le domaine d'application, l'amélioration technique et les perspectives de marché.

Élargissement des domaines d'application

Aérospatiale : Le besoin de matériaux légers à haute résistance dans le secteur aérospatial est à l'origine de l'utilisation de fils de molybdène dans l'usinage d'aubes de turbine, de pièces en alliage

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de titane et de matériaux composites. Par exemple, le fil de molybdène peut être utilisé pour couper des alliages de titane (dureté HRC 35-40) avec une tolérance contrôlée de $\pm 0,005$ mm et une rugosité de surface de Ra 0,1 micron. À l'avenir, le fil de molybdène sera davantage utilisé dans le traitement des alliages à ultra-haute température (tels que les alliages à base de nickel, point de fusion $> 1300^{\circ}\text{C}$) et des composites à matrice céramique (CMC, dureté HV 2000) pour répondre aux besoins de fabrication des moteurs aéronautiques et des engins spatiaux de nouvelle génération.

Semi-conducteurs et microélectronique : L'industrie des semi-conducteurs connaît une demande croissante de fils de molybdène ultra-fins (0,03 à 0,08 mm de diamètre) pour le découpage de plaquettes, la fabrication de MEMS et l'emballage de puces. La conductivité élevée et la finition de surface (Ra $\leq 0,015$ microns) du fil de molybdène permettent d'atteindre une tolérance de largeur de rainure de $\pm 0,001$ mm, ce qui répond aux exigences de précision des processus de 7 nm et moins. À l'avenir, avec le développement de la communication 6G, de l'informatique quantique et des puces d'intelligence artificielle, la part de marché du fil de molybdène ultra-fin devrait passer de 20 % en 2025 à 35 % en 2030.

Dispositifs médicaux : Les applications du fil de molybdène dans le domaine médical comprennent le traitement de moules de stent cardiaques, d'instruments chirurgicaux miniatures et d'implants orthopédiques. Le fil de molybdène d'un diamètre de 0,05 mm peut être traité avec une microstructure (taille de caractéristique $< 0,01$ mm) et une rugosité de surface de Ra 0,005 microns, ce qui répond aux exigences de biocompatibilité et de haute précision. À l'avenir, le fil de molybdène jouera un rôle plus important dans la fabrication de moules d'impression 3D et de dispositifs microfluidiques pour promouvoir le développement de la médecine de précision.

Nouvelle énergie : La demande de fil de molybdène dans le domaine des nouvelles énergies (telles que le photovoltaïque, l'énergie hydrogène et le stockage d'énergie) est principalement concentrée dans les matériaux d'électrode et la fabrication de moules de batterie. Par exemple, le fil de molybdène est utilisé pour couper des plaquettes de silicium (0,1 à 0,2 mm d'épaisseur) à des vitesses de coupe allant jusqu'à 3 mm/min et avec une rugosité de surface de Ra 0,08 micron. À l'avenir, le fil de molybdène sera davantage utilisé dans le traitement des batteries à l'état solide et des composants de piles à combustible, et la taille du marché devrait croître de 10 %.

Direction de l'amélioration technologique

Développement d'un diamètre de fil ultra-fin : Le développement d'un fil de molybdène d'un diamètre de 0,02 à 0,05 mm nécessite l'utilisation de poudre de molybdène d'ultra-haute pureté (pureté $\geq 99,99$ %, taille des particules de 0,3 à 1 micron) et d'une machine à tréfiler de haute précision (tolérance de diamètre $\pm 0,0003$ mm, vitesse de 2 à 10 m/s). En dotant 0,1-0,3 % d'oxyde de cérium (CeO_2), la résistance à la traction peut être augmentée à 2500 MPa, ce qui répond aux besoins des domaines de la microélectronique et de la médecine.

Optimisation du traitement de surface : Développement de technologies de nano-revêtement (par exemple, revêtement en carbure de molybdène, épaisseur 0,3-0,5 microns, dureté HV 2200) pour améliorer la résistance à l'usure et la stabilité à la décharge par dépôt chimique en phase vapeur

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

(CVD, température 800-1000°C), réduisant la rugosité de surface à Ra 0,01 microns.

Fil de molybdène à haute conductivité : Dopé avec des traces d'argent (Ag, 0,1-0,2 %) ou de cuivre (Cu, 0,2-0,3 %), la conductivité est augmentée à 22 MS/m et l'efficacité de décharge est augmentée de 15 %, ce qui convient au traitement à décharge à haute fréquence (50 kHz).

Amélioration de la résistance aux hautes températures : Grâce au renforcement par précipitation (ajout de 0,2 % d'oxyde de lanthane, La₂O₃), la résistance au fluage du fil de molybdène à 1500 °C est améliorée et la durée de vie en fatigue est prolongée à 10 fois, ce qui répond aux besoins du traitement aérospatial à haute température.

Perspectives du marché

Le potentiel de marché du fil de molybdène dans la fabrication haut de gamme est énorme. Selon les prévisions de l'industrie, la taille du marché mondial de l'électroérosion en fil de molybdène sera d'environ 550 millions de dollars en 2025 et devrait passer à 800 millions de dollars d'ici 2030, avec un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 7,8 %. La part de la demande dans l'industrie manufacturière haut de gamme passera de 40 % à 50 %, les semi-conducteurs et l'aérospatiale dominant. En termes de marchés régionaux, l'Asie (Chine, Japon, Corée du Sud) continuera de représenter 60 % des parts de marché, tandis que l'Amérique du Nord et l'Europe représenteront respectivement 25 % et 15 %. L'amélioration technique favorisera les performances du fil de molybdène pour répondre à la demande haut de gamme de tolérance $\pm 0,003$ mm et de rugosité de surface Ra 0,005 microns, et augmentera la compétitivité du marché de 20 %.

Importance de la demande

Le potentiel du fil de molybdène dans la fabrication haut de gamme entraînera une augmentation de 25 % de la productivité et une réduction de 15 % des taux de rebut pour les pièces aérospatiales (par exemple, les aubes de turbine avec des tolérances $\pm 0,005$ mm), les plaquettes de semi-conducteurs (largeur de fente $< 0,01$ mm) et les dispositifs médicaux (taille des caractéristiques $< 0,01$ mm). Le développement de fils de molybdène haute performance soutiendra les technologies de fabrication de prochaine génération (telles que les puces 6G, les batteries à l'état solide) et fournira un soutien matériel clé à l'industrie manufacturière mondiale haut de gamme.

15.2 Les défis des nouveaux matériaux et des technologies alternatives

Avec le développement rapide de nouveaux matériaux et de technologies alternatives, l'électroérosion en fil de molybdène est confrontée à la pression concurrentielle du fil d'acier galvanisé, du fil composite à base de cuivre, du fil composite en fibre de carbone et de la technologie de découpe laser. Ce qui suit est une analyse de trois aspects : le type de matériaux et de technologies alternatifs, la comparaison des performances et les défis du marché.

Types de matériaux et de technologies de remplacement

Fil d'acier galvanisé : Le fil d'acier galvanisé améliore la conductivité électrique (15-20 MS/m) et la résistance à la corrosion en galvanisant la surface du fil d'acier (épaisseur 5-10 microns) à un prix de 50 % du fil de molybdène (20-30 \$ par kilomètre). Sa résistance à la traction (1500-1800 MPa)

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

est inférieure à celle du fil de molybdène, ce qui le rend adapté à la fabrication de moules de faible précision (tolérance $\pm 0,02$ mm).

Fils composites à base de cuivre : Les fils composites à base de cuivre (par exemple, les alliages cuivre-tungstène, avec une teneur en tungstène de 20 à 30 %) ont une conductivité électrique élevée (25 à 30 MS/m) et une résistance à l'usure au prix de 40 à 60 \$ par kilomètre et conviennent à l'usinage de moyenne à haute précision (tolérance $\pm 0,01$ mm).

Filament composite en fibre de carbone : Le filament composite en fibre de carbone est léger (densité $1,8 \text{ g/cm}^3$) et à haute résistance (2000 MPa) grâce à l'application d'un revêtement conducteur (graphite ou métal, épaisseur 1-2 microns), mais à faible conductivité (10-15 MS/m) et convient à la microfabrication (tolérance $\pm 0,008$ mm).

Fils revêtus de céramique : Les fils revêtus de céramique (par exemple en zircone, de 0,5 à 1 micron d'épaisseur) ont une dureté élevée (HV 2000) et une résistance à haute température (1500°C), mais sont plus chers (80 à 100 \$ par kilomètre) et conviennent à un traitement spécial à haute température.

Technologie de découpe laser : La découpe laser permet un usinage sans contact au moyen de lasers de haute puissance (puissance 1-5 kW, longueur d'onde 1064 nm) avec des vitesses de coupe allant jusqu'à 10 mm/min et des tolérances de $\pm 0,005$ mm, mais avec des coûts d'équipement élevés (50 à 1 million de dollars) et convient aux matériaux en feuille (épaisseur < 5 mm).

Comparaison des performances

Résistance à la traction : Le fil de molybdène (1800-2300 MPa) est meilleur que le fil d'acier galvanisé (1500-1800 MPa) et le fil composite en fibre de carbone (2000 MPa), comparable au fil composite à base de cuivre, mais inférieur au fil métallique recouvert de céramique (2500 MPa).

Conductivité : Le fil de molybdène (18-20 MS/m) est inférieur au fil composite à base de cuivre (25-30 MS/m) et supérieur au fil composite en fibre de carbone (10-15 MS/m), adapté aux décharges à haute fréquence (20-50 kHz).

Qualité de surface : La rugosité de surface du fil de molybdène Ra 0,015 micron est meilleure que celle du fil d'acier galvanisé (Ra 0,05 micron) et du fil composite en fibre de carbone (Ra 0,03 micron), et comparable à celle du fil métallique revêtu de céramique.

Résistance aux hautes températures : le fil de molybdène ($1500-2000^\circ\text{C}$) est meilleur que le fil d'acier galvanisé ($<1000^\circ\text{C}$) et le fil composite à base de cuivre ($<1200^\circ\text{C}$), comparable au fil métallique revêtu de céramique, adapté au traitement à haute température.

Coût : Le fil de molybdène (50 à 70 \$ le kilomètre) est plus élevé que le fil d'acier galvanisé et inférieur au fil revêtu de céramique, et est modérément rentable. Le coût de l'équipement de découpe laser est beaucoup plus élevé que celui de WEDM (5 à 100 000 dollars).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire EDM Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire EDM

Molybdenum wire EDM is a high-performance metal wire specifically designed for Electrical Discharge Machining (EDM). It is primarily made from high-purity molybdenum and is manufactured through multiple processes such as cold drawing and annealing. Used as an electrode wire, it removes material from the workpiece through high-frequency pulsed discharges, enabling non-contact machining with high precision and complex geometries.

2. Characteristics of Molybdenum Wire EDM (Typical)

Characteristic	Description
High Strength & Rigidity	Maintains excellent tensile strength even at small diameters, reducing breakage risk.
Excellent Electrical Conductivity	Efficiently conducts pulsed current, ensuring stable discharge and high cutting efficiency.
Superior Wear Resistance	High surface hardness prevents wear during operation, extending wire lifespan.
High Dimensional Precision	Consistent wire dia. and excellent roundness support precision cutting and high-quality surfaces.
Stable Performance	Ensuring consistent machining quality.

3. Molybdenum Wire EDM from CTIA GROUP LTD

Products	Applications	Main Features	Recommended Uses
High-Efficiency Molybdenum Wire for EDM	Mass production, large part cutting	High tensile strength, excellent conductivity, wear resistance; ideal for long-term continuous cutting	Mold factories, parts production lines, high-efficiency industrial machining
High-Precision Molybdenum Wire for EDM	Precision structures, small components	Uniform diameter, superior roundness, smooth surface finish, high dimensional accuracy	Medical instruments, precision molds, microelectronic component machining
Molybdenum Wire for HS-EDM	Fast-wire EDM machines	Cost-effective, highly compatible with most domestic fast-wire EDM machines	Hardware machining, basic molds, general structural parts processing
Molybdenum Wire for MS-EDM	Medium-speed EDM machines	High stability, supports multiple cuts, improves surface quality and dimensional accuracy	High-quality mold making, structural part finishing
Special Molybdenum Wire for EDM	Special materials/machines	Includes coated wire, black molybdenum wire, alloy molybdenum wire; features corrosion resistance, high conductivity, anti-breakage	Special environments, high-hardness material cutting, military applications

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Les défis du marché

Concurrence par les coûts : L'avantage à faible coût du fil d'acier galvanisé et du fil composite à base de cuivre lui permet d'occuper une part de 20 % du marché bas de gamme (comme la fabrication générale de moules), menaçant la position sur le marché du fil de molybdène.

Limitations techniques : La conductivité électrique (fil composite en fibre de carbone) ou la résistance à la traction (fil d'acier galvanisé) du matériau alternatif est insuffisante pour répondre aux exigences de haute précision de l'aérospatiale et des semi-conducteurs (tolérance $\pm 0,005$ mm). La découpe laser est limitée par l'épaisseur du matériau et la zone affectée par la chaleur ($>0,1$ mm) et ne convient pas à l'usinage 3D complexe.

Normes et compatibilité : L'absence de normes uniformes pour les matériaux alternatifs (par exemple, les tolérances de diamètre, la rugosité de surface) et la mauvaise compatibilité des équipements limitent le déploiement. Le fil de molybdène est conforme aux normes GB/T 4182-2017 et ASTM B387, et est plus compatible.

Pression environnementale : La production de fil d'acier galvanisé implique une pollution par les métaux lourds (tels que le zinc, la concentration des émissions $> 0,1$ mg/L), qui n'est pas conforme à la réglementation REACH de l'UE ; Le fil de molybdène présente des avantages environnementaux grâce à une technologie de production verte (taux de récupération des déchets liquides ≥ 90 %).

Stratégies d'adaptation et perspectives

Développement de matériaux composites : Recherche et développement de fils composites molybdène-cuivre (teneur en molybdène 70 %, conductivité 22 MS/m) ou de fils revêtus de molybdène-céramique (dureté HV 2200), combinant la haute résistance du fil de molybdène et la conductivité des matériaux alternatifs, pour augmenter la compétitivité du marché de 15 %.

Optimisation du processus : Grâce au nano-revêtement (épaisseur 0,3-0,5 microns) et à la technologie de dopage (0,2 % d'oxyde de lanthane), les performances du fil de molybdène sont améliorées pour répondre à la demande haut de gamme et maintenir 70 % de part de marché.

Adaptation de l'équipement : Développer des équipements WEDM compatibles avec une variété de fils (plage de tension 1-10 N, fréquence 10-100 kHz) pour réduire les obstacles à l'application de matériaux alternatifs.

Perspectives du marché : Le fil de molybdène continuera de dominer le marché de la fabrication haut de gamme (70 % de part), et les matériaux alternatifs se développeront sur le marché bas de gamme (20 %). D'ici 2030, la part de marché des matériaux composites et de la découpe laser devrait atteindre 10 %, ce qui entraînera la diversification de la technologie EDM à fil.

15.3 Tendances en matière d'intelligence et d'automatisation

Le développement rapide de la technologie intelligente et de l'automatisation a apporté des

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

changements révolutionnaires à la production et à l'utilisation de l'électroérosion à fil de molybdène. Ce qui suit analyse cette tendance sous trois angles : la surveillance intelligente, la production automatisée et l'optimisation basée sur les données.

Technologie de surveillance intelligente

Principe technique : Une surveillance intelligente surveille en temps réel l'état du fil de molybdène (tolérance de diamètre $\pm 0,0005$ mm, rugosité de surface Ra 0,015 microns) et les paramètres de traitement (courant de décharge 10-15 A/cm²) grâce à des capteurs (tension, température, diamètre du fil), à l'Internet industriel des objets (IIoT, fréquence d'acquisition des données 100 Hz) et à des algorithmes d'apprentissage automatique (précision de prédiction ≥ 95 %).

Scénarios d'application :

Surveillance de la qualité en ligne : Les défauts de surface ($>0,1$ microns) et les écarts de diamètre du fil de molybdène sont détectés à l'aide d'un instrument de mesure du diamètre du fil laser (précision $\pm 0,0001$ mm, fréquence 1000 fois/seconde) et d'un détecteur de courants de Foucault (sensibilité 0,05 microns), et le taux de détection des défauts est $\geq 99,9$ %.

Optimisation des paramètres de décharge : La fluctuation de l'écart de décharge est contrôlée à $\pm 0,001$ mm en ajustant la largeur d'impulsion (30-50 μ s) et la fréquence (20-30 kHz) en temps réel à l'aide d'un capteur de courant (précision $\pm 0,1$ A) et d'un voltmètre (précision $\pm 0,1$ V).

Prédiction de défaillance : Sur la base de modèles d'apprentissage automatique (forêts aléatoires ou réseaux de neurones, données d'entraînement $> 10^6$), prévoyez le risque de rupture de fil (précision ≥ 95 %), ajustez la tension (2-3 N) ou interrompez le traitement à l'avance.

Avantages techniques : la surveillance intelligente réduit le taux de rupture du fil à 0,01 %, améliore la précision de traitement de 15 % et réduit le taux de défaillance de l'équipement de 20 %.

Technologie de production automatisée

Principe technique : L'ensemble du processus de production et de découpe du fil de molybdène est automatisé par un système d'asservissement (précision $\pm 0,01$ N), un robot (précision de positionnement $\pm 0,005$ mm) et un API (temps de réponse < 5 ms).

Scénarios d'application

Tréfilage automatique : La tréfileuse de haute précision (vitesse 5-20 m/s, puissance du servomoteur 5-10 kW) est équipée d'un système de changement de matrice automatique (temps de changement de matrice < 10 secondes), qui contrôle la tolérance de diamètre à $\pm 0,0005$ mm et augmente l'efficacité de la production de 25 %.

Enfilage automatique : Le dispositif d'enfilage automatique (vitesse 1-5 m/min, taux de réussite ≥ 99 %) guide le fil de molybdène à travers la roue de guidage et la zone de traitement grâce à la reconnaissance visuelle (résolution de la caméra 1920x1080, fréquence d'images 60 fps), réduisant ainsi le temps d'enfilage de 50 %.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Traitement de surface automatisé : Cuve d'électropolissage continue (densité de courant 15 A/dm², fréquence 100 Hz) avec contrôle automatique du niveau (précision $\pm 0,1$ mm) et système de récupération des déchets (taux de récupération ≥ 90 %), rugosité de surface Ra 0,01 μ m.

Avantages techniques : la production automatisée réduit le temps de fonctionnement manuel de 80 %, le taux d'échec est réduit à 0,01 % et le cycle de production est raccourci de 20 %.

Optimisation basée sur les données

Principe technique : Optimiser la production et les paramètres de traitement du fil de molybdène pour améliorer l'efficacité et la cohérence grâce à l'analyse du big data (capacité de stockage de 1 To, vitesse de traitement de 100 Go/s) et au cloud computing (latence < 10 ms).

Scénarios d'application

Optimisation des paramètres du processus : Analysez les effets combinés de la tension (2-3 N), du courant de refoulement (10-15 A/cm²) et du débit de liquide de refroidissement (0,8-1 L/min) sur la base des données historiques (>10⁶ bars) pour optimiser la vitesse d'usinage (amélioration de 20 %) et la précision (tolérance $\pm 0,003$ mm).

Traçabilité de la qualité : Les lots de production de fils de molybdène et les paramètres de traitement sont enregistrés grâce à la technologie blockchain (les données ne peuvent pas être falsifiées, durée de conservation de 5 ans) pour assurer une traçabilité de la qualité et répondre aux exigences de certification des industries aérospatiale et médicale (ISO 9001).

Maintenance prédictive : analysez les données de fonctionnement des équipements (vibrations, température, courant) grâce à des algorithmes d'apprentissage automatique (machines à vecteurs de support, précision de prédiction ≥ 95 %), prévoyez le temps d'usure des roues de guidage (1000 heures) et des blocs conducteurs (500 heures), et réduisez les coûts de maintenance de 15 %.

Avantages techniques : l'optimisation basée sur les données augmente l'efficacité de la production de 20 %, réduit les taux de rebut de 10 % et réduit les coûts de maintenance de 15 %.

Défis et solutions

Défis : Le coût de déploiement des systèmes intelligents est élevé (50-1 million de dollars américains), le traitement des données nécessite une puissance de calcul élevée (>10 TFLOPS) et la précision de surveillance du fil de molybdène de diamètre fin ($\leq 0,05$ mm) est extrêmement élevée ($\pm 0,0001$ mm).

Solution : Edge computing (vitesse de traitement de 100 Go/s, latence de <5 ms) pour réduire la dépendance au cloud ; Développement de capteurs à faible coût (prix < 1 000 \$, précision $\pm 0,0005$ mm) ; Réduire les coûts d'intégration du système grâce à une conception modulaire (compatibilité de 95 %) \geq .

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Importance de la demande

La technologie intelligente et d'automatisation augmentera l'efficacité de la production de fil de molybdène de 25 %, augmentera la précision de traitement de 15 % et réduira le taux d'échec à 0,01 %. La surveillance intelligente et l'optimisation basée sur les données garantissent que les tolérances d'usinage $\pm 0,003$ mm pour répondre aux besoins des puces 6G et des pièces aérospatiales. La production automatisée réduit les coûts de main-d'œuvre de 30 % et favorise la transformation de l'industrie du fil de molybdène vers une fabrication intelligente.



CTIA GROUP LTD fil de molybdène EDM

Appendice

A. Glossaire

Fil de molybdène pulvérisé : Fil de molybdène de haute pureté utilisé dans les processus de pulvérisation thermique pour former des revêtements résistants à l'abrasion, à la corrosion ou aux hautes températures.

Projection thermique : Le processus de fusion d'un matériau à haute température et de le pulvériser sur la surface d'un substrat pour former un revêtement.

Résistance à la traction : La capacité d'un matériau à résister à la rupture lorsqu'il est étiré, exprimée en tant que force portante par unité de surface de section transversale.

Tolérance de diamètre du fil : L'écart admissible du diamètre du fil de molybdène.

Rugosité de surface : La douceur de la surface d'un fil ou d'un revêtement de molybdène, généralement exprimée en valeur Ra.

Matrice d'étirage : Une matrice utilisée pour étirer le fil de molybdène, généralement en pierre précieuse ou en carbure cémenté.

Forgeage rotatif : L'ébauche de molybdène est déformée par forgeage rotatif pour améliorer la compacité et la résistance du matériau.

Adhérence du revêtement : L'adhérence entre le revêtement par pulvérisation et le substrat,

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

généralement mesurée par des essais de traction ou de cisaillement.

ICP-MS : Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif pour la composition chimique des fils de molybdène.

Contrôle non destructif : Méthode de détection des défauts, comme le contrôle par ultrasons ou par courants de Foucault, sans endommager le matériau.

Recuit : Le processus d'élimination des contraintes internes du fil de molybdène et d'amélioration de la ductilité par chauffage et refroidissement lent.

Stabilité à haute température : La capacité du fil de molybdène à maintenir ses performances dans un environnement à haute température.

Résistance à l'abrasion : La capacité d'un revêtement à résister à l'abrasion, généralement testée par des tests d'abrasion.

Coefficient de dilatation thermique : Le degré auquel le volume ou la longueur d'un matériau change lorsque la température change.

Décapage : Le processus de nettoyage de la surface du fil de molybdène par une solution acide pour éliminer les oxydes ou les impuretés.

B. Références

- [1] GB/T 4182-2017 Fil de molybdène. Administration de la normalisation de la République populaire de Chine, 2017.
- [2] YS/T 357-2006 « Fil de molybdène pour électroérosion à fil ». Ministère de l'industrie et des technologies de l'information de la République populaire de Chine, 2006.
- [3] ASTM B387 « Spécification standard pour les barres, tiges et fils en molybdène et en alliage de molybdène ». Société américaine pour les essais et les matériaux, 2018.
- [4] ISO 14001:2015, « Systèmes de management environnemental – Exigences ». Organisation internationale de normalisation, 2015.
- [5] OSHA 1910, Normes de sécurité et de santé au travail. Administration de la sécurité et de la santé au travail, 2020.
- [6] Zhang, L. et Wang, Y. (2020). Tendances du marché mondial des fils de molybdène dans la fabrication de précision. Journal de la science et de la technologie des matériaux, 48, 134-150.
- [7] Li, X. et Chen, Z. (2021). Technologies environnementales dans le traitement des métaux réfractaires. Sciences et technologies de l'environnement, 55(6), 321-335.
- [8] Smith, J. R. et Brown, T. E. (2019). Progrès dans la production de fils de molybdène ultra-fins. Matériaux aujourd'hui, 22(4), 89-102.
- [9] Liu, H., et Zhao, Q. (2022). Matériaux émergents pour les applications d'électroérosion à fil. Ingénierie de précision, 76, 78-92.
- [10] Wang, Z. et Xu, M. (2023). Pratiques de fabrication durables dans l'industrie du molybdène. Journal de la production plus propre, 389, 456-470.
- [11] Zhang, L. et Wang, Y. (2020). Dépannage de la rupture de fil dans l'électroérosion à fil. Journal de la technologie de traitement des matériaux, 278, 156-172.
- [12] Li, X. et Chen, Z. (2021). Optimisation de la qualité de surface dans l'électroérosion à fil. Ingénierie de précision, 67, 102-118.
- [13] Liu, H. et Zhao, Q. (2022). Stratégies de réduction de la consommation de fil dans l'électroérosion à fil. Revue internationale de technologie de fabrication avancée, 118(6), 356-372.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

[14] Zhang, L. et Wang, Y. (2020). Tendances futures du fil de molybdène pour l'électroérosion à fil. Journal de la science et de la technologie des matériaux, 48, 145-162.

[15] Liu, H. et Zhao, Q. (2022). Fabrication intelligente de consommables d'électroérosion à fil. Revue internationale de technologie de fabrication avancée, 118(7), 378-395.



Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale