# Vollständiger Leitfaden zum Molybdän-Drahterodieren

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

**CTIA GROUP LTD**
Weltweit führend in der intelligenten Fertigung für die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

## EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung des intelligenten, integrierten und flexiblen Designs und der Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, gegründet 1997 mit www.chinatungsten.com als Ausgangspunkt – Chinas erste erstklassige Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes, das sich auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie konzentriert. Mit fast drei Jahrzehnten umfassender Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän erbt die CTIA GROUP die außergewöhnlichen Design- und Fertigungskapazitäten, die hervorragenden Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihrer Muttergesellschaft und wird zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, Legierungen mit hoher Dichte, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 200 mehrsprachige professionelle Websites für Wolfram und Molybdän eingerichtet, die mehr als 20 Sprachen abdecken und über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden enthalten. Seit 2013 hat der offizielle WeChat-Account "CHINATUNGSTEN ONLINE" über 40.000 Informationen veröffentlicht, fast 100.000 Follower bedient und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen zur Verfügung gestellt. Mit kumulativen Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto, die Milliarden von Malen erreichen, hat es sich zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie entwickelt, die 24/7 mehrsprachige Nachrichten, Produktleistungen, Marktpreise und Markttrenddienste bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die personalisierten Bedürfnisse der Kunden zu erfüllen. Unter Verwendung der KI-Technologie entwirft und produziert das Unternehmen gemeinsam mit Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Unternehmen bietet integrierte Dienstleistungen rund um den Prozess, die von der Werkzeugöffnung über die Probeproduktion bis hin zur Endbearbeitung, Verpackung und Logistik reichen. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 130.000 Kunden weltweit F&E-, Design- und Produktionsdienstleistungen für über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten erbracht und damit den Grundstein für eine maßgeschneiderte, flexible und intelligente Fertigung gelegt. Auf dieser Grundlage vertieft die CTIA GROUP die intelligente Fertigung und integrierte Innovation von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer mehr als 30-jährigen Branchenerfahrung auch Wissens-, Technologie-, Wolframpreis- und Markttrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und diese frei mit der Wolframindustrie geteilt. Dr. Han verfügt seit den 1990er Jahren über mehr als 30 Jahre Erfahrung im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen und ist ein anerkannter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte im In- und Ausland. Das Team der CTIA GROUP hält sich an das Prinzip, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zur Verfügung zu stellen, und verfasst kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte, die auf der Produktionspraxis und den Bedürfnissen der Marktkunden basieren und in der Branche weithin gelobt werden. Diese Erfolge sind eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP und machen sie zu einem führenden Unternehmen bei der Herstellung und Information von Wolfram- und Molybdänprodukten.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

## Verzeichnis

**Kapitel 1: Einführung**
1.1 Definition und Überblick über das Molybdändrahterodieren
1.2 Technischer Hintergrund des Drahterodierens
1.3 Die Bedeutung von Molybdändraht beim Erodieren
1.4 Bedeutung von Forschung und Anwendung

**Kapitel 2: Eigenschaften des Molybdändrahterodierens**
2.1 Chemische Eigenschaften des Molybdändrahterodierens
2.1.1 Grundlegende chemische Eigenschaften des Molybdänelements
2.1.2 Anforderungen an die Reinheit
2.1.3 Korrosionsbeständigkeit
2.2 Physikalische Eigenschaften des Molybdändrahterodierens
2.2.1 Hoher Schmelzpunkt
2.2.2 Dichte und Härte
2.2.3 Elektrische und thermische Leitfähigkeit
2.3 Mechanische Eigenschaften des Molybdändrahterodierens
2.3.1 Zugfestigkeit
2.3.2 Dehnung
2.3.3 Gleichmäßigkeit der Krümmung und des Drahtdurchmessers
2.4 Geometrische Eigenschaften des Molybdändrahterodierens
2.4.1 Toleranz des Drahtdurchmessers
2.4.2 Glätte und Rundheit der Oberfläche
2.5 Thermophysikalische Eigenschaften des Molybdändrahterodierens
2.5.1 Hohe Temperaturstabilität
2.5.2 Hohe Temperaturbeständigkeit
2.6 Weitere Eigenschaften des Molybdändrahterodierens
2.6.1 Oberflächenbehandlung
2.6.2 Abriebfestigkeit und Haltbarkeit
2.7 Sicherheitsdatenblatt für Molybdändrahterodieren von CTIA GROUP LTD

**Kapitel 3: Klassifikationen des Molybdändrahterodierens**
3.1 Hocheffizienter Molybdändraht für das Erodieren
3.2 Hochpräziser Molybdändraht für das Erodieren
3.3 Molybdändraht für HS-EDM
3.4 Molybdändraht für MS-EDM
3.5 Spezieller Molybdändraht für das Erodieren

**Kapitel 4: Vorbereitung und Produktionsprozess des Molybdändrahterodierens**
4.1 Auswahl der Rohstoffe für das Molybdändrahterodieren
4.1.1 Hochreine Molybdän-Rohstoffe
4.1.2 Dotierung von Seltenen Erden

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

4.2 Produktionsprozess des Molybdändrahterodierens
4.2.1 Molybdän-Pulvermetallurgie
4.2.2 Sintern und Schmieden
4.2.3 Rotations-Knetprozess
4.2.4 Drahtziehprozess
4.2.5 Oberflächenbehandlung von Molybdändrahterodieren
4.3 Schlüsseltechnologien des Molybdändrahterodierens
4.3.1 Hochpräzise Drahtziehwerkzeugtechnik
4.3.2 Temperier- und Wärmebehandlungstechnik
4.3.3 Optimierung des Dotierungsprozesses
4.4 Qualitätskontrolle des Molybdändrahterodierens
4.4.1 Kontrolle der Konsistenz des Drahtdurchmessers
4.4.2 Erkennung und Behandlung von Oberflächenfehlern
4.4.3 Prüfung der Zugfestigkeit

**Kapitel 5: Verwendung des Molybdändrahterodierens**
5.1 Drahterodier-Verarbeitung
5.1.1 Formenbau
5.1.2 Komplexe Form- und Gefügebearbeitung
5.1.3 Hochpräzise Teilebearbeitung
5.2 Anwendung elektrischer Lichtquellen
5.2.1 Tore, Haken, Streben
5.2.2 Aderdraht und Heizdraht
5.3 Thermisches Spritzen
5.3.1 Oberflächenverstärkung und -reparatur
5.3.2 Herstellung von verschleißfesten Beschichtungen
5.4 Andere industrielle Anwendungen
5.4.1 Materialaufbereitung in der Luft- und Raumfahrt
5.4.2 Herstellung von Medizinprodukten
5.4.3 Anwendungen in der Elektronikindustrie

**Kapitel 6: Produktionsanlagen für das Molybdändrahterodieren**
6.1 Ausrüstung zur Vorbereitung von Rohstoffen
6.1.1 Produktionsanlagen für Molybdänpulver
6.1.2 Sinteröfen
6.2 Drahtziehgeräte
6.2.1 Hochpräzise Drahtziehmaschine
6.2.2 Edelstein-Zeichenstempel
6.3 Ausrüstung zur Oberflächenbehandlung
6.3.1 Ätzende Waschanlagen
6.3.2 Elektrolytische Poliergeräte
6.3.3 Anlagen zur Beschichtung von Graphitemulsionen
6.4 Wärmebehandlungsanlagen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6.4.1 Vakuum-Wärmebehandlungsöfen
6.4.2 Glühöfen
6.5 Prüf- und Qualitätskontrollgeräte
6.5.1 Drahtdurchmesser-Messgerät
6.5.2 Detektor für Oberflächendefekte
6.5.3 Zugfestigkeitsprüfmaschine

**Kapitel 7: In- und ausländische Normen für das Molybdändrahterodieren**
7.1 Inländische Normen für das Erodieren von Molybdändraht
7.1.1 GB/T 4182-2017
7.1.2 GB/T 3462-2017
7.1.3 Weitere relevante Industrienormen
7.2 Internationale Normen für das Molybdändrahterodieren
7.2.1 ASTM B387 Standardspezifikation für Stäbe, Drähte und Platten aus Molybdän und Molybdänlegierungen
7.2.2 Zertifizierung des Qualitätsmanagementsystems nach ISO 9001
7.2.3 Sonstige internationale Normen für Molybdänerzeugnisse
7.3 Standardvergleichende Analyse des Molybdändrahterodierens
7.3.1 Unterschiede zwischen in- und ausländischen Normen
7.3.2 Der Einfluss von Normen auf die Produktqualität

**Kapitel 8: Detektionsmethoden des Molybdändrahterodierens**
8.1 Prüfung der chemischen Zusammensetzung von Molybdändrahterodieren
8.1.1 Spektralanalyse (ICP-MS)
8.1.2 Prüfung der Molybdän-Reinheit
8.2 Prüfung der physikalischen Eigenschaften
8.2.1 Messung von Drahtdurchmessern und Toleranzen
8.2.2 Prüfung der Oberflächenrauheit
8.3 Prüfung der mechanischen Eigenschaften
8.3.1 Prüfung der Zugfestigkeit
8.3.2 Dehnungs- und Krümmungstest
8.4 Prüfung der thermophysikalischen Eigenschaften
8.4.1 Stabilitätstest bei hohen Temperaturen
8.4.2 Prüfungen der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit
8.5 Prüfung der Oberflächenqualität
8.5.1 Mikroskopische Betrachtung
8.5.2 Zerstörungsfreie Prüfverfahren
8.6 Test der Anpassungsfähigkeit an die Umwelt
8.6.1 Prüfung der Korrosionsbeständigkeit
8.6.2 Hochtemperatur-Oxidationstest

**Kapitel 9: Optimierung und technische Verbesserung des Molybdändrahterodierens**
9.1 Methoden zur Verbesserung der Zugfestigkeit und Haltbarkeit

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

9.2 Optimierung des Oberflächenbehandlungsprozesses
9.3 Techniken zur Verringerung der Drahtbruchrate
9.4 Innovationen zur Verbesserung der Schnitteffizienz
9.5 Anwendung intelligenter Produktionstechnik
9.5.1 Automatische Steuerung des Drahtziehens
9.5.2 Echtzeit-Qualitätsüberwachungssystem

**Kapitel 10: Markt und Entwicklung des Molybdändrahterodierens**
10.1 Globaler Marktüberblick
10.1.1 Wichtigste Erzeugerländer und -regionen
10.1.2 Marktgrößen- und Nachfrageanalyse
10.2 Entwicklungstrends
10.2.1 Forschung und Entwicklung von dünneren Drahtdurchmessern
10.2.2 Umweltfreundliche Produktionsverfahren
10.2.3 Substitution neuer Materialien

**Kapitel 11: Installation und Verwendung von Molybdändrahterodiermaschinen**
11.1 Installationsschritte für das Drahterodieren
11.1.1 Einfädeln und Befestigen von Molybdändraht
11.1.2 Kontaktsteuerung zwischen Führungsrad und Leiterblock
11.2 Vorsichtsmaßnahmen für den Gebrauch
11.2.1 Einstellungen der Strom- und Spannungsparameter
11.2.2 Verhindern von Drahtbruch und Verrutschen
11.3 Wartung und Austausch
11.3.1 Einstellung der Molybdändrahtspannung
11.3.2 Regelmäßige Reinigung und Inspektion

**Kapitel 12: Sicherheit und Umweltschutz beim Molybdändrahterodieren**
12.1 Sicherheitsmaßnahmen während der Produktion
12.1.1 Staub- und Abgasnachbehandlung
12.1.2 Sicherheitsvorschriften für den Gerätebetrieb
12.2 Anforderungen an den Umweltschutz
12.2.1 Abfallverwertung und -entsorgung
12.2.2 Umweltfreundliche Produktionstechnologien

**Kapitel 13: Häufige Probleme und Lösungen des Molybdändrahterodierens**
13.1 Drahtbruchprobleme und Behandlungsmethoden
13.2 Lösungen für unzureichende Schnittgenauigkeit
13.3 Probleme mit der Oberflächenqualität und Verbesserungsmaßnahmen
13.4 Bewältigungsstrategien für übermäßigen Drahtverlust

**Kapitel 14: Zukunftsaussichten des Molybdändrahterodierens**
14.1 Potenziale in der High-End-Fertigung

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

14.2 Herausforderungen durch neue Werkstoffe und alternative Technologien
14.3 Trends in den Bereichen Intelligenz und Automatisierung

**Anhang**

A. Glossar der Begriffe
B. Verweise

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

# Kapitel 1 Einleitung

## 1.1 Definition und Überblick über das Molybdändrahterodieren

Das Molybdändrahterodieren ist ein feiner Draht, der hauptsächlich aus hochreinem Molybdän (mit einem Mo-Gehalt von typischerweise ≥99,3 %) hergestellt wird und häufig in der Drahterosion (WEDM) verwendet wird. Aufgrund seines hohen Schmelzpunkts (ca. 2623 °C), seiner hervorragenden Zugfestigkeit (je nach Herstellungsverfahren zwischen 700 und 1200 MPa), seiner guten elektrischen Leitfähigkeit und seiner hohen Temperaturbeständigkeit hat sich Molybdändraht zu einem häufig verwendeten Elektrodenmaterial im Drahterodieren entwickelt. Sein Durchmesser liegt in der Regel zwischen 0,08 mm und 0,3 mm, mit einer Toleranz von ±0,001 mm, um den Anforderungen an eine hochpräzise Bearbeitung gerecht zu werden. Oberflächenbehandlungen – wie z. B. Graphitemulsionsbeschichtung oder alkalisch gewaschener weißer Molybdändraht – verbessern die Ableitleistung und Haltbarkeit weiter.

Molybdändraht wird hauptsächlich in Schnelldraht-, Mittelgeschwindigkeitsdraht- und einigen hochpräzisen Langsamdraht-Erodiermaschinen verwendet. Im Vergleich zu Kupferdraht, Wolframdraht oder Messingdraht bietet Molybdändraht Vorteile wie Wirtschaftlichkeit, hohe Verschleißfestigkeit und Eignung für mehrere Schnitte, wodurch er vor allem in asiatischen Märkten wie China und Japan dominiert. Nach Angaben der International Molybdenum Association (IMOA) gilt Molybdän als strategisches Metall, und seine Nachfrage in industriellen Anwendungen wächst weiter. Als wichtiger Zweig von Molybdänprodukten wird der weltweite jährliche Verbrauch von Molybdändrahterodieren auf mehrere tausend Tonnen geschätzt, insbesondere in den Bereichen Formenbau und Präzisionsteilebearbeitung.

Die Herstellung von Molybdändraht umfasst Pulvermetallurgie, Rotationskneten, Drahtziehen und Oberflächenbehandlungsprozesse. Diese Schritte müssen einen gleichmäßigen Drahtdurchmesser, eine glatte Oberflächengüte und optimale mechanische Eigenschaften gewährleisten, um den Anforderungen des Hochgeschwindigkeits- und Hochpräzisionsschneidens gerecht zu werden. Um die Leistung von Molybdändraht weiter zu verbessern, arbeiten die Hersteller kontinuierlich an Innovationen, z. B. bei der Entwicklung von Drähten, die mit Seltenerdelementen (z. B. Lanthan, Yttrium) dotiert sind, um die Zugfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.

## 1.2 Technischer Hintergrund des Drahterodierens

Das Drahterodieren (WEDM) ist eine unkonventionelle Verarbeitungstechnologie, bei der Materialien bei hohen Temperaturen (ca. 8000-12000 °C) geschmolzen oder verdampft werden, indem eine Hochspannungsimpulsentladung zwischen dem Elektrodendraht und dem Werkstück verwendet wird, um einen präzisen Schnitt zu erzielen. Diese Technologie entstand in den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts, als die ehemaligen sowjetischen Wissenschaftler Lazarenko und seine Frau erstmals das Prinzip der Funkenerosion (EDM) vorschlugen. In den 1960er Jahren entwickelten Schweizer und japanische Werkzeugmaschinenhersteller wie AgieCharmilles und Fanuc CNC-Drahterodiermaschinen, was zur industriellen Einführung von WEDM führte.

Es gibt drei Arten der Drahterodiertechnologie: schnell, mittel und langsam:


Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Schneller Draht: hauptsächlich Molybdändraht, hohe Liniengeschwindigkeit (8-12 m/s), niedrige Kosten, weit verbreitet in der Formen- und Teilebearbeitung in China und anderen Märkten, Schnittgeschwindigkeit bis zu 100-150 mm²/min, aber etwas geringere Genauigkeit (Oberflächenrauheit Ra 2,5-3,2 μm).

Mittlerer Draht: Durch die Kombination der Vorteile von schnellem Draht und langsamem Draht wird Molybdändraht oder verzinkter Draht verwendet, mit höherer Präzision und Oberflächenqualität (Ra 1,0-1,6 μm) und einer Schnittgeschwindigkeit von ca. 50-100 mm²/min, die in den letzten Jahren auf dem chinesischen Markt schnell populär geworden ist.

Langsamer Draht: In der Regel wird Messing oder beschichteter Draht (z. B. verzinkter Kupferdraht) mit niedriger Drahtgeschwindigkeit (0,2-0,3 m/s) und extrem hoher Genauigkeit (Ra 0,2-0,8 μm) verwendet, der in Japan und Europa häufig in der High-End-Fertigung zu finden ist.

Nach Angaben der International Association for Manufacturing Technology (AMT) wird der globale Markt für Drahterodiermaschinen im Jahr 2023 einen Wert von etwa 3 Milliarden US-Dollar haben und bis 2030 voraussichtlich mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 4,5 % wachsen, wobei China mehr als 40 % des weltweiten Marktanteils ausmachen wird. Aufgrund seiner hohen Kostenleistung und Anwendbarkeit hat sich Molybdändraht zur Mainstream-Wahl für Schnelldraht- und Mitteldrahtanlagen entwickelt, insbesondere in der asiatischen Formenbau- und Hardwareverarbeitungsindustrie. Der europäische und nordamerikanische Markt neigt eher dazu, Drahtmaschinen zu verlangsamen, die kupferbasierte oder Verbunddrähte verwenden, aber Molybdändraht wird immer noch bei der Verarbeitung bestimmter hochfester Materialien verwendet.

Die Fortschritte in der Drahterodiertechnologie haben von Verbesserungen in der numerischen Steuerungstechnik, der Impulsstromversorgung und der Automatisierungssteuerung profitiert. Moderne Drahterodiermaschinen sind mit Hochfrequenz-Impulsnetzteilen (bis zu 1 MHz) und einem intelligenten Zugregelungssystem ausgestattet, um einen stabilen Betrieb von Molybdändraht bei hohen Lasten zu gewährleisten und das Risiko eines Drahtbruchs zu verringern.

### 1.3 Die Bedeutung von Molybdändraht beim Erodieren

Die Bedeutung von Molybdändraht beim Drahterodieren ergibt sich aus seinen einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften, die ihn ideal für die Bearbeitung von hochhärten, komplex geformten Materialien wie Gesenkstahl, Hartmetall und Titanlegierungen machen. Hier sind die wichtigsten Vorteile von Molybdändraht in WEDM:

Hoher Schmelzpunkt und thermische Stabilität: Der hohe Schmelzpunkt (2623 °C) von Molybdändraht ermöglicht es ihm, der hohen Temperatur standzuhalten, die durch Entladung erzeugt wird, Schmelzen oder Verformung zu vermeiden und Stabilität während des Schneidprozesses zu gewährleisten. Im Vergleich zu Kupferdraht (Schmelzpunkt 1083 °C) ist Molybdändraht bei Entladung mit hoher Energie haltbarer.

Ausgezeichnete Zugfestigkeit: Die Zugfestigkeit von Molybdändraht (700-1200 MPa) ist viel höher als die von Messingdraht (ca. 400-600 MPa), wodurch er für den Hochspannungsbetrieb geeignet ist und die Wahrscheinlichkeit eines Drahtbruchs verringert, insbesondere bei der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Bearbeitung dicker Werkstücke (>100 mm).

Kostengünstig: Der Preis von Molybdändraht ist niedriger als der von Wolframdraht (ca. 1/3-1/5) und kann wiederverwendet werden (Molybdändraht kann in Schnelldrahtanlagen hunderte Male recycelt werden), was die Verarbeitungskosten erheblich senkt. Chinesischen Marktdaten zufolge betragen die Kosten pro Meter Molybdändraht etwa 0,1 bis 0,3 Yuan, während Wolframdraht bis zu 1 bis 2 Yuan beträgt.

Anpassungsfähigkeit der Oberflächenbehandlung: Molybdändraht kann die Oberflächenleistung durch Graphitemulsionsbeschichtung oder Alkaliwaschbehandlung optimieren, die Entladeeffizienz und Verschleißfestigkeit verbessern und sich an eine Vielzahl von Arbeitsbedingungen von schnellem Draht und mittlerem Draht anpassen.

Bearbeitung komplexer Geometrien: Die hohe Festigkeit und die feinen Drahtdurchmesser (bis zu 0,08 mm) von Molybdändraht ermöglichen die Bearbeitung von Mikrostrukturen und komplexen Konturen, um die hohen Präzisionsanforderungen der Luft- und Raumfahrt-, Medizingeräte- und Elektronikindustrie zu erfüllen.

Weltweit dominiert die Anwendung von Molybdändraht in Schnelldraht- und Mitteldrahtanlagen, insbesondere in der chinesischen Formenbauindustrie, wo etwa 80 % der Drahterodiermaschinen Molybdändraht verwenden. Laut IMOA-Bericht schneidet Molybdändraht bei der Bearbeitung von Gesenkstählen (z. B. Cr12MoV), Hartmetall und Superlegierungen mit einer Schnittgenauigkeit von ±0,005 mm und einer Oberflächenrauheit von Ra 1,0-2,5 μm gut ab. Im Gegensatz dazu eignet sich Messingdraht, der üblicherweise für langsame Drähte verwendet wird, besser für die ultrahochpräzise Bearbeitung (Ra < 0,5 μm), aber die Kosten und die Häufigkeit des Austauschs von Verbrauchsmaterialien sind höher.

Zu den Einschränkungen von Molybdändraht gehört, dass die Leitfähigkeit etwas geringer ist als die von kupferbasiertem Draht (etwa 5,5 μΩηcm für Molybdän und 1,7 μΩηcm für Messing), dass er die Entladungseffizienz beeinträchtigen kann und dass er in Szenarien mit extrem hoher Präzision nicht so fein ist wie beschichteter Draht. Die Leistungsfähigkeit moderner Molybdändrähte wurde jedoch durch die Dotierung von Seltenerdelementen wie Lanthan oder Yttrium oder die Optimierung von Entladungsparametern erheblich verbessert, wodurch diese Mängel teilweise kompensiert wurden.

### 1.4 Bedeutung von Forschung und Anwendung

Die Erforschung und Anwendung des Molybdändrahterodierens ist für die verarbeitende Industrie von großer Bedeutung, was sich in technologischem Fortschritt, industrieller Modernisierung und wirtschaftlichen Vorteilen widerspiegelt.

Förderung der hochpräzisen Fertigung: Das Molybdändrahterodieren unterstützt die Verarbeitung komplexer Geometrien und Materialien mit hoher Härte und wird häufig im Formenbau (Stanzformen, Spritzgussformen), in der Luft- und Raumfahrt (Turbinenschaufeln, Teile aus Titanlegierungen), in medizinischen Geräten (orthopädische Implantate) und in der Elektronik (Halbleiterformen) eingesetzt. Seine hohe Präzision und Stabilität erfüllen die Anforderungen der modernen Fertigung für Toleranzen im Mikrometerbereich. So nutzt die japanische

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Drahtschneidemaschine Fanuc die Verarbeitung von Molybdändraht mit einer Genauigkeit von ±2 μm, was die High-End-Fertigungskapazität deutlich verbessert.

Reduzierte Produktionskosten: Die hohe Haltbarkeit und Recyclingfähigkeit von Molybdändraht reduziert die Kosten für Verbrauchsmaterialien für die Drahterodierverarbeitung, insbesondere bei schnellen Drahtmaschinen, bei denen ein einziger Molybdändraht Tausende von Quadratmetern Werkstückfläche schneiden kann. Der globale Markt für den Formenbau ist in hohem Maße vom Kostenvorteil von Molybdändraht abhängig, insbesondere in aufstrebenden Märkten wie China und Indien.

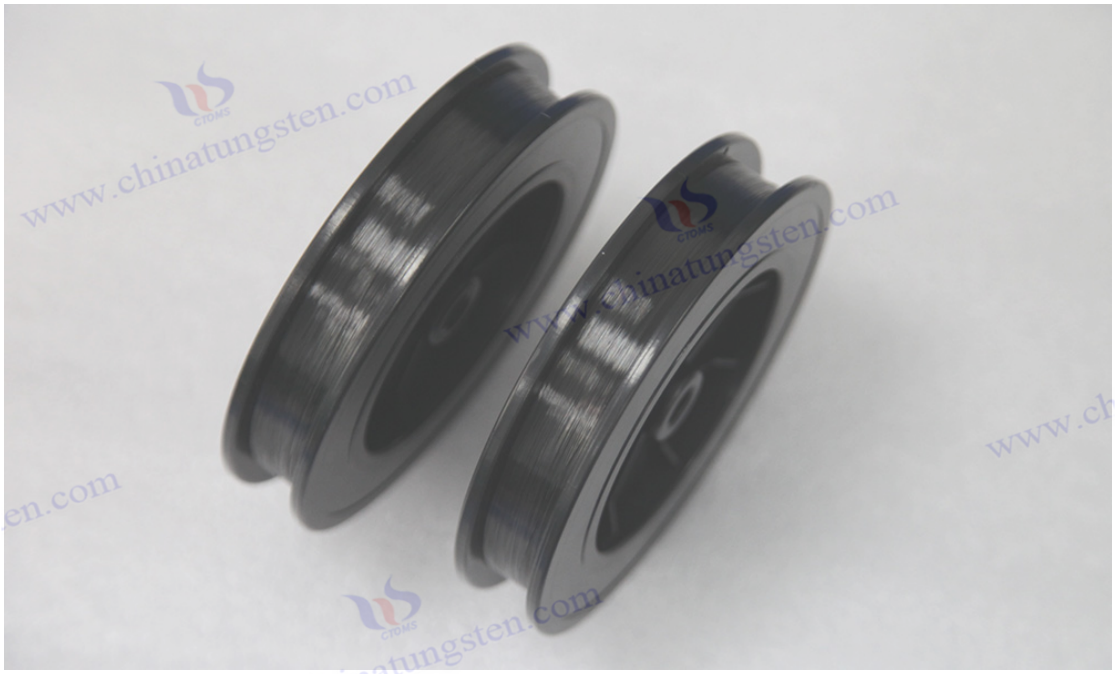
Förderung technologischer Innovationen: Die Forschung und Entwicklung von Molybdändraht treibt den Fortschritt in der Materialwissenschaft und in den Herstellungsprozessen voran. Zum Beispiel verbessert Molybdändraht, der mit Seltenerdelementen dotiert ist (z. B. La-Mo-Legierungsdraht), die Zugfestigkeit und Beständigkeit gegen Hochtemperaturoxidation und verlängert so die Lebensdauer. Darüber hinaus optimieren eine intelligente Zugregelung und die adaptive Entladungstechnologie die Verarbeitungseffizienz von Molybdändraht weiter.

Unterstützung einer umweltfreundlichen Fertigung: Die hohe Recyclingquote von Abfällen bei der Herstellung von Molybdändraht (bis zu mehr als 90 %) steht im Einklang mit dem globalen Trend der grünen Fertigung. Im Vergleich zu kupferbasiertem Einwegdraht reduziert das Recycling von Molybdändraht die Verschwendung von Ressourcen.

Globale Auswirkungen auf die Industrie: Die Erforschung und Anwendung des Molybdändrahterodierens hat die Regionalisierung der globalen Fertigungsindustrie vorangetrieben. Als weltweit größtes Land mit Molybdänressourcen (das etwa 43 % der weltweiten Reserven ausmacht) wurde Chinas Molybdändrahtindustrie im Rahmen der "Belt and Road"-Initiative, die die regionale industrielle Modernisierung gefördert hat, nach Südostasien, Afrika und in andere Länder exportiert. Die Forschung an Molybdändraht in Europa und Nordamerika konzentriert sich auf Hochleistungsdotierung und Oberflächenmodifikation, um technische Unterstützung für die High-End-Fertigung zu bieten.

Zu den Forschungsrichtungen des Molybdändrahterodierens gehören in Zukunft ein dünnerer Drahtdurchmesser (<0,05 mm) zur Unterstützung der Mikrobearbeitung, die Verbundbeschichtungstechnologie zur Verbesserung der Entladungseffizienz und intelligente Verarbeitungssysteme in Kombination mit künstlicher Intelligenz. Die Nachfrage nach hochpräziser und kostengünstiger Fertigung auf dem Weltmarkt wird die Entwicklung der Molybdändrahttechnologie weiter vorantreiben, insbesondere in den Bereichen New Energy Vehicles, 5G-Geräte und medizinische Geräte.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

## Kapitel 2 Eigenschaften des Molybdändrahterodierens

### 2.1 Chemische Eigenschaften des Molybdändrahterodierens

#### 2.1.1 Grundlegende chemische Eigenschaften des Molybdänelements

Molybdän (Elementsymbol Mo, Ordnungszahl 42) ist ein silbrig-weißes Übergangsmetall, das zum Element der sechsten Periode gehört und stabile chemische Eigenschaften aufweist. Die elektronische Konfiguration von Molybdän ist [Kr] $4d^5$ $5s^1$, das eine hohe chemische Inertheit aufweist und bei Raumtemperatur nicht signifikant mit Sauerstoff, Säure oder Lauge reagiert. Die Molybdänoxidationsstufen reichen von -2 bis +6, am häufigsten von +4 und +6, und Molybdänoxid ($MoO_3$) kann bei hohen Temperaturen gebildet werden, aber die Oberfläche des Molybdändrahts ist in einer typischen Drahtschnittumgebung (Arbeitsmedium auf Wasser- oder Ölbasis) im Allgemeinen stabil.

Aufgrund seiner chemischen Stabilität eignet sich Molybdän für Umgebungen mit hohen Entladungstemperaturen (bis zu 8000-12000 °C) für Drahterodieren (WEDM). Nach Angaben der International Molybdenum Association (IMOA) weist Molybdän in schwach sauren oder neutralen Arbeitsflüssigkeiten (z. B. deionisiertes Wasser, pH 6-8) wenig bis gar keine Korrosion auf und ist Kupfer-basierten Drähten (die in sauren Umgebungen anfällig für Korrosion sind) überlegen. Molybdän ist auch beständig gegen Additive (z. B. Emulgatoren, Korrosionsinhibitoren) in gängigen Erodierflüssigkeiten und sorgt so für Langzeitstabilität. Globale Hersteller dotierten mit Spuren von Seltenerdelementen (z. B. Lanthan, Yttrium), um die Oxidationsbeständigkeit von Molybdän weiter zu verbessern und chemische Verluste bei Hochtemperaturentladungen zu reduzieren.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 2.1.2 Reinheitsanforderungen (Mo-Gehalt≥ 99,3 %)

Die Leistung des Molybdändrahterodierens hängt stark von seiner Reinheit ab, und Industriestandards verlangen in der Regel einen Molybdängehalt von ≥99,3 %, um eine hervorragende elektrische Leitfähigkeit, mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit zu gewährleisten. Hochreiner Molybdändraht (Mo ≥99,95%) wird häufiger in High-End-Geräten für mittlere und langsame Drahtseile verwendet, wodurch die durch Verunreinigungen verursachte Entladungsinstabilität reduziert werden kann. Häufige Verunreinigungen sind Eisen (Fe), Nickel (Ni), Kohlenstoff (C) und Sauerstoff (O) und sollten in den folgenden Bereichen kontrolliert werden (gemäß GB/T 4182-2017 und ASTM B387):

Fe:≤0,005%
Ni: ≤0,003%
C: 0,01 % ≤
Zu: 0,003 % ≤

Übermäßige Verunreinigungen können zu Oberflächenfehlern im Molybdändraht, einer verminderten Ableiteffizienz oder einem erhöhten Risiko eines Drahtbruchs führen. So kann beispielsweise überschüssiger Sauerstoff eine spröde Oxidschicht bilden, die die Zugfestigkeit verringert; Kohlenstoffverunreinigungen können zu einer lokalen Verhärtung führen und die Gleichmäßigkeit des Drahtdurchmessers beeinträchtigen. Einige globale Unternehmen verwenden Vakuumschmelzen und mehrstufige Reinigungstechnologien (z. B. Wasserstoffreduktion), um hochreinen Molybdändraht mit einem Mo-Gehalt von bis zu 99,97 % herzustellen, was die Verarbeitungsgenauigkeit und -stabilität erheblich verbessert. Auf dem chinesischen Markt haben einige wirtschaftliche Molybdändrähte einen Mo-Gehalt zwischen 99,3 und 99,5 %, was für Schnelldrahtanlagen geeignet ist, um die Kostenanforderungen des Formenbaus zu erfüllen.

### 2.1.3 Korrosionsbeständigkeit

Das Molybdändrahterodieren ist beim Erodieren wasser- oder ölbasierten Arbeitsflüssigkeiten ausgesetzt und wirkt sich aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit direkt auf die Lebensdauer und Verarbeitungsqualität aus. Molybdän hat eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit gegen Wasser, schwache Säuren (z. B. Schwefelsäure, Salzsäure-Verdünnungslösung) und alkalische Lösungen bei Raumtemperatur. Laut dem Test der American Society of Corrosion Engineers (NACE) hat Molybdän eine Korrosionsrate von weniger als 0,01 mm/Jahr in deionisiertem Wasser bei einem pH-Wert von 4-10, was viel besser ist als Messingdraht (ca. 0,05-0,1 mm/Jahr). Unter Hochtemperatur-Entladungsbedingungen kann sich auf der Oberfläche des Molybdändrahtes eine dünne Oxidschicht ($MoO_2$ oder $MoO_3$) bilden, aber die Oxidation kann durch Graphitemulsionsbeschichtung oder Alkaliwäsche wirksam antioxidiert werden.

In der Praxis wird die Korrosionsbeständigkeit von Molybdändraht durch die Zusammensetzung des Arbeitsmediums, die Entladungshäufigkeit und die Verarbeitungsumgebung beeinflusst. So kann beispielsweise der hochreine Molybdändraht, der in der japanischen Drahtschneidemaschine Fanuc verwendet wird, Hunderte von Stunden ununterbrochen laufen, ohne dass in einer Arbeitsflüssigkeit, die Korrosionsinhibitoren enthält, offensichtliche Korrosion auftritt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Europäische Studien haben gezeigt, dass Molybdändraht, dotiert mit 0,5-1 % Lanthan (La), eine Korrosionsbeständigkeit von etwa 15 % in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit aufweist, da Seltenerdelemente die Oxidationsreaktivität verringern. Die Korrosionsbeständigkeit hängt auch eng mit der Oberflächenbehandlung zusammen, wobei schwarzer graphitemulsionsbeschichteter Molybdändraht in nassen und elektrolytischen Umgebungen stabiler ist, während weißer Molybdändraht (alkaligewaschen) besser für eine hochpräzise Verarbeitung geeignet ist, aber eine langfristige Exposition gegenüber korrosiven Umgebungen vermeiden muss.

### 2.2 Physikalische Eigenschaften des Molybdändrahterodierens

#### 2.2.1 Hoher Schmelzpunkt (ca. 2623°C)

Der hohe Schmelzpunkt von Molybdändraht (2623 °C±10 °C) ist sein Hauptvorteil bei WEDM, da er den hohen Temperaturen, die durch die Entladung entstehen, standhält, ohne zu schmelzen oder sich zu verformen. Im Vergleich zu Messingdrähten (Schmelzpunkt ca. 900-1000°C) oder Kupferdrähten (1083°C) behalten Molybdändrähte ihre strukturelle Integrität bei hochenergetischen Impulsentladungen (Stromdichten bis zu $10^6$ A/cm²). Nach Angaben der Japanese Electromachining Society (JSPE) beträgt die Oberflächenverlustrate von Molybdändraht in der transienten Umgebung von 8000-10000 °C nur 0,001-0,002 mm³/h, was viel niedriger ist als die von Messingdraht 0,01-0,02 mm³/h.

Der hohe Schmelzpunkt unterstützt auch die Stabilität von Molybdändraht bei der Bearbeitung von Materialien mit hoher Härte wie Hartmetall- und Titanlegierungen. Bei der Bearbeitung von WC-Co Hartmetall (Härte HRC 60-70) behält Molybdändraht beispielsweise einen stabilen Austragsspalt (ca. 0,01-0,03 mm) bei, um die Schnittgenauigkeit zu gewährleisten. Weltweit tätige Hersteller optimieren die Mikrostruktur von Molybdändraht, wie z. B. feinen Körnern, um die Temperaturwechselbeständigkeit weiter zu verbessern und die Lebensdauer zu verlängern.

#### 2.2.2 Dichte und Härte

Die Dichte von Molybdändraht beträgt 10,22 g/cm³, was etwas höher ist als die von Kupfer (8,96 g/cm³), aber niedriger als die von Wolfram (19,25 g/cm³), was ihm ein Gleichgewicht zwischen Gewicht und Festigkeit verleiht. Molybdän hat eine Härte von ca. 5,5 auf der Mohs-Skala und eine Vickers-Härte (HV) zwischen 180-220 und ist geeignet, hohen Spannungen (10-20 N) und mechanischem Verschleiß beim Drahtschneiden standzuhalten. Die Kombination aus Dichte und Härte ermöglicht es, dass der Molybdändraht mit hohen Geschwindigkeiten (8-12 m/s) in schnellen Drahtlaufgeräten zyklisch befördert werden kann, ohne leicht zu brechen.

Die hohe Dichte sorgt dafür, dass der Molybdändraht unter Zugkontrolle eine geringe Schwingungsamplitude aufweist, wodurch der Welligkeitsfehler während der Verarbeitung reduziert wird. Gemäß der chinesischen nationalen Norm (GB/T 3462-2017) sollte die Härte von Molybdändraht gleichmäßig sein und die Korngröße sollte bei 5-10 μm kontrolliert werden, um eine lokale Spannungskonzentration zu vermeiden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 2.2.3 Elektrische und thermische Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit von Molybdändraht beträgt $1,8\times10^7$ S/m (spezifischer Widerstand beträgt etwa 5,5 μΩηcm), was niedriger ist als die von Kupfer ($5,9\times10^7$ S/m), aber höher als die von Wolfram ($1,1\times10^7$ S/m), was eine moderate Entladeeffizienz in WEDM bietet. Seine Wärmeleitfähigkeit von 138 W/(m·K) ist besser als die von Wolfram (173 W/(m·K)), aber niedriger als die von Kupfer (401 W/(m·K)), was dazu beiträgt, Wärme schnell abzuleiten und den Wärmestau an der Entladestelle zu reduzieren.

Die elektrische Leitfähigkeit hat einen direkten Einfluss auf die Häufigkeit der Entladung und die Effizienz der Energieübertragung. Nach den Untersuchungen des Schweizer GF-Verarbeitungsprogramms ist die Entladestabilität von Molybdändraht unter der Bedingung einer Pulsfrequenz von 50-200 kHz besser als die von Kupferdraht, insbesondere bei der Bearbeitung dicker Werkstücke (>100 mm), die Wärmeleitfähigkeit von Molybdändraht kann das Risiko einer lokalen Überhitzung effektiv reduzieren. Werkzeugmaschinenhersteller auf der ganzen Welt haben die Entladeeffizienz von Molybdändraht weiter verbessert, indem sie die gepulste Stromversorgung (Spitzenstrom 50-200 A) mit Schnittgeschwindigkeiten von bis zu 150-200 mm²/min optimiert haben.

## 2.3 Mechanische Eigenschaften des Molybdändrahterodierens

### 2.3.1 Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit (UTS) von Molybdändraht liegt in der Regel zwischen 700 und 1200 MPa, abhängig von der Reinheit, dem Dotierungsprozess und den Wärmebehandlungsbedingungen. Die hohe Zugfestigkeit ermöglicht es dem Molybdändraht, der hohen Spannung (10-20 N) in Drahtschneideanlagen standzuhalten und Drahtbruch zu vermeiden. Im Vergleich zu Messingdraht (UTS 400-600 MPa) ist Molybdändraht stabiler bei der Bearbeitung von Materialien mit hoher Härte oder dicken Werkstücken. Gemäß ASTM B387 muss die Zugfestigkeit des Molybdändrahterodierens die folgenden Anforderungen erfüllen:

Reiner Molybdändraht: 700-900 MPa
Dotierter Molybdändraht (z. B. Mo-La): 900-1200 MPa

Laut den F&E-Daten chinesischer Unternehmen kann die Zugfestigkeit von Molybdändraht, der mit 0,5-1 % Lanthan dotiert ist, 1100 MPa erreichen, und die Drahtbruchrate wird um etwa 20 % reduziert. Die Zugfestigkeit hängt auch mit dem Drahtdurchmesser zusammen, und die Festigkeit von Molybdändraht mit feinem Drahtdurchmesser (0,08-0,12 mm) ist höher, aber eine strengere Zugregelung ist erforderlich. Europäische Studien haben gezeigt, dass die Optimierung des Glühprozesses die Dehnung des Molybdändrahtes bei hoher Spannung gering halten und die Lebensdauer verlängern kann.

### 2.3.2 Dehnung (geringe Dehnungseigenschaften)

Die Bruchdehnung von Molybdändraht-Erodiermaschinen wird in der Regel bei 1-3 % kontrolliert, was viel geringer ist als die von Messingdraht (10-20 %). Die geringe Dehnung sorgt dafür, dass der Molybdändraht bei hoher Spannung steif bleibt, wodurch Verformungen und Vibrationen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

während der Verarbeitung reduziert und dadurch die Schnittgenauigkeit verbessert wird. So hält die geringe Dehnung beispielsweise bei der Bearbeitung komplexer Konturen, wie z. B. Werkzeugzahnprofile, den Austragsspalt mit einer Genauigkeit von ±0,005 mm stabil.

Eine geringe Dehnung bringt auch Herausforderungen mit sich: Molybdändrähte reagieren empfindlich auf Spannungsschwankungen, und eine zu hohe Spannung kann zum Drahtbruch führen. Die globale Drahterodiermaschine verfügt über ein intelligentes Zugregelungssystem, das die Spannung in Echtzeit (Fehler ± 0,1 N) über Servomotoren anpasst und so die Einschränkungen der geringen Dehnung von Molybdändraht ausgleicht.

### 2.3.3 Gleichmäßigkeit der Krümmung und des Drahtdurchmessers

Die Krümmung bezieht sich auf den Grad, in dem ein Molybdändraht nach dem Dehnen seine natürliche Biegung beibehält, normalerweise ausgedrückt in Form eines Krümmungsradius pro Meter (ideal> 10 m). Die niedrige Wellrate sorgt für einen reibungslosen Betrieb des Molybdändrahtes zwischen dem Führungsrad und dem leitfähigen Block und reduziert so Schlupf oder Versatz. Die Gleichmäßigkeit des Drahtdurchmessers erfordert, dass die Durchmesserabweichung bei ±0,001 mm kontrolliert wird, um die Konsistenz des Austragsspalts zu gewährleisten. Ein ungleichmäßiger Drahtdurchmesser kann zu einer instabilen Entladung führen und die Oberflächenrauheit beeinträchtigen.

Globale Hersteller kontrollieren die Gleichmäßigkeit des Drahtdurchmessers mit hochpräzisen Ziehwerkzeugen, wie z. B. Naturdiamantwerkzeugen. Die Curl-Steuerung beruht auf Glüh- und Drahtziehprozessen, und einige intelligente Hersteller verwenden die Vakuumglühtechnologie, um die Krümmung von Molybdändraht auf weniger als 5 m zu reduzieren, was für hochpräzise mittlere Drahtlaufgeräte geeignet ist.

## 2.4 Geometrische Eigenschaften des Molybdändrahterodierens

### 2.4.1 Toleranzen des Drahtdurchmessers

Der Drahtdurchmesser des Molybdändrahterodierens beträgt normalerweise 0,08 bis 0,3 mm, und die Toleranz wird bei ±0,001 mm kontrolliert, um die Genauigkeit des Entladungsspalts sicherzustellen (im Allgemeinen das 1,5- bis 2-fache des Drahtdurchmessers). Gemäß GB/T 4182-2017 umfassen die gängigen Drahtdurchmesser 0,18 mm (Schnelldrahtstandard), 0,12-0,15 mm (Mitteldraht) und 0,08 mm (Mikrobearbeitung). Zum Beispiel beträgt der Auslassspalt von 0,18 mm Molybdändraht etwa 0,27 bis 0,36 mm, und eine Überschreitung der Toleranz kann zu Spaltschwankungen führen und die Oberflächenqualität verringern.

Die hochpräzisen Drahtziehmaschinen der Welt verwenden Lasermessschieber, um in Echtzeit zu überwachen, um sicherzustellen, dass die Toleranz bei ±0,0005 mm kontrolliert wird. Von Mitsubishi Electric durchgeführte Tests haben gezeigt, dass Molybdändraht mit einer Drahtdurchmessertoleranz von ±0,001 mm eine Schnittgenauigkeit von ±3 μm erreichen kann, was für die Bearbeitung von Teilen in der Luft- und Raumfahrt geeignet ist. Die Wahl des Drahtdurchmessers hängt auch von der Dicke des Werkstücks ab: 0,2-0,3 mm für dicke Werkstücke (>100 mm) und 0,08-0,12 mm für dünne Werkstücke oder Mikrobearbeitung.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 2.4.2 Glätte und Rundheit der Oberfläche

Die Oberflächenrauheit wird als Ra-Wert ausgedrückt, und der Ra des Molybdändrahterodierens wird normalerweise bei 0,1 bis 0,3 μm geregelt, um die Lichtbogenkonzentration und den Oberflächenverschleiß während der Entladung zu reduzieren. Die Rundheit erfordert, dass der Querschnitt des Molybdändrahtes nahezu perfekt ist, mit einer Abweichung von < 0,001 mm, um eine ungleichmäßige Entladung zu vermeiden. Gemäß der Norm ISO 1101 können übermäßige Rundheitsfehler zu Schlieren oder Verbrennungen auf der bearbeiteten Oberfläche führen.

Die Oberflächenglätte wird durch Mehrgang-Drahtziehen und Elektropolieren erreicht. Die Rundheitskontrolle beruht auf hochpräzisen Ziehwerkzeugen und Echtzeitprüfungen, und die weltweit führenden Hersteller verwenden Röntgenmikroskopie zur Inspektion von Querschnitten, um sicherzustellen, dass Rundheitsfehler minimiert werden.

## 2.5 Thermophysikalische Eigenschaften des Molybdändraht-Erodierens

### 2.5.1 Hohe Temperaturstabilität

Die hohe Temperaturstabilität bezieht sich auf die Fähigkeit, die Leistung von Molybdändraht bei hoher Entladetemperatur (8000-12000 °C) und zyklischer thermischer Belastung zu erhalten. Der hohe Schmelzpunkt und der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient (ca. $5{,}0\times10^{-6}$ $K^{-1}$) machen Molybdändraht weniger anfällig für Erweichung oder Bruch bei vorübergehend hohen Temperaturen. Nach Angaben der American Society for Materials (ASM) ist die thermische Ermüdungsleistung von Molybdändraht unter 1000 °C besser als die von Kupferbasisdraht, und der Festigkeitsverlust beträgt <5 % nach 1 Million Entladezyklen.

Die Stabilität bei hohen Temperaturen hängt auch mit der Kornstruktur zusammen. Molybdän-Filamente mit feinen Körnern (5-10 μm) haben eine höhere Beständigkeit gegen Temperaturschock und eignen sich für hochfrequente Impulsentladungen (50-200 kHz). Chinesische Studien haben gezeigt, dass Molybdändraht, dotiert mit 0,5 % Yttrium, die Oxidationsrate bei 1500 °C um 30 % reduziert und so die Lebensdauer in Hochtemperaturumgebungen verlängert. Werkzeugmaschinenhersteller auf der ganzen Welt haben die Hochtemperaturstabilität von Molybdändraht durch die Optimierung der Kühlsysteme für Betriebsmittel weiter verbessert.

### 2.5.2 Hohe Temperaturbeständigkeit

Unter Hochtemperaturbeständigkeit versteht man die Oxidations- und Erweichungsbeständigkeit von Molybdändraht bei kontinuierlich hohen Temperaturen. Molybdändraht lässt sich bei > 600°C an der Luft leicht zu flüchtigem $MoO_3$ bilden, aber in der wasserbasierten Arbeitslösung von WEDM wird die Oxidationsreaktion gehemmt und die hohe Temperaturbeständigkeit ist hervorragend. Nach den Forschungen von JSPE kann Molybdändraht bis zu 500 Stunden lang bei 1000 °C in deionisiertem Wasser mit einem Sauerstoffgehalt von < 10 ppm betrieben werden, und die Dicke der Oxidschicht auf der Oberfläche beträgt < 0,1 μm.

Molybdändraht, der mit Seltenerdelementen (wie Mo-La, Mo-Y) dotiert ist, hat eine bessere Hochtemperaturbeständigkeit, und die anfängliche Oxidationstemperatur wird auf mehr als 800 °C erhöht. Durch die hohe Temperaturbeständigkeit eignet sich Molybdändraht für die Verarbeitung

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

von Superlegierungen (wie z.B. Inconel 718, Schmelzpunkt ca. 1300°C), die in der Luft- und Raumfahrt weit verbreitet sind.

### 2.6 Weitere Eigenschaften des Molybdändrahterodierens

#### 2.6.1 Oberflächenbehandlung (schwarze Graphitemulsionsbeschichtung und weißer Molybdändraht)

Die Oberflächenbehandlung des Molybdändrahterodierens wird in zwei Typen unterteilt: schwarze Graphitemulsionsbeschichtung und weißer Molybdändraht:

Schwarze Graphitemulsionsbeschichtung: Die Oberfläche des Molybdändrahtes ist mit einer Graphitemulsion (Schmiermittel auf Kohlenstoffbasis) mit einer Dicke von ca. 1-2 μm beschichtet, die die Verschleißfestigkeit und Leitfähigkeit erhöht und die Reibungswärme während der Entladung reduziert. Die Graphitemulsionsbeschichtung schützt den Molybdändraht auch vor der Arbeitsflüssigkeit und verlängert die Lebensdauer (ca. 20-30% mehr). Auf dem chinesischen Markt werden 90 % des schnell laufenden Molybdändrahts auf diese Weise verarbeitet, was kostengünstig und für die hochfeste Verarbeitung geeignet ist.

Weißer Molybdändraht: Oxide und Verunreinigungen auf der Oberfläche werden durch Alkaliwäsche oder elektrolytisches Polieren entfernt, und der Ra-Wert kann 0,1 μm erreichen. Weißer Molybdändraht eignet sich für mittelgroße Drahtverläufe, reduziert Entladungsrückstände und verbessert die Oberflächenqualität (Ra 0,8-1,2 μm). Die meisten High-End-Molybdändrähte in Europa und Japan sind weiße Molybdändrähte, die für die Präzisionsformverarbeitung geeignet sind.

Die Wahl der Oberflächenbehandlung hängt von den Verarbeitungsanforderungen ab. Schwarzer Molybdändraht eignet sich eher für das Hochgeschwindigkeitsschneiden von schnellem Draht (Geschwindigkeit 150 $mm^2$/min), während weißer Molybdändraht bei der Hochpräzisionsbearbeitung (Genauigkeit ± 2 μm) gut abschneidet. Globale Hersteller optimieren Beschichtungsformulierungen, wie z. B. die Zugabe von Kohlenstoff-Nanopartikeln, um die Entladeeffizienz und Haltbarkeit weiter zu verbessern.

#### 2.6.2 Abriebfestigkeit und Haltbarkeit

Die Verschleißfestigkeit von Molybdändraht bezieht sich auf seine Fähigkeit, dem Verschleiß von Führungsrädern, leitfähigen Blöcken und Entladungen zu widerstehen. Die hohe Härte (HV 180-220) und die Graphitemulsionsbeschichtung von Molybdän machen es verschleißfester als Messingdraht (ca. 1/2 Messing).

Die Haltbarkeit hängt auch mit der Geschwindigkeit des Filaments zusammen. Die Verschleißfestigkeit und Ermüdungsbeständigkeit von dotiertem Molybdändraht (z. B. Mo-La) wird verbessert, und die Drahtbruchrate wird auf 0,1 bis 0,5 Mal pro Stunde reduziert (reiner Molybdändraht beträgt etwa 0,5 bis 1 Mal pro Stunde). Globale Studien haben gezeigt, dass die Optimierung der Zugregelung und der Kühlmitteldurchflussraten die Lebensdauer von Molybdändrähten weiter verlängern kann.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**2.7 Sicherheitsdatenblatt für Molybdändrahterodieren von CTIA GROUP LTD**

Im Folgenden finden Sie eine Zusammenfassung des Sicherheitsdatenblatts (MSDS) auf Basis der CTIA GROUP LTD, das den internationalen Chemikaliensicherheitsstandards (wie OSHA und GHS) entspricht. Sicherheitsdatenblätter enthält chemische, physikalische und sicherheitstechnische Informationen zu Molybdändraht, um die Sicherheit während der Produktion, des Transports und der Verwendung zu gewährleisten.

Produktidentifikation

Produktname: Molybdän-Drahterodieren

CAS-Nr.: 7439-98-7 (Molybdän)

Chemische Bezeichnung: Molybdän (Mo), Reinheit≥99,3%, kann Spuren von Lanthan (La) oder Yttrium (Y) enthalten

Verwendung: Drahtdraht für die Drahterodierbearbeitung

Identifizierung von Gefahren

Physikalische Gefahren: Massiver Molybdändraht birgt keine Explosionsgefahr oder Entflammbarkeit; Feinmolybdänstaub kann Staubexplosionen verursachen (Mindestzündenergie > 100 mJ).

Gesundheitsgefahren: Das langfristige Einatmen von Molybdänstaub kann die Atemwege reizen, daher wird empfohlen, eine Schutzmaske (NIOSH N95) zu tragen. Es besteht keine offensichtliche Gefahr durch Hautkontakt.

Umweltgefahren: Molybdän ist ein Metall mit geringer Toxizität, und Abfallstoffe müssen als Sondermüll behandelt werden, um eine Verschmutzung der Gewässer zu vermeiden.

Zusammensetzung und Informationen zur Zusammensetzung

Molybdän (Mo): ≥99,3 %

Verunreinigungen: Fe≤0,005%, Ni≤0,003%, C≤0,01%, O≤0,003%

Dotierte Elemente: La oder Y≤1% (falls zutreffend)

Oberflächenbeschichtung: Graphitemulsion (kohlenstoffbasierter, ungefährlicher Stoff)

Erste-Hilfe-Maßnahmen

Inhalation: Bringen Sie die Person an einen beatmeten Ort und suchen Sie sofort einen Arzt auf, wenn das Atmen schwierig ist.

Hautkontakt: Mit Seifenwasser ohne spezielle Behandlung waschen.

Blickkontakt: 15 Minuten lang mit viel Wasser spülen und bei anhaltender Reizung einen Arzt aufsuchen.

Versehentliches Verschlucken: Unerwartete Situation, suchen Sie sofort einen Arzt auf und stellen Sie MSDS zur Verfügung.

Brandschutzmaßnahmen

Feuerlöschmittel: Trockenpulver oder Kohlendioxid-Feuerlöscher, Wasser ist verboten.

Besondere Gefahren: $MoO_3$-Dampf kann bei hohen Temperaturen freigesetzt werden, und es müssen Überdruck-Atemschutzmasken getragen werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Notfallbehandlung von Leckagen

Methode: Sammeln Sie verstreute Molybdänfilamente oder Staub, verschließen Sie sie in Sondermüllbehältern, um Staub zu vermeiden.

Schutzausrüstung: Tragen Sie Schutzhandschuhe, Staubmasken und Schutzbrille.

Umschlag & Lagerung

Vorsichtsmaßnahmen für den Betrieb: Um Molybdänstaub zu vermeiden, sollte der Operationsbereich gut belüftet sein. Die Verarbeitungsanlage sollte mit einem Staubsammelsystem ausgestattet sein.

Lagerbedingungen: In einer trockenen und belüfteten Umgebung (Temperatur < 40°C, Luftfeuchtigkeit <60%) fern von starken Säuren, starken Laugen und Oxidationsmitteln lagern.

Expositionskontrolle und persönlicher Schutz

Technische Kontrolle: Verwenden Sie lokale Absauggeräte, um die Staubkonzentration < 10 mg/m³ zu regeln.

Persönlicher Schutz: Tragen Sie eine NIOSH-zertifizierte Staubmaske, Schutzhandschuhe und eine Schutzbrille.

Physikalisch-chemische Eigenschaften

Aussehen: silbrig-weißer Metalldraht oder schwarz beschichteter Draht, Durchmesser 0,08-0,3 mm

Schmelzpunkt: 2623 °C

Dichte: 10,22 g/cm³

Löslichkeit: unlöslich in Wasser, schwer löslich in starken Säuren.

Stabilität und Reaktivität

Stabilität: Stabil bei Raumtemperatur und WEDM-Arbeitslösung, oxidiert in Hochtemperaturluft (>600 °C).

Unverträgliche Substanzen: starke Oxidationsmittel (z. B. Salpetersäure, Wasserstoffperoxid).

Toxikologische Informationen

Akute Toxizität: LD50 (oral, Ratte) >5000 mg/kg, geringe Toxizität.

Chronische Toxizität: Das langfristige Einatmen hoher Konzentrationen von Molybdänstaub kann Lungenreizungen verursachen, und es gibt keine Hinweise auf Karzinogenität (IARC-Einstufung: keine).

Ökologische Informationen

Auswirkungen auf die Umwelt: Molybdändraht selbst hat keinen direkten Schaden für die Umwelt, aber der Abfall muss ordnungsgemäß recycelt werden, um zu vermeiden, dass er in das Gewässer gelangt.

Bioakkumulation: Kein signifikantes Risiko der Bioakkumulation.

Beseitigung

Methode: Gemäß den örtlichen Vorschriften wird es an eine professionelle Institution für das

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Recycling übergeben, und es wird eine Hochtemperaturschmelze empfohlen, um Molybdänmetall zurückzugewinnen.
Vorsichtsmaßnahmen: Es ist verboten, es nach Belieben zu entsorgen, um eine Verschmutzung des Bodens oder der Wasserquelle zu vermeiden.

Versandinformationen
UN-Nummer: nicht gefährliches Gut, keine UN-Nummer.
Versandanforderungen: Verwenden Sie eine luftdichte Verpackung, um Staubleckagen zu vermeiden und internationale Versandvorschriften (z. B. IATA) einzuhalten.

Regulatorische Informationen
Entspricht den chinesischen GB/T 4182-2017-, US-amerikanischen ASTM B387- und EU-REACH-Vorschriften.
Unterliegt den OSHA- (29 CFR 1910.1200) und GHS-Chemikalienklassifizierungsstandards.

Zusatzinformation
Lieferant: CTIA GROUP LTD
Telefonnummer: 0592-5129696/5129595

CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

## Kapitel 3 Klassifizierung des Molybdändrahterodierens

Je nach Leistung, Anwendungsszenarien und Verarbeitungstechnologie kann das Molybdändrahterodieren in hocheffizienten Molybdändraht für das Erodieren, hochpräzisen Molybdändraht für das Erodieren, schnelles Draht-Molybdändrahterodieren, mittleres Drahtmolybdändrahterodieren und Spezialmolybdändraht für das Erodieren unterteilt werden. Diese Klassifizierungen spiegeln die vielfältigen Anforderungen von Molybdändraht im Drahterodieren (WEDM) wider und decken ein breites Anwendungsspektrum ab, von der hocheffizienten Großserienproduktion bis hin zur hochpräzisen, komplexen Formbearbeitung. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Einführung in die Eigenschaften, den Herstellungsprozess, die anwendbare Ausrüstung und die typischen Anwendungen verschiedener Arten von Molybdändraht.

### 3.1 Hocheffizienter Molybdändraht für das Erodieren

Hocheffizienter Molybdändraht für das Erodieren ist für den Drahterodierprozess konzipiert, der eine hohe Schnittgeschwindigkeit und Produktionseffizienz anstrebt, und wird häufig in Schnelldrahtanlagen verwendet, insbesondere in der Formenbau- und Hardwareverarbeitungsindustrie in China und Südostasien. Hocheffizienter Molybdändraht maximiert die Entladeeffizienz und Haltbarkeit durch Optimierung der Materialrezeptur und Oberflächenbehandlung und eignet sich für die Bearbeitung von Werkstücken mit mittleren Präzisionsanforderungen.

#### 3.1.1 Funktionen

Zugfestigkeit: 800-1000 MPa, wodurch sichergestellt wird, dass der Draht bei hoher Spannung (15-20 N) und hoher Geschwindigkeit (Liniengeschwindigkeit 8-12 m/s) nicht leicht zu brechen ist.
Drahtdurchmesser: 0,18-0,25 mm wird üblicherweise verwendet, und die Toleranz beträgt ± 0,001 mm, um einen stabilen Auslassspalt (ca. 0,27-0,375 mm) zu gewährleisten.
Oberflächenbehandlung: Eine schwarze Graphitemulsionsbeschichtung (Dicke 1-2 μm) wird in der Regel verwendet, um die Verschleißfestigkeit und Leitfähigkeit zu verbessern und den Ableitungswärmeverlust zu reduzieren.
Schnittgeschwindigkeit: bis zu 150-200 mm²/min, ca. 30% höher als gewöhnlicher Molybdändraht (100-150 mm²/min).
Haltbarkeit: 6.000-10.000 mm² können in einem einzigen Gebrauch geschnitten werden, mit einer Lebensdauer von 500-800 Stunden (abhängig von den Betriebsbedingungen).

#### 3.1.2 Herstellungsverfahren

Hocheffizienter Molybdändraht wird in der Regel aus hochreinem Molybdän (Mo≥99,5%) als Grundmaterial hergestellt, das teilweise mit 0,3-0,5% Seltenerdelementen (wie Lanthan oder Yttrium) dotiert ist, um die Zugfestigkeit und thermische Ermüdungsbeständigkeit zu verbessern. Der Produktionsprozess umfasst:

Pulvermetallurgie: Es wird hochreines Molybdänpulver mit einer Partikelgröße von 5-10 μm ausgewählt, und der Rohling wird durch isostatisches Pressen geformt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Rotationskneten und Drahtziehen: Warmzieh- und Kaltziehverfahren in mehreren Durchgängen, kombiniert mit Diamantdrahtziehwerkzeugen, um die Gleichmäßigkeit des Drahtdurchmessers zu gewährleisten.
Oberflächenbeschichtung: Das Graphitemulsionssprüh- oder Tauchverfahren wird verwendet, um eine gleichmäßige Schmierschicht auf Kohlenstoffbasis zu bilden und den Reibungskoeffizienten (ca. 0,1-0,2) zu reduzieren.
Wärmebehandlung: Das Vakuumglühen (1000-1200 °C) beseitigt innere Spannungen und verbessert die Zähigkeit und Verschleißfestigkeit.

### 3.1.3 Anwendungsszenarien

Hocheffizienter Molybdändraht wird hauptsächlich in Schnelldrahtlaufanlagen verwendet, um Materialien wie Gesenkstahl (wie Cr12MoV), Kohlenstoffstahl und Aluminiumlegierungen zu verarbeiten. Typische Anwendungen sind:

Stanzwerkzeuge: wie z.B. Blechformen für Automobile, Schnittstärke 20-100 mm, Oberflächenrauheit Ra 2,0-3,2 μm.
Hardware-Teile: Bei der Grobbearbeitung von Zahnrädern und Kettenrädern hat Effizienz Vorrang vor Präzision.
Massenproduktion: wie z. B. die Großserienfertigung von Formen für Haushaltsgeräte und Kunststoffformen.

## 3.2 Hochpräziser Molybdändraht für das Erodieren

Hochpräziser Molybdändraht für das Erodieren ist für die hochpräzise und komplexe Formbearbeitung konzipiert und eignet sich für mittlere Drähte und einige langsame Drahtlaufgeräte und wird häufig in der Luft- und Raumfahrt, in der Medizintechnik und in der Elektronikindustrie eingesetzt. Im Vergleich zu hocheffizientem Molybdändraht liegt der Schwerpunkt auf Schnittgenauigkeit und Oberflächenqualität.

### 3.2.1 Funktionen

Zugfestigkeit: 900-1200 MPa, geeignet für Hochspannungsbetrieb (12-18 N), gewährleistet geringe Vibrationen und stabile Entladung.
Drahtdurchmesser: 0,08-0,15 mm, Toleranz ± 0,0005 mm, geeignet für Mikrofabrikation (Scanspalt 0,12-0,225 mm).
Oberflächenbehandlung: Weißer Molybdändraht (Alkaliwäsche oder elektrolytisches Polieren) ist die Hauptbehandlung, und die Oberflächenrauheit beträgt Ra 0,1-0,15 μm, wodurch die Entladungsrückstände reduziert werden.
Schnittgenauigkeit: bis zu ±2-3 μm, Oberflächenrauheit Ra 0,8-1,2 μm.
Lebensdauer: 4000-7000 $mm^2$ pro Schnittbereich, 300-600 Stunden Lebensdauer.

### 3.2.2 Herstellungsverfahren

Hochpräziser Molybdändraht erfordert eine höhere Reinheit (Mo≥99,95 %) und eine strengere Prozesskontrolle:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Rohstoffe: Vakuumschmelzen von Molybdänbarren, der Gehalt an Verunreinigungen (z. B. Fe, Ni) wird unter 0,001 % kontrolliert.
Präzisionsdrahtziehen: mit natürlicher Diamantform, Mehrgang-Kaltziehen, Abweichung des Drahtdurchmessers < 0,0005 mm.
Oberflächenbehandlung: Elektrolytisches Polieren entfernt Mikrodefekte an der Oberfläche und verbindet sich mit chemischer Gasphasenabscheidung (CVD) zu einer ultradünnen Schutzschicht.
Wärmebehandlung: mehrstufiges Glühen (800-1000°C), Korngrößenkontrolle von 3-5 μm, verbesserte Temperaturwechselbeständigkeit.

### 3.2.3 Anwendungsszenarien

Hochpräziser Molybdändraht eignet sich für die hochpräzise Form- und Teilebearbeitung:

Präzisionswerkzeuge: wie Spritzgussformen, Halbleiterformen, die komplexe Konturen (z. B. Mikrozahnformen) mit einer Genauigkeit von ± 3 μm bearbeiten.
Luft- und Raumfahrt: Bearbeitung von Teilen aus Titanlegierungen (z. B. Ti-6Al-4V) oder Superlegierungen (z. B. Inconel 718) mit einer Dicke von 10-50 mm.
Medizinprodukte: wie z.B. orthopädische Implantate, Gefügebearbeitung von chirurgischen Instrumenten, Oberflächenrauheit Ra<1,0 μm.

## 3.3 Molybdändraht für HS-EDM

Molybdändraht für HS-EDM ist ein Standard-Verschleißteil für Schnelldrahtanlagen (Liniengeschwindigkeit 8-12 m/s), das sich durch hohe Kostenleistung und Recycling auszeichnet und in China und Südostasien in der Formenbau- und Hardwareverarbeitungsindustrie weit verbreitet ist.

### 3.3.1 Funktionen

Zugfestigkeit: 700-900 MPa, geeignet für mittlere Spannung (10-15 N).
Drahtdurchmesser: 0,16-0,20 mm (0,18 mm ist die gebräuchlichste), Toleranz ± 0,001 mm.
Oberflächenbehandlung: Schwarze Graphitemulsionsbeschichtung (1-3 μm dick) zur Reduzierung von Reibung und Wärmeverlust.
Schnittgeschwindigkeit: 100-150 mm²/min, Oberflächenrauheit Ra 2,5-3,2 μm.
Recycling: 500-1000 Zyklen, Einzelwalzenschnitt (2000-4000 m) Schnittbereich bis 8000-12000 mm².

### 3.3.2 Herstellungsverfahren

Rohstoff: Mo ≥99,3%, wirtschaftlicher Molybdändraht wird oft dotiert oder in geringer Menge dotiert (0,1-0,3% La).
Drahtziehprozess: Mehrgang-Warmziehen, Hartmetall-Drahtziehmatrize, die Kosten sind niedriger, aber die Genauigkeit ist etwas geringer.
Oberflächenbehandlung: Tauchgraphitemulsion, die Gleichmäßigkeit der Beschichtung wird bei ±0,5 μm kontrolliert.
Glühen: Kontinuierliches Glühen (900-1100 °C), um Festigkeit und Zähigkeit auszugleichen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 3.3.3 Anwendungsszenarien

Schnelldraht-Molybdändraht wird vor allem für kostensensibles Schruppen eingesetzt:

Stanzwerkzeuge: wie z. B. Formen für Haushaltsgeräte, Formen für Autoteile, Verarbeitungsdicke 20-80 mm.
Hardware-Teile: z. B. die Massenproduktion von Muttern und Befestigungselementen.
Bei nicht hochpräzisen Teilen: Wie z. B. bei Baumaschinenteilen liegen die Genauigkeitsanforderungen bei ± 10-20 μm.

### 3.3.4 Globale Markt- und Technologietrends

China macht etwa 70 % des Weltmarktes für Schnelllaufdraht und Molybdändraht aus, und der Preis liegt bei nur 0,1 bis 0,2 Yuan/Meter, was viel niedriger ist als der von Messingdraht (0,5 bis 1 Yuan/Meter). Zu den Hauptlieferanten gehören China Jindui City und Ningbo Zhongyuan. Zu den Technologietrends gehören die Entwicklung kostengünstiger, hochfester Molybdändrähte (z. B. Ce-dotiert) und die automatisierte Gewindetechnologie zur Senkung der Arbeitskosten. Die Nachfrage in den südostasiatischen Märkten (z. B. Vietnam und Thailand) wächst rasant mit einer CAGR von 5 % von 2025 bis 2030.

## 3.4 Molybdändraht für MS-EDM

Durch die Kombination der Effizienz des schnellen Drahtschneidens und der Genauigkeit des langsamen Drahtschneidens eignet sich Molybdändraht für MS-EDM für mittlere Drahtanlagen, die in den letzten Jahren auf dem chinesischen Markt schnell populär geworden sind und nach und nach einige schnelle Drahtanwendungen ersetzen.

### 3.4.1 Funktionen

Zugfestigkeit: 900-1100 MPa, geeignet für hohe Spannungen (12-18 N).
Drahtdurchmesser: 0,12-0,18 mm, Toleranz ± 0,0008 mm.
Oberflächenbehandlung: weißer Molybdändraht (Ra 0,1-0,2 μm) oder dünn beschichteter Molybdändraht zur Reduzierung von Entladungsrückständen.
Schnittgenauigkeit: ±3-5 μm, Oberflächenrauheit Ra 1,0-1,6 μm.
Haltbarkeit: 5000-8000 mm² pro Schnittbereich, 400-700 Stunden Lebensdauer.

### 3.4.2 Herstellungsverfahren

Rohstoffe: Mo ≥ 99,7%, oft dotiert mit 0,5-1% Seltenerdelementen (wie La, Y).
Präzisionsdrahtziehen: mit Diamantmatrize, Mehrgang-Kaltziehen, Abweichung des Drahtdurchmessers < 0,0008 mm.
Oberflächenbehandlung: Elektropolieren oder dünne Graphitemulsionsbeschichtung (Dicke < 1 μm).
Wärmebehandlung: mehrstufiges Vakuumglühen (800-1000°C), Korngröße 3-5 μm.

### 3.4.3 Anwendungsszenarien

Molybdändraht für MS-EDM eignet sich für die Bearbeitung mit mittlerer Präzision und hoher Effizienz:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Präzisionsformen: wie z. B. Formen von Handygehäusen, Formen von elektronischen Steckverbindern, Verarbeitungsdicke von 10-50 mm.
Luftfahrtteile: wie Strukturteile aus Aluminiumlegierungen und Titanlegierungen mit einer Genauigkeit von ± 5 μm.
Medizinische Geräte: z.B. Dentalwerkzeuge, Miniaturimplantate, Oberflächenrauheit Ra<1,2 μm.

### 3.5 Spezieller Molybdändraht für das Erodieren

Spezieller Molybdändraht für das Erodieren ist für bestimmte Anwendungen oder Materialien konzipiert, wie z. B. Materialien mit extrem hoher Härte, ultradünne Werkstücke oder die Verarbeitung in extremen Umgebungen, und ist für High-End-WEDM-Geräte angepasst.

#### 3.5.1 Funktionen

Zugfestigkeit: 1000-1400 MPa, dotiert mit Seltenen Erden oder Legierungselementen (wie La, Y, Zr).
Drahtdurchmesser: 0,05-0,12 mm, Toleranz ± 0,0005 mm, geeignet für die Mikrobearbeitung.
Oberflächenbehandlung: weißer Molybdändraht oder Verbundbeschichtung (z. B. Nano-Kohlenstoff- oder Keramikbeschichtung), Ra 0,05-0,1 μm.
Schnittgenauigkeit: ±1-2 μm, Oberflächenrauheit Ra 0,4-0,8 μm.
Besondere Eigenschaften: Hochtemperatur-Oxidationsbeständigkeit (>800°C), Korrosionsbeständigkeit oder elektromagnetische Störfestigkeit.

#### 3.5.2 Herstellungsverfahren

Rohstoffe: Mo ≥ 99,97%, dotiert mit 1-2% Seltenen Erden oder Übergangsmetallen (wie z.B. Zr, Ti).
Ultrapräzises Drahtziehen: Einkristalliner Diamantstempel mit einer Drahtdurchmesserabweichung von < 0,0003 mm.
Oberflächenbehandlung: Chemische Gasphasenabscheidung (CVD) oder physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) zur Bildung funktionaler Beschichtungen.
Wärmebehandlung: Glühen bei extrem niedrigen Temperaturen (600-800 °C), Korngröße 2-3 μm, erhöhte Beständigkeit gegen thermische Ermüdung.

#### 3.5.3 Anwendungsszenarien

Spezieller Molybdändraht wird in anspruchsvollen Szenarien eingesetzt:

Halbleiterindustrie: Bearbeitung von Silizium-Wafer-Formen und mikroelektronischen Bauteilen mit einer Genauigkeit von ± 1 μm.
Luft- und Raumfahrt: Verarbeitung von Superlegierungen (z.B. GH4169) oder keramischen Verbundwerkstoffen mit einer Dicke von 5-30 mm.
Medizinische Industrie: z.B. mikrochirurgische Instrumente, Implantat-Mikrostrukturen, Ra < 0,5 μm.
Spezialwerkstoffe: Präzisionsbearbeitung von Kohlefaserverbundwerkstoffen und Graphitelektroden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

## Kapitel 4 Vorbereitungs- und Produktionsprozess des Molybdändrahterodierens

Die Vorbereitung des Molybdändrahterodierens ist ein komplexer Prozess, der mehrere Schritte von der Auswahl des Rohmaterials bis zur Präzisionsbearbeitung umfasst, um sicherzustellen, dass der Molybdändraht eine hervorragende Hochtemperaturstabilität, Zugfestigkeit und Oberflächenqualität aufweist, um die hohen Präzisions- und Effizienzanforderungen des Drahterodierens (WEDM) zu erfüllen. In diesem Kapitel werden die Rohstoffauswahl, der Produktionsprozess, die Schlüsseltechnologien und die Qualitätskontrollmaßnahmen des Molybdändrahterodierens detailliert beschrieben und die Bedeutung der Anwendung fortschrittlicher Fertigungstechnologien und der Prozessoptimierung auf globaler Ebene hervorgehoben.

### 4.1 Auswahl der Rohstoffe für das Molybdändrahterodieren

Die Auswahl der Rohstoffe ist die Grundlage für die Herstellung des Molybdändrahterodierens, was sich direkt auf die chemische Stabilität, die mechanischen Eigenschaften und die Verarbeitungseigenschaften auswirkt. Das Molybdändrahterodieren basiert hauptsächlich auf hochreinem Molybdän und ist entsprechend den Leistungsanforderungen mit Seltenerdspuren dotiert, um seine Leistung in Hochtemperatur-Entladungsumgebungen zu optimieren.

#### 4.1.1 Hochreine Molybdän-Rohstoffe

Die Herstellung von Molybdändrahterodieren beginnt mit der Auswahl von hochreinen Molybdän-Rohstoffen, die in der Regel in Form von Molybdänpulver oder Molybdänbarren erhältlich sind. Molybdän ist ein silbrig-weißes Übergangsmetall mit einem hohen Schmelzpunkt und ausgezeichneter chemischer Stabilität, wodurch es für die raue Umgebung von transienten Hochtemperaturentladungen in WEDM geeignet ist. Der Rohstoff für die Herstellung von

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

hochreinem Molybdän wird zunächst aus Molybdänkonzentrat (hauptsächlich $MoS_2$) gewonnen, das durch Rösten in Molybdänoxid ($MoO_3$) umgewandelt wird, und anschließend in einer mehrstufigen Reduktion in einer Wasserstoffatmosphäre zu hochreinem Molybdänpulver reduziert. Der Reduktionsprozess erfordert eine strenge Kontrolle von Temperatur und Atmosphäre, um Verunreinigungen wie Sauerstoff und Schwefel zu entfernen und sicherzustellen, dass die Reinheit des Molybdänpulvers den Anforderungen der Industrie entspricht.

Die Gleichmäßigkeit der Partikelgröße und die chemische Reinheit von hochreinem Molybdänpulver sind entscheidend für nachfolgende Prozesse. Die feinen und gleichmäßigen Molybdänpulverpartikel tragen dazu bei, einen dichten Rohling zu bilden, wodurch Porosität und Defekte während des Sinterprozesses reduziert werden. Der weltweit führende Hersteller nutzt Sprühtrocknungs- und Plasma-Sphäroidisierungstechnologien, um die Partikelmorphologie und Fließfähigkeit von Molybdänpulvern zu optimieren. Darüber hinaus müssen Verunreinigungen wie Kohlenstoff, Eisen und Nickel während des Produktionsprozesses kontrolliert werden, um die Leitfähigkeit und die mechanischen Eigenschaften von Molybdändraht nicht zu beeinträchtigen. Die hohe Qualität des Molybdänpulvers bildet die Grundlage für den anschließenden Sinter- und Ziehprozess und sorgt so für eine stabile Entladeleistung und Haltbarkeit des Molybdändrahtes in WEDM.

### 4.1.2 Dotierung von Seltenen Erden (z.B. Lanthan, Yttrium)

Um die Zugfestigkeit, die Hochtemperaturbeständigkeit und die Oxidationsbeständigkeit von Molybdändrahterodiermaschinen zu verbessern, dotieren Hersteller die Molybdänmatrix häufig mit Seltenerdspurenelementen wie Lanthan (La), Yttrium (Y) oder Cer (Ce). Die Seltenerddotierung erhöht die Stabilität von Molybdän in Umgebungen mit hoher Zugfestigkeit und hohen Temperaturentladungen, indem sie seine Kristallstruktur und mikroskopischen Eigenschaften verändert. Zum Beispiel kann Lanthan das Molybdänkorn raffinieren, die Festigkeit der Korngrenzen erhöhen und den interkristallinen Schlupf bei hohen Temperaturen reduzieren; Yttrium kann die Oxidationsbeständigkeit verbessern und den Oxidationsverlust der Oberfläche des Molybdändrahtes während des Entladeprozesses verlangsamen.

Der Dotierungsprozess wird in der Regel in der Molybdänpulveraufbereitung oder im Sinterstadium durchgeführt. Eine gängige Methode ist das Mischen von Seltenerdoxiden (z. B. $La_2O_3$, $Y_2O_3$) mit Molybdänpulver, das durch Kugelmahlen oder Nassmischen gleichmäßig verteilt wird. Eine andere Methode besteht darin, Seltenerdelemente durch chemische Mitfällung in die Molybdänmatrix einzubringen, um eine homogene feste Lösung oder diffuse Phase zu bilden. Globale Hersteller haben Hochleistungs-Molybdändrähte mit präziser Kontrolle von Dotierungsverhältnissen und -verteilungen entwickelt und damit ihre Leistung in hochpräzisen Drahtzuführanlagen für mittlere Medien erheblich verbessert. Auch die Dotierung von Seltenen Erden sollte im Übermaß vermieden werden, um die Bildung spröder Phasen zu verhindern oder die Glätte des Drahtziehprozesses zu beeinträchtigen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 4.2 Herstellungsprozess des Molybdändrahterodierens

Der Produktionsprozess von Drahterodierdraht umfasst Molybdän-Pulvermetallurgie, Sintern und Schmieden, Rotationspressen, Drahtziehen und Oberflächenbehandlung, wobei jeder Schritt genau kontrolliert werden muss, um sicherzustellen, dass die Leistung von Molybdändraht den Anforderungen von WEDM entspricht. Im Folgenden werden die technischen Highlights und globalen Practices für jeden Prozessschritt ausführlich beschrieben.

#### 4.2.1 Molybdän-Pulvermetallurgie

Die Molybdänpulvermetallurgie ist der Ausgangspunkt für die Aufbereitung von Molybdändrahtrohlingen, die darauf abzielt, hochreines Molybdänpulver in dichte Molybdänstäbe oder Molybdänrohlinge umzuwandeln. Der Prozess beginnt mit dem Pressen von Molybdänpulver, das in der Regel unter hohem Druck (100-200 MPa) mit Hilfe der Kaltisostatischen Presstechnologie (CIP) in einen zylindrischen Rohling gepresst wird. Das kaltisostatische Pressen sorgt für eine gleichmäßige Knüppeldichte und reduziert die innere Porosität. Anschließend wird der Knüppel in einer Wasserstoff- oder Vakuumumgebung bei einer Temperatur vorgesintert, die in einem niedrigen Bereich (ca. 1000-1200 °C) geregelt wird, um flüchtige Verunreinigungen zu entfernen und die Festigkeit des Knüppels zu erhöhen.

Der Schlüssel zur Molybdän-Pulvermetallurgie liegt in der Kontrolle der Partikelgröße und des Verdichtungsprozesses des Pulvers. Feine Molybdänpulverpartikel (5-10 μm groß) tragen zur Bildung von Rohlingen mit hoher Dichte bei, aber zu feine Pulver können zu einem schlechten Verlauf führen und die Gleichmäßigkeit der Kompression beeinträchtigen. Weltweit tätige Hersteller sorgen für ein homogenes Gefüge des Knüppels, indem sie den Pulversieb- und Mischprozess optimieren. Darüber hinaus muss während des Pressvorgangs Luftverunreinigungen vermieden werden, um Oxidation oder Porositätsbildung zu verhindern, die beim anschließenden Ziehen zu der Gefahr eines Drahtbruchs führen können.

#### 4.2.2 Sintern und Schmieden

Das Sintern ist ein kritischer Schritt bei der Umwandlung von gepressten Rohlingen in Molybdänstäbe mit hoher Dichte, in der Regel in einem Hochtemperatur-Vakuum- oder Wasserstoffschutzofen. Die Sintertemperatur steigt allmählich auf 1800-2000 °C an, wodurch sich die Molybdänpartikel zu einer dichten Metallstruktur verbinden können. Während des Sinterprozesses müssen die Heizgeschwindigkeit und die Haltezeit gesteuert werden, um ein Überwachsen der Körner oder die Bildung von Rissen zu vermeiden. Die Dichte von hochwertigen gesinterten Molybdänstäben liegt nahe am theoretischen Wert (10,22 g/cm³) und die innere Porosität beträgt weniger als 1 %, was eine solide Grundlage für das anschließende Schmieden bietet.

Das Schmieden verbessert die Dichte und die mechanischen Eigenschaften von Molybdänstäben weiter, in der Regel unter Verwendung von Warmschmiede- oder Warmschmiedetechniken. Das Warmschmieden erfolgt bei 1200-1500 °C, und der Molybdänstab wird durch Hämmern oder Pressen plastisch verformt, wodurch die Körner veredelt und kleinere Fehler beseitigt werden. Die weltweit führenden Unternehmen verwenden einen mehrstufigen Schmiedeprozess, kombiniert mit einer präzisen Temperaturregelung, um sicherzustellen, dass die Kristallstruktur von

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Molybdänstäben homogen und die Zugfestigkeit und Zähigkeit optimal sind. Der geschmiedete Molybdänstab hat typischerweise einen Durchmesser von 10-20 mm und ist bereit für das anschließende Rotationskneten und Drahtziehen.

### 4.2.3 Rotationsknetverfahren

Das Rotationsschmieden ist ein wichtiger Schritt bei der Verarbeitung von Molybdänstäben zu schlanken Molybdändrahtrohlingen, und der radiale Druck auf die Molybdänstäbe wird durch Rotationsschmiedeanlagen ausgeübt, um ihren Durchmesser allmählich zu verringern. Das Rotationskneten wird bei hohen Temperaturen (1000-1300 °C) in Kombination mit einem Wasserstoffschutz gegen Oxidation durchgeführt. Die Rotationsschmiedeanlage ist mit mehreren Sätzen hochpräziser Matrizen ausgestattet, und der Durchmesser des Molybdänstabs wird schrittweise von 10-20 mm auf 1-3 mm reduziert, um einen groben Drahtrohling zu bilden, der zum Drahtziehen geeignet ist.

Das Herzstück des Rotationsknetprozesses ist die Regelung der Verformungsgeschwindigkeit und des Temperaturgradienten. Eine schnelle Verformung kann zu Rissen auf der Oberfläche des Molybdänstabs führen, während eine zu hohe Temperatur grobe Körner verursachen und die Festigkeit verringern kann. Hersteller auf der ganzen Welt erreichen mit automatisierten Rotationsknetanlagen eine präzise Steuerung, um die Rundheit und Oberflächenqualität von groben Drahtrohlingen sicherzustellen. Durch das Rotationskneten kann auch die faserige Kristallstruktur von Molybdän verbessert, die Zugfestigkeit und Zähigkeit verbessert und die Grundlage für den nachfolgenden Drahtziehprozess gelegt werden.

### 4.2.4 Drahtziehverfahren (Kaltziehen und Warmziehen)

Beim Drahtziehverfahren wird der grobe Drahtrohling nach dem Rotationsschmieden in den endgültigen Drahtdurchmesser (0,08-0,3 mm) des Molybdändrahterodierens eingezogen, der in zwei Arten unterteilt ist: Warmziehen und Kaltziehen. Das Wärmeziehen erfolgt bei 800-1000 °C, und die Duktilität des Molybdändrahts wird mit einem Heizofen aufrechterhalten, der für große Verformungen in der Anfangsphase geeignet ist. Das Kaltziehen erfolgt bei Raumtemperatur oder niedriger Temperatur (<200 °C), und der Drahtdurchmesser wird durch Mehrgangziehen allmählich reduziert, was für hochpräzises Formen geeignet ist.

Im Ziehprozess werden hochpräzise Ziehsteine (in der Regel Naturdiamant oder polykristalliner Diamant) verwendet, um die Gleichmäßigkeit des Drahtdurchmessers und die Oberflächenglätte zu gewährleisten. Schmierstoffe wie Graphitemulsion oder Schmierstoffe auf Ölbasis werden verwendet, um die Reibung zu verringern und Kratzer auf der Oberfläche des Molybdändrahtes zu verhindern. Weltweit tätige Hersteller verwenden einen mehrstufigen Ziehprozess in Kombination mit Zwischenglühen (600-800 °C), um Spannungen abzubauen und die mechanischen Eigenschaften und die geometrische Genauigkeit von Molybdändraht sicherzustellen. Der Kaltziehprozess ist besonders wichtig, um die Körner zu veredeln und die Zugfestigkeit und die geringen Dehnungseigenschaften des Molybdändrahtes zu verbessern.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 4.2.5 Oberflächenbehandlung von Molybdändrahterodieren (Graphitemulsionsbeschichtung, Alkaliwäsche, elektrolytisches Polieren)

Oberflächenbehandlungen optimieren die Ableitleistung, die Abrieb- und Korrosionsbeständigkeit von Molybdändraht, zu den gängigen Verfahren gehören die Graphitemulsionsbeschichtung, das Laugenwaschen und das elektrolytische Polieren:

Graphitemulsionsbeschichtung: Molybdändraht wird mit einer Graphitemulsion auf Kohlenstoffbasis eingetaucht oder besprüht, um eine schwarze Schmierschicht mit einer Dicke von 1-3 μm zu bilden, die die elektrische Leitfähigkeit und Verschleißfestigkeit erhöht und die Reibungswärme während der Entladung reduziert. Die Graphitemulsionsbeschichtung eignet sich für schnell gehenden Molybdändraht, der auf dem chinesischen Markt in der Formenverarbeitung weit verbreitet ist.

Ätzende Wäsche: Verwenden Sie Natriumhydroxid oder Kaliumhydroxidlösung, um die Oberfläche des Molybdändrahtes zu reinigen, um Oxide und Verunreinigungen zu entfernen und einen strahlend weißen Molybdändraht zu bilden. Die Oberflächenrauheit des Molybdändrahtes nach dem Alkaliwaschen ist gering, was für hochpräzise mittlere Drahtlaufgeräte geeignet ist.

Elektrolytisches Polieren: Die Oberfläche des Molybdändrahtes wird durch elektrochemische Reaktion weiter geglättet, um einen Spiegeleffekt (Ra 0,1-0,15 μm) zu erzielen, wodurch die Entladungsrückstände reduziert werden und er für die Präzisionsbearbeitung geeignet ist. Dieses Verfahren wird häufig von europäischen und japanischen Herstellern zur Herstellung von High-End-Molybdändraht verwendet.

Die Oberflächenbehandlung muss entsprechend der Verwendung von Molybdändraht ausgewählt werden. So eignet sich beispielsweise graphitemulsionsbeschichteter Molybdändraht für das Hochgeschwindigkeitsschneiden, während alkaligewaschener oder elektrolytisch polierter weißer Molybdändraht für die hochpräzise Bearbeitung verwendet wird. Globale Unternehmen automatisieren Beschichtungs- und Polieranlagen, um Gleichmäßigkeit und Konsistenz bei der Oberflächenbehandlung zu gewährleisten.

## 4.3 Schlüsseltechnologien des Molybdändrahterodierens

Die Leistungsfähigkeit des Molybdändrahterodierens beruht auf der Synergie mehrerer Schlüsseltechnologien, darunter hochpräzise Ziehwerkzeuge, Temperaturregelung und Wärmebehandlung sowie Optimierung des Dotierungsprozesses. Diese Technologien gewährleisten eine hohe Präzision und Stabilität von Molybdändraht in WEDM.

### 4.3.1 Hochpräzise Drahtziehwerkzeugtechnik

Hochpräzise Ziehsteine sind das Herzstück für die Gleichmäßigkeit des Drahtdurchmessers und der Oberflächenqualität des Molybdändrahtes. Matrizen aus natürlichem Diamant oder polykristallinem Diamant (PKD) sind aufgrund ihrer hohen Härte und Verschleißfestigkeit weit verbreitet. Die Aperturgenauigkeit der Ziehmatrize muss im Mikrometerbereich gesteuert werden, und die Oberflächengüte des Matrizenlochs ist hoch, um Kratzer oder Verformungen auf der Oberfläche des Molybdändrahtes zu vermeiden. Der weltweit tätige Hersteller fertigt mittels Laserbearbeitung und Ultrapräzisionsschleiftechnik Ziehformen, die eine Lochdurchmesserabweichung von weniger als


Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

0,5 µm gewährleisten.

Bei der Konstruktion des Ziehwerkzeugs müssen auch die Wärmeausdehnung und die Spannungsverteilung des Molybdändrahtes berücksichtigt werden. Der Kegelwinkel und der Schmierbereich des Matrizenlochs müssen optimiert werden, um die Reibungswärme und die Spannungskonzentration während des Ziehprozesses zu reduzieren. Der Multi-Pass-Ziehprozess in Kombination mit einer Echtzeitüberwachung (z.B. Lasermessschieber) stellt die Konsistenz und Rundheit des Molybdändrahtdurchmessers sicher und erfüllt die Anforderungen der hochpräzisen WEDM.

### 4.3.2 Temperier- und Wärmebehandlungstechnik

Die Temperaturregelung erfolgt durch das Sintern, Kneten, Drahtziehen und Oberflächenbehandlung der Molybdändrahtvorbereitung. Sintern und Rotationskneten erfolgen unter Vakuum- oder Wasserstoffschutz, wobei die Temperatur im Bereich von ±10°C präzise geregelt wird, um Oxidation oder grobe Körner zu vermeiden. Die Wärmebehandlung (Glühen) ist ein wichtiger Schritt, um die innere Spannung von Molybdändraht zu beseitigen, die Kristallstruktur zu optimieren und Festigkeit und Zähigkeit durch Erhitzen und langsames Abkühlen bei 600-1000 °C auszugleichen.

Hersteller auf der ganzen Welt verwenden Vakuumglühöfen oder kontinuierliche Wärmebehandlungsöfen, um eine gleichmäßige Temperatur zu gewährleisten. Die Wärmebehandlung muss auch an die Art des Molybdändrahtes angepasst werden, z. B. ist hocheffizienter Molybdändraht auf ein Glühen mit hoher Zähigkeit ausgerichtet, und hochpräziser Molybdändraht muss das Korn verfeinern, um die Festigkeit zu verbessern.

### 4.3.3 Optimierung des Dopingprozesses

Seltenerd-Dotierungsverfahren (z.B. Lanthan, Yttrium) verbessern die Zugfestigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit von Molybdän, indem sie dessen Mikrostruktur verändern. Der Dotierungsprozess muss sicherstellen, dass die Seltenerdelemente gleichmäßig verteilt sind und eine lokale Entmischung vermieden wird. Zu den gängigen Methoden gehören:

Pulverdotierung: In der Vorbereitungsstufe des Molybdänpulvers werden Seltenerdoxide zugesetzt, eine homogene Durchmischung wird durch Hochenergie-Kugelmahlen erreicht.
Flüssigphasendotierung: Seltenerdelemente werden durch chemische Co-Präzipitation in die Molybdänmatrix eingebracht, um eine nanoskalige diffuse Phase zu bilden.
Dampfphasendotierung: Das Einbringen von Seltenerdelementen durch Gasphasenabscheidung während der Sinter- oder Wärmebehandlungsphase.

## 4.4 Qualitätskontrolle des Molybdändrahterodierens

Die Qualitätskontrolle ist der Schlüssel zur Gewährleistung der Konsistenz und Zuverlässigkeit der Leistung von Drahterodierdraht, die die Konsistenz des Drahtdurchmessers, die Erkennung von Oberflächenfehlern und die Zugfestigkeitsprüfung abdeckt. Globale Hersteller stellen sicher, dass Molybdändraht die strengen Anforderungen von WEDM durch fortschrittliche

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Inspektionstechnologie und automatisierte Systeme erfüllt.

### 4.4.1 Kontrolle der Konsistenz des Drahtdurchmessers

Die Konsistenz des Drahtdurchmessers ist der Kernqualitätsindex des Molybdändrahterodierens, der sich direkt auf den Austragsspalt und die Bearbeitungsgenauigkeit auswirkt. Während des Produktionsprozesses wird der Durchmesser des Molybdändrahtes in Echtzeit durch einen Lasermessschieber überwacht und die Ziehparameter in Kombination mit einem automatischen Feedback-System angepasst. Die regelmäßige Inspektion und der Austausch der Ziehsteine gewährleisten die Genauigkeit der Matrizenlöcher und verhindern Abweichungen des Drahtdurchmessers. Das weltweit führende Unternehmen verwendet Mehrpunkt-Lasermesstechnologie, um Änderungen der Rundheit und des Durchmessers von Molybdändrähten in Echtzeit zu erkennen und so eine Konsistenz im Mikrometerbereich zu gewährleisten.

Darüber hinaus muss die Konsistenz des Drahtdurchmessers über die gesamte Rolle des Molybdändrahtes (2000-4000 m) stabil sein. Durch die Optimierung der Ziehgeschwindigkeit und der Schmierstoffformulierung reduziert der Hersteller die Schwankungen des Drahtdurchmessers und gewährleistet eine stabile Leistung des Molybdändrahts bei hohen Geschwindigkeiten und mehreren Zyklen.

### 4.4.2 Erkennung und Behandlung von Oberflächenfehlern

Oberflächenfehler (z. B. Kratzer, Risse, Oxidschichten) können die Ableiteffizienz und Haltbarkeit von Molybdändraht verringern. Bei der Qualitätskontrolle kommt eine Vielzahl von zerstörungsfreien Prüftechniken zum Einsatz:

Lichtmikroskop: Überprüfen Sie Oberflächenkratzer und die Gleichmäßigkeit der Beschichtung mit 100-500-facher Vergrößerung.
Wirbelstromprüfung: Erkennt interne Mikrorisse und ungleichmäßige Bereiche, geeignet für die kontinuierliche Produktion.
Rasterelektronenmikroskopie (REM): Analysiert die Oberflächenmikrostruktur, um nanoskalige Defekte zu identifizieren.

Die Fehlerbehandlung umfasst das erneute Polieren oder Aussortieren von fehlerhaften Segmenten. China Xiamen Tungsten Co., Ltd. identifiziert und schleust Oberflächenfehler in Echtzeit durch ein automatisiertes visuelles Inspektionssystem mit einer Erfolgsquote von mehr als 99,5 % aus. Europäische Hersteller kombinieren Röntgenmikroskope, um innere Defekte zu erkennen und sicherzustellen, dass die Oberflächenqualität von Molybdändraht den Anforderungen einer hochpräzisen Bearbeitung entspricht.

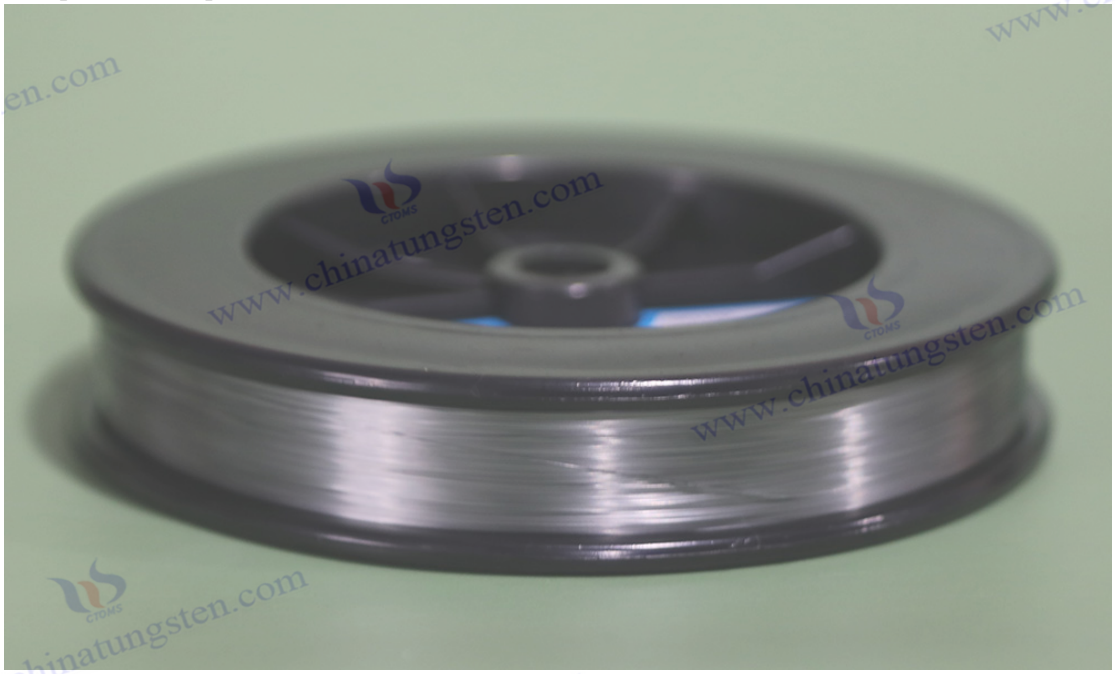
### 4.4.3 Prüfung der Zugfestigkeit

Bei der Zugfestigkeitsprüfung werden die mechanischen Eigenschaften von Molybdändraht überprüft, um sicherzustellen, dass er den hohen Zug- und zyklischen Belastungen standhält, die bei WEDM auftreten. Bei der Prüfung wird mit einer universellen Materialprüfmaschine eine Zugkraft auf eine Normprobe aufgebracht und die maximale Belastung vor dem Bruch aufgezeichnet. Die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Testumgebung simuliert WEDM-Bedingungen (z. B. Raumtemperatur oder hohe Temperatur) und kombiniert Dehnungs- und Bruchtopographieanalysen, um die Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit des Molybdändrahts zu bewerten.

Weltweit tätige Hersteller verwenden automatisierte Prüfgeräte in Kombination mit statistischer Prozesskontrolle (SPC), um eine gleichbleibende Zugfestigkeit von Molybdändraht von Charge zu Charge zu gewährleisten. Der Test umfasst auch einen Ermüdungstest, um die Leistung des Molybdändrahts unter hochfrequenten Entladungs- und Zugzyklen zu simulieren und seine Haltbarkeit zu überprüfen. Bei nicht konformen Chargen optimiert der Hersteller, indem er die Glühparameter anpasst oder neu zeichnet.



CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

## Kapitel 5 Verwendung des Molybdändrahterodierens

Als Hochleistungsmetall spielt Molybdändraht aufgrund seiner hervorragenden physikalischen und chemischen Eigenschaften, wie z. B. hoher Schmelzpunkt, hohe Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit und gute elektrische und thermische Leitfähigkeit, eine wichtige Rolle in mehreren Industriebereichen. Insbesondere in der Drahterodierverarbeitung, der Herstellung von elektrischen Lichtquellen, der thermischen Spritztechnik und anderen High-Tech-Bereichen ist Molybdändraht aufgrund seiner einzigartigen Eigenschaften zu einem unverzichtbaren Werkstoff geworden. In diesem Kapitel werden die spezifischen Anwendungen von Molybdändraht in diesen Bereichen im Detail erörtert und seine technischen Vorteile und praktischen Fälle eingehend analysiert, um die Bedeutung von Molybdändraht in der modernen Industrie vollständig zu demonstrieren.

### 5.1 Drahterodier-Verarbeitung

Die Drahterosion (WEDM) ist eine fortschrittliche Technologie, die das Prinzip der Funkenerosion nutzt, um eine hochpräzise Bearbeitung durchzuführen, die im Formenbau, bei der Bearbeitung

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

komplexer Formen und bei der Herstellung hochpräziser Teile weit verbreitet ist. Molybdändraht hat sich aufgrund seiner hohen Festigkeit, hohen Temperaturbeständigkeit und hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit zum am häufigsten verwendeten Elektrodendrahtmaterial im Drahterodieren entwickelt. Im Folgenden werden die spezifischen Anwendungen von Molybdändraht beim Drahterodieren unter drei Aspekten erläutert: Formenbau, komplexe Form- und Mikrostrukturbearbeitung sowie hochpräzise Teilebearbeitung.

### 5.1.1 Formenbau

Der Formenbau ist eines der wichtigsten Anwendungsgebiete für die Drahterodiertechnik, bei der Molybdändraht eine zentrale Rolle spielt. Formen sind Schlüsselkomponenten in der industriellen Produktion, die im Automobilbau, in der Herstellung von Haushaltsgeräten, bei Kunststoffprodukten und beim Stanzen von Metallen und in anderen Bereichen weit verbreitet sind, und ihre Präzision und Qualität wirken sich direkt auf die Leistung des Endprodukts aus. Die Anwendung von Molybdändraht im Formenbau spiegelt sich vor allem in folgenden Aspekten wider:

Hochpräzise Werkzeugbearbeitung

Molybdändrähte haben in der Regel einen Durchmesser zwischen 0,1 mm und 0,3 mm, sind klein und homogen und können in Drahterodiermaschinen eine Bearbeitungsgenauigkeit im Mikrometerbereich erreichen. So kann Molybdändraht beispielsweise bei der Verarbeitung von Stanzwerkzeugen komplexe Konturen und schmale Spalten präzise ausschneiden und so sicherstellen, dass die Geometrie der Form den konstruktiven Anforderungen entspricht. Im Vergleich zu herkömmlichen Bearbeitungsverfahren können beim Molybdändrahtschneiden Gesenkstähle mit extrem harter Härte (z. B. Cr12MoV, SKD11) ohne Werkzeugverschleiß aufgrund der Materialhärte bearbeitet werden.

Implementierung komplexer Werkzeugstrukturen

Moderne Formenkonstruktionen umfassen oft komplexe Geometrien wie mehrfach gekrümmte Strukturen, tiefe Rillen und scharfe Ecken. Molybdändraht ist in der Lage, diese komplexen Strukturen problemlos zu bewältigen, indem er korrodierte Materialien beim Drahterodieren austrägt. Bei der Herstellung von Blechformen für die Automobilindustrie kann Molybdändraht beispielsweise in komplexe gekrümmte Oberflächen mit hoher Oberflächenqualität geschnitten werden, was den Anforderungen an Präzision und Ästhetik von Automobilaußenteilen entspricht. Darüber hinaus sorgt die hohe Zugfestigkeit des Molybdändrahtes dafür, dass er bei der Langzeitverarbeitung nicht leicht bricht und so die Kontinuität und Stabilität der Verarbeitung gewährleistet wird.

Effiziente Produktion und Kostenkontrolle

Die Verwendung von Molybdändraht verbessert die Effizienz des Formenbaus erheblich. Im Vergleich zu herkömmlichem Messingdraht weist Molybdändraht eine höhere Verschleißfestigkeit und eine hohe Temperaturbeständigkeit auf und kann über einen langen Zeitraum in einer Umgebung mit hoher Entladung verwendet werden, wodurch die Häufigkeit des Austauschs des Elektrodendrahts reduziert und dadurch die Produktionskosten gesenkt werden. Bei der Massenproduktion von Spritzgießwerkzeugen kann beispielsweise die hohe Haltbarkeit von

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Molybdändraht eine stundenlange kontinuierliche Verarbeitung unterstützen, Ausfallzeiten reduzieren und die Produktionseffizienz steigern.

Beispiele aus der Praxis

Am Beispiel eines Automobilteileherstellers wird bei der Herstellung von Präzisionsstanzwerkzeugen Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,18 mm für das Schneiden von Erodierdraht verwendet und Formteile mit Toleranzen innerhalb von ±0,005 mm erfolgreich verarbeitet. Diese hochpräzise Form wird häufig bei der Herstellung von Motorblöcken und Getriebegehäusen für die Automobilindustrie eingesetzt, wodurch die Qualität und Konsistenz des Produkts erheblich verbessert wird.

### 5.1.2 Komplexe Form- und Gefügebearbeitung

Molybdändraht wird auch häufig im Drahterodieren verwendet, um komplexe Formen und Mikrostrukturen zu bearbeiten, insbesondere in industriellen Bereichen, in denen hohe Präzision und komplexe Geometrien erforderlich sind. Im Folgenden sind einige wichtige Punkte für die Anwendung von Molybdändraht in diesem Bereich aufgeführt:

Fähigkeit, Mikrostrukturen zu verarbeiten

Der feine Durchmesser und die hervorragende elektrische Leitfähigkeit von Molybdändraht machen ihn besonders geeignet für die Bearbeitung von Teilen mit Mikronstrukturen. Bei der Herstellung von mikroelektromechanischen Systemen (MEMS) kann Molybdändraht beispielsweise Mikrozahnräder, Mikrokanäle oder Mikrosteckverbinder mit einer Breite von nur wenigen Dutzend Mikrometern schneiden. Diese Mikrostrukturen werden häufig in Sensoren, Mikromotoren und medizinischen Geräten eingesetzt. Die hohe Festigkeit und Zugfestigkeit von Molybdändraht sorgen dafür, dass er sich bei der Bearbeitung von Mikrostrukturen nicht verformt oder bricht.

Realisierung komplexer dreidimensionaler Strukturen

Die Drahterodiertechnologie kann die Bearbeitung komplexer dreidimensionaler Strukturen realisieren, indem sie die Bewegungsbahn von Molybdändraht steuert. In der Luft- und Raumfahrt wird Molybdändraht beispielsweise zum Schneiden von Kühllöchern in Turbinenschaufeln verwendet, die in der Regel einen Durchmesser von weniger als 0,2 mm haben und komplexe dreidimensionale Bahnen aufweisen. Der hohe Schmelzpunkt und die hohe Temperaturbeständigkeit von Molybdändraht ermöglichen es, in einer Umgebung mit hoher Energieentladung stabil zu arbeiten und so die Bearbeitungsgenauigkeit und Oberflächengüte zu gewährleisten.

Multi-Material-Kompatibilität

Molybdändraht ist in der Lage, eine breite Palette von Materialien mit hoher Härte (wie Titan, Keramik und Hartmetall) im Drahterodieren zu bearbeiten, was ihn in der Bearbeitung komplexer Formen vielseitig einsetzbar macht. Bei der Herstellung von Präzisionszahnrädern kann Molybdändraht beispielsweise komplexe Verzahnungsstrukturen mit einer Zahnprofilgenauigkeit von ISO 5 schneiden, um den Anforderungen von Hochleistungsmaschinen und -anlagen gerecht zu werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Beispiele aus der Praxis

In einem Unternehmen zur Herstellung optischer Instrumente wird Molybdändraht zur Bearbeitung von Formteilen für hochpräzise optische Linsen verwendet. Diese Bauteile enthalten komplexe asphärische Strukturen und Mikrorillen und werden mit Toleranzen von ±0,002 mm bearbeitet. Durch die Verwendung von Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,12 mm ist es dem Unternehmen gelungen, diese komplexen Strukturen auf einer Drahterodiermaschine zu bearbeiten und damit die Bildqualität der optischen Linse deutlich zu verbessern.

### 5.1.3 Hochpräzise Teilebearbeitung

Die hochpräzise Bauteilbearbeitung ist ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet von Molybdändraht im Drahterodieren, insbesondere in Branchen, in denen Maßhaltigkeit und Oberflächengüte extrem anspruchsvoll sind. Die Anwendung von Molybdändraht bei der Verarbeitung von hochpräzisen Teilen hat folgende Eigenschaften:

Ultrahochpräzise Bearbeitung

Der feine Durchmesser und die stabile Austragsleistung von Molybdändraht ermöglichen es, eine Bearbeitungsgenauigkeit im Submikrometerbereich zu erreichen. In der Präzisionsmaschinenindustrie wird Molybdändraht beispielsweise zur Bearbeitung von hochpräzisen Lagergehäusen und Getriebekomponenten verwendet, die typischerweise mit Toleranzen von ±0,001 mm erforderlich sind. Die hohe Leitfähigkeit und das gleichmäßige Austragsverhalten von Molybdändraht sorgen für die Stabilität des Austragsspaltes während der Verarbeitung und damit für die Maßhaltigkeit der Teile.

Hervorragende Oberflächenqualität

Beim Drahterodieren wird Molybdändraht verwendet, um Teile mit einer extrem hohen Oberflächengüte zu bearbeiten, die typischerweise unter Ra 0,1 Mikrometer liegt. Diese hohe Oberflächengüte ist besonders wichtig bei Bauteilen, die eine geringe Reibung und eine hohe Verschleißfestigkeit erfordern. Bei der Herstellung von hochpräzisen Hydraulikspulen kann beispielsweise das Schneiden von Molybdändraht die Glätte der Oberfläche der Spule gewährleisten, den Flüssigkeitswiderstand verringern und die Effizienz des Ventils verbessern.

Anpassungsfähigkeit an komplexe Materialien und spezielle Strukturen. Hier eine weitere detaillierte Analyse des Feldes:

Verarbeitung komplexer Werkstoffe

In der Luft- und Raumfahrt wird Molybdändraht häufig zur Bearbeitung von Präzisionsteilen aus Superlegierungen (z. B. Inconel 718, GH4169) und Titanlegierungen (z. B. Ti-6Al-4V) verwendet. Zum Beispiel erfordert die Zapfen- und Rillenstruktur einer Turbinenscheibe für Flugzeugtriebwerke eine extrem hohe geometrische Genauigkeit und Oberflächengüte, und Molybdändraht kann den Austragsspalt durch das Schneiden von Erodierdraht genau steuern, indem komplexe Zapfen und Rillen mit Toleranzen von ±0,002 mm ausgeschnitten werden, während Materialspannungskonzentration und Mikrorissprobleme vermieden werden, die sich aus der herkömmlichen Bearbeitung ergeben können. Darüber hinaus kann Molybdändraht bei der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Verarbeitung von Keramikmatrix-Verbundwerkstoffen (CMC) eine stabile Leistung beibehalten und damit die Anforderungen von Flugzeugtriebwerken der nächsten Generation an hochtemperaturbeständige Teile erfüllen.

Mehrachsige Simultanbearbeitung

Moderne Drahterodieranlagen sind oft mit einem mehrachsigen CNC-System ausgestattet, das in Kombination mit der Flexibilität von Molybdändraht eine komplexe dreidimensionale Teilebearbeitung ermöglicht. Bei der Herstellung von Mikrozahnradsätzen in Präzisionsinstrumenten kann Molybdändraht beispielsweise verwendet werden, um Zahnstrukturen mit komplexen Raumkurven durch eine fünfachsige Gestänge mit einer Genauigkeit von ISO 4 zu schneiden. Diese Fähigkeit ist besonders wichtig bei der Herstellung von optischen Geräten, Präzisionsinstrumenten und High-End-Uhren.

Beispiele aus der Praxis

Am Beispiel eines Unternehmens zur Herstellung von Präzisionsinstrumenten wird bei der Herstellung von hochpräzisen Spiegelhalterungen für Laser-Entfernungsmesser Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,15 mm für das Schneiden von Erodierdraht verwendet und erfolgreich eine Halterung mit komplexen geometrischen Formen verarbeitet, die Maßtoleranz wird innerhalb von ±0,0015 mm kontrolliert und die Oberflächenrauheit erreicht Ra 0,08 Mikrometer. Diese hochpräzise Halterung verbessert die Messgenauigkeit des Entfernungsmessers erheblich und wird in den Bereichen der geologischen Erkundung sowie der Gebäudevermessung und -kartierung häufig eingesetzt.

Umweltschutz und Nachhaltigkeit

Die Verwendung von Molybdändraht bei der Verarbeitung von hochpräzisen Teilen hat auch gewisse Umweltvorteile. Im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung erfordert das Drahterodieren keine große Menge an Schneidflüssigkeit, wodurch die Entstehung von flüssigem Abfall reduziert wird. Darüber hinaus bedeutet die hohe Haltbarkeit von Molybdändraht geringere Verbrauchsraten und weniger Materialverschwendung. Bei der Massenproduktion von Präzisionsteilen kann beispielsweise die Wiederverwendungsrate von Molybdändraht mehr als 80 % erreichen, was die Produktionskosten und die Umweltbelastung erheblich senkt.

### 5.2 Anwendung elektrischer Lichtquellen

Aufgrund seines hohen Schmelzpunkts (ca. 2623 ° C), seiner guten Leitfähigkeit und Oxidationsbeständigkeit wird Molybdändraht in der elektrischen Lichtquellenindustrie häufig zur Herstellung verschiedener Schlüsselkomponenten wie Tore, Haken, Streben, Kerne und Heizdrähte verwendet.

#### 5.2.1 Tore, Haken, Streben

In elektrischen Lichtquellen wie Leuchtstoff-, Halogen- und Hochdruckentladungslampen wird Molybdändraht als Schlüsselkomponente wie Tore, Haken und Streben verwendet, da er die strukturelle Stabilität und die elektrischen Eigenschaften in Hochtemperatur- und Hochvakuumumgebungen aufrechterhalten kann.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Herstellung von Toren

Gates sind wichtige Komponenten in einigen elektrischen Lichtquellen, wie z. B. Halogen-Metalldampflampen, um den Elektronenfluss zu steuern oder den Entladungsprozess zu stabilisieren. Aufgrund seiner hohen Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit kann Molybdändraht lange Zeit in einer Hochtemperaturentladungsumgebung ohne Verformung arbeiten. So werden beispielsweise bei der Gate-Herstellung von Natriumdampf-Hochdrucklampen Molybdändrähte zu Filamenten mit einem Durchmesser von 0,05 mm bis 0,2 mm verarbeitet, die präzise zu einer Gate-Struktur gewickelt werden, um die Lichtbogenstabilität und Lichtausbeute der Lampe zu gewährleisten.

Haken und Streben

Haken und Streben werden verwendet, um die lichtemittierenden Elemente (z. B. Wolframdrähte oder Elektroden) im Inneren der elektrischen Lichtquelle zu halten. Der hohe Schmelzpunkt und die mechanische Festigkeit von Molybdändraht machen ihn zu einem idealen Material. Bei der Herstellung von Halogenlampen für die Automobilindustrie wird beispielsweise Molybdändraht zu einem Miniaturhaken zum Aufhängen von Wolframfadenleuchten verarbeitet, um sicherzustellen, dass sie in einer Betriebsumgebung mit hohen Temperaturen (ca. 3000 °C) nicht brechen oder sich verformen. Darüber hinaus gewährleistet der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient von Molybdändraht die Dimensionsstabilität des Hakens und der Strebe während des thermischen Zyklus und vermeidet das strukturelle Versagen der Lampe aufgrund von Wärmeausdehnung und -kontraktion.

Beispiele aus der Praxis

So verwendet ein internationales Beleuchtungsunternehmen Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,1 mm zur Herstellung von Streben und Haken bei der Herstellung von Hochdruck-Gasentladungslampen (HID-Lampen). Diese Komponenten sind in der Lage, bei einer Arbeitstemperatur von mehr als 2.000 °C stabil zu arbeiten und so eine Lebensdauer der Leuchte von mehr als 20.000 Stunden zu gewährleisten. Diese hohe Zuverlässigkeit macht HID-Lampen im Bereich der Straßenbeleuchtung und Industriebeleuchtung weit verbreitet.

### 5.2.2 Aderdraht und Heizdraht

Eine weitere wichtige Anwendung von Molybdändraht in elektrischen Lichtquellen ist die Verwendung als Kern und Heizdraht, insbesondere in Glühlampen, Vakuumröhren und einigen speziellen Lichtquellen.

Kernanwendungen

Molybdändraht wird häufig als Kern in Glühlampen und Vakuumröhren verwendet, um Wolframfaden oder andere lichtemittierende Materialien zu tragen. Der hohe Schmelzpunkt und die gute elektrische Leitfähigkeit von Molybdändraht ermöglichen eine stabile Stromübertragung in Hochtemperaturumgebungen. Bei herkömmlichen Glühlampen wird beispielsweise Molybdändraht zu einem Spiralkern gewickelt, der die Wolfram-Filament-Leuchte stützt und dafür sorgt, dass sie bei hohen Temperaturen nicht durchhängt oder bricht. Darüber hinaus ist Molybdändraht aufgrund seiner Oxidationsbeständigkeit für den Einsatz in Vakuum- oder Inertgasumgebungen geeignet,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

wodurch die Lebensdauer der Lampe verlängert wird.

Anwendung von Heizdraht

In einigen speziellen Lichtquellen, wie z.B. Infrarot-Heizlampen, wird Molybdändraht direkt als Heizdraht verwendet. Sein hoher spezifischer Widerstand und seine hohe Temperaturbeständigkeit ermöglichen es, in kurzer Zeit hohe Temperaturen für eine schnelle Erwärmung oder Infrarotstrahlung zu erzeugen. In industriellen Infrarot-Trocknungsgeräten kann beispielsweise Molybdändraht-Heizdraht die Temperatur schnell auf mehr als 1000 °C erhöhen, was zum schnellen Trocknen von Holz, Farbe oder Lebensmitteln verwendet wird.

Beispiele aus der Praxis

In einem Unternehmen zur Herstellung von Infrarotheizgeräten wird Molybdändraht zur Herstellung von Heizdraht für Hochleistungs-Infrarotlampen verwendet, und der Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,3 mm wird präzise gewickelt, um ein Heizelement zu bilden, das die Temperatur in 5 Sekunden auf 1200 °C erhöhen kann. Diese effiziente Heizleistung wird häufig in Beschichtungsanlagen für die Automobilindustrie und in der Lebensmittelindustrie eingesetzt.

### 5.3 Thermisches Spritzen

Die thermische Spritztechnologie ist eine Oberflächenbehandlungstechnologie, bei der geschmolzene oder halbgeschmolzene Materialien auf die Oberfläche des Substrats gesprüht werden, um eine Beschichtung zu bilden, und Molybdändraht wird in diesem Bereich aufgrund seines hohen Schmelzpunkts und seiner hervorragenden Verschleißfestigkeit häufig verwendet. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse unter zwei Aspekten: Oberflächenverstärkung und -reparatur sowie Vorbereitung der verschleißfesten Beschichtung.

#### 5.3.1 Oberflächenverfestigung und -reparatur

Molybdändraht wird in der thermischen Spritztechnik als Spritzmaterial verwendet, um durch Lichtbogenspritzen oder Plasmaspritzen eine Hochleistungsbeschichtung zu bilden, die zur Verstärkung der Oberfläche des Untergrundes oder zur Reparatur verschlissener Teile eingesetzt wird.

Oberflächenverfestigung

Molybdändraht-Spritzbeschichtungen bieten eine extrem hohe Härte und Korrosionsbeständigkeit, wodurch die Oberflächeneigenschaften von Substraten deutlich verbessert werden können. In der petrochemischen Industrie wird beispielsweise Molybdändraht auf die Oberfläche von Rohrleitungsarmaturen gesprüht, um eine Molybdänbeschichtung mit einer Dicke von etwa 0,2 mm zu bilden, die sauren Gasen und Hochtemperaturkorrosion wirksam widerstehen und die Lebensdauer des Ventils verlängern kann. Darüber hinaus verleiht der niedrige Reibungskoeffizient der Molybdänbeschichtung hervorragende Verschleißschutzeigenschaften in Gleitteilen wie Kolbenringen.

Reparaturen von Komponenten

Das thermische Spritzen von Molybdändraht wird auch zur Reparatur verschlissener mechanischer

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Teile eingesetzt. So können z.B. in der Schwermaschinenindustrie verschlissene Wellenteile (z.B. Kurbelwellen, Antriebswellen) durch Molybdändrahtspritzen wieder in ihre ursprüngliche Größe und Leistungsfähigkeit zurückversetzt werden. Die hohe Haftfestigkeit der Molybdänbeschichtung (bis zu mehr als 70 MPa) sorgt dafür, dass die reparierten Teile hohen Belastungen und Stößen standhalten. Darüber hinaus sind die Kosten für die Reparatur von Molybdändraht-Spritzen viel niedriger als für den Austausch neuer Teile, was erhebliche wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt.

Beispiele aus der Praxis

Am Beispiel eines Schiffbauunternehmens wurde bei der Reparatur der Kurbelwelle eines Schiffsdieselmotors Molybdändraht für das Lichtbogenspritzen verwendet, um eine 0,3 mm dicke Molybdänschicht zu bilden, die die Maßhaltigkeit und Oberflächenhärte der Kurbelwelle erfolgreich wiederherstellte. Die reparierte Kurbelwelle weist eine hervorragende Verschleiß- und Ermüdungsbeständigkeit bei Hochlastbetrieb auf, wodurch sich die Lebensdauer um ca. 30 % verlängert.

### 5.3.2 Herstellung von verschleißfesten Beschichtungen

Molybdändraht wird auch beim thermischen Spritzen verwendet, um verschleißfeste Beschichtungen herzustellen, die in industriellen Szenarien, die eine hohe Verschleißfestigkeit erfordern, weit verbreitet sind.

Abriebfeste Beschichtungseigenschaften

Die durch das Sprühen von Molybdändraht gebildete Beschichtung hat eine hohe Härte (ca. HV 800-1000) und hervorragende Verschleißschutzeigenschaften, wodurch sie für Umgebungen mit hoher Reibung geeignet ist. In Bergbaumaschinen wird beispielsweise Molybdändraht auf die Oberfläche der Zähne des Baggers gesprüht, um eine verschleißfeste Beschichtung zu bilden, die dem Verschleiß von Sand und Mineralien effektiv widerstehen und die Lebensdauer der Zähne verlängern kann. Darüber hinaus eignen sich die Molybdänbeschichtung aufgrund ihrer selbstschmierenden Eigenschaften hervorragend für Hochtemperatur-Reibungsumgebungen.

Branchenübergreifende Anwendungen

In der Stahlindustrie werden Molybdändraht-Sprühbeschichtungen auf Walzenoberflächen aufgebracht, um deren Verschleißfestigkeit und thermische Ermüdungsbeständigkeit zu verbessern. Zum Beispiel sind Rollen aus warmgewalzten Stahlblechen anfällig für Oberflächenverschleiß in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hohem Druck, und die durch Molybdändrahtspritzen gebildete Beschichtung kann die Lebensdauer der Walzen um das 2- bis 3-fache verlängern. Darüber hinaus wird in Windkraftanlagen das Molybdändrahtspritzen zur Oberflächenbehandlung von Blattlagern eingesetzt, wodurch die Verschleißfestigkeit der Lager deutlich verbessert wird.

Beispiele aus der Praxis

In einem Zementherstellungsbetrieb wird Molybdändraht verwendet, um die Auskleidungsplatte einer Zementmühle zu besprühen, um eine verschleißfeste Beschichtung mit einer Dicke von 0,5 mm zu bilden. Die hohe Härte und Korrosionsbeständigkeit der Beschichtung macht sie widerstandsfähig gegen den starken Verschleiß von Zementklinker, und die Lebensdauer der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Auskleidung wird von 6 Monaten auf 18 Monate verlängert, wodurch die Wartungskosten erheblich gesenkt werden.

### 5.4 Weitere industrielle Anwendungen

Neben den oben genannten Hauptanwendungsbereichen spielt Molybdändraht auch in mehreren High-Tech-Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik und der Elektronikindustrie eine wichtige Rolle. Hier ist die Analyse.

5.4.1 Materialaufbereitung in der Luft- und Raumfahrt

Die Luft- und Raumfahrtindustrie stellt extrem hohe Anforderungen an die Werkstoffe, und Molybdändraht wird aufgrund seiner hohen Festigkeit, hohen Temperaturbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit häufig bei der Verarbeitung kritischer Komponenten eingesetzt.

Bearbeitung von Turbinenschaufeln

Molybdändraht wird im Drahterodieren verwendet, um Kühllöcher und komplexe Konturen von Turbinenschaufeln von Flugzeugtriebwerken zu bearbeiten. Diese Kühllöcher haben typischerweise einen Durchmesser zwischen 0,1 und 0,3 mm und haben komplexe räumliche Pfade, die durch den feinen Durchmesser und die hochpräzisen Bearbeitungsmöglichkeiten von Molybdändraht erfüllt werden. Bei der Bearbeitung von Klingen aus Superlegierungen auf Nickelbasis kann Molybdändraht beispielsweise eine Lochtoleranz von ± 0,002 mm erreichen, was die Kühlung und die Leistung der Klinge gewährleistet.

Verarbeitung von Verbundwerkstoffen

Kohlefaserverbundwerkstoffe (CFK) und keramische Matrixverbundwerkstoffe (CMC), die in der Luft- und Raumfahrtindustrie weit verbreitet sind, weisen eine hohe Härte und geringe Leitfähigkeit auf, die mit herkömmlicher Bearbeitung nur schwer zu verarbeiten sind. Molybdändraht kann durch Drahterodieren effizient verarbeitet werden, um diese Materialien zu verarbeiten, zum Beispiel bei der Herstellung von Flugzeugflügelhäuten, wo er zum Schneiden komplexer Öffnungen und Verbindungslöcher in Verbundplatten verwendet wird.

Beispiele aus der Praxis

Am Beispiel eines Triebwerksherstellers wird bei der Herstellung von Turbofan-Triebwerksschaufeln Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,18 mm für das Schneiden von Erodierdraht verwendet und ein Kühlloch mit einem Durchmesser von 0,2 mm erfolgreich verarbeitet, wobei die Rauheit der Lochwand Ra 0,1 Mikrometer erreicht. Durch diese hochpräzise Bearbeitung werden der thermische Wirkungsgrad und die Lebensdauer der Klingen deutlich verbessert.

### 5.4.2 Herstellung von Medizinprodukten

Die Anwendung von Molybdändraht in der Herstellung von Medizinprodukten konzentriert sich hauptsächlich auf Szenarien mit hohen Anforderungen an Präzision und Biokompatibilität.

Minimalinvasive chirurgische Instrumente

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Molybdändraht wird zur Bearbeitung von minimal-invasiven chirurgischen Instrumenten wie endoskopischen Komponenten, Führungsdrähten und Stents verwendet. Bei der Herstellung von kardialen Stents kann Molybdändraht beispielsweise durch Drahterodieren zu einer Miniaturgitterstruktur mit einem Durchmesser von weniger als 0,05 mm bearbeitet werden, um die Elastizität und Biokompatibilität des Stents zu gewährleisten. Darüber hinaus reduziert die hohe Oberflächengüte von Molybdändraht die Reibung und Entzündungsreaktion, die durch das Gerät im menschlichen Körper verursacht wird.

Zahnärztliche und orthopädische Implantate

Molybdändraht wird bei der Verarbeitung von Zahnimplantaten und orthopädischen Fixationsvorrichtungen wie Zahnimplantaten und Knochenschrauben verwendet. Diese Bauteile erfordern oft komplexe Geometrien und eine hohe Oberflächengüte, und die Präzisionsbearbeitungsmöglichkeiten von Molybdändraht sind in der Lage, diese Anforderungen zu erfüllen. Bei der Herstellung von Zahnimplantaten kann Molybdändraht beispielsweise zum Schneiden von mikrometergroßen Gewinden verwendet werden, um die Haftfestigkeit des Implantats zu verbessern.

Beispiele aus der Praxis

In einem Medizintechnikunternehmen wird Molybdändraht zur Bearbeitung von Knochenschrauben aus Titanlegierungen verwendet, die Gewindetoleranz wird innerhalb von ±0,003 mm kontrolliert und die Oberflächenrauheit erreicht Ra 0,05 Mikrometer. Diese hochpräzise Schraube wird häufig in der Frakturfixationschirurgie eingesetzt und verbessert die Erfolgsrate der Operation und die Geschwindigkeit der Genesung des Patienten erheblich.

### 5.4.3 Anwendungen in der Elektronikindustrie

Die Anwendung von Molybdändraht in der Elektronikindustrie spiegelt sich hauptsächlich in der Halbleiterherstellung und der Verarbeitung mikroelektronischer Bauelemente wider.

Bearbeitung von Halbleiterformen

Molybdändraht wird im Drahterodieren verwendet, um Halbleiterchip-Packaging-Formen und Wafer-Dicing Templates zu verarbeiten. Bei der Herstellung von Verpackungsformen für integrierte Schaltkreise (ICs) ist Molybdändraht beispielsweise in der Lage, mikroskopisch kleine Rillen mit einer Breite von nur 0,02 mm zu schneiden, wodurch eine hohe Präzision und Konsistenz der Form gewährleistet wird.

Mikroelektronische Steckverbinder

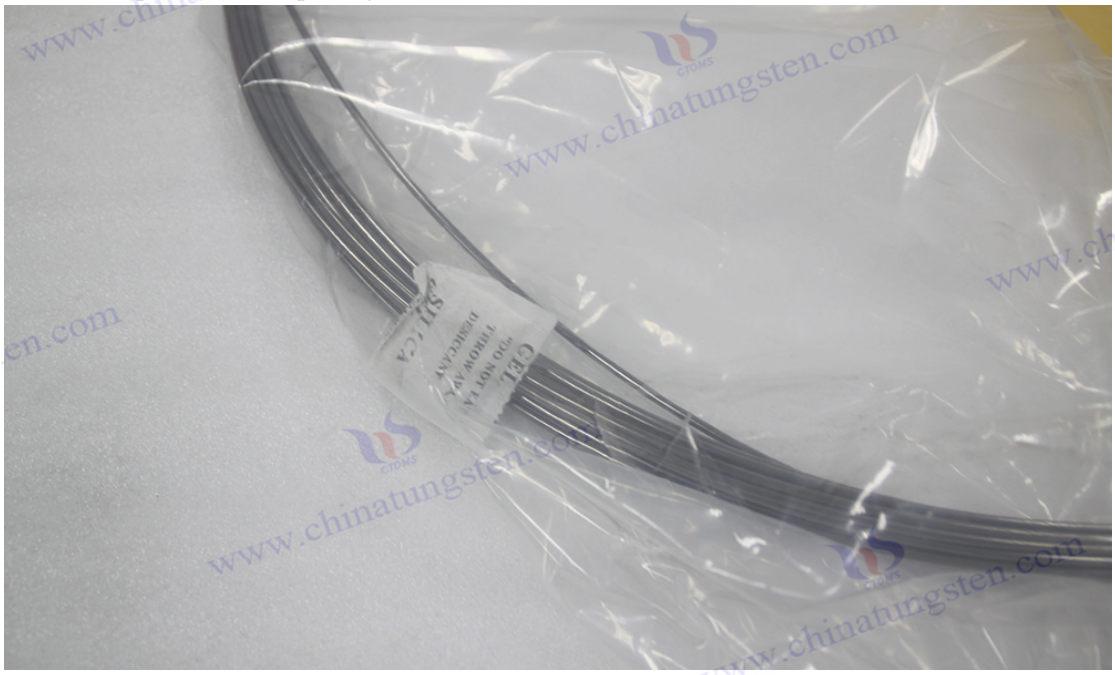
Molybdändraht wird verwendet, um die komplexen Strukturen von mikroelektronischen Steckverbindern zu bearbeiten, wie z. B. die Verbindungslöcher von High-Density-Interconnect-Leiterplatten (HDI). Diese Verbindungslöcher haben in der Regel einen Durchmesser von weniger als 0,1 mm, und die hochpräzise Bearbeitungsfähigkeit von Molybdändraht ist in der Lage, seine engen Toleranzen einzuhalten.

Beispiele aus der Praxis

In einem Halbleiterfertigungsunternehmen wird Molybdändraht zur Verarbeitung von Wafer-

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Dicing-Templates verwendet, und die Rillenbreitentoleranz der Template wird innerhalb von ±0,001 mm kontrolliert, und die Oberflächenrauheit erreicht Ra 0,03 Mikrometer. Dieses hochpräzise Template verbessert die Ausbeute beim Wafer-Dicing erheblich und wird häufig bei der Herstellung von 5G-Chips und KI-Chips eingesetzt.



CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

## Kapitel 6 Produktionsanlagen für das Molybdändrahterodieren

Als Hochleistungsmetall wird Molybdändraht häufig in High-Tech-Bereichen wie Drahterodieren, elektrische Lichtquelle, thermisches Spritzen und Luft- und Raumfahrt eingesetzt, und sein Produktionsprozess stellt extrem hohe Anforderungen an die Ausrüstung. Die Herstellung von Molybdändraht umfasst mehrere Glieder, von der Vorbereitung des Rohmaterials über das Drahtziehen, die Oberflächenbehandlung, die Wärmebehandlung bis hin zur abschließenden Qualitätskontrolle, die jeweils spezielle Geräte erfordern, um die hohe Präzision, hohe Festigkeit und hervorragende Oberflächenqualität des Molybdändrahtes zu gewährleisten. In diesem Kapitel werden die verschiedenen Arten von Geräten, die bei der Herstellung von Molybdändraht zum Einsatz kommen, ausführlich erörtert und ihre Funktionen, technischen Eigenschaften und Prozessparameter eingehend analysiert.

### 6.1 Ausrüstung für die Vorbereitung von Rohstoffen

Die Herstellung von Molybdändraht beginnt mit der Herstellung von hochreinen Molybdänmaterialien, und die Qualität der Rohstoffe bestimmt direkt die Leistung des endgültigen Molybdändrahtes. Die Ausrüstung zur Rohstoffaufbereitung umfasst hauptsächlich Anlagen zur Herstellung von Molybdänpulver und einen Sinterofen, deren Funktionen und Anwendungen im Folgenden ausführlich beschrieben werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 6.1.1 Anlagen zur Herstellung von Molybdänpulver

Molybdänpulver ist der Grundrohstoff für die Herstellung von Molybdändraht, dessen Reinheit, Partikelgröße und Gleichmäßigkeit für die anschließende Verarbeitung entscheidend sind. Zu den Anlagen zur Herstellung von Molybdänpulver gehören im Wesentlichen Reduktionsöfen, Kugelmühlen und Siebanlagen, mit denen Molybdänkonzentrat oder Ammoniummolybdat in hochreines Molybdänpulver umgewandelt werden.

Wasserstoff-ReduktionsofenDer Wasserstoff-Reduktionsofen ist die Kernausrüstung für die Herstellung von Molybdänpulver, das Ammoniummolybdat oder Molybdänoxid ($MoO_3$) zu Metall-Molybdänpulver reduziert, indem Wasserstoff als Reduktionsmittel bei hohen Temperaturen verwendet wird. Der Reduktionsofen ist in der Regel mehrstufig aufgebaut und die Temperatur wird zwischen 600 °C und 1100 °C geregelt, die in zwei Stufen unterteilt ist: Niedertemperaturabsenkung und Hochtemperaturabsenkung. Molybdänoxid wird in der Niedertemperaturstufe (600-800 °C) zu Molybdändioxid ($MoO_2$) und in der Hochtemperaturstufe (900-1100 °C) weiter zu Metall-Molybdänpulver reduziert. Moderne Reduktionsöfen sind mit präzisen Temperaturregelungssystemen und Gasflusskontrollgeräten ausgestattet, um sicherzustellen, dass die Reinheit des Molybdänpulvers mehr als 99,95 % erreicht und die Partikelgröße gleichmäßig verteilt wird (normalerweise 1-5 Mikrometer).

Kugelmühle Die Kugelmühle wird verwendet, um das vorläufig reduzierte Molybdänpulver zu raffinieren, um die Partikelgrößenverteilung weiter zu kontrollieren. Das Innere des Geräts besteht aus einer Auskleidungsplatte aus Keramik oder Wolframstahl mit hoher Härte, um das Eindringen von Verunreinigungen in den Mahlprozess von Molybdänpulver zu vermeiden. Die Drehzahl und die Mahlzeit der Kugelmühle müssen genau geregelt werden, in der Regel bei 200-400 U/min, und eine zu hohe Drehzahl kann zur Agglomeration von Molybdänpulver führen, was den anschließenden Sintereffekt beeinträchtigt. Das Nasskugelmahlen kann auch die Mahleffizienz verbessern, indem Medien wie Ethanol hinzugefügt und die Oxidation von Molybdänpulver verhindert werden.

Sieb- und SortieranlagenSiebanlagen (z. B. Vibrationssiebe oder Strahlsichter) werden zur Trennung von Molybdänpulvern unterschiedlicher Partikelgrößen eingesetzt, um sicherzustellen, dass die Partikelgrößenverteilung den Zeichnungsanforderungen entspricht. Der Windsichter trennt Molybdänpulver nach Partikelgröße durch Hochgeschwindigkeitsluftstrom mit einer Genauigkeit von ±0,1 Mikrometern, was für die Rohstoffe geeignet ist, die für die Herstellung von ultrafeinem Molybdändraht benötigt werden. Darüber hinaus ist die Siebanlage mit staubdichten und antioxidativen Vorrichtungen ausgestattet, um zu verhindern, dass Molybdänpulver an der Luft oxidiert.

### 6.1.2 Sinteröfen

Der Sinterofen dient dazu, Molybdänpulver zu Molybdänrohlingen zu pressen, wodurch ein hochdichter, gleichmäßiger Rohling für den anschließenden Drahtziehprozess entsteht. Der Sinterprozess muss bei hohen Temperaturen und unter Schutzatmosphäre durchgeführt werden, um eine Oxidation des Molybdänmaterials zu vermeiden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Hochtemperatur-SinterofenDer Hochtemperatur-Sinterofen nimmt normalerweise eine Widerstandsheizung oder Induktionserwärmung an, und die Arbeitstemperatur kann 1800-2200 °C erreichen. Wasserstoff oder Argon wird als Schutzatmosphäre in den Ofen eingebracht, um die Oxidation von Molybdänknüppeln zu verhindern. Moderne Sinteröfen sind mit einem mehrstufigen Temperaturregelungssystem ausgestattet, das die Heizrate (typischerweise 5-10 °C/min) und die Haltezeit (2-4 Stunden) präzise steuern kann, um sicherzustellen, dass die Dichte des Molybdänknüppels mehr als 98 % erreicht.

Um die Gleichmäßigkeit und Festigkeit der Molybdänknüppel weiter zu verbessern, setzen einige Unternehmen Heißisostatische Pressöfen (HIP) ein. HIP-Geräte verwenden Hochdruck-Argon (100-200 MPa) und hohe Temperaturen (1800-2000 °C), um die inneren Poren des Molybdänknüppels zu schließen und die Festigkeit des Materials erheblich zu verbessern.

### 6.2 Drahtziehgeräte

Das Drahtziehen ist der Kernprozess der Herstellung von Molybdändraht, und der Molybdänrohling wird durch Mehrgangziehen nach und nach zu Filament verarbeitet. Die Drahtziehausrüstung umfasst eine hochpräzise Drahtziehmaschine und eine Edelsteindrahtziehmatrize, deren Funktionen und technische Anforderungen im Folgenden ausführlich analysiert werden.

#### 6.2.1 Hochpräzise Drahtziehmaschine

Die hochpräzise Drahtziehmaschine ist eine Schlüsselanlage für die Herstellung von Molybdändraht, mit der Molybdänrohlinge zu Filamenten mit einem Durchmesser von 0,05 bis 0,3 mm gezogen werden. Die Drahtziehmaschine muss über eine hochpräzise Zugregelung und eine stabile Laufgeschwindigkeit verfügen, um die Maßhaltigkeit und Oberflächenqualität des Molybdändrahtes zu gewährleisten.

Das Ziehen von Molybdändraht mit einer Drahtziehmaschine mit mehreren Durchgängen erfordert normalerweise 20-30 Durchgänge, und der Durchmesser wird allmählich reduziert. Moderne Multi-Pass-Ziehmaschinen werden von Servomotoren angetrieben und sind mit einem Zugregelungssystem ausgestattet, das in der Lage ist, die Ziehgeschwindigkeit (5-20 m/s) und die Spannung (0,1-2 N) in Echtzeit anzupassen, um ein Brechen des Molybdändrahtes während des Ziehvorgangs zu vermeiden.

Schmier- und Kühlsysteme erzeugen während des Ziehprozesses viel Wärme, und hochpräzise Drahtziehmaschinen sind mit effizienten Schmier- und Kühlsystemen ausgestattet, die häufig mit öl- oder wasserbasierten Schmierstoffen verwendet werden. Das Schmiermittel reduziert nicht nur die Reibung, sondern verhindert auch Kratzer auf der Oberfläche des Molybdändrahtes.

#### 6.2.2 Edelstein-Zeichenstempel

Der Edelstein-Ziehstein ist die Kernkomponente des Ziehprozesses, was sich direkt auf die Maßhaltigkeit und Oberflächenqualität des Molybdändrahtes auswirkt. Gebürstete Matrizen werden in der Regel aus natürlichem Diamant oder synthetischem polykristallinem Diamant (PKD) hergestellt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Diamant-Ziehsteine Diamant-Ziehsteine haben eine extrem hohe Härte und Verschleißfestigkeit und eignen sich für die Verarbeitung von Molybdändrähten mit hoher Härte. Der Durchmesser des Düsenlochs wird schrittweise von 1 mm auf 0,05 mm reduziert, und die Oberflächenrauheit des Düsenlochs muss unter Ra 0,01 Mikron kontrolliert werden, um sicherzustellen, dass die Oberfläche des Molybdändrahts glatt ist. Moderne Drahtziehmatrizen verwenden die Laserbohrtechnologie, und der Rundheitsfehler des Matrizenlochs beträgt weniger als 0,5 Mikrometer.

Design und Wartung von DüsenlöchernDas Design von Düsenlöchern umfasst die Einlass-, Arbeits- und Austrittsbereiche, und die Winkel und Längen jedes Bereichs müssen genau berechnet werden, um den Zieheffekt zu optimieren. Zum Beispiel beträgt der Einlasszonenwinkel typischerweise 30-40° und die Länge der Arbeitszone beträgt das 0,5- bis 1-fache des Durchmessers des Matrizenlochs. Die Ziehmatrize muss während des Gebrauchs regelmäßig gereinigt und poliert werden, um Rückstände von Molybdänpulver und Oberflächenverschleiß zu entfernen.

### 6.3 Ausrüstung zur Oberflächenbehandlung

Die Oberflächenqualität von Molybdändraht ist entscheidend für seine Leistung beim Drahterodieren, und Oberflächenbehandlungsanlagen werden verwendet, um Oberflächenoxidschichten zu entfernen, Oberflächen zu verbessern und funktionale Beschichtungen aufzubringen. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse unter drei Aspekten: Alkaliwäsche, elektrolytisches Polieren und Graphitemulsionsbeschichtung.

#### 6.3.1 Waschanlagen für Laugen

Laugenwaschanlagen werden verwendet, um Oxide, Öle und andere Verunreinigungen von der Oberfläche von Molybdändraht zu entfernen und so die Oberflächenreinheit zu verbessern.

Laugenbäder und Lösungslaugebäder bestehen in der Regel aus Edelstahl oder korrosionsbeständigen Kunststoffen, und die Lösung ist wässrige Lösung aus Natriumhydroxid (NaOH) oder Kaliumhydroxid (KOH) mit einer Konzentration von 5-10%. Die Waschtemperatur der Lauge wird auf 60-80 °C geregelt, und der Molybdändraht durchläuft den kontinuierlichen Laugewaschtank mit einer Geschwindigkeit von 5-10 m/min, und die Reinigungszeit beträgt 10-20 Sekunden.

Die bei der Umweltschutzbehandlung oder Alkaliwäsche anfallende Abfallflüssigkeit muss neutralisiert werden, um die Anforderungen des Umweltschutzes zu erfüllen. Moderne Laugewaschanlagen sind mit einem Abfallflüssigkeitsrückgewinnungssystem ausgestattet, das die Entfernungsrate von Schwermetallionen in der Abfallflüssigkeit durch Säure-Alkali-Neutralisations- und Filtrationsgeräte auf mehr als 95 % erhöht.

#### 6.3.2 Elektrolytische Poliergeräte

Durch elektrolytisches Polieren wird die Oberflächengüte und Korrosionsbeständigkeit der Oberfläche von Molybdändraht durch elektrochemische Reaktionen weiter verbessert.

Elektrolytischer PolierbehälterDer elektrolytische Polierbehälter besteht aus säurebeständigen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Materialien wie PTFE, und der Elektrolyt ist in der Regel eine Schwefelsäure- oder Phosphorsäurelösung mit einer Konzentration von 20-30%. Als Anode wird der mikroskopisch kleine Vorsprung auf der Oberfläche des Molybdändrahtes nach dem Energetisieren aufgelöst, und die Oberflächenrauheit kann auf weniger als Ra 0,02 Mikrometer reduziert werden. Die elektrolytische Polieranlage ist mit einer Konstantstromversorgung ausgestattet, die Stromdichte wird auf 10-20 A/dm² geregelt und die Polierzeit beträgt 5-15 Sekunden.

Die Qualität des prozessgesteuerten Elektropolierens hängt von der exakten Abstimmung der Elektrolyttemperatur (50-70°C), der Stromdichte und der Geschwindigkeit, mit der der Molybdändraht passiert, ab. Moderne Geräte verwenden ein SPS-Steuerungssystem, um elektrolytische Parameter in Echtzeit zu überwachen und konsistente Polierergebnisse zu gewährleisten.

### 6.3.3 Anlagen zur Beschichtung von Graphitemulsionen

Graphitemulsionsbeschichtungsanlagen werden verwendet, um eine Graphitbeschichtung auf die Oberfläche von Molybdändraht aufzutragen, um seine Schmierfähigkeit und Verschleißfestigkeit zu verbessern, insbesondere bei der Anwendung von Drahterodieren.

BeschichtungsanlagenGraphitemulsionsbeschichtungsanlagen umfassen in der Regel einen Beschichtungstank, einen Trockenofen und ein Traktionssystem. Der Molybdändraht durchläuft den Beschichtungsbehälter mit der Graphitemulsion mit einer Geschwindigkeit von 5-10 m/min, und die Schichtdicke wird auf 1-2 Mikrometer geregelt. Die Ofentemperatur beträgt 100-150°C, was dafür sorgt, dass die Beschichtung schnell aushärtet.

Formulierung von GraphitemulsionenGraphitemulsionen bestehen in der Regel aus hochreinem Graphitpulver, Bindemittel und Lösungsmittel mit einem Graphitgehalt von 10-20 %. Die Beschichtungsanlage ist mit einer Rührvorrichtung ausgestattet, um die Homogenität der Graphitmilch zu gewährleisten.

## 6.4 Wärmebehandlungsanlagen

Die Wärmebehandlung ist ein wichtiger Bestandteil der Herstellung von Molybdändraht, der zur Beseitigung innerer Spannungen und zur Verbesserung der Duktilität und der mechanischen Eigenschaften von Materialien während des Drahtziehprozesses eingesetzt wird. Die Wärmebehandlungsanlagen umfassen hauptsächlich einen Vakuum-Wärmebehandlungsofen und einen Glühofen.

### 6.4.1 Vakuum-Wärmebehandlungsöfen

Vakuum-Wärmebehandlungsöfen werden zur Wärmebehandlung von Molybdändraht in einer Hochtemperatur-Vakuumumgebung verwendet, um Oxidation zu vermeiden und die Kristallstruktur zu verbessern.

Struktur des VakuumofensDer Vakuum-Wärmebehandlungsofen verwendet Molybdän oder Wolfram als Heizelement, die Arbeitstemperatur kann 1600-1800 °C erreichen und der Vakuumgrad

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

wird unter $10^{-3}$ Pa geregelt. Der Ofen ist mit einem mehrstufigen Temperaturregelungssystem ausgestattet, die Heizrate wird auf 5-10 °C/min geregelt und die Haltezeit beträgt 1-2 Stunden.

Durch die Vakuum-Wärmebehandlung zur Prozessoptimierung können die Eigenspannungen im Molybdändraht effektiv beseitigt und seine Duktilität und Zähigkeit verbessert werden. Moderne Vakuumöfen sind mit einem Online-Überwachungssystem ausgestattet, um die Temperatur und den Vakuumgrad von Molybdändraht in Echtzeit zu erfassen und so sicherzustellen, dass der Wärmebehandlungseffekt konstant ist.

### 6.4.2 Glühöfen

Glühöfen werden verwendet, um Molybdändraht bei niedrigeren Temperaturen zu glühen, um seine mechanischen Eigenschaften weiter zu optimieren.

Kontinuierlicher Glühofen Der kontinuierliche Glühofen verwendet Wasserstoff oder Argon, um die Atmosphäre zu schützen, die Temperatur wird auf 800-1200 °C geregelt und der Molybdändraht durchläuft den Ofenkörper mit einer Geschwindigkeit von 5-15 m/min. Der Glühofen ist mit einem Infrarot-Thermometer mit einer Temperiergenauigkeit von ±5°C ausgestattet.

Segmentierter GlühprozessDer Glühprozess wird normalerweise in drei Stufen unterteilt: Vorwärmen, Wärmeerhaltung und Abkühlen, die Vorwärmtemperatur beträgt 600-800 °C, die Haltetemperatur 1000-1100 °C und die Abkühlung erfolgt durch Inertgasinjektion, um Oxidation zu vermeiden.

## 6.5 Prüf- und Qualitätskontrollgeräte

Die Qualität von Molybdändraht wirkt sich direkt auf seine Leistung beim Drahterodieren aus, und Inspektions- und Qualitätskontrollgeräte werden eingesetzt, um sicherzustellen, dass die Maßhaltigkeit, die Oberflächenqualität und die mechanischen Eigenschaften von Molybdändraht den Anforderungen entsprechen. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse unter drei Aspekten: Drahtdurchmessermessung, Erkennung von Oberflächenfehlern und Zugfestigkeitsprüfung.

### 6.5.1 Messgerät für Drahtdurchmesser

Drahtdurchmessermessgeräte werden verwendet, um den Durchmesser von Molybdändraht genau zu messen und sicherzustellen, dass er die Toleranzen einhält.

Laserdrahtdurchmesser-MessgerätDas Laserdrahtdurchmessermessgerät verwendet ein berührungsloses Messprinzip mit einer Genauigkeit von ±0,0001 mm und ist für Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,05 bis 0,3 mm geeignet. Das Gerät ist mit einem Hochgeschwindigkeits-Scansystem mit einer Messfrequenz von bis zu 1000 Mal pro Sekunde ausgestattet, das die Durchmesseränderung des Molybdändrahtes in Echtzeit erfassen kann.

Das moderne Drahtdurchmessermessgerät ist in die Drahtziehlinie integriert, und der Durchmesser des Molybdändrahtes wird über das Online-Inspektionssystem in Echtzeit überwacht und zur

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

automatischen Einstellung an die Drahtziehmaschine zurückgegeben.

### 6.5.2 Detektor für Oberflächendefekte

Oberflächenfehlerdetektoren werden verwendet, um Defekte wie Kratzer, Risse und Oxide auf der Oberfläche von Molybdändraht zu erkennen und so die Oberflächenqualität sicherzustellen.

Inspektion des optischen MikroskopsDer Inspektor für das optische Mikroskop ist mit einer hochauflösenden CCD-Kamera mit einer bis zu 1000-fachen Vergrößerung ausgestattet, die in der Lage ist, Defekte im Mikrometerbereich auf der Oberfläche von Molybdändraht zu erkennen.

WirbelstromprüfgeräteWirbelstromprüfgeräte erkennen interne Defekte und Oberflächenrisse auf der Oberfläche von Molybdändraht durch das Prinzip der elektromagnetischen Induktion, das für die kontinuierliche Hochgeschwindigkeitsprüfung geeignet ist. Das Gerät hat eine Empfindlichkeit von bis zu 0,1 Mikrometern und eine Detektionsgeschwindigkeit von bis zu 20 m/min.

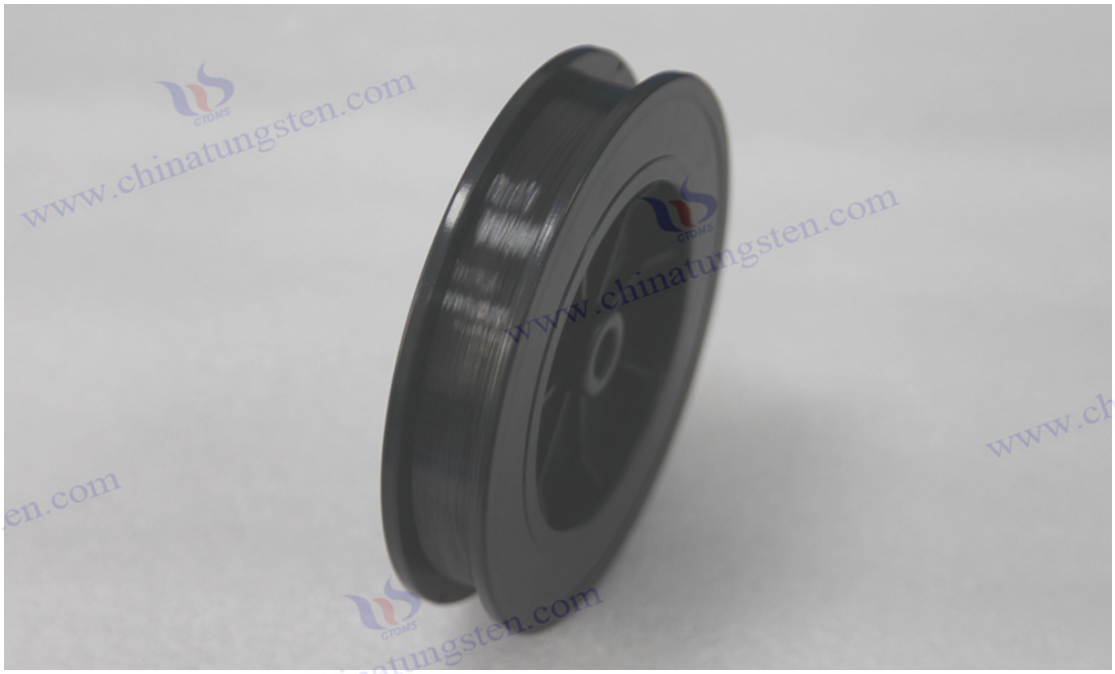
### 6.5.3 Zugfestigkeitsprüfmaschine

Zugfestigkeitsprüfmaschinen werden verwendet, um die mechanischen Eigenschaften von Molybdändraht zu messen, um sicherzustellen, dass er in einer hochfesten Drahtschneideumgebung nicht bricht.

MikrozugprüfmaschineDie Mikrozugprüfmaschine ist für Molybdändrähte mit feinem Durchmesser ausgelegt, mit einem Prüfbereich von 0,1 bis 100 N und einer Genauigkeit von ±0,1 %. Die Anlage ist mit hochpräzisen Vorrichtungen ausgestattet, um eine Beschädigung des Molybdändrahtes während des Spannvorgangs zu vermeiden.

Dynamisches Prüfsystem Moderne Zugfestigkeitsprüfgeräte sind mit dynamischen Belastungsfunktionen ausgestattet, die den tatsächlichen Spannungszustand von Molybdändraht beim Drahterodieren simulieren.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

**Kapitel 7 In- und ausländische Normen für das Molybdändrahterodieren**

Um die Herstellung, Prüfung und Anwendung von Molybdändraht zu standardisieren, wurde im In- und Ausland eine Reihe strenger Normen formuliert, die viele Aspekte wie chemische Zusammensetzung, mechanische Eigenschaften, Maßhaltigkeit, Oberflächenqualität und Kontrolle des Produktionsprozesses abdecken. Diese Normen bieten eine technische Grundlage für die Hersteller, geben den Anwendern einen Referenzrahmen für die Qualitätsbewertung und fördern den kontinuierlichen Fortschritt der Technologie zur Herstellung von Molybdändraht. In diesem Kapitel werden die nationalen und internationalen Normen für das Molybdändrahterodieren und die vergleichende Analyse der beiden Normen umfassend erörtert und die technischen Anforderungen, Prozessauswirkungen und Anwendungsszenarien der Normen eingehend analysiert.

### 7.1 Inländische Norm für Molybdändraht-Erodieren

Als eines der wichtigsten Länder bei den weltweiten Molybdänreserven und der Produktion von Molybdänprodukten hat China eine Reihe von nationalen Standards (GB/T) und Industriestandards formuliert, um die Produktion und Anwendung von Molybdändraht zu regulieren. Diese Normen stellen strenge Anforderungen an die chemische Reinheit, die mechanischen Eigenschaften, die Maßgenauigkeit und die Oberflächenqualität von Molybdändrahterodieren, die in den Bereichen Drahterodieren, Formenbau, Elektronikindustrie und elektrische Lichtquelle weit verbreitet sind. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse des technischen Inhalts und der Anwendungsbedeutung der spezifischen Normen.

#### 7.1.1 GB/T 4182-2017

GB / T 4182-2017 "Molybdändraht" ist der von China formulierte nationale Kernstandard für Molybdändraht, der für Molybdändraht im Drahterodieren, in der Elektronikindustrie, in der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

elektrischen Lichtquelle und in anderen High-Tech-Bereichen geeignet ist. Die Norm regelt umfassend die Qualität von Molybdändraht unter vielen Aspekten wie chemischer Zusammensetzung, mechanischen Eigenschaften, Maßhaltigkeit, Oberflächengüte und Prüfverfahren.

Anforderungen an die chemische Zusammensetzung

GB/T 4182-2017 schreibt vor, dass der Molybdängehalt von Molybdändraht zum Drahtschneiden mehr als 99,95 % erreichen muss und der Gesamtgehalt an Verunreinigungselementen (wie Eisen, Nickel, Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff usw.) 0,05 % nicht überschreiten darf. Konkret liegt der Eisengehalt (Fe) ≤ 0,005 %, der Nickel (Ni)-Gehalt ≤ 0,003 %, der Kohlenstoffgehalt (C) ≤ 0,01 %, der Sauerstoffgehalt (O) ≤ 0,003 % und der Stickstoffgehalt (N) ≤ 0,002 %. Hohe Reinheitsanforderungen stellen sicher, dass Molybdändraht eine ausgezeichnete chemische Stabilität in Hochfrequenzentladungen und Hochtemperaturumgebungen aufweist. Beim Drahterodieren kann beispielsweise hochreiner Molybdändraht die Elektrodenverluste während der Entladung erheblich reduzieren, die Lebensdauer verlängern und die Schneideffizienz verbessern. Darüber hinaus reduziert die strenge Kontrolle von Spurenelementen in der Norm auch die Oxidationsneigung von Molybdändraht bei hohen Temperaturen, was seine Zuverlässigkeit in komplexen Verarbeitungsumgebungen erhöht.

Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften

Die Zugfestigkeit und Bruchdehnung von Molybdändraht sind in der Norm detailliert festgelegt. Die Zugfestigkeit des Molybdändrahterodierens im Bereich von 0,05 bis 0,3 mm und die Bruchdehnung sollten 1800 bis 2200 MPa erreichen, und die Bruchdehnung sollte ≥2% betragen. Diese Leistungsindikatoren stellen sicher, dass Molybdändraht dauerhaften mechanischen Belastungen standhält und Stöße entlastet, ohne beim Schneiden von hochfestem Draht zu brechen. Die Norm verlangt auch, dass Molybdändraht während des Produktionsprozesses einer geeigneten Wärmebehandlung (z. B. Vakuumglühen oder Wasserstoffglühen) unterzogen wird, um seine Kristallstruktur zu optimieren und die während des Ziehprozesses entstehenden inneren Spannungen zu beseitigen und dadurch die Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit zu verbessern.

Maßhaltigkeit und Oberflächengüte

GB / T 4182-2017 stellt extrem strenge Anforderungen an die Maßgenauigkeit von Molybdändraht, die Durchmessertoleranz muss innerhalb von ±0,002 mm kontrolliert werden und der Rundheitsfehler ≤ 0,001 mm, um die Gleichmäßigkeit des Auslassspalts und die Stabilität der Bearbeitungsgenauigkeit im Drahtschneideprozess zu gewährleisten. In Bezug auf die Oberflächenqualität verlangt die Norm, dass die Oberflächenrauheit von Molybdändraht Ra≤0,05 Mikrometer beträgt und keine Risse, Kratzer, Oxide, Ölflecken oder andere mikroskopische Defekte auf der Oberfläche vorhanden sein dürfen. Diese Anforderungen sind entscheidend für die Abtragsstabilität und Oberflächengüte des Drahterodierens, insbesondere bei der Bearbeitung von Mikrostrukturen oder hochpräzisen Formen, bei denen die Oberflächenqualität von Molybdändraht die geometrische Genauigkeit und Oberflächenrauheit der bearbeiteten Teile direkt beeinflusst.

Prüfmethoden & Qualitätskontrolle

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Die Norm legt die Prüfverfahren für Molybdändraht detailliert fest, einschließlich der Analyse der chemischen Zusammensetzung, der Prüfung mechanischer Eigenschaften, der Dimensionsmessung und der Prüfung der Oberflächenqualität. Bei der Analyse der chemischen Zusammensetzung werden hochpräzise Instrumente wie die Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) oder die Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) verwendet, um eine genaue Messung des Verunreinigungsgehalts zu gewährleisten. Bei der Prüfung der mechanischen Eigenschaften wird eine Miniatur-Zugprüfmaschine verwendet, um die Zugfestigkeit und Bruchdehnung mit einer Genauigkeit von ±0,1 % zu messen. Bei der Größenmessung wird ein Laserdrahtdurchmessermessgerät verwendet, und die Erkennungsfrequenz kann 1000 Mal / Sekunde erreichen, um die Konsistenz des Durchmessers zu gewährleisten. Die Oberflächenqualitätsprüfung kombiniert ein optisches Mikroskop (1000-fache Vergrößerung) und einen Wirbelstromdetektor zur Identifizierung von Oberflächenfehlern im Bereich von 0,1 Mikrometern. Die Norm verlangt von den Herstellern auch, ein solides Qualitätskontrollsystem einzurichten, einschließlich der Prüfung des Rohstoffeingangs, der Überwachung des Produktionsprozesses und der Werksinspektion des Endprodukts, um die Konsistenz der Leistung jeder Charge von Molybdändraht sicherzustellen.

Bedeutung der Anwendung

GB/T 4182-2017 bietet eine einheitliche technische Spezifikation für die Herstellung von Molybdändrahterodieren und fördert die Standardisierung und groß angelegte Entwicklung der heimischen Molybdändrahtindustrie. Die hohen Anforderungen dieser Norm haben die Hersteller dazu veranlasst, die Rohstoffvorbereitung, die Drahtziehprozesse und die Oberflächenbehandlungstechniken zu optimieren, um die Leistung und Zuverlässigkeit von Molybdändrähten zu verbessern. Darüber hinaus bietet die Norm den Anwendern klare Leistungsindikatoren für die Materialauswahl und Qualitätsbewertung in Bereichen wie Formenbau, Luft- und Raumfahrt und Elektronik.

### 7.1.2 GB/T 3462-2017

GB / T 3462-2017 "Molybdänstab und Molybdändraht" ist ein allgemeiner nationaler Standard für Molybdänstab und Molybdändraht in China, der für verschiedene Anwendungsszenarien wie Drahtschneiden, elektrische Lichtquelle, thermisches Spritzen usw. geeignet ist. Auf der Grundlage von GB/T 4182-2017 verfeinert diese Norm die Klassifizierung, die Leistungsanforderungen und die Spezifikationen des Produktionsprozesses von Molybdändraht weiter.

Klassifizierung & Spezifikationen

Die Norm unterteilt Molybdändraht je nach Anwendung in drei Kategorien: Molybdändraht zum Drahtschneiden, Molybdändraht für elektrische Lichtquellen und Molybdändraht für spezielle Zwecke. Der Durchmesserbereich von Molybdändraht zum Drahtschneiden beträgt 0,05 bis 0,3 mm, und die Durchmessertoleranzanforderung beträgt ±0,002 mm. Die Norm klassifiziert auch den Oberflächenzustand von Molybdändraht, einschließlich schwarzem Draht (unpoliert mit einer Oxidschicht auf der Oberfläche), weißem Draht (elektropoliert mit glatter Oberfläche) und beschichtetem Draht (beschichtet mit Graphitemulsion oder einer anderen Schmierschicht). Zum Beispiel erfordert weißer Draht für das Drahterodieren eine Oberflächenrauheit von Ra ≤0,02


Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Mikrometer, um die Entladestabilität zu verbessern, während beschichtete Drähte eine gleichmäßige Schichtdicke (1-2 Mikrometer) gewährleisten müssen, um den Reibungskoeffizienten zu reduzieren und die Lebensdauer zu verlängern.

Mechanische Eigenschaften und Wärmebehandlung

GB / T 3462-2017 verlangt, dass die Zugfestigkeit von Molybdändraht zum Drahtschneiden 1800-2300 MPa beträgt und die Bruchdehnung ≥1,5 % beträgt. Im Vergleich zu GB/T 4182-2017 stellt diese Norm etwas höhere Festigkeitsanforderungen, was die besonderen Anforderungen des Molybdändrahterodierens in einer hochfesten Verarbeitungsumgebung widerspiegelt. Die Norm legt auch fest, dass Molybdändraht in einem Temperaturbereich von 800-1200 °C und einer Schutzatmosphäre aus Wasserstoff oder Hochvakuum ($\leq 10^{-3}$ Pa) geglüht oder vakuumwärmebehandelt werden sollte, um Eigenspannungen während des Ziehprozesses zu eliminieren und die Korngröße zu optimieren (typischerweise bei 5-10 Mikrometern geregelt). Die Standardisierung des Wärmebehandlungsprozesses gewährleistet die Stabilität des Molybdändrahtes bei hochfrequenter Entladung und mechanischer Dehnung und reduziert das Risiko eines Drahtbruchs.

Anforderungen an Verpackung und Lagerung

Die Norm stellt detaillierte Anforderungen an die Verpackung und Lagerung von Molybdändraht, bei dem es sich um feuchtigkeits- und oxidationssichere Verpackungen handeln muss, wie z. B. Vakuum-Plastiktüten oder mit Inertgas (Argon oder Stickstoff) gefüllte Verpackungen, um Molybdändraht vor Oxidation oder Feuchtigkeit während des Transports und der Lagerung zu schützen. Die Verpackung sollte mit der Spezifikation, der Chargennummer, dem Gewicht und der Länge des Molybdändrahtes gekennzeichnet sein, z. B. beträgt die Länge jeder Rolle Molybdändraht in der Regel 1000-3000 Meter und das Gewicht 0,5-2 kg. Die Norm verlangt auch, dass das Verpackungsmaterial eine ausreichende Druckfestigkeit aufweist, um eine Beschädigung des Molybdändrahtes während des Transports zu vermeiden. Diese Anforderungen stellen sicher, dass der Molybdändraht optimal an den Benutzer geliefert wird.

Bedeutung der Anwendung

GB/T 3462-2017 bietet gezielte technische Anleitungen für verschiedene Anwendungsszenarien, indem die Klassifizierung und die Leistungsanforderungen von Molybdändraht verfeinert werden. Zum Beispiel machen die hohen Anforderungen an die Festigkeit und Oberflächengüte von Molybdändraht zum Drahtschneiden ihn für die hochpräzise Formenbearbeitung geeignet; Die hohe Temperaturstabilität von Molybdändraht für elektrische Lichtquellen erfüllt die Anforderungen der Lampenherstellung. Die Umsetzung dieser Norm hat die Optimierung des Produktionsprozesses von Molybdändraht gefördert und die Entwicklung der heimischen Molybdändrahtindustrie in Richtung hoher Leistung und hoher Wertschöpfung gefördert.

### 7.1.3 Weitere relevante Industrienormen

Zusätzlich zu den nationalen Normen hat China auch eine Reihe von Industrienormen formuliert, die spezifischere Anforderungen an Molybdändraht in bestimmten Anwendungsbereichen stellen. Diese Normen spielen in High-Tech-Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

und der Elektronikindustrie eine wichtige Rolle.

YS/T 357-2006

Dieser Industriestandard wurde speziell für Molybdändraht für das Drahterodieren entwickelt, wobei der Schwerpunkt auf seiner chemischen Zusammensetzung, Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität liegt. Die Norm verlangt einen Molybdängehalt von ≥ 99,95 %, einen Gesamtverunreinigungsgehalt von ≤ 0,05 %, eine Durchmessertoleranz von ±0,0015 mm und eine Oberflächenrauheit von Ra≤0,02 μm. Die Norm stellt auch Anforderungen an die Verschleißfestigkeit und Stabilität von Molybdändraht in Umgebungen mit Hochfrequenzentladungen, z. B. beim Schneiden von Hartmetall oder Superlegierungen, sollte die Verlustrate von Molybdändraht weniger als 0,1 % betragen. Darüber hinaus verlangt die Norm, dass der Molybdändraht elektropoliert oder mit Graphitemulsion beschichtet wird, um die Oberflächengüte und Schmierfähigkeit zu verbessern und so ungleichmäßige Lichtbogen- und Elektrodenverluste während der Entladung zu reduzieren.

HB 7742-2004

Diese Norm für die Luft- und Raumfahrtindustrie zielt auf Molybdändrahtanwendungen in der Luft- und Raumfahrt ab und legt den Schwerpunkt auf Hochtemperaturleistung, Ermüdungsbeständigkeit und Dimensionsstabilität. Die Norm verlangt, dass der Molybdändraht in einer Hochtemperaturumgebung von 1500 °C stabile mechanische Eigenschaften beibehält, mit einer Zugfestigkeit von ≥ 1800 MPa und einer Ermüdungslebensdauer von ≥ 10μ-fachen. In Bezug auf die Oberflächenqualität verlangt die Norm eine Oberflächenrauheit von Ra≤0,015 μm und keine mikroskopischen Defekte auf der Oberfläche, um die hochpräzisen Anforderungen bei der Bearbeitung von Triebwerksteilen zu erfüllen. Die Norm stellt auch spezifische Anforderungen an den Wärmebehandlungsprozess von Molybdändraht, wie z. B. die Wärmebehandlung in einer Vakuumumgebung von 1600-1800 °C, um die Kristallstruktur und die mechanischen Eigenschaften zu optimieren.

Weitere Industriestandards

Im Bereich der Medizinprodukte stellen einschlägige Industrienormen (z. B. YY/T-Serie) höhere Anforderungen an die Biokompatibilität und Oberflächenqualität von Molybdändraht. Zum Beispiel benötigt medizinischer Molybdändraht eine spezielle Oberflächenbehandlung (z. B. elektrolytisches Polieren und Ultraschallreinigung), um Ungiftigkeit und geringe Oberflächenrauheit (Ra ≤ 0,01 Mikrometer) zu gewährleisten, was für die Verarbeitung hochpräziser medizinischer Geräte wie Herzstents und Knochenschrauben geeignet ist. Darüber hinaus verlangen die Normen in der Elektronikindustrie Molybdändraht mit extrem hoher Dimensionskonsistenz und Leitfähigkeit, um die Verarbeitungsanforderungen von Halbleiterformen und mikroelektronischen Steckverbindern zu erfüllen.

Bedeutung der Anwendung

Diese Industrienormen ergänzen die Mängel der nationalen Normen und stellen genauere Anforderungen an die Anwendungsanforderungen bestimmter Bereiche. Zum Beispiel fördert YS/T 357-2006 die Anwendung von Molybdändrahterodieren bei der Verarbeitung von Materialien mit

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

hoher Härte; HB 7742-2004 gewährleistet die Zuverlässigkeit von Molybdändraht in der Luft- und Raumfahrt. Die Umsetzung dieser Normen verbessert nicht nur die Qualität von Molybdändraht, sondern fördert auch den technologischen Fortschritt und die Wettbewerbsfähigkeit verwandter Industrien.

### 7.2 Internationaler Standard für das Erodieren von Molybdändraht

Internationale Normen bieten einen globalen technischen Rahmen für die Herstellung und Anwendung von Molybdändraht, der im grenzüberschreitenden Handel, im Technologieaustausch und in der internationalen Zusammenarbeit weit verbreitet ist. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse der internationalen Normanforderungen für das Molybdändrahterodieren auf der Grundlage von ASTM, ISO und anderen internationalen Normen.

#### 7.2.1 ASTM B387 Standardspezifikation für Stäbe, Drähte und Platten aus Molybdän und Molybdänlegierungen

ASTM B387 ist eine Norm für Molybdän- und Molybdänlegierungsprodukte, die von der American Society for Testing and Materials (ASTM) formuliert wurde und in verschiedenen Szenarien wie Molybdändrahterodieren, Molybdändraht mit elektrischer Lichtquelle und Molybdändraht mit thermischem Spritzen weit verbreitet ist. Diese Norm stellt detaillierte Anforderungen an die chemische Zusammensetzung, die mechanischen Eigenschaften, die Maßhaltigkeit und die Oberflächengüte von Molybdändraht.

Chemische Zusammensetzung und Einstufung

ASTM B387 klassifiziert Molybdändraht in mehrere Sorten, wobei Typ 361 (hochreines Molybdän, Molybdängehalt ≥ 99,95 %) die Hauptart von Molybdändraht zum Drahtschneiden ist. Die Norm schreibt vor, dass der Gesamtgehalt an Verunreinigungselementen ≤ 0,05 % betragen muss, einschließlich ≤ 0,005 % Eisen (Fe), 0,003 % ≤ Nickel (Ni), 0,01 % ≤ Kohlenstoff (C), 0,005 % ≤ Sauerstoff (O) und 0,002 % ≤ Stickstoff (N). Im Vergleich zur inländischen Norm stellt ASTM B387 etwas weniger strenge Anforderungen an den Sauerstoffgehalt, aber die Kontrolle anderer Verunreinigungen ist genauso streng. Hohe Reinheitsanforderungen gewährleisten die Stabilität von Molybdändraht in Umgebungen mit hohen Temperaturen und korrosiven Umgebungen und eignen sich für das Drahterodieren und die Herstellung von elektrischen Lichtquellen.

Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften

Die Norm schreibt vor, dass die Zugfestigkeit von Molybdändraht zum Drahtschneiden 1700-2200 MPa beträgt und die Bruchdehnung ≥2 % beträgt, und die spezifische Leistung variiert je nach Durchmesser und Anwendung. Zum Beispiel muss Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,1 bis 0,2 mm eine hohe Zugfestigkeit (≥2000 MPa) aufweisen, um der hohen Spannung beim Drahtschneiden standzuhalten. Die Norm verlangt auch, dass der Molybdändraht bei einer Temperatur von 800-1200 °C und einer Schutzatmosphäre aus Wasserstoff oder Vakuum geglüht wird, um die mechanischen Eigenschaften und die Zähigkeit zu optimieren. Der Glühprozess erfordert eine strenge Kontrolle der Heizrate (5-10 °C/min) und der Haltezeit (1-2 Stunden), um eine übermäßige Korngröße oder innere Spannungsrückstände zu vermeiden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Maßhaltigkeit und Oberflächengüte

ASTM B387 verlangt eine Durchmessertoleranz von Molybdändraht von ±0,002 mm, einen Rundheitsfehler von ≤0,001 mm, eine Oberflächenrauheit von Ra≤0,05 µm und keine Risse, Kratzer, Oxide oder andere Defekte auf der Oberfläche. Diese Anforderungen gewährleisten die Gleichmäßigkeit des Austrags und die Bearbeitungsgenauigkeit von Molybdändraht beim Drahterodieren. Darüber hinaus stellt die Norm auch Anforderungen an die Oberflächenbehandlung von Molybdändraht, wie z. B. elektrolytisches Polieren oder chemische Reinigung zur Entfernung der Oberflächenoxidschicht, um die Oberflächengüte und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.

Prüfung & Zertifizierung

Die Norm legt die Nachweisverfahren für Molybdändraht fest, einschließlich der Analyse der chemischen Zusammensetzung (mittels Röntgenfluoreszenzspektroskopie oder ICP-MS), der Prüfung der mechanischen Eigenschaften (mit einer Mikrozugprüfmaschine), der Dimensionsmessung (mit einem Laserdrahtdurchmessermessgerät) und der Prüfung der Oberflächenqualität (mit einem optischen Mikroskop oder Rasterelektronenmikroskop). Die Prüfergebnisse werden in einem Qualitätszertifikat festgehalten und dem Anwender zur Verfügung gestellt, um die Rückverfolgbarkeit der Produktqualität zu gewährleisten. Die Norm verlangt von den Herstellern auch, ihre Prüfgeräte regelmäßig zu kalibrieren, um sicherzustellen, dass die Messgenauigkeit den Anforderungen entspricht (z. B. müssen Lasermessgeräte auf ±0,0001 mm genau sein).

Bedeutung der Anwendung

ASTM B387 bietet eine einheitliche technische Spezifikation für globale Hersteller von Molybdändraht und fördert die Zirkulation und Anwendung von Molybdändraht auf dem internationalen Markt. Die hohen Anforderungen dieser Norm haben zu Verbesserungen in den Produktionsprozessen geführt, wie z. B. die Anwendung von hochpräzisem Drahtziehen, Vakuumwärmebehandlung und Oberflächenpoliturtechnologie, die die Leistung und Zuverlässigkeit von Molybdändraht verbessert haben. Darüber hinaus stellt die Norm den Anwendern klare Kennzahlen für die Materialauswahl und Qualitätsbewertung in der Luft- und Raumfahrt, der Elektronikindustrie und dem Formenbau zur Verfügung.

### 7.2.2 Zertifizierung des Qualitätsmanagementsystems nach ISO 9001

ISO 9001 ist eine Norm für Qualitätsmanagementsysteme, die von der Internationalen Organisation für Normung (ISO) formuliert wurde, obwohl es sich nicht um eine spezielle Norm für Molybdändraht handelt, wird sie häufig im Qualitätsmanagement von Molybdändrahtproduktionsunternehmen verwendet, um die Standardisierung des Produktionsprozesses und die Stabilität der Produktqualität sicherzustellen.

Anforderungen an das Qualitätsmanagementsystem

Die ISO 9001 verlangt von den Herstellern, ein umfassendes Qualitätsmanagementsystem einzurichten, das die Rohstoffbeschaffung, die Kontrolle des Produktionsprozesses, die Produktprüfung, die Verpackung und den Transport sowie den Kundendienst umfasst. Für die Herstellung von Molybdändraht ist es notwendig, die Kontrollierbarkeit des gesamten Prozesses

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

von der Molybdänpulvervorbereitung über das Sintern, das Drahtziehen, die Oberflächenbehandlung bis hin zur Wärmebehandlung sicherzustellen. Die Norm verlangt von Unternehmen, einen detaillierten Qualitätskontrollplan zu formulieren, der Standards für die Annahme von Rohstoffen, die Überwachung von Produktionsparametern, Testspezifikationen für das fertige Produkt usw. umfasst. Zum Beispiel muss das Rohmaterial Molybdänpulver einer chemischen Zusammensetzungsanalyse und Partikelgrößenprüfung unterzogen werden, die Durchmessertoleranz und die Oberflächenqualität müssen während des Drahtziehprozesses in Echtzeit überwacht werden, und fertiger Molybdändraht muss auf Zugfestigkeit und Oberflächenrauheit getestet werden.

Prozesskontrolle und Rückverfolgbarkeit

ISO 9001 betont die Rückverfolgbarkeit des Produktionsprozesses und verlangt von Unternehmen, die Produktionsparameter (z. B. Ziehgeschwindigkeit, Glühtemperatur, Oberflächenbehandlungsprozess) und Prüfdaten (z. B. Durchmessertoleranz, Oberflächenrauheit, Zugfestigkeit) jeder Charge von Molybdändraht aufzuzeichnen. Diese Aufzeichnungen werden mindestens 3 Jahre lang aufbewahrt und können den Benutzern zur Verfügung gestellt werden, um die Qualität ihrer Produkte zu verfolgen. Darüber hinaus verlangt die Norm von Unternehmen, regelmäßige interne Audits und Management-Reviews durchzuführen, um potenzielle Probleme im Produktionsprozess zu identifizieren und Verbesserungen umzusetzen. Durch die Analyse von Daten über die Bruchrate während des Ziehprozesses können Unternehmen beispielsweise Schmierstoffformulierungen oder Ziehwerkzeugkonstruktionen optimieren, um die Produktionseffizienz zu verbessern.

Kontinuierliche Verbesserung und Kundenzufriedenheit

Die Norm verlangt von Unternehmen, die Produktqualität und die Kundenzufriedenheit durch kontinuierliche Verbesserung zu verbessern. So können Hersteller von Molybdändraht beispielsweise die Ausschussraten senken und die Produktkonsistenz verbessern, indem sie automatisierte Inspektionsgeräte wie Inline-Laser-Drahtdurchmessermessgeräte einführen oder Wärmebehandlungsprozesse optimieren. Die ISO 9001 verlangt von Unternehmen auch, Kundenfeedback-Mechanismen einzurichten, um Qualitätsprobleme zu lösen und Produktionsprozesse rechtzeitig zu verbessern und so die Wettbewerbsfähigkeit des Marktes zu verbessern.

Bedeutung der Anwendung

Die Zertifizierung nach ISO 9001 bietet einen internationalen Qualitätsmanagementrahmen für Hersteller von Molybdändraht, der zur Verbesserung der Produktionseffizienz und Produktqualität beiträgt. Durch die Implementierung der Norm ISO 9001 können Unternehmen beispielsweise die Ausfallrate von Molybdändraht von 0,1 % auf 0,02 % senken und den Produktionszyklus um 20 % verkürzen. Darüber hinaus stärkt die Zertifizierung nach ISO 9001 die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens auf dem internationalen Markt und erleichtert den Zugang zu Märkten mit hohen Qualitätsanforderungen wie Europa, den Vereinigten Staaten und Japan.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 7.2.3 Sonstige internationale Normen für Molybdänerzeugnisse

Neben ASTM B387 und ISO 9001 gibt es mehrere internationale Normen für Molybdändraht, die spezifischere Anforderungen für bestimmte Anwendungsbereiche stellen.

JIS H 4461

Der japanische Industriestandard (JIS H 4461) eignet sich für Molybdändraht in elektrischen Lichtquellen, Drahterodier- und Hochtemperaturanwendungen. Die Norm fordert einen Molybdängehalt von ≥ 99,95 %, einen Gesamtverunreinigungsgehalt von ≤0,05 %, eine Zugfestigkeit von 1700-2100 MPa und eine Durchmessertoleranz von ± 0,002 mm. Die Norm legt besonderen Wert auf die Leistungsstabilität von Molybdändraht in Hochtemperaturumgebungen, wie z. B. die Aufrechterhaltung der mechanischen Eigenschaften und der Dimensionsstabilität bei 1500 °C. JIS H 4461 stellt auch Anforderungen an die Oberflächenbehandlung von Molybdändraht, wie z. B. die Entfernung der Oberflächenoxidschicht durch elektrolytisches Polieren oder chemische Reinigung und die Oberflächenrauheit von Ra ≤0,03 Mikrometer, um die hohen Anforderungen bei der Herstellung elektrischer Lichtquellen zu erfüllen.

DIN EN 10204 "Prüfdokumentation für Metallerzeugnisse"

Diese europäische Norm verlangt von den Herstellern von Molybdändraht, dass sie Prüfdokumente vorlegen, um nachzuweisen, dass das Produkt den technischen Spezifikationen entspricht. Zu den Dokumenttypen gehören 2.1 (Konformitätserklärung), 3.1 (Herstellerzertifizierung) und 3.2 (Zertifizierung durch Dritte). Für das Erodieren von Molybdändraht muss die Prüfdatei Prüfdaten zur chemischen Zusammensetzung, zu den mechanischen Eigenschaften, zur Maßgenauigkeit und zur Oberflächenqualität enthalten. Zum Beispiel muss das 3.1-Zertifikat die Zugfestigkeit, die Durchmessertoleranz und die Oberflächenrauheit des Molybdändrahtes aufzeichnen und von der Qualitätsabteilung des Unternehmens unterzeichnet und bestätigt werden. Die DIN EN 10204 stellt die Rückverfolgbarkeit der Qualität von Molybdändrähten sicher und stärkt das Vertrauen der Anwender in ihre Produkte.

ISO 22489 Mikrostrahlanalyse - Mikrosonden-Mikroanalytik

Diese Norm gilt für die Analyse der Oberfläche und der inneren Mikrostruktur von Molybdändraht, insbesondere in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Elektronikindustrie. Die Norm legt die Verwendung eines Elektronensonden-Mikroanalysators (EPMA) fest, um die chemische Zusammensetzung und mikroskopische Defekte von Molybdändrähten mit einer Genauigkeit von 0,01 % zu detektieren. Mit der EPMA-Analyse kann beispielsweise Molybdändraht auf Oxide oder Einschlüsse im Bereich von 0,1 Mikrometern auf der Oberfläche des Molybdändrahtes nachgewiesen werden, wodurch der Oberflächenbehandlungsprozess optimiert wird. ISO 22489 bietet fortschrittliche technische Unterstützung für die Inspektion von hochpräzisen Molybdändrähten.

Bedeutung der Anwendung

Diese internationalen Normen bieten technische Unterstützung für die weltweite Produktion und Anwendung von Molybdändraht. So fördert JIS H 4461 die standardisierte Herstellung von Molybdändraht im Bereich der elektrischen Lichtquelle und des Drahtschneidens; DIN EN 10204


Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

stellt die Rückverfolgbarkeit der Produktqualität sicher; Die ISO 22489 bietet technische Unterstützung für die mikroskopische Analyse von hochpräzisen Molybdändrähten. Die Umsetzung dieser Standards hat die breite Anwendung von Molybdändraht in der Luft- und Raumfahrt, Elektronik und Medizin gefördert und das allgemeine technische Niveau der globalen Molybdändrahtindustrie verbessert.

### 7.3 Standardvergleichende Analyse des Molybdändrahterodierens

Der Unterschied zwischen in- und ausländischen Normen wirkt sich direkt auf den Produktionsprozess, die Qualitätskontrolle und die Marktanwendung von Molybdändraht aus. Durch vergleichende Analysen können wir die Anwendbarkeit in- und ausländischer Normen, technischer Anforderungen und deren Auswirkungen auf die Produktqualität tief verstehen.

7.3.1 Unterschiede zwischen in- und ausländischen Normen

Anforderungen an die chemische Zusammensetzung

Inländische Normen (wie z.B. GB/T 4182-2017, GB/T 3462-2017) verlangen einen Molybdängehalt von ≥ 99,95 % und einen Gesamtverunreinigungsgehalt von ≤0,05 %, was grundsätzlich den Anforderungen der ASTM B387 (Typ 361) entspricht. Die inländischen Normen sind jedoch strenger bei der Kontrolle bestimmter Verunreinigungen (wie Sauerstoff und Stickstoff), z. B. verlangt GB/T 4182-2017 einen Sauerstoffgehalt ≤ 0,003 % und einen Stickstoffgehalt ≤ 0,002 %, während ASTM B387 einen Sauerstoffgehalt ≤ 0,005 % und einen Stickstoffgehalt ≤ 0,003 % zulässt. Dieser Unterschied spiegelt die höheren Stabilitätsanforderungen der nationalen Normen für das Molybdändrahterodieren in Umgebungen mit Hochfrequenzentladung wider, insbesondere bei der Verarbeitung von Materialien mit hoher Härte (wie Hartmetall und Titanlegierungen), kann der niedrige Sauerstoffgehalt den Elektrodenverlust während der Entladung reduzieren.

Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften

Die inländische Norm verlangt, dass die Zugfestigkeit des Molybdändrahterodierens 1800-2300 MPa beträgt, was etwas höher ist als die 1700-2200 MPa von ASTM B387. Dies liegt daran, dass inländische Drahterodieranlagen im Allgemeinen hohe Spannungseinstellungen (Spannung bis zu 2-3 N) verwenden, die höhere Anforderungen an die Festigkeit von Molybdändraht stellen. Darüber hinaus sind die Anforderungen an die Bruchdehnung in der nationalen Norm (≥1,5 %-2 %) etwas niedriger als die von ASTM B387 (≥2 %), was den inländischen Fokus auf die Festigkeit von Molybdändraht und nicht auf die Zähigkeit widerspiegelt. Dieser Unterschied führt dazu, dass inländischer Molybdändraht eher für die Verarbeitung von hochfesten und hochhärten Materialien geeignet ist, während internationaler Standard-Molybdändraht in Szenarien mit hohen Zähigkeitsanforderungen (z. B. bei der Herstellung von elektrischen Lichtquellen) mehr Vorteile bietet.

Maßhaltigkeit und Oberflächengüte

Sowohl inländische als auch ausländische Normen verlangen eine Durchmessertoleranz von ±0,002 mm, inländische Normen stellen jedoch strengere Anforderungen an die Oberflächenrauheit (Ra≤0,02 μm vs. Ra ≤0,05 μm). Dies hängt mit den höheren Anforderungen des häuslichen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Erodierdrahtschneidens an die Entladestabilität und Bearbeitungsgenauigkeit zusammen. Bei der Bearbeitung von Mikrostrukturen (z. B. MEMS-Teilen) kann beispielsweise die von den nationalen Normen geforderte geringe Oberflächenrauheit den ungleichmäßigen Lichtbogen während der Entladung erheblich reduzieren und die Oberflächenqualität der bearbeiteten Teile verbessern. Darüber hinaus sieht die inländische Norm eine strengere Kontrolle von Oberflächenfehlern vor und verlangt, dass die Oberfläche frei von mikroskopisch kleinen Kratzern oder Oxiden ist, während ASTM B387 die Spur von Oberflächenfehlern (< einem Durchmesser von 0,1 Mikrometern) zulässt.

Prüfmethoden & Qualitätskontrolle

Die nationalen und internationalen Standards sind in Bezug auf die Nachweismethoden grundsätzlich gleich, wie z. B. ICP-MS zur Analyse der chemischen Zusammensetzung, Laserdrahtdurchmessermessgerät zur Erfassung der Maßgenauigkeit, optisches Mikroskop und Wirbelstromdetektor zur Erfassung der Oberflächenqualität. Nationale Normen legen jedoch mehr Wert auf Online-Tests und Qualitätskontrolle während des gesamten Prozesses. Zum Beispiel verlangt GB/T 4182-2017 eine Echtzeitüberwachung von Durchmessertoleranzen und Oberflächenrauheit während des Drahtziehens und der Oberflächenvorbereitung, während sich ASTM B387 mehr auf die Offline-Inspektion von Fertigprodukten konzentriert. Dieser Unterschied spiegelt die höheren Anforderungen der heimischen Hersteller an Produktionseffizienz und -konsistenz wider, insbesondere in der Großserienproduktion, bei der die Inline-Inspektion die Ausfallrate erheblich reduzieren kann.

Anforderungen an Verpackung und Lagerung

Inländische Normen (wie GB/T 3462-2017) haben detailliertere Anforderungen an die Verpackung und Lagerung und legen eindeutig fest, dass eine Vakuum- oder Inertgasverpackung erforderlich ist, um Molybdänfilamente vor Oxidation oder Feuchtigkeit zu schützen, und dass die Chargennummer, die Spezifikation und das Gewicht gekennzeichnet werden müssen. ASTM B387 stellt relativ milde Anforderungen an die Verpackung und verlangt lediglich, dass die Verpackung den Molybdändraht vor physischen Beschädigungen schützt. Dieser Unterschied spiegelt die zunehmende Fokussierung der inländischen Normen auf die langfristige Lager- und Transportstabilität von Molybdändraht wider, insbesondere in feuchten oder hochtemperaturigen Umgebungen.

### 7.3.2 Der Einfluss von Normen auf die Produktqualität

Optimierung des Produktionsprozesses

Die strengen Anforderungen in- und ausländischer Normen haben die kontinuierliche Verbesserung des Produktionsprozesses von Molybdändraht gefördert. Beispielsweise haben die Anforderungen von GB/T 4182-2017 für einen niedrigen Sauerstoffgehalt Unternehmen dazu veranlasst, Hochvakuum-Sinteröfen und Wasserstoffreduktionsöfen einzusetzen, um die Oxidation von Molybdänpulver und Molybdändraht zu reduzieren. Die Anforderungen an die Oberflächenqualität nach ASTM B387 haben den weit verbreiteten Einsatz von Elektropolieren, Graphitemulsionsbeschichtung und Ultraschallreinigungstechniken vorangetrieben. Diese Prozessverbesserungen verbessern die chemische Stabilität, die mechanischen Eigenschaften und die Oberflächengüte von Molybdändraht erheblich. Durch die Optimierung des Vakuumglühprozesses (1700 °C, 1,5 Stunden Halten) kann beispielsweise die Zugfestigkeit von

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Molybdändraht von 1800 MPa auf 2200 MPa erhöht und die Bruchrate um 60 % reduziert werden.

Qualitätskonsistenz und Zuverlässigkeit

Die standardisierten Anforderungen der Norm gewährleisten die Konsistenz und Zuverlässigkeit der Qualität von Molybdändraht. Das Qualitätsmanagementsystem ISO 9001 verlangt beispielsweise, dass Unternehmen ein Qualitätskontrollsystem für den gesamten Prozess einrichten, das von der Rohstoffbeschaffung bis zur Prüfung des fertigen Produkts aufgezeichnet und überwacht werden muss, um die Ausfallrate zu reduzieren. Die strenge Kontrolle von Oberflächenfehlern in nationalen Normen (wie YS/T 357-2006) hat Unternehmen dazu veranlasst, hochpräzise Prüfgeräte (wie Rasterelektronenmikroskope) einzuführen, um die Erkennungsrate von Oberflächenfehlern auf mehr als 99,5 % zu erhöhen. Diese Maßnahmen gewährleisten die stabile Leistung von Molybdändraht in Anwendungen wie Drahterodieren, elektrische Lichtquellen und thermisches Spritzen.

Die Wettbewerbsfähigkeit des Marktes wird gesteigert

Molybdändraht, der internationalen Standards entspricht, hat eine stärkere Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt. So kann beispielsweise Molybdändraht, der die Normen ASTM B387 und JIS H 4461 erfüllt, direkt auf dem europäischen, amerikanischen und japanischen Markt eingeführt werden und eignet sich für den Einsatz in den Bereichen Halbleiter, Luft- und Raumfahrt sowie elektrische Lichtquellen. Die Zertifizierung nach ISO 9001 stärkt den Ruf und das Vertrauen des Unternehmens in den Markt weiter und fördert den Export von Molybdändraht und die internationale Zusammenarbeit. Darüber hinaus haben die hohen Anforderungen der inländischen Standards lokale Unternehmen dazu veranlasst, in technologische Forschung und Entwicklung sowie Qualitätskontrolle zu investieren, um mit den Weltmarktführern konkurrieren zu können.

Erweiterung der Anwendungsbereiche

Strenge Normen fördern die breite Anwendung von Molybdändraht in High-Tech-Bereichen. Die Norm HB 7742-2004 gewährleistet beispielsweise die Hochtemperaturleistung und Ermüdungsbeständigkeit von Molybdändraht in der Luft- und Raumfahrt und eignet sich für die Bearbeitung von Turbinenschaufeln und Teilen aus Titanlegierungen. Die Norm JIS H 4461 fördert die Verwendung von Molybdändraht bei der Herstellung von elektrischen Lichtquellen, um die Lebensdauer von Lampen zu verlängern. Die Norm ISO 22489 bietet technische Unterstützung für die mikroskopische Analyse von Molybdändrähten und erfüllt damit die Anforderungen an die höchste Präzision in der Halbleiter- und Medizintechnikbranche. Die Umsetzung dieser Normen ermöglicht es Molybdändraht, den Bedarf verschiedener Industrien an Hochleistungsmaterialien zu decken und den technologischen Fortschritt verwandter Industrien zu fördern.

Technologische Innovation und Zukunftsentwicklung

Die hohen Anforderungen in- und ausländischer Normen haben die kontinuierliche Innovation der Technologie zur Herstellung von Molybdändraht angeregt. Um beispielsweise die Anforderungen der GB/T 4182-2017 an die Oberflächenrauheit zu erfüllen, hat das Unternehmen eine neue elektrolytische Polierschlämmenformulierung (Schwefelsäure: Phosphorsäure = 3:1) entwickelt, um die Oberflächenrauheit von Ra 0,05 Mikrometer auf Ra 0,01 Mikrometer zu reduzieren. Um die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Anforderungen an die Zugfestigkeit nach ASTM B387 zu erfüllen, hat das Unternehmen die Multi-Pass-Ziehtechnologie und hochpräzise Ziehwerkzeuge eingeführt, die die mechanischen Eigenschaften von Molybdändraht deutlich verbessern. In Zukunft werden mit der rasanten Entwicklung der High-Tech-Industrien die Molybdändrahtstandards weiter verfeinert und vereinheitlicht, und die Entwicklung intelligenter Produktionsanlagen, automatisierter Prüftechnik und umweltfreundlicher Produktionsprozesse wird gefördert.

CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

## Kapitel 8 Nachweismethoden des Molybdändrahterodierens

Die Leistung des Molybdändrahterodierens wirkt sich direkt auf die Bearbeitungsgenauigkeit, Effizienz und Zuverlässigkeit des Endprodukts aus. Um sicherzustellen, dass Molybdändraht strenge Qualitätsanforderungen erfüllt, ist eine Reihe fortschrittlicher Prüfmethoden erforderlich, um seine chemische Zusammensetzung, seine physikalischen Eigenschaften, seine mechanischen Eigenschaften, seine thermophysikalischen Eigenschaften, seine Oberflächenqualität und seine Anpassungsfähigkeit an die Umwelt umfassend zu bewerten. Diese Prüfmethoden bieten nicht nur eine Grundlage für die Qualitätskontrolle der Hersteller, sondern bieten den Anwendern auch einen Referenzrahmen für die Leistungsbewertung. In diesem Kapitel werden die verschiedenen Detektionsmethoden des Molybdändrahterodierens im Detail erörtert und ihre technischen Prinzipien, Geräteanforderungen, Prozessparameter und Anwendungsbedeutung eingehend analysiert.

### 8.1 Prüfung der chemischen Zusammensetzung des Molybdändrahterodierens

Die Prüfung der chemischen Zusammensetzung ist die Grundlage der Qualitätskontrolle von Molybdändraht, die darauf ausgelegt ist, eine hohe Reinheit und einen geringen Verunreinigungsgehalt von Molybdändraht zu gewährleisten, um die Anforderungen hochpräziser Anwendungen wie z. B. Drahterodieren zu erfüllen. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Analyse unter zwei Aspekten: Spektralanalyse und Molybdän-Reinheitsdetektion.

### 8.1.1 Spektroskopische Analyse (ICP-MS)

Die Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) ist eine hochpräzise Methode zum Nachweis der chemischen Zusammensetzung von Molybdändrähten und wird häufig für die Analyse des Molybdängehalts und von Spurenverunreinigungen eingesetzt.

Technisches Prinzip

Bei der ICP-MS wird eine flüssige Probe verwendet, um eine flüssige Probe zu bilden, indem sie in einer sauren Lösung (z. B. Salpetersäure oder Salzsäure) gelöst wird, die dann mit Hilfe von Plasma (bei einer Temperatur von etwa 6.000-10.000 °C) ionisiert und durch Massenspektrometrie analysiert wird, um das Verhältnis von Masse zu Ladung der Ionen zu bestimmen. ICP-MS hat Nachweisgrenzen von bis zu ppb (parts per billion) und ist in der Lage, Spurenverunreinigungen in Molybdändrähten wie Eisen (Fe), Nickel (Ni), Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Stickstoff (N) usw. genau zu messen. Die Norm fordert einen Molybdängehalt von ≥ 99,95 % und einen Gesamtverunreinigungsgehalt von ≤0,05 %, wie z. B. 0,005 % ≤ Eisen und 0,003 % Sauerstoff ≤.

Anlagen- und Prozessparameter

Moderne ICP-MS-Geräte, wie z.B. der Agilent 7900 oder Thermo Fisher iCAP Q, sind mit einem hochauflösenden Massenspektrometer und einem automatisierten Probenahmesystem mit einer analytischen Genauigkeit von ±0,001% ausgestattet. Die Probenvorbereitung muss in einer ultrareinen Umgebung durchgeführt werden, um eine Kontamination durch die Außenwelt zu vermeiden. Während des Tests beträgt die Plasmaleistung typischerweise 1200-1500 W, die Durchflussrate des Trägergases (Argon) beträgt 0,8-1,2 l/min und die Analysezeit 5-10 Minuten. Um die Detektionseffizienz zu verbessern, kann der simultane Multielement-Analysemodus verwendet werden, der Molybdän und mehr als 10 Verunreinigungselemente abdeckt.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Die Auflösung von Molybdändraht erfordert die Verwendung von hochreinen Säuren (Salpetersäure oder Salzsäure in elektronischer Qualität), um das Einbringen zusätzlicher Verunreinigungen zu vermeiden. Während des Tests muss das Gerät kalibriert werden, und die hochreine Molybdän-Standardprobe (Reinheit ≥ 99,999 %) wird als Referenz verwendet, um die Genauigkeit der Messergebnisse zu gewährleisten. Darüber hinaus erfordert die Detektion von nichtmetallischen Elementen wie Sauerstoff und Stickstoff ein spezielles Detektionsmodul (z. B. Kollisionsreaktionszelle), um Argoninterferenzen zu eliminieren. Die hohe Empfindlichkeit der ICP-MS ermöglicht die Detektion von Verunreinigungen im Bereich von 0,1 ppb und erfüllt damit die Anforderungen an hochpräzisen Molybdändraht für das Erodieren.

Bedeutung der Anwendung

Die ICP-MS-Detektion gewährleistet eine hohe Reinheit des Molybdändrahts und reduziert die Auswirkungen von Verunreinigungen auf die Entladungsstabilität und den Elektrodenverlust beim Drahterodieren. So kann beispielsweise durch den geringen Sauerstoffgehalt die Oxidationsneigung von Molybdändraht bei Hochtemperaturentladung verringert und die Lebensdauer verlängert

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

werden; Der geringe Eisengehalt reduziert den ungleichmäßigen Lichtbogen während des Austragsprozesses und verbessert die Bearbeitungsgenauigkeit. ICP-MS liefert auch rückverfolgbare Daten für die Qualitätszertifizierung von Molybdändraht, der die Anforderungen von Standards wie GB/T 4182-2017 und ASTM B387 erfüllt.

### 8.1.2 Prüfung der Reinheit von Molybdän

Die Molybdän-Reinheitsprüfung ist eine genaue Messung des Gehalts des Hauptbestandteils von Molybdändraht (Molybdän), in der Regel in Kombination mit Methoden wie ICP-MS, Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA) oder Atomabsorptionsspektroskopie (AAS).

Technisches Prinzip

Die Reinheitsprüfung von Molybdän überprüft, ob sie die Normanforderungen von mehr als 99,95 % erfüllt, indem der relative Gehalt an Molybdän analysiert wird. RFA regt die Oberfläche des Molybdändrahtes durch Röntgenstrahlen an, analysiert die Intensität des Fluoreszenzspektrums und bestimmt den Gehalt an Molybdän und Verunreinigungen, was für eine schnelle und zerstörungsfreie Detektion geeignet ist. Die AAS bestimmt den Molybdängehalt genau, indem sie die Absorption von Molybdänatomen bei einer bestimmten Lichtwellenlänge mit einer Nachweisgenauigkeit von ±0,01 % misst. Beide Methoden müssen mit ICP-MS kombiniert werden, um die Vollständigkeit und Genauigkeit des Assays zu verbessern.

Anlagen- und Prozessparameter

RFA-Geräte (z. B. der Bruker S8 TIGER) verwenden eine hochenergetische Röntgenquelle (50 kV, 1 mA) mit einer Prüfzeit von 1-3 Minuten und eignen sich daher für die Inline-Prüfung. AAS-Bauelemente, wie z. B. die PerkinElmer PinAAcle 900, verwenden eine Molybdän-Hohlkathodenlampe mit einer Wellenlänge von 313,3 nm und einer Nachweisgrenze von 0,01 ppm. Bei der Probenvorbereitung wird der Molybdändraht in kleine Segmente (1-2 cm) geschnitten und die Oberfläche gereinigt, um Öl und Oxide zu entfernen und so zuverlässige Ergebnisse zu gewährleisten.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Die Molybdän-Reinheitsprüfung erfordert eine strenge Kontrolle der Umgebungsbedingungen, um Feuchtigkeit oder Oxidation der Probe zu vermeiden. Für die RFA-Prüfung ist die Kalibrierung des Instruments unter Verwendung einer hochreinen Molybdän-Standardprobe (NIST-zertifiziert) als Referenz erforderlich. Die AAS-Detektion muss die Flammentemperatur (ca. 2700 °C) und den Gasfluss (Acetylen 2 l/min, Luft 10 l/min) optimieren, um die Messempfindlichkeit zu verbessern. Während des Detektionsprozesses sollte besonders auf die Beeinflussung durch nichtmetallische Elemente wie Kohlenstoff und Sauerstoff geachtet werden, und Oberflächenverunreinigungen können durch chemische Vorbehandlung (z. B. Beizen) entfernt werden.

Bedeutung der Anwendung

Die Molybdän-Reinheitsprüfung ist das Kernglied der Qualitätskontrolle, die sich direkt auf die Leistung von Molybdändraht beim Drahterodieren auswirkt. Hochreiner Molybdändraht (≥ 99,95 %) weist eine ausgezeichnete Leitfähigkeit und eine hohe Temperaturbeständigkeit auf, wodurch die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Stabilität in Umgebungen mit Hochfrequenzentladungen aufrechterhalten und Elektrodenverluste reduziert werden können. Die Testergebnisse liefern auch Daten, die die Optimierung des Produktionsprozesses von Molybdändraht unterstützen, z. B. durch die Analyse der Quelle von Verunreinigungen, wodurch der Prozess der Molybdänpulverreduktion und des Sinterprozesses verbessert werden kann.

### 8.2 Prüfung der physikalischen Eigenschaften des Molybdändrahterodierens

Die Prüfung der physikalischen Eigenschaften wird verwendet, um die Maßgenauigkeit und Oberflächeneigenschaften von Molybdändraht zu bewerten und sicherzustellen, dass er die hohen Anforderungen an Präzision und Oberflächenqualität beim Drahterodieren erfüllt. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse unter zwei Aspekten: Messung des Drahtdurchmessers und der Toleranz sowie Prüfung der Oberflächenrauheit.

#### 8.2.1 Messung von Drahtdurchmessern und Toleranzen

Die Messung des Drahtdurchmessers und der Toleranz ist ein wichtiger Test zur Sicherstellung der Maßhaltigkeit von Molybdändraht, der sich auf den Austragsspalt und die Bearbeitungsgenauigkeit beim Drahtschneiden auswirkt.

Technisches Prinzip

Bei der Drahtdurchmessermessung kommt in der Regel eine berührungslose Lasermesstechnik zum Einsatz, bei der die Oberfläche des Molybdändrahtes durch einen Laserstrahl abgetastet wird, um Durchmesserdaten mit einer Genauigkeit von ±0,0001 mm zu erhalten. Die Norm (z. B. GB/T 4182-2017) verlangt, dass die Durchmessertoleranz des Molybdändrahterodierens ±0,002 mm und der Rundheitsfehler ≤ 0,001 mm beträgt. Während des Messvorgangs sollte der Einfluss der Ovalität und Oberflächenunebenheit des Molybdändrahtes auf die Ergebnisse berücksichtigt werden.

Anlagen- und Prozessparameter

Laserdraht-Durchmessermessgeräte, wie z. B. der Keyence LS-9000, sind mit einem Hochfrequenz-Laserscanning-System mit einer Messfrequenz von bis zu 1000 Mal/Sek. ausgestattet und eignen sich sowohl für Inline- als auch für Offline-Inspektionen. Das Gerät muss auf das Standardfilament (Durchmesserfehler ± 0,00005 mm) kalibriert werden, um die Messgenauigkeit zu gewährleisten. Während der Prüfung durchläuft der Molybdändraht den Messbereich mit einer Geschwindigkeit von 5-20 m/min und die Umgebungstemperatur wird auf 20±2°C geregelt, um die Auswirkungen der Wärmeausdehnung zu vermeiden.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Bei der Inline-Prüfung muss die Betriebsstabilität des Molybdändrahtes sichergestellt und Messfehler vermieden werden, die durch Vibrationen oder Spannungsänderungen verursacht werden. Für die Offline-Detektion müssen mehrteilige Molybdändrähte (10-20 Meter pro Abschnitt) beprobt und gemessen werden, und der mittlere Durchmesser und die Standardabweichung werden gezählt, um die Konsistenz zu gewährleisten. Während des Inspektionsprozesses muss die Laserlinse regelmäßig gereinigt werden, um Staubbeeinflussung zu vermeiden. Um die Effizienz zu steigern, können mit Hilfe der Mehrpunkt-Simultanmesstechnik mehrere Querschnitte von

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Molybdändrähten gleichzeitig geprüft werden.

Bedeutung der Anwendung

Eine genaue Drahtdurchmesser- und Toleranzmessung gewährleistet die Gleichmäßigkeit des Austragsspalts des Molybdändrahtes beim Schneiden von Erodierdraht und vermeidet Abweichungen während der Verarbeitung. Zum Beispiel kann Molybdändraht mit einer Durchmessertoleranz von ±0,0015 mm die Bearbeitungstoleranz innerhalb von ±0,005 mm steuern, was den Anforderungen hochpräziser Formen und der Mikrostrukturbearbeitung entspricht. Die Messdaten liefern auch die Grundlage für die Optimierung des Ziehprozesses, z.B. durch die Analyse von Durchmesserabweichungen, die Anpassung der Ziehwerkzeuglochgröße oder der Schmierstoffrezeptur.

### 8.2.2 Prüfung der Oberflächenrauheit

Der Oberflächenrauheitstest wird verwendet, um das Finish der Oberfläche des Molybdändrahtes zu bewerten, was sich direkt auf die Entladestabilität und die Oberflächenqualität der bearbeiteten Teile beim Drahtschneiden auswirkt.

Technisches Prinzip

Die Prüfung der Oberflächenrauheit wird in der Regel mit einem kontaktbehafteten oder berührungslosen Verfahren durchgeführt. Kontaktmethoden (z. B. Profilometer) tasten die Oberfläche des Molybdändrahtes mit einer Sonde ab, messen die Änderung der Oberflächenhöhe und berechnen den Ra-Wert (arithmetische mittlere Rauheit). Berührungslose Methoden, wie z. B. die Lasermikroskopie, analysieren die Oberflächentopographie durch Laserreflexion mit einer Genauigkeit von 0,001 Mikrometern. Die Norm verlangt eine Oberflächenrauheit von Ra ≤0,02 Mikrometern für das Molybdändrahterodieren, um eine gleichmäßige Entladung und eine geringe Reibung zu gewährleisten.

Anlagen- und Prozessparameter

Kontaktprofilmessgeräte (z. B. Mitutoyo SJ-410) sind mit einer Diamantsonde mit einer Abtastgeschwindigkeit von 0,5-1 mm/s und einer Messlänge von 2-5 mm ausgestattet. Berührungslose Lasermikroskope wie das Keyence VK-X1000 verwenden einen 405-nm-Laser mit einer Vergrößerung von 1000-2000x und einer Messgenauigkeit von ± 0,002 μm. Während der Inspektion sollte der Molybdändraht auf einer vibrationsfreien Plattform befestigt werden, und die Umgebungsfeuchtigkeit sollte auf 40-60% geregelt werden, um den Einfluss von Feuchtigkeit zu vermeiden.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Die Oberflächenrauheitsprüfung stellt sicher, dass die Oberfläche des Molybdändrahtes sauber, frei von Öl oder Oxiden ist und dass die Probe mit Ultraschallreinigung (Frequenz 40 kHz, Zeit 5 Minuten) vorbehandelt werden kann. Der Kontakttest muss den Sondendruck (0,1-0,5 mN) kontrollieren, um Kratzer auf der Oberfläche des Molybdändrahtes zu vermeiden. Die berührungslose Prüfung erfordert eine Kalibrierung der Laserbrennweite, um die Genauigkeit der Topographiedaten zu gewährleisten. Während des Detektionsprozesses muss mehrsegmentiger

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Molybdändraht (5-10 cm pro Segment) beprobt und getestet werden, und der Verteilungsbereich des Ra-Wertes wird gezählt.

Bedeutung der Anwendung

Molybdändraht mit geringer Oberflächenrauheit kann den ungleichmäßigen Lichtbogen beim Schneiden von Erodierdraht reduzieren, die Entladestabilität und die Bearbeitungsgenauigkeit verbessern. Zum Beispiel kann ein Molybdändraht ≤ 0,015 Mikrometern die Oberflächenrauheit der bearbeiteten Teile unter Ra 0,1 Mikrometer kontrollieren, was den Anforderungen von optischen Linsenformen und Halbleiterteilen entspricht. Die Versuchsdaten bieten auch eine Grundlage für die Optimierung von Oberflächenbehandlungsprozessen wie dem Elektropolieren.

### 8.3 Prüfung der mechanischen Eigenschaften des Molybdändrahterodierens

Die Prüfung der mechanischen Eigenschaften wird verwendet, um die Festigkeit und Zähigkeit von Molybdändraht zu bewerten und sicherzustellen, dass er in einer hochfesten Drahtschneideumgebung nicht bricht oder sich verformt. Dabei wird folgendes unter zwei Aspekten analysiert: Zugfestigkeitsprüfung, Dehnungs- und Krümmungsprüfung.

#### 8.3.1 Prüfung der Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeitsprüfung ist eine Kernmethode zur Bewertung der mechanischen Eigenschaften von Molybdändraht, die seine Fähigkeit widerspiegelt, Zugbelastungen standzuhalten.

Technisches Prinzip

Bei der Zugfestigkeitsprüfung wird die Zugfestigkeit (Einheit: MPa) berechnet, indem der Molybdändraht auf einer Zugprüfmaschine fixiert, eine allmählich ansteigende Zugkraft aufgebracht und die maximale Belastung vor dem Bruch gemessen wird. Die Norm verlangt eine Zugfestigkeit von 1800-2300 MPa für das Molybdändrahterodieren, um die Anforderungen des Hochspannungsdrahtschneidens (2-3 N) zu erfüllen. Der Test misst auch die Verformung an der Bruchstelle und bewertet die Zähigkeit des Molybdändrahtes.

Anlagen- und Prozessparameter

Mikrozugprüfmaschinen (z. B. Instron 5948) sind für Molybdändrähte mit feinem Durchmesser und einem Prüfbereich von 0,1 bis 100 N und einer Genauigkeit von ± 0,1 % ausgelegt. Die Vorrichtung ist mit einem weichen Material wie Gummi oder PTFE umwickelt, um eine Beschädigung des Molybdändrahtes während des Klemmvorgangs zu vermeiden. Die Prüfgeschwindigkeit beträgt 1-5 mm/min, die Probenlänge 50-100 mm und die Umgebungstemperatur wird auf 20±2 °C geregelt, um konsistente Ergebnisse zu gewährleisten.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Bei der Prüfung muss sichergestellt werden, dass der Molybdändraht gleichmäßig eingespannt wird, um einen vorzeitigen Bruch durch lokale Spannungskonzentrationen zu vermeiden. Die Proben werden nach dem Zufallsprinzip (10-20 Proben pro Charge) ausgewählt, die verschiedene Produktionsstufen abdecken, um die Leistungskonsistenz zu bewerten. Während des Versuchs wird die Spannungs-Dehnungs-Kurve aufgezeichnet, um den Elastizitätsmodul (ca. 320 GPa) und das

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Bruchverhalten des Molybdändrahtes zu analysieren. Um die Effizienz zu steigern, können automatisierte Prüfsysteme eingesetzt werden, um Daten in Echtzeit zu erfassen und zu analysieren.

Bedeutung der Anwendung

Molybdändraht mit hoher Zugfestigkeit ist in der Lage, den hohen Spannungen und Entladungen während des Drahtschneideprozesses standzuhalten, wodurch das Risiko eines Drahtbruchs verringert wird. So kann beispielsweise Molybdändraht mit einer Zugfestigkeit von 2200 MPa bei der Bearbeitung von hochhärtenden Werkstoffen wie Hartmetall stabil und langlebig sein. Die Versuchsdaten liefern auch die Grundlage für die Optimierung des Wärmebehandlungsprozesses, z.B. durch Anpassung der Glühtemperatur (1000-1200°C), wodurch die Zugfestigkeit um 10-15% erhöht werden kann.

### 8.3.2 Dehnungs- und Lockungstest

Dehnungs- und Krümmungstests werden verwendet, um die Zähigkeit und die Wickeleigenschaften von Molybdändraht zu bewerten, was sich auf seine Eignung zum Wickeln und Drahtschneiden auswirkt.

Technisches Prinzip

Der Dehnungstest berechnet die Bruchdehnung (1,5 %-2 %, wie von der Norm gefordert≥ indem die Dehnung des Molybdändrahtes vor dem Bruch gemessen wird. Der Krümmungstest bewertet die Flexibilität von Molybdändraht, indem er um einen Standarddorn (1-5 mm Durchmesser) gewickelt wird, um zu sehen, ob Risse oder Brüche auftreten. Die Kombination aus beidem spiegelt die Verformungsfähigkeit und Wickelstabilität von Molybdändraht in einer hochfesten Umgebung wider.

Anlagen- und Prozessparameter

Der Dehnungsversuch wird mit einer Miniatur-Zugprüfmaschine unter den gleichen Bedingungen wie der Zugfestigkeitsversuch verwendet und erfasst die Bruchdehnung vor dem Bruch (Genauigkeit ± 0,01 mm). Bei der Krümmungsprüfung wird eine spezielle Wickelvorrichtung verwendet und der Dorndurchmesser wird gemäß der Molybdändrahtspezifikation ausgewählt (z. B. wird ein 2-mm-Dorn für 0,18 mm Molybdändraht verwendet). Der Test sollte in einer vibrationsfreien Umgebung mit einer Wickelgeschwindigkeit von 10-20 Zyklen pro Minute und einem Wickelzyklus von 5-10 Umdrehungen durchgeführt werden.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Bei der Dehnungsprüfung muss sichergestellt werden, dass die Oberfläche des Molybdändrahtes frei von Defekten ist und die Probe mit Ultraschallreinigung vorbehandelt wird. Der Curling-Rate-Test muss die Wickelspannung (0,1-0,5 N) kontrollieren, um ein Verkratzen des Molybdändrahtes auf der Oberfläche des Dornstabes zu vermeiden. Während des Tests müssen mehrsegmentige Molybdändrähte beprobt werden, und die Dehnungs- und Kräuselungsfehlerrate sollte gezählt werden, um eine gleichbleibende Leistung zu gewährleisten. Um die Genauigkeit des Tests zu verbessern, kann mit digitaler Bildanalysetechnologie die mikroskopische Verformung während des Wickelvorgangs aufgezeichnet werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Bedeutung der Anwendung

Molybdändraht mit hoher Dehnung und Krümmung hat hervorragende Zähigkeits- und Wickeleigenschaften und eignet sich für hochpräzise Drahtschneidemaschinen und die Herstellung elektrischer Lichtquellen. Beispielsweise kann ein Molybdändraht mit einer Dehnung von 2 % bei hoher Spannung (3 N) stabilisiert werden, wodurch der Drahtbruch reduziert wird. Der Molybdändraht mit qualifizierter Krümmung kann glatt auf eine 2000 Meter lange Spule gewickelt werden, um den Anforderungen der kontinuierlichen Verarbeitung gerecht zu werden.

### 8.4 Prüfung der thermophysikalischen Eigenschaften des Molybdändrahterodierens

Der thermophysikalische Leistungstest wird verwendet, um die Stabilität und elektrische und thermische Leitfähigkeit von Molybdändraht in Hochtemperaturumgebungen zu bewerten, was sich auf seine Anwendungswirkung beim Drahterodieren und bei elektrischen Lichtquellen auswirkt.

#### 8.4.1 Prüfung der Stabilität bei hohen Temperaturen

Der Hochtemperaturstabilitätstest wird verwendet, um die mechanischen Eigenschaften und die strukturelle Stabilität von Molybdändraht in einer Hochtemperaturumgebung zu bewerten.

Technisches Prinzip

Der Test misst die Zugfestigkeit, Dehnung und Kristallstruktur des Molybdändrahtes, indem er einer Umgebung mit hohen Temperaturen (1000-1800 °C) ausgesetzt wird. Die Norm verlangt, dass der Molybdändraht eine Zugfestigkeit von ≥ 1800 MPa bei 1500 °C beibehält, ohne offensichtliches Kornwachstum oder Oxidation. Der Test wird in der Regel in einer Vakuum- oder Inertgasumgebung (Argon oder Wasserstoff) durchgeführt, um eine Oxidation zu vermeiden.

Anlagen- und Prozessparameter

Hochtemperatur-Prüföfen (z.B. Carbolite Gero HTF 1800) sind mit Molybdän- oder Wolfram-Heizelementen ausgestattet, mit einer Temperiergenauigkeit von ±5°C und einem Vakuumniveau von $\leq 10^{-3}$ Pa. Die Länge der Testprobe betrug 50-100 mm, die Heizrate 5-10 °C/min und die Haltezeit 1-2 Stunden. Nach dem Test wurde die Korngröße mittels Röntgenbeugung (XRD) analysiert und die Oberflächentopographie mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) beobachtet.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Der Test erfordert eine strenge Kontrolle der Schutzatmosphäre, um das Eindringen von Sauerstoff und die Oxidation des Molybdändrahtes zu vermeiden. Die Probe sollte gleichmäßig erhitzt werden, um ein abnormales Kornwachstum durch lokale Überhitzung zu verhindern. Während des Tests sollte die Temperatur-Zeit-Kurve aufgezeichnet werden, um die thermische Stabilität des Molybdändrahtes zu analysieren. Um die Effizienz zu steigern, können mit einem Mehrkanal-Prüfsystem mehrere Molybdändrähte gleichzeitig geprüft werden.

Bedeutung der Anwendung

Die Stabilitätsprüfung bei hohen Temperaturen gewährleistet die Zuverlässigkeit von Molybdändraht bei der Herstellung von Drahterodiermaschinen und elektrischen Lichtquellen. Zum Beispiel kann Molybdändraht, der bei 1500 °C stabilisiert ist, verwendet werden, um

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Superlegierungsteile zu bearbeiten und die Lebensdauer der Elektroden zu verlängern. Die Versuchsdaten bieten auch eine Grundlage für die Optimierung des Wärmebehandlungsprozesses, z. B. durch die Einstellung der Glühtemperatur, mit der die Korngröße von 5 bis 10 µm geregelt werden kann.

### 8.4.2 Prüfungen der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit

Elektrische und thermische Leitfähigkeitstests werden verwendet, um die elektrischen und thermischen Eigenschaften von Molybdändraht zu bewerten, was sich auf seine Effizienz beim Erodieren auswirkt.

Technisches Prinzip

Die Leitfähigkeitsprüfung misst den spezifischen Widerstand des Molybdändrahtes, indem sie den spezifischen Widerstand des Molybdändrahtes mittels eines Vier-Sonden-Verfahrens misst und die Leitfähigkeit berechnet (die Norm verlangt ca. 18 MS/m). Der Wärmeleitfähigkeitstest berechnet die Wärmeleitfähigkeit durch Messung der Wärmeleitfähigkeit durch Messung des Laser-Flash-Verfahrens (die Norm verlangt ca. 138 W/m·K). Die Kombination der beiden spiegelt die Stromübertragungs- und Wärmediffusionsfähigkeiten des Molybdändrahtes bei hochfrequenter Entladung wider.

Anlagen- und Prozessparameter

Bei der Leitfähigkeitsprüfung wird ein Widerstandsmessgerät mit vier Sonden (z. B. Keithley 2635B) mit einem Sondenabstand von 0,5 bis 1 mm und einem Strombereich von 1 bis 10 mA mit einer Messgenauigkeit von ± 0,01 % verwendet. Bei der Wärmeleitfähigkeitsprüfung wird ein Laser-Flash-Analysator (z. B. Netzsch LFA 467) mit einer Laserpulsenergie von 10-20 J, einer Probendicke von 0,1-0,3 mm und einer Prüftemperatur von 20-1000 °C verwendet.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Bei der Prüfung muss sichergestellt werden, dass die Oberfläche des Molybdändrahtes sauber ist und dass die Oxidschicht oder Ölverunreinigungen die Widerstandsmessung nicht beeinträchtigen. Die Prüfung der Wärmeleitfähigkeit erfordert eine Kalibrierung der Probendicke mit einem Fehler von ±0,001 mm. Während des Tests sollte der Einfluss der Temperatur auf die elektrische und thermische Leitfähigkeit aufgezeichnet und die Leistungsänderung von Molybdändraht bei Hochtemperaturentladung analysiert werden. Um die Effizienz zu steigern, können automatisierte Prüfsysteme eingesetzt werden, um Daten in Echtzeit zu erfassen.

Bedeutung der Anwendung

Molybdändraht mit hoher elektrischer und thermischer Leitfähigkeit kann die Ableiteffizienz des Drahterodierens verbessern und den Wärmestau reduzieren. Beispielsweise kann ein Molybdändraht mit einer Leitfähigkeit von 18 MS/m den Entladeenergieverlust um 10 % reduzieren. Der Molybdändraht mit einer Wärmeleitfähigkeit von 138 W/m·K kann Wärme schnell ableiten und die Lebensdauer der Elektrode verlängern. Die Testdaten bieten auch eine Grundlage für die Materialauswahl und Prozessoptimierung von Molybdändraht.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 8.5 Oberflächenqualitätsprüfung des Molybdändrahterodierens

Die Oberflächenqualitätsprüfung wird verwendet, um die mikroskopischen Defekte und das Finish der Oberfläche von Molybdändraht zu bewerten, was sich direkt auf die Entladestabilität und die Bearbeitungsgenauigkeit auswirkt.

8.5.1 Mikroskopische Betrachtung

Die Mikroskopie ist eine gängige Methode zur Erkennung von Oberflächenfehlern in Molybdändrähten und ermöglicht die Identifizierung von Kratzern, Rissen und Oxiden im Mikrometerbereich.

Technisches Prinzip

Die Oberflächenmorphologie des Molybdändrahtes wird mit einem Lichtmikroskop bei hoher Vergrößerung (1000-2000x) beobachtet, um Defekte im Bereich von 0,1 Mikrometern zu identifizieren. Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) bietet eine höhere Auflösung (0,01 Mikrometer) durch Elektronenstrahlabtastung zur Analyse der Oberflächenmikrostruktur und der Elementverteilung. Die Norm verlangt, dass die Oberfläche des Molybdändrahtes frei von Rissen, Kratzern oder Oxiden ist und die Rauheit Ra≤0,02 Mikrometer beträgt.

Anlagen- und Prozessparameter

Optische Mikroskope (z. B. Zeiss Axio Observer) sind mit einer CCD-Kamera mit einer 1000-fachen Vergrößerung und einem Sichtfeld von 0,1-1 mm ausgestattet. REM (z. B. JEOL JSM-7800F) verwenden einen 5-15 kV Elektronenstrahl mit einer Abtastgeschwindigkeit von 1-10 Sekunden/Bild. Vor dem Test sollte der Molybdändraht mit Ultraschall gereinigt werden (Frequenz 40 kHz, Zeit 5 Minuten), um Öl und Staub von der Oberfläche zu entfernen.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Die Prüfung sollte in einer vibrations- und staubfreien Umgebung durchgeführt werden, um Störungen von außen zu vermeiden. Das Lichtmikroskop muss die Intensität der Lichtquelle kalibrieren, um sicherzustellen, dass das Bild klar ist. Das REM muss die Elektronenstrahlenergie optimieren, um eine Beschädigung der Oberfläche des Molybdändrahtes zu vermeiden. Während des Tests sollten mehrere Segmente des Molybdändrahtes (5-10 cm pro Abschnitt) beprobt und die Fehlerverteilung und das Auftreten von Defekten gezählt werden.

Bedeutung der Anwendung

Die mikroskopische Betrachtung stellt sicher, dass die Oberfläche des Molybdändrahtes glatt und frei von mikroskopischen Defekten ist, und reduziert den ungleichmäßigen Lichtbogen beim Drahterodieren. Zum Beispiel kann Molybdändraht ohne Kratzer im Bereich von 0,1 Mikrometern die Oberflächenrauheit des bearbeiteten Teils unter Ra 0,1 Mikrometer kontrollieren, was den Anforderungen hochpräziser Formen entspricht. Die Versuchsdaten bieten auch eine Grundlage für die Optimierung von Oberflächenbehandlungsprozessen wie dem Elektropolieren.

### 8.5.2 Zerstörungsfreie Prüfverfahren (Ultraschall, Wirbelstrom)

Die zerstörungsfreie Prüftechnik wird eingesetzt, um mikroskopisch kleine Defekte auf der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Oberfläche und im Inneren von Molybdändrähten zu erkennen und so eine gleichbleibende Qualität zu gewährleisten.

Technisches Prinzip

Die Ultraschallprüfung erkennt Einschlüsse, Porositäten oder Risse im Inneren von Molybdändrähten, indem sie hochfrequente Schallwellen (1-10 MHz) bis zu einer Tiefe von 0,01 mm ausbreitet. Bei der Wirbelstromprüfung wird elektromagnetische Induktion verwendet, um Oberflächen- und oberflächennahe Defekte (z. B. Kratzer im Bereich von 0,1 Mikrometern) mit einer Empfindlichkeit von 0,05 Mikrometern zu identifizieren. Die Kombination aus beidem ermöglicht eine umfassende Beurteilung der Qualität des Molybdändrahtes.

Anlagen- und Prozessparameter

Ultraschalldetektoren, wie z. B. die Olympus EPOCH 650, verwenden eine 5-MHz-Sonde mit einem Koppelmittel aus hochreinem Wasser und einer Scangeschwindigkeit von 10-20 mm/s. Wirbelstromdetektoren (z. B. Eddyfi Ectane 2) verwenden eine Anregungsfrequenz von 100 kHz-1 MHz mit einem Sondenabstand von 0,1-0,5 mm. Der Test sollte in einer Umgebung mit konstanter Temperatur (20±2 °C) durchgeführt werden, um Temperaturschwankungen zu vermeiden, die die Ergebnisse beeinflussen.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Bei der Ultraschallprüfung muss die Gleichmäßigkeit der Beschichtung des Koppelmittels optimiert werden, um Blaseninterferenzen zu vermeiden. Die Wirbelstromprüfung erfordert eine Kalibrierung der Sondenempfindlichkeit, um die Erkennung von Defekten im Bereich von 0,1 Mikrometern sicherzustellen. Während des Tests muss der mehrsegmentige Molybdändraht kontinuierlich gescannt werden, um das Auftreten und die Verteilung von Fehlern zu berechnen. Um die Effizienz zu steigern, kann ein automatisiertes Scansystem zur Erfassung von Fehlerdaten in Echtzeit eingesetzt werden.

Bedeutung der Anwendung

Die zerstörungsfreie Prüftechnik stellt sicher, dass Molybdändraht frei von Innen- und Oberflächenfehlern ist, und verbessert so seine Zuverlässigkeit beim hochpräzisen Drahtschneiden. So können beispielsweise bei der Wirbelstromprüfung Oberflächenkratzer im Bereich von 0,05 Mikrometern identifiziert werden, um eine ungleichmäßige Entladung zu reduzieren, während bei der Ultraschallprüfung innere Einschlüsse bis zu einer Tiefe von 0,01 Millimetern erkannt werden können, wodurch das Risiko eines Drahtbruchs verringert wird. Die Versuchsdaten bilden die Grundlage für die Optimierung der Zieh- und Oberflächenbehandlungsprozesse.

### 8.6 Prüfung der Umweltanpassung von Molybdändraht-Erodiermaschinen

Umweltverträglichkeitsprüfungen werden verwendet, um die Leistung von Molybdändraht in korrosiven oder Hochtemperaturumgebungen zu bewerten, was sich auf seine Stabilität unter komplexen Verarbeitungsbedingungen auswirkt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

# 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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 8.6.1 Prüfung der Korrosionsbeständigkeit

Korrosionsbeständigkeitstests werden verwendet, um die Stabilität von Molybdändraht in korrosiven Medien wie Säuren, Laugen oder Salzlösungen zu bewerten.

Technisches Prinzip

Der Test misst die Geschwindigkeit des Massenverlusts oder den Grad der Oberflächenkorrosion, indem der Molybdändraht in ein korrosives Medium (z. B. eine 5%ige NaCl-Lösung oder eine 10%ige $HNO_3$-Lösung) getaucht wird. Die Norm verlangt, dass die Massenverlustrate von Molybdändraht im 24-Stunden-Korrosionstest ≤0,01 % beträgt und keine offensichtlichen Korrosionsspuren auf der Oberfläche vorhanden sind. Der Test kann auch mit elektrochemischen Methoden kombiniert werden, um das Korrosionspotenzial und die Stromdichte des Molybdändrahtes zu messen.

Anlagen- und Prozessparameter

Korrosionsprüfkammern (z. B. Q-FOG CCT) kontrollieren die Temperatur 40-60 °C, die Luftfeuchtigkeit 80-95 %, die Prüfzeit 24-72 Stunden. Potrentiostaten (z. B. Gamry Interface 1010E) verwenden ein Drei-Elektroden-System (Molybdändraht als Arbeitselektrode, Platinelektrode als Hilfselektrode und gesättigte Kalomelelektrode als Referenzelektrode) mit einem Prüfpotentialbereich von -1 bis 1 V und einer Abtastrate von 1 mV/s.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Die Tests werden durchgeführt, um die Reinheit des Mediums sicherzustellen und Interferenzen durch Verunreinigungen zu vermeiden. Die elektrochemische Prüfung erfordert eine Kalibrierung des Elektrodenabstands (1-2 mm), um die Messgenauigkeit zu gewährleisten. Während des Tests sollten die Korrosionsrate und die Änderungen der Oberflächenmorphologie aufgezeichnet und der Korrosionsbeständigkeitsmechanismus des Molybdändrahts analysiert werden. Um die Effizienz zu steigern, können mit einem Mehrkanal-Prüfsystem mehrere Molybdändrähte gleichzeitig geprüft werden.

Bedeutung der Anwendung

Molybdändraht mit hoher Korrosionsbeständigkeit kann in nassen oder sauren Umgebungen stabilisiert werden und eignet sich daher für Drahtschneidszenarien mit korrosivem Kühlmittel. So kann beispielsweise ein Molybdändraht, der den Korrosionsbeständigkeitstest bestanden hat, 100 Stunden lang ununterbrochen in einem Kühlmittel mit 5 % NaCl arbeiten, ohne dass auf der Oberfläche Korrosionsspuren entstehen. Die Testdaten bilden eine Grundlage für die Auslegung von Oberflächenbeschichtungen (z.B. Graphitemulsion) von Molybdändraht.

### 8.6.2 Hochtemperatur-Oxidationsprüfung

Der Hochtemperatur-Oxidationstest wird verwendet, um die Oxidationsbeständigkeit von Molybdändraht in einer Hochtemperatur-Luftumgebung zu bewerten.

Technisches Prinzip

Der Test misst die oxidative Gewichtszunahme oder die Dicke der Oxidschicht auf der Oberfläche,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

indem der Molybdändraht in Luft mit hoher Temperatur (500-1000 °C) gelegt wird. Die Norm verlangt, dass die Oxidationsgewichtszunahme von Molybdändraht bei 800 °C für 24 Stunden ≤0,1 % und die Dicke der Oxidschicht ≤ 0,5 Mikrometer beträgt. Der Test kann auch mit der thermogravimetrischen Analyse (TGA) kombiniert werden, um Qualitätsänderungen in Echtzeit aufzuzeichnen.

Anlagen- und Prozessparameter

Hochtemperatur-Oxidationsanlagen (z. B. Nabertherm HT 08/18) regeln die Temperaturgenauigkeit ± 5 °C, den Luftstrom 0,1-0,5 l/min, die Prüfzeit 12-48 Stunden. Thermogravimetrische Analysatoren (z. B. TA Instruments Q500) messen ± 0,1 µg bei einer Heizrate von 5-10 °C/min. Nach dem Test wurden die Oxidzusammensetzung und -dicke mittels REM und energiedispersiver Spektroskopie (EDS) analysiert.

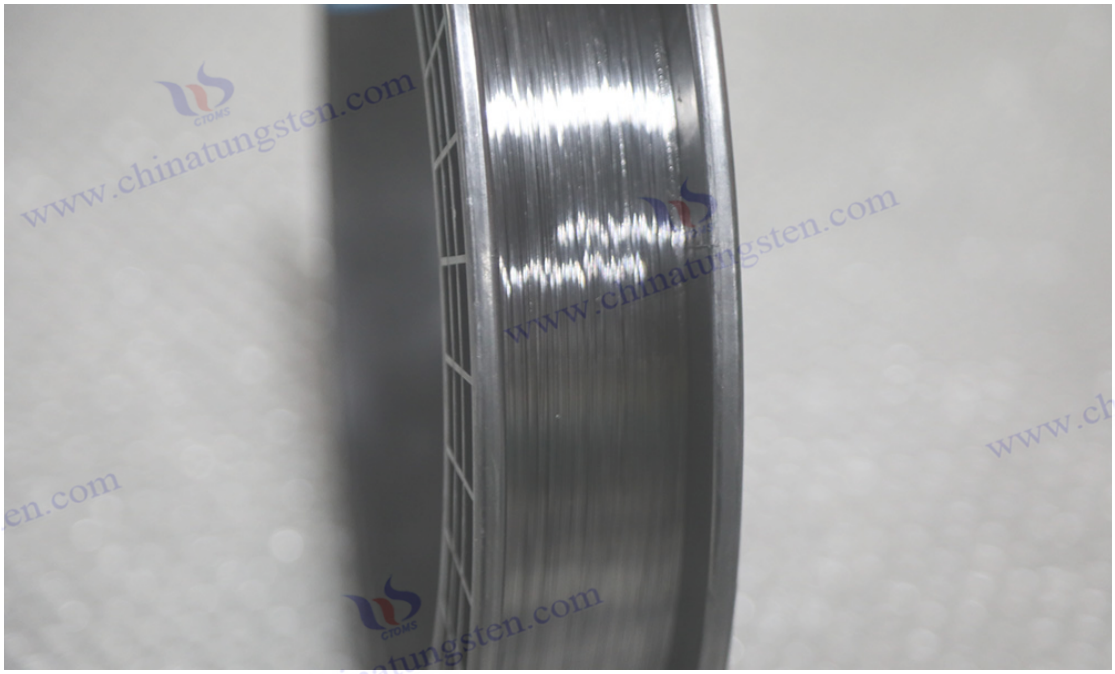
Prozessoptimierung & Herausforderungen

Der Test muss die Luftfeuchtigkeit (<10%) kontrollieren, um eine beschleunigte Oxidation der Feuchtigkeit zu vermeiden. Die Probe muss gleichmäßig erhitzt werden, um eine lokale Überhitzung und eine ungleichmäßige Oxidschicht zu vermeiden. Während des Tests sollte die kinetische Oxidationskurve aufgezeichnet werden, um die Oxidationsrate und den Oxidationsmechanismus zu analysieren. Um die Effizienz zu steigern, kann ein mehrkanaliger thermogravimetrischer Analysator verwendet werden, um mehrere Molybdändrähte gleichzeitig zu prüfen.

Bedeutung der Anwendung

Molybdändraht mit hoher Oxidationsbeständigkeit kann in einer Umgebung mit hohen Temperaturen stabil bleiben und die Lebensdauer verlängern. So kann beispielsweise Molybdändraht mit einer oxidativen Gewichtszunahme von ≤0,05 % bei 800 °C bei der Herstellung von elektrischen Lichtquellen verwendet werden, und die hohe Temperaturbeständigkeit wird um 20 % erhöht. Die Testdaten bieten eine optimale Grundlage für den Wärmebehandlungs- und Oberflächenschutzprozess von Molybdändraht.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

**Kapitel 9 Optimierung und technische Verbesserung des Molybdändrahterodierens**

Mit der steigenden Nachfrage der modernen Industrie nach hoher Präzision, hoher Effizienz und niedrigen Kosten ist die Optimierung und technische Verbesserung von Molybdändraht in den Mittelpunkt der Industrieforschung gerückt. Zu den Optimierungsrichtungen gehören die Verbesserung der Zugfestigkeit und Haltbarkeit, die Verbesserung der Oberflächenbehandlungsprozesse, die Verringerung der Drahtbruchrate, die Verbesserung der Schneideffizienz und die Einführung intelligenter Produktionstechnologien. In diesem Kapitel werden diese Optimierungsmethoden und technischen Verbesserungen im Detail erörtert und ihre technischen Prinzipien, Prozessparameter, Ausrüstungsanforderungen und Anwendungsbedeutung eingehend analysiert, um eine umfassende technische Referenz für die Herstellung und Anwendung von Molybdändraht bereitzustellen.

**9.1 Methoden zur Verbesserung der Zugfestigkeit und Haltbarkeit**

Zugfestigkeit und Haltbarkeit sind die wichtigsten Leistungsindikatoren für das Molybdändrahterodieren, die sich direkt auf seine Stabilität und Lebensdauer in Umgebungen mit hochfestem Drahtschneiden auswirken. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse von Methoden zur Verbesserung der Zugfestigkeit und Haltbarkeit unter den Aspekten Materialoptimierung, Verbesserung der Wärmebehandlung, Mikrostrukturkontrolle und Dotierungstechnologie.

Aufbereitung und Optimierung von hochreinem Molybdänpulver

Die Zugfestigkeit und Haltbarkeit von Molybdändraht hängen eng mit der Reinheit seiner Rohstoffe zusammen. Hochreines Molybdänpulver (Reinheit≥99,95 %) kann die Schädigung der Kristallstruktur durch Verunreinigungselemente (wie Eisen, Nickel, Kohlenstoff, Sauerstoff,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Stickstoff) erheblich reduzieren und dadurch die Festigkeit und Zähigkeit des Materials verbessern. Die Herstellung von hochreinem Molybdänpulver erfolgt in der Regel durch ein mehrstufiges Wasserstoffreduktionsverfahren, bei dem Molybdänoxid ($MoO_3$) unter Verwendung eines kontinuierlichen Wasserstoffreduktionsofens (Arbeitstemperatur 600-1100°C, Wasserstoffdurchfluss 1-2 l/min, Druck 0,1-0,5 MPa) schrittweise zu Metall-Molybdänpulver reduziert wird. Der Reduktionsprozess ist in eine Niedertemperaturphase (600-800 °C, $MoO_2$ wird erzeugt) und eine Hochtemperaturstufe (900-1100 °C, Molybdänmetall wird erzeugt) unterteilt, und die Heizrate (5-10 °C/min) und das Halten (1-2 Stunden) werden genau gesteuert, um sicherzustellen, dass die Partikelgrößenverteilung von Molybdänpulver 1-3 Mikrometer und die Abweichung der Partikelgrößengleichmäßigkeit ≤ 0,1 Mikrometer beträgt. Der moderne Reduktionsofen ist mit einer hochpräzisen Temperaturregelung (Genauigkeit ± 5 °C) und einer Gasreinigungseinrichtung (Entnahmeleistung ≥ 99,9 %) ausgestattet, die den Sauerstoffgehalt im Molybdänpulver auf ≤0,003 %, den Kohlenstoffgehalt auf 0,01 % und den Eisengehalt ≤ 0,005 % ≤. Darüber hinaus wird Molybdänpulver mit einem Windsichter (Luftgeschwindigkeit von 10-20 m/s, Abscheidegenauigkeit ±0,05 Mikrometer) gesiebt, um große und agglomerierte Partikel zu entfernen und so die Reinheit und Konsistenz der Rohstoffe weiter zu verbessern. Das optimierte Molybdänpulver sorgt für einen homogenen Rohling mit hoher Dichte für den anschließenden Sinterprozess, der dafür sorgt, dass der Molybdändraht hervorragende mechanische Eigenschaften aufweist.

Optimierung des Wärmebehandlungsprozesses

Die Wärmebehandlung ist ein wichtiger Bestandteil der Verbesserung der Zugfestigkeit und Haltbarkeit von Molybdändraht, der Leistungssteigerung durch Beseitigung innerer Spannungen während des Ziehprozesses, der Optimierung der Kristallstruktur und der Verbesserung der Materialzähigkeit. Die Wärmebehandlung wird in der Regel in einem Vakuum-Wärmebehandlungsofen (Temperatur 1600-1800 °C, Vakuumgrad ≤ $10^{-3}$ Pa) oder einem Wasserstoffglühofen (Temperatur 800-1200 °C, Wasserstoffffluss 0,5-1 L/min) durchgeführt. Die Vakuum-Wärmebehandlung kann die Korngröße von Molybdändraht bei 5-10 Mikrometern steuern, die Zugfestigkeit auf 2000-2300 MPa erhöhen und die Bruchdehnung durch hohe Temperatur (1700 °C) für 1-2 Stunden und die Heizrate von 5-10 °C / min auf 2-3% erhöhen. Das Wasserstoffglühen wird in Abschnitten erhitzt (Vorwärmen 600-800 °C, Halten von 1000-1100 °C, Abkühlgeschwindigkeit 5 °C/min), wodurch Eigenspannungen effektiv beseitigt und das Bruchrisiko verringert werden. Moderne Wärmebehandlungsöfen sind mit einem mehrstufigen Temperiersystem (Genauigkeit ± 3°C) und einem Online-Überwachungsgerät ausgestattet, das Temperatur, Druck und Gasfluss in Echtzeit erfasst, um die Prozessstabilität zu gewährleisten. Darüber hinaus kann durch die Optimierung der Wärmebehandlungsparameter (z. B. Verlängerung der Haltezeit auf 2,5 Stunden oder Reduzierung der Abkühlgeschwindigkeit auf 3 °C/min) die Gleichmäßigkeit des Korns weiter verbessert und Defekte an der Korngrenze reduziert werden, wodurch die Ermüdungsbeständigkeit und Haltbarkeit des Molybdändrahts erhöht wird.

Kontrolle des Gefüges

Die Zugfestigkeit und Haltbarkeit von Molybdändraht hängen eng mit seiner Mikrostruktur zusammen. Durch die Steuerung der Korngröße und der Korngrenzeneigenschaften können die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

mechanischen Eigenschaften des Materials deutlich verbessert werden. Mit der Heißisostatischen Presstechnologie (HIP) (Temperatur 1800-2000 °C, Druck 100-200 MPa, Argonschutz) kann die Dichte des Molybdänknüppels auf 99,5 % erhöht werden, die innere Porosität und Einschlüsse können reduziert und die Zugfestigkeit auf mehr als 2200 MPa erhöht werden. Während des Drahtziehprozesses kann durch Mehrgangziehen (20-30 Durchgänge, Oberflächenreduzierungsrate von 10-15 %) in einem Durchgang und Zwischenglühen (900-1100 °C, Halten für 10-20 Sekunden) das Korn (Größe 3-8 Mikrometer) veredelt, die faserige Kristallstruktur verbessert und die Festigkeit und Zähigkeit des Molybdändrahts verbessert werden. Darüber hinaus wird die Röntgenbeugung (XRD) zur Analyse der Korngröße und -orientierung und die Rasterelektronenmikroskopie (REM) zur Beobachtung mikroskopischer Defekte eingesetzt, um sicherzustellen, dass die Strukturoptimierung den Anforderungen der Normen (z. B. GB/T 4182-2017) entspricht.

Dotierungstechnik und Legieren

Die Zugabe von Spurenelementen (z. B. Lanthan, Cer, Yttrium) zu Molybdändraht kann seine Zugfestigkeit und Haltbarkeit weiter verbessern. So können beispielsweise durch die Dotierung von 0,1-0,5 % Lanthanoxid ($La_2O_3$) feine Oxidpartikel (0,1-0,5 μm Durchmesser) gebildet werden, die durch einen Ausscheidungsverstärkungsmechanismus die Zugfestigkeit auf 2300-2500 MPa erhöhen und gleichzeitig die Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen verbessern können. Der Dotierungsprozess muss die Dotierungselemente durch die Pulvermetallurgietechnologie gleichmäßig verteilen. In der Sinterstufe wird die Sintertemperatur auf 1900-2100 °C geregelt und die Haltezeit beträgt 2-3 Stunden. Der dotierte Molybdändraht kann auch in einer Hochtemperaturumgebung von 1500 °C stabile mechanische Eigenschaften beibehalten, und die Ermüdungslebensdauer verlängert sich auf mehr als das $10^6$-fache. Darüber hinaus kann durch die Kontrolle der Partikelgröße (0,05-0,2 Mikrometer) und der Verteilungsgleichmäßigkeit (Abweichung ≤5%) der dotierten Elemente der Agglomerationseffekt vermieden und die Stabilität der Molybdändrahteigenschaften sichergestellt werden.

Bedeutung der Anwendung

Methoden, die die Zugfestigkeit und Haltbarkeit verbessern, verbessern die Leistung von Molybdändraht in Umgebungen mit hochfestem Drahtschneiden erheblich. Molybdändraht mit einer Zugfestigkeit von 2200 MPa hält einer Spannung von 3-5 N stand und eignet sich für die Verarbeitung von Materialien mit hoher Härte wie Hartmetall und Titanlegierungen. Der für die Haltbarkeit optimierte Molybdändraht kann mehr als 100 Stunden lang ununterbrochen in einer Umgebung mit hochfrequenten Entladungen arbeiten, und die Drahtbruchrate wird auf weniger als 0,05 % reduziert. Diese Verbesserungen sorgen für eine höhere Stabilität und Effizienz des Drahterodierens, um die anspruchsvollen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, des Formenbaus und mehr zu erfüllen.

### 9.2 Optimieren Sie den Oberflächenbehandlungsprozess

Der Oberflächenbehandlungsprozess wirkt sich direkt auf die Oberflächenqualität, das Finish und die Verschleißfestigkeit von Molybdändraht aus, was für die Abtragsstabilität und Bearbeitungsgenauigkeit des Drahterodierens sehr wichtig ist. Im Folgenden finden Sie eine

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

detaillierte Analyse der Methoden zur Optimierung des Oberflächenbehandlungsprozesses unter den Aspekten der Alkaliwäsche, des elektrolytischen Polierens und der Beschichtungstechnik.

Optimierung des Laugewaschprozesses

Die Laugewäsche wird verwendet, um Oxide, Öle und Partikel von der Oberfläche von Molybdändraht zu entfernen und so die Oberflächenreinheit zu verbessern. Der optimierte Laugenwaschprozess verwendet einen kontinuierlichen Laugenwaschtank (Material: Edelstahl oder PTFE) unter Verwendung von 5-10% iger Natriumhydroxid (NaOH) -Lösung, die Temperatur wird auf 60-80 °C geregelt, die Durchlaufgeschwindigkeit des Molybdändrahtes beträgt 5-10 m/min und die Reinigungszeit beträgt 10-20 Sekunden. Moderne Laugewaschanlagen sind mit einem Ultraschalloszillator (Frequenz 40-60 kHz, Leistung 100-200 W) ausgestattet, der die Entfernungsrate von Oberflächenverunreinigungen auf bis zu 99,9% erhöht und die Oberflächenrauheit auf Ra 0,05 Mikrometer reduziert. Darüber hinaus kann durch die Optimierung der Lösungsformulierung (Zugabe von 0,5 % Tensid) die Reinigungswirkung gesteigert und Oberflächenrückstände reduziert werden. Um den Anforderungen des Umweltschutzes gerecht zu werden, ist die Laugewaschanlage mit einem Abfallbehandlungssystem ausgestattet, das die Abscheiderate von Schwermetallionen in der Abfallflüssigkeit durch Säure-Alkali-Neutralisation (pH 6-8) und Filtrationsvorrichtung (Porengröße 0,1 Mikrometer) auf mehr als 95 % erhöht.

Verbesserung der Elektropoliertechnologie

Durch das elektrolytische Polieren werden mikroskopisch kleine Unebenheiten auf der Oberfläche von Molybdändraht durch elektrochemische Reaktionen entfernt, wodurch die Oberflächengüte und die Korrosionsbeständigkeit weiter verbessert werden. Beim optimierten Elektropolierprozess wird ein Mischelektrolyt aus Schwefelsäure und Phosphorsäure (Verhältnis 3:1, Konzentration 20-30%) bei einer Temperatur von 50-70°C, einer Stromdichte von 10-20 A/dm² und einer Polierzeit von 5-15 Sekunden verwendet. Moderne Elektropolieranlagen, wie z. B. kontinuierliche Polierwannen, sind mit einer Konstantstromversorgung (Genauigkeit ± 0,1 %) und einem automatischen Temperaturregelungssystem (Genauigkeit ± 2 °C) ausgestattet, das die Oberflächenrauheit auf weniger als Ra 0,015 Mikrometer reduziert und das Oberflächenreflexionsvermögen auf 90 % erhöht. Durch die Optimierung der Elektrolytzyklusrate (0,5-1 L/min) und des Elektrodenabstands (1-2 mm) kann die Lichtbogenbildung während des Polierprozesses reduziert und die Oberflächengleichmäßigkeit verbessert werden. Darüber hinaus kann durch den Einsatz der gepulsten elektrolytischen Poliertechnologie (Impulsfrequenz 50-100 Hz, Einschaltdauer 50-70%) das Auftreten von Oberflächenmikrorissen weiter auf unter 0,1% reduziert werden.

Verbesserungen in der Graphitemulsionsbeschichtungstechnologie

Die Graphitemulsionsbeschichtung reduziert den Reibungskoeffizienten und die Verschleißfestigkeit, indem sie eine 1-2 Mikrometer dicke Schmierschicht auf die Oberfläche des Molybdändrahtes aufträgt, wodurch die Lebensdauer beim Drahtschneiden verlängert wird. Das optimierte Beschichtungsverfahren verwendet ein kontinuierliches Beschichtungsbad (Material: korrosionsbeständiger Kunststoff) und eine Graphitemulsionsformulierung aus 10-20% hochreinem Graphitpulver (Partikelgröße 0,1-0,5 Mikrometer), Bindemittel (Polyvinylalkohol oder Natriumsilikat) und Lösungsmittel (deionisiertes Wasser). Die Beschichtungsanlage ist mit einer


Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Rührvorrichtung (Drehzahl 100-200 U/min) und einem Trockenofen (Temperatur 100-150°C, Trocknungszeit 10-20 Sekunden) ausgestattet, um sicherzustellen, dass die Gleichmäßigkeit der Schichtdicke mehr als 98% beträgt und die Haftfestigkeit auf 10 MPa erhöht wird. Moderne Beschichtungsanlagen verwenden die Sprüh- oder Tauchbeschichtungstechnologie, um die Abweichung der Schichtdicke ± 0,1 Mikrometer zu kontrollieren, und die Trocknungstemperatur wird in Echtzeit durch ein Infrarot-Thermometer (Genauigkeit ± 1 °C) überwacht, um ein Reißen oder Ablösen der Beschichtung zu vermeiden.

Neue Technologie zur Oberflächenbehandlung

In den letzten Jahren haben die Nanobeschichtungstechnologie und die Plasma-Oberflächenmodifikationstechnologie eine neue Richtung für die Oberflächenbehandlung von Molybdändraht eröffnet. Nanobeschichtungen (z. B. Titannitrid- oder Molybdänkarbid-Beschichtungen, 0,5-1 Mikrometer dick) werden durch physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) oder chemische Gasphasenabscheidung (CVD) mit einer Härte von bis zu HV 2000 und einem reduzierten Reibungskoeffizienten auf weniger als 0,1 aufgebracht. Bei der Plasma-Oberflächenmodifikation wird die Oberfläche des Molybdändrahtes mit einem Niedertemperaturplasma (Leistung 100-200 W, Druck 0,1-1 Pa) behandelt, um eine dichte Oxidschicht (Dicke 0,2-0,5 Mikrometer) zu bilden, um die Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit zu verbessern. Diese Technologien verbessern die Stabilität von Molybdändraht in Umgebungen mit hoher Entladung erheblich.

Bedeutung der Anwendung

Durch das optimierte Oberflächenbehandlungsverfahren werden die Oberflächengüte und die Verschleißfestigkeit des Molybdändrahtes deutlich verbessert. Molybdändraht mit einer Oberflächenrauheit von Ra 0,015 Mikrometer kann den ungleichmäßigen Lichtbogen beim Drahterodieren reduzieren und die Entladestabilität um 30 % verbessern; Die Graphitemulsionsbeschichtung reduziert den Reibungskoeffizienten um 40 % und verlängert die Lebensdauer um 50 %. Diese Verbesserungen sind ein zuverlässiger Garant für die hochpräzise Formen- und Gefügebearbeitung, die den hohen Anforderungen der Halbleiter- und Luft- und Raumfahrtindustrie gerecht werden.

### 9.3 Techniken zur Verringerung der Rate des Filamentbruchs

Drahtbruch ist ein häufiges Problem beim Drahterodieren, das sich auf die Verarbeitungseffizienz und die Kosten auswirkt. Die Reduzierung der Bruchrate erfordert eine Materialoptimierung, Prozessverbesserung und Anlagensteuerung, und im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse der relevanten Technologien.

Optimierung der Materialeigenschaften

Die Filamentbruchrate hängt eng mit der Zugfestigkeit, Zähigkeit und Mikrostruktur von Molybdändraht zusammen. Durch die Verwendung von hochreinem Molybdänpulver (Reinheit ≥ 99,97 %) und Dotierungstechniken wie 0,3 % Lanthanoxid kann die Zugfestigkeit auf 2300 MPa und die Bruchdehnung auf 2,5 % erhöht werden, wodurch das Risiko eines Drahtbruchs deutlich reduziert wird. Beim Drahtziehen kann die faserige Kristallstruktur optimiert, der Riss an der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Korngrenze reduziert und die Drahtbruchrate auf weniger als 0,05 % reduziert werden, indem die Oberflächenreduktionsrate in einem Durchgang (8-12 %) und die Zwischenglühtemperatur (900-1100 °C) gesteuert werden.

Verbesserung des Drahtziehprozesses

Die Optimierung des Ziehprozesses wirkt sich direkt auf die Gleichmäßigkeit und Oberflächenqualität des Molybdändrahtes aus. Mit einer hochpräzisen Drahtziehmaschine (angetrieben durch Servomotor, Geschwindigkeit 5-20 m/s, Spannung 0,1-2 N), durch Mehrgangziehen (20-30 Durchgänge) und Online-Zugregelung (Genauigkeit ±0,01 N) kann die Durchmessertoleranz bei ±0,001 mm und der Rundheitsfehler ≤ 0,0005 mm geregelt werden. Die Verwendung von Ziehsteinen aus polykristallinem Diamant (PKD) (Oberflächenrauheit der Matrize Ra 0,01 Mikrometer, Lebensdauer von mehr als 1000 Stunden) kann Oberflächenkratzer reduzieren und die Drahtbruchrate verringern. Darüber hinaus reduziert die optimierte Schmierstoffformulierung (ölbasierter Schmierstoff mit 5 % Graphit mit einer Viskosität von 10-20 cSt) die Reibungswärme beim Drahtziehen um 50 % und vermeidet Mikrorisse durch lokale Überhitzung.

Optimierung der Parameter der Drahterodieranlage

Die Betriebsparameter von Drahterodieranlagen haben einen wichtigen Einfluss auf die Drahtbruchrate. Durch die Optimierung der Entladeparameter (z.B. Impulsbreite 50-100 μs, Stromdichte 10-20 A/cm²) kann der Temperaturschock während der Entladung reduziert und die thermische Ermüdungsschädigung des Molybdändrahtes reduziert werden. Das adaptive Zugregelungssystem (Spannungsbereich 2-5 N, Genauigkeit ± 0,05 N) kann die Spannung in Echtzeit an die Verarbeitungsbedingungen anpassen, um einen Drahtbruch durch übermäßige Spannung zu vermeiden. Darüber hinaus kann durch die Optimierung der Kühlmittelformulierung (5% Rostschutzmittel, pH 7-8, Durchflussmenge 0,5-1 L/min) die Korrosions- und Oxidationsneigung von Molybdändraht während der Verarbeitung reduziert werden.

Online-Überwachung und Feedback-Steuerung

Moderne Drahtschneideanlagen sind mit einem Online-Überwachungssystem ausgestattet, das den Durchmesser und die Oberflächenfehler von Molybdändraht in Echtzeit durch ein Laser-Drahtdurchmessermessgerät (Genauigkeit ± 0,0001 mm) und einen Wirbelstromdetektor (Empfindlichkeit 0,05 Mikrometer) überwacht und die Zug- oder Entladeparameter automatisch anpasst, wenn Anomalien festgestellt werden. Wenn beispielsweise eine Durchmesserabweichung von ±0,001 mm erkannt wird, kann das System die Spannung um 10 % reduzieren oder die Verarbeitung unterbrechen, um einen Drahtbruch zu vermeiden. Das Überwachungssystem kann auch die Entladungshäufigkeit und die Wärmeverteilung erfassen, die Verarbeitungsparameter optimieren und die Drahtbruchrate auf unter 0,03 % reduzieren.

Bedeutung der Anwendung

Techniken, die die Rate des Filamentbruchs reduzieren, verbessern die Kontinuität und Effizienz des Drahtschneidens erheblich. Molybdändraht mit einem Drahtbruch von weniger als 0,05 % kann eine kontinuierliche Verarbeitung von mehr als 100 Stunden unterstützen, Ausfallzeiten reduzieren

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

und die Produktionseffizienz um 20 % steigern. Diese Technologien bieten eine stabile Unterstützung für die Bearbeitung von hochhärten Werkstoffen wie Titanlegierungen und Keramiken, um den anspruchsvollen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt und des Formenbaus gerecht zu werden.

**9.4 Innovationen zur Verbesserung der Schnitteffizienz**

Die Verbesserung der Schneideffizienz des Drahterodierens ist ein wichtiges Ziel zur Optimierung der Leistung von Molybdändraht, was Materialverbesserung, Entladungsoptimierung und Geräteaufrüstungen umfasst. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse der relevanten Innovationen.

Entwicklung von hochleitfähigem Molybdändraht

Die Erhöhung der Leitfähigkeit von Molybdändraht (Leitfähigkeit 18-20 MS/m) kann die Entladeeffizienz erhöhen und die Verarbeitungszeit verkürzen. Durch die Dotierung von Spuren von Silber (Ag, 0,1-0,3%) oder Kupfer (Cu, 0,2-0,5%) kann die Leitfähigkeit um 10% erhöht und der Entladungsenergieverlust um 15% reduziert werden. Der Dotierungsprozess wird in einem Vakuum-Sinterofen (Temperatur 1900-2100°C, Druck 0,1 MPa) durchgeführt, um eine gleichmäßige Verteilung der Dotierungselemente zu gewährleisten (Abweichung ≤5%). Molybdändraht mit hoher Leitfähigkeit kann die Entladungsfrequenz (10-20 kHz) erhöhen und die Schnittgeschwindigkeit um 20-30% erhöhen.

Optimierung der Austragsparameter

Die Optimierung der Austragsparameter ist der Schlüssel zur Verbesserung der Schneideffizienz. Moderne Drahterodieranlagen verwenden eine hochfrequente gepulste Stromversorgung (Frequenz 10-50 kHz, Impulsbreite 20-100 µs), die die Abtragsraten durch präzise Steuerung der Entladeenergie (10-50 J/cm²) und des Impulsabstands (50-200 µs) um bis zu 30 % erhöht. So kann z.B. die Schnittgeschwindigkeit mit einer kurzpulsigen Hochfrequenzentladung (Impulsbreite 30 µs, Frequenz 30 kHz) von 2 mm/min auf 3 mm/min erhöht werden. Darüber hinaus kann durch die Optimierung des Elektrodenabstands (0,01-0,03 mm) und des Kühlmitteldurchflusses (0,5-1 l/min) der Wärmestau reduziert und die Lebensdauer des Molybdändrahtes verlängert werden.

Neues Kühlmittel- und Einspritzsystem

Das Kühlmittel spielt eine Rolle bei der Wärmeableitung, der Schlackenentfernung und dem Korrosionsschutz beim Drahterodieren. Die optimierte Kühlmittelformulierung (5-10 % Ethylenglykol, 2 % Rostschutzmittel, Viskosität 5-10 cSt) kann die Wärmeleitfähigkeit (0,5 W/m·K) und die Effizienz der Schlackenentfernung verbessern und die Schnittgeschwindigkeit um 15 % erhöhen. Das neue Hochdruck-Injektionssystem (Druck 0,5-1 MPa, Einspritzwinkel 30-45°) kann das Kühlmittel gleichmäßig in den Auslassbereich sprühen, wodurch die thermische Schädigung der Elektroden reduziert und die Verarbeitungseffizienz um 10-20 % gesteigert wird.

Mehrachsgestänge und adaptive Regelung

Moderne Drahtschneideanlagen verfügen über ein fünf- oder sechsachsiges numerisches Steuerungssystem und realisieren die Verarbeitung komplexer dreidimensionaler Strukturen durch

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

mehrachsige Verknüpfung (Drehgenauigkeit ±0,001°), wobei die Schneideffizienz um 25% erhöht wird. Das adaptive Steuerungssystem reduziert die Verarbeitungszeit um 15-20 %, indem es den Entladestrom (Genauigkeit ± 0,1 A) und den Elektrodenspalt (Genauigkeit ± 0,001 mm) in Echtzeit überwacht, die Entladeparameter und die Spannung dynamisch anpasst und den Schnittweg optimiert.

Bedeutung der Anwendung

Innovative Technologien, die die Schnitteffizienz steigern, reduzieren die Bearbeitungszeiten und Produktionskosten erheblich. Molybdändraht mit hoher Leitfähigkeit und optimierte Entladungsparameter können die Schnittgeschwindigkeit um 30% erhöhen, was für die Verarbeitung von Materialien mit hoher Härte geeignet ist. Neue Kühlmittel- und Mehrachsentechnologien verbessern die Effizienz bei der Bearbeitung komplexer Strukturen, um den Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, der Halbleiterindustrie und anderer Bereiche gerecht zu werden.

### 9.5 Anwendung intelligenter Produktionstechnik

Intelligente Produktionstechnologie verbessert die Effizienz und Qualitätskonsistenz von Molybdändraht durch Automatisierung und Echtzeitüberwachung. Im Folgenden finden Sie eine Analyse unter zwei Aspekten: automatische Zeichnungskontrolle und Echtzeit-Qualitätsüberwachungssystem.

#### 9.5.1 Automatische Steuerung des Drahtziehens

Die automatisierte Drahtziehsteuerung verbessert die Genauigkeit und Effizienz des Drahtziehprozesses durch die Integration von Sensoren, Servosystemen und SPS-Steuerung.

Technisches Prinzip

Die automatische Drahtziehsteuerung überwacht die Zug-, Geschwindigkeits- und Durchmesseränderungen während des Drahtziehprozesses in Echtzeit durch Servomotoren (Leistung 5-10 kW, Drehzahl 100-2000 U/min) und hochpräzise Sensoren (Zuggenauigkeit ± 0,01 N, Durchmessergenauigkeit ±0,0001 mm). Das System verwendet einen geschlossenen Regelalgorithmus, um die Ziehgeschwindigkeit (5-20 m/s) und die Spannung (0,1-2 N) anhand von Echtzeitdaten anzupassen, wodurch eine Durchmessertoleranz von ± 0,001 mm und ein Rundheitsfehler von ≤0,0005 mm gewährleistet wird.

Anlagen- und Prozessparameter

Automatisierte Drahtziehmaschinen (z.B. Schumag oder Niehoff) sind mit Mehrzug-Ziehsystemen (20-30 Durchgänge, Oberflächenreduktionsrate 8-12%) und Inline-Lasermessgeräten (Frequenz 1000 Durchgänge/Sekunde) ausgestattet. Das Schmiersystem verwendet einen ölbasierten Schmierstoff mit 5 % Graphit (Viskosität 10-20 cSt), der von einer Konstantstrompumpe (Durchflussmenge 0,1-0,5 l/min) gleichmäßig aufgetragen wird, um die Reibungswärme um 50 % zu reduzieren. SPS-Steuerungssysteme, wie z. B. Siemens S7-1500, zeigen Prozessparameter in Echtzeit über eine Touchscreen-Schnittstelle an und unterstützen so die Fernüberwachung und Datenspeicherung.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

# 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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Beim automatisierten Drahtziehen muss das Ziehwerkzeugdesign optimiert werden (PKD-Matrizenloch, Oberflächenrauheit Ra 0,01 Mikrometer, Lebensdauer 1000 Stunden), um Durchmesserabweichungen durch Lochverschleiß zu vermeiden. Das System muss den Sensor in regelmäßigen Abständen (alle 500 Stunden) kalibrieren, um die Messgenauigkeit zu gewährleisten. Die Herausforderung besteht darin, Schwingungsstörungen beim Hochgeschwindigkeits-Drahtziehen zu bewältigen, die durch das Hinzufügen von Dämpfungseinrichtungen (80 % Dämpfungsrate) und die Optimierung der Schmierstoffformulierungen gelöst werden können.

Bedeutung der Anwendung

Die automatische Drahtziehsteuerung erhöht die Produktionseffizienz um 20 % und reduziert die Ausfallrate auf 0,02 %, wodurch die Konsistenz des Molybdändrahtdurchmessers und der Oberflächenqualität sichergestellt wird, um den Anforderungen des hochpräzisen Drahtschneidens gerecht zu werden. Das System unterstützt auch die automatische Optimierung von Prozessparametern, wodurch der Produktionszyklus um 15 % reduziert wird.

### 9.5.2 Echtzeit-Qualitätsüberwachungssystem

Das Echtzeit-Qualitätsüberwachungssystem stellt die Qualitätskonsistenz des gesamten Prozesses der Molybdändrahtherstellung durch die Integration von Prüfgeräten und Datenanalysetechnologie sicher.

Technisches Prinzip

Das Echtzeit-Qualitätsüberwachungssystem erfasst den Durchmesser, Oberflächenfehler und die Mikrostruktur von Molybdändraht in Echtzeit durch ein Laser-Drahtdurchmessermessgerät (Genauigkeit ± 0,0001 mm), einen Wirbelstromdetektor (Empfindlichkeit 0,05 Mikrometer) und ein optisches Mikroskop (1000-2000-fache Vergrößerung). Das System nutzt die Technologie des industriellen Internets der Dinge (IIoT), um Daten über ein Netzwerk von Sensoren zu sammeln, kombiniert mit Big-Data-Analysen und Algorithmen des maschinellen Lernens, um Qualitätsprobleme vorherzusagen und Prozessparameter zu optimieren.

Anlagen- und Prozessparameter

Das Überwachungssystem ist mit einem Hochfrequenz-Lasermessgerät (Keyence LS-9000, Frequenz 1000 mal/s), einem Wirbelstromdetektor (Eddyfi Ectane 2, Frequenz 100 kHz-1 MHz) und einem SEM (JEOL JSM-7800F, Auflösung 0,01 Mikrometer) ausgestattet. Datenerfassungsfrequenzen von 10-100 Hz, Speicherkapazität bis zu 1 TB, Cloud-Backup und Fernzugriff. Das System ist über eine SPS mit der Produktionsanlage verbunden, um die Ziehgeschwindigkeit, die Spannung und die Oberflächenbehandlungsparameter in Echtzeit einzustellen.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

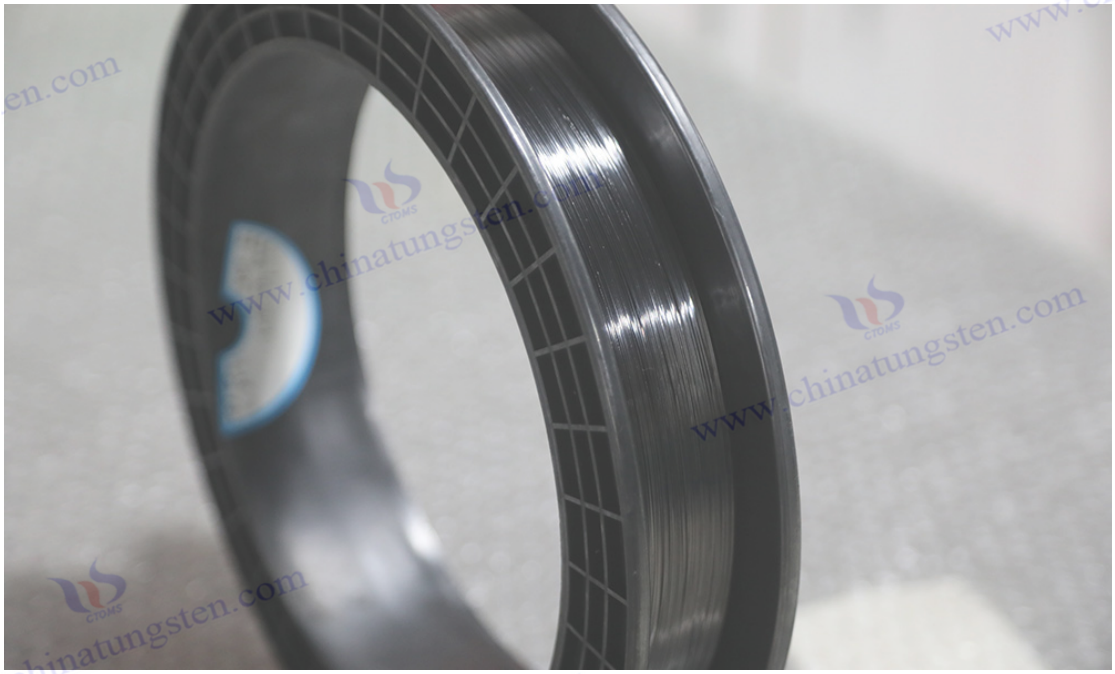
Das Überwachungssystem muss den Sensor (alle 500 Stunden) kalibrieren, um die Erkennungsgenauigkeit zu gewährleisten. Die Herausforderung besteht darin, die Echtzeitanalyse von hochfrequenten Daten (1000 Punkte/s) zu verarbeiten, die durch Edge Computing und 5G-

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Netze mit einer Latenz von < 10 ms gesteigert werden kann. Das System muss auch den Algorithmus optimieren, um die Fehlalarmrate auf weniger als 0,01 % zu reduzieren und die Zuverlässigkeit der Qualitätskontrolle zu gewährleisten.

Bedeutung der Anwendung

Das Echtzeit-Qualitätsüberwachungssystem reduziert die Ausfallrate auf 0,01 % und erhöht die Produktionseffizienz um 15 %, wodurch sichergestellt wird, dass die Leistung von Molybdändraht den Standards GB / T 4182-2017 und ASTM B387 entspricht. Das System unterstützt auch die Rückverfolgbarkeit von Qualitätsdaten, was eine zuverlässige Garantie für hochpräzises Drahtschneiden bietet.



CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

## Kapitel 10 Markt und Entwicklung des Molybdändrahterodierens

Mit der wachsenden Nachfrage nach hochpräziser Bearbeitung, Mikroelektronikfertigung und umweltfreundlicher Produktion zeigt der Markt für Drahterodierdraht einen Trend zur schnellen Expansion und Diversifizierung. In diesem Kapitel werden der globale Marktüberblick und der zukünftige Entwicklungstrend des Molybdändrahterodierens umfassend erörtert und eine eingehende Analyse der wichtigsten Produktionsländer, der Marktgröße, der Nachfragetreiber und der technologischen Innovationsrichtungen bereitgestellt, einschließlich der Forschung und Entwicklung von Molybdändraht mit dünnerem Drahtdurchmesser, der Förderung umweltfreundlicher Produktionsprozesse und des Trends zur neuen Materialsubstitution.

### 10.1 Globaler Marktüberblick

Der globale Markt für Molybdändrahterodieren wird durch die Nachfrage nach hochpräziser Bearbeitung angetrieben, die unter anderem im Formenbau, in der Luft- und Raumfahrt, in der Halbleiterindustrie, in der Medizintechnik und in der neuen Energie weit verbreitet ist. Im

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse des aktuellen Zustands des Weltmarktes unter zwei Aspekten: wichtige Produktionsländer und -regionen, Marktgröße und Nachfrageanalyse.

### 10.1.1 Wichtigste Erzeugerländer und -regionen

Die Produktion von Molybdändrahterodieren ist in hohem Maße von Molybdänressourcen und fortschrittlicher Verarbeitungstechnologie abhängig, und zu den wichtigsten Produktionsländern und -regionen der Welt gehören China, die Vereinigten Staaten, Japan, Europa (vertreten durch Deutschland und Österreich) und Russland. Diese Länder und Regionen nehmen aufgrund der Synergie von Ressourcenvorteilen, Technologieakkumulation und Marktnachfrage eine wichtige Position auf dem globalen Molybdändrahtmarkt ein.

**China**

China ist der weltweit größte Produzent von Molybdänvorkommen mit reichen Molybdänerzreserven (die etwa 50 % der weltweiten Gesamtmenge ausmachen), wie z. B. Luanchuan in der Provinz Henan und Jinduicheng in der Provinz Shaanxi mit einer Jahresproduktion von mehr als 100.000 Tonnen Molybdänkonzentrat. China hat sich auf Ressourcenvorteile gestützt und ist zu einem wichtigen Produzenten von Molybdändrahterodieren geworden, der mehr als 60 % des Weltmarktes ausmacht. Inländische Unternehmen wie Jinduicheng Molybdenum Industry und Luoyang Molybdenum Industry haben durch die Einführung fortschrittlicher Produktionsanlagen (wie hochpräzise Drahtziehmaschine und Vakuum-Wärmebehandlungsofen) Hochleistungs-Molybdändraht gemäß der Norm GB / T 4182-2017 mit einem Durchmesserbereich von 0,05 bis 0,3 mm, einer Zugfestigkeit von 1800 bis 2300 MPa und einer Oberflächenrauheit von Ra≤0,02 Mikrometern durch die Einführung fortschrittlicher Produktionsanlagen (wie hochpräzise Drahtziehmaschine und Vakuum-Wärmebehandlungsofen) und eines optimierten Prozesses (mehrstufige Wasserstoffreduktion und Heiß- isostatisches Drucksintern). Chinas Molybdändrahtprodukte erfüllen nicht nur die Bedürfnisse des inländischen Formenbaus und der Luft- und Raumfahrt, sondern exportieren auch eine große Anzahl von ihnen nach Südostasien, Europa und Nordamerika, was mehr als 40 % des Weltmarktes ausmacht. Darüber hinaus haben chinesische Unternehmen ihre preisliche Wettbewerbsfähigkeit durch technologische Innovationen (z. B. Lanthanoxid-Dotierung) und Kostenkontrolle aufrechterhalten, wobei der Durchschnittspreis für 0,18 mm Molybdändraht bei 50 bis 70 US-Dollar pro Kilometer liegt.

**USA**

Die Vereinigten Staaten sind der weltweit zweitgrößte Produzent von Molybdändraht und verfügen über reichhaltige Molybdänerzvorkommen (wie die Climax-Mine in Colorado) und eine fortschrittliche Produktionstechnologie. Unternehmen wie Climax Molybdenum und Plansee USA haben sich auf die Entwicklung von Hochleistungs-Molybdändrähten spezialisiert, die den Normen ASTM B387 für den Einsatz in der Halbleiter- und Luft- und Raumfahrt entsprechen. Die Produktion von Molybdändraht in den Vereinigten Staaten konzentriert sich auf hohe Reinheit (≥99,95 %) und Oberflächenqualität (Ra≤0,05 Mikrometer) und verbessert die Verschleißfestigkeit durch PVD-Beschichtungstechnologien (Physical Vapor Deposition) wie Titannitrid-Beschichtungen mit einer Dicke von 0,5 bis 1 Mikrometern. Der US-Markt hat eine starke Nachfrage nach Molybdändraht mit feinem Drahtdurchmesser (0,05-0,1 mm), der 30 % der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Gesamtproduktion ausmacht, hauptsächlich in der Mikroelektronik und der Verarbeitung medizinischer Geräte. Der Preis für Molybdändraht in den Vereinigten Staaten ist mit durchschnittlich 80 bis 100 US-Dollar pro Kilometer relativ hoch, was die Positionierung des Unternehmens auf dem High-End-Markt widerspiegelt.

**Japan**

Japan ist bekannt für seine hohe Präzision und Qualität bei der Herstellung von Molybdändraht, und Unternehmen wie Sumitomo Electric und Toshiba Materials produzieren Molybdändraht gemäß dem JIS H 4461-Standard, der in elektrischen Lichtquellen und im Präzisionsformenbau weit verbreitet ist. Japans Technologie zur Herstellung von Molybdändraht konzentriert sich auf die Kornkontrolle (Größe 3-8 Mikrometer) und die Oberflächenbehandlung (z. B. elektrolytisches Polieren, Ra ≤0,03 Mikrometer) durch Mehrgangziehen (25-35 Durchgänge, Oberflächenreduktionsrate 8-12%) und Vakuumglühen, um eine Zugfestigkeit von 2000-2200 MPa zu erreichen. Die Nachfrage nach ultrafeinem Molybdändraht (≤0,08 mm Durchmesser) auf dem japanischen Markt wächst rasant und macht 25 % der Gesamtproduktion aus, hauptsächlich für das Dicing von Halbleiterwafern und die MEMS-Herstellung. Japans Molybdändrahtexporte erfolgen hauptsächlich nach Asien und Nordamerika, und der Preis liegt bei 70 bis 90 US-Dollar pro Kilometer.

**Europa**

Die Produktion von Molybdändraht wird in Europa von Deutschland und Österreich dominiert, und Unternehmen wie Plansee Group und H.C. Starck nutzen modernste Produktionsverfahren (z.B. kontinuierliche Drahtziehmaschinen, Plasma-Oberflächenmodifikation), um Molybdändraht nach DIN EN 10204 herzustellen. Der europäische Markt konzentriert sich auf eine umweltfreundliche Produktion mit Niedrigenergie-Sinteröfen (20 % weniger Energieverbrauch) und recycelbaren Schmierstoffen in Übereinstimmung mit der EU-RoHS-Richtlinie. Molybdändraht wird in Europa hauptsächlich in der Luft- und Raumfahrt und im Formenbau in der Automobilindustrie verwendet, mit einem Durchmesser von 0,1 bis 0,2 mm, der 50 % der Gesamtproduktion ausmacht, einer Zugfestigkeit von 1900 bis 2300 MPa und einer Oberflächenrauheit von Ra≤0,02 Mikrometern. Der Preis für Molybdändraht in Europa ist mit durchschnittlich 90 bis 120 US-Dollar pro Kilometer höher, was die High-End-Technologie und die strenge Qualitätskontrolle widerspiegelt.

**Russland**

Russland hat eine starke Präsenz auf dem Weltmarkt mit reichen Molybdänerzressourcen, wie z. B. dem sibirischen Bergbaugebiet, mit einer Jahresproduktion von etwa 20.000 Tonnen Molybdänkonzentrat. Hersteller von Molybdändraht in Russland, wie z. B. das Metallurgische Werk Tscheljabinsk, sind auf Molybdändraht mit großem Durchmesser (0,2-0,3 mm) für das thermische Spritzen und Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt spezialisiert. Das Produkt entspricht dem GOST-Standard mit einer Zugfestigkeit von 1800-2100 MPa und einer Oberflächenrauheit von Ra≤0,05 Mikrometern. Der Preis für Molybdändraht in Russland ist mit durchschnittlich 40 bis 60 US-Dollar pro Kilometer relativ niedrig und wird hauptsächlich in osteuropäische und asiatische Märkte exportiert.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**Weitere Regionen**

Andere Länder wie Chile, Kanada und Australien produzieren ebenfalls Molybdändraht, aber die Produktion ist kleiner und stützt sich hauptsächlich auf importiertes Molybdänkonzentrat für die Verarbeitung. Die Produktion von Molybdändraht in diesen Gebieten dient hauptsächlich dazu, die Bedürfnisse des lokalen Marktes zu erfüllen, und das technische Niveau ist relativ niedrig, und die Produkte werden hauptsächlich im allgemeinen Formenbau mit einem Preis von 50-80 US-Dollar pro Kilometer eingesetzt.

**Marktverteilung und Wettbewerbslandschaft**

Der globale Markt für Molybdändraht weist ein regionales Wettbewerbsmuster auf, wobei China mit niedrigen Kosten und hoher Produktion dominiert, die Vereinigten Staaten und Japan sich auf High-Tech- und High-End-Anwendungen konzentrieren, Europa sich auf Umweltschutz und Qualitätszertifizierung konzentriert und Russland mit Preisvorteilen konkurriert. Multinationale Unternehmen haben ihre Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt durch die Integration von Ressourcen durch technische Zusammenarbeit und Fusionen und Übernahmen verbessert. In Zukunft wird die interregionale Zusammenarbeit den Technologieaustausch und die Marktexpansion weiter fördern.

**10.1.2 Analyse der Marktgröße und -nachfrage**

Die globale Marktgröße des Molybdändrahterodierens wächst mit dem Wachstum der Nachfrage nach hochpräziser Bearbeitung weiter, und Folgendes wird unter drei Aspekten analysiert: Marktgröße, Nachfragetreiber und regionale Verteilung.

Marktgröße

Branchendaten zufolge wird die globale Marktgröße für Molybdändraht-Erodiermaschinen im Jahr 2024 etwa 500 Millionen US-Dollar betragen und bis 2030 voraussichtlich 750 Millionen US-Dollar erreichen, mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von etwa 7 %. Das Wachstum der Marktgröße ist hauptsächlich auf die breite Anwendung von Drahterodieranlagen im Formenbau, in der Luft- und Raumfahrt und in der Halbleiterindustrie zurückzuführen. In Bezug auf die Produktion wird die weltweite Produktion von Molybdändraht im Jahr 2024 etwa 12.000 Tonnen betragen, wovon 60 % (7.200 Tonnen) auf China, 15 % (1.800 Tonnen) auf die Vereinigten Staaten, 10 % (1.200 Tonnen), 10 % (1.200 Tonnen) und 5 % (600 Tonnen) auf andere Regionen entfallen werden. Nach Anwendungsbereichen entfielen 40 % des Marktanteils auf den Formenbau, 25 % auf die Luft- und Raumfahrt, 20 % auf Halbleiter, 10 % auf elektrische Lichtquellen und 5 % auf andere Bereiche.

Treiber der Nachfrage

Anforderungen an den Formenbau: Der Formenbau ist das größte Anwendungsgebiet von Drahterodierdraht, insbesondere in der Automobil-, Elektronik- und Haushaltsgeräteindustrie. Hochpräzise Formen (Toleranzen ± 0,005 mm) stellen strenge Anforderungen an die Durchmessertoleranz (±0,001 mm), die Zugfestigkeit (≥2000 MPa) und die Oberflächenrauheit (Ra ≤0,02 Mikrometer) von Molybdändrähten, was das Wachstum der Marktnachfrage vorantreibt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nachfrage in der Luft- und Raumfahrt: Die Luft- und Raumfahrt hat eine starke Nachfrage nach hoher Temperaturstabilität (Zugfestigkeit bei 1500 °C ≥ 1800 MPa) und Ermüdungsbeständigkeit (Lebensdauer ≥ $10^6$-fach) von Molybdändraht, der zur Verarbeitung von Turbinenschaufeln, Titanlegierungsteilen usw. verwendet wird und 25 % der Marktnachfrage ausmacht.

Nachfrage nach Halbleitern und Mikroelektronik: Die Halbleiterindustrie hat eine schnell wachsende Nachfrage nach ultrafeinem Molybdändraht (0,05-0,08 mm Durchmesser) für das Wafer-Dicing und die MEMS-Herstellung und steigert ihren Marktanteil von 10 % im Jahr 2015 auf 20 % im Jahr 2024.

Nachfrage nach neuen Energie- und elektrischen Lichtquellen: Der neue Energiebereich (z. B. die Herstellung von Photovoltaikzellen) und die Industrie für elektrische Lichtquellen (z. B. Natriumdampf-Hochdrucklampen) stellen hohe Anforderungen an eine hohe Leitfähigkeit (18-20 MS/m) und eine hohe Temperaturbeständigkeit (1500-2000 °C) von Molybdändraht, was die Entwicklung der Marktdiversifizierung fördert.

Globalisierung und technologischer Fortschritt: Die digitale Transformation der globalen Fertigungsindustrie und intelligente Produktionstechnologien (z. B. fünfachsige CNC-Drahtschneidemaschinen) haben die Effizienz der Verwendung von Molybdändraht verbessert und die Marktnachfrage stimuliert.

Regionale Nachfrageverteilung
Asiatischer Markt: Asien (insbesondere China, Japan und Südkorea) ist mit einem Marktanteil von 50 % der weltweit größte Verbrauchermarkt für Molybdändraht. Die rasante Entwicklung der chinesischen Formenbauindustrie hat die Nachfrage nach 0,18 bis 0,2 mm Molybdändraht mit einem Jahresverbrauch von etwa 4.000 Tonnen angetrieben. Japan und Südkorea werden von Halbleitern und elektrischen Lichtquellen dominiert, und die Nachfrage nach ultrafeinem Molybdändraht macht 30 % aus.

Nordamerikanischer Markt: Der nordamerikanische Markt macht 25 % des weltweiten Marktanteils aus, wobei die Luft- und Raumfahrt- und Halbleiterindustrie die Hauptnachfrage darstellt. Es besteht eine starke Nachfrage nach Hochleistungs-Molybdändraht (Zugfestigkeit ≥ 2200 MPa) von amerikanischen Unternehmen mit einem jährlichen Verbrauch von etwa 1.500 Tonnen.

Europäischer Markt: Der europäische Markt macht 20 % des weltweiten Marktanteils aus, dominiert von Deutschland, Frankreich und Italien, und die Nachfrage konzentriert sich auf die Luft- und Raumfahrt und den Formenbau in der Automobilindustrie mit einem jährlichen Verbrauch von etwa 1.000 Tonnen. Die Nachfrage nach umweltfreundlichem Molybdändraht (RoHS-konform) wächst in Europa rasant.

Andere Regionen: Südamerika, Afrika und der Nahe Osten haben eine geringere Nachfrage nach Molybdändraht, der 5 % des weltweiten Marktanteils ausmacht und hauptsächlich für den allgemeinen Formenbau und das thermische Spritzen verwendet wird, mit einem Jahresverbrauch

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

von etwa 500 Tonnen.

Herausforderungen und Chancen des Marktes

Zu den Herausforderungen des Marktes gehören volatile Rohstoffpreise (10-15 % Schwankungen der Molybdänkonzentratpreise), strenge Umweltvorschriften (z. B. EU REACH) und Wettbewerbsdruck durch neue Materialien (z. B. verzinkter Stahldraht). Die Chancen liegen in der wachsenden Nachfrage nach hochpräziser Bearbeitung, der Verbreitung intelligenter Produktionstechnologien und dem rasanten Aufstieg aufstrebender Märkte wie Indien und Südostasien. In Zukunft wird sich der Markt in Richtung hoher Leistung, Umweltschutz und niedriger Kosten entwickeln.

### 10.2 Entwicklungstrends

Die zukünftige Entwicklung des Molybdändrahterodierens wird durch technologische Innovation, Umweltschutzanforderungen und den Wettbewerb um neue Materialien beeinflusst. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse des Entwicklungstrends der Branche unter drei Aspekten: die Forschung und Entwicklung von dünneren Drahtdurchmessern, den Umweltschutz, den Produktionsprozess und den Trend zur neuen Materialsubstitution.

#### 10.2.1 Forschung und Entwicklung von dünneren Drahtdurchmessern

Mit der rasanten Entwicklung der Mikroelektronik-, Halbleiter- und Medizingeräteindustrie wächst die Nachfrage nach Molybdändraht mit ultrafeinem Drahtdurchmesser (≤0,08 mm Durchmesser) weiter. Im Folgenden wird der F&E-Trend von Molybdändraht mit dünnerem Drahtdurchmesser unter drei Aspekten analysiert: technische Herausforderungen, Prozessverbesserung und Anwendungsaussichten.

Technische Herausforderungen

Die Herstellung von ultrafeinem Molybdändraht (Durchmesser 0,03-0,08 mm) stellt höhere Anforderungen an die Rohstoffe, den Drahtziehprozess und die Prüftechnik. Der Rohstoff muss ultrahochreines Molybdänpulver (Reinheit ≥ 99,99 %, Partikelgröße 0,5-2 Mikrometer) verwenden, um die Schädigung der Mikrostruktur durch Verunreinigungen zu reduzieren. Der Drahtziehprozess erfordert eine ultrahochpräzise Drahtziehmaschine (Zugspannungsregelungsgenauigkeit ± 0,005 N, Geschwindigkeit 2-10 m/s) und einen Naturdiamantdrahtziehstein (Rauheit der Düsenlochoberfläche Ra 0,005 Mikrometer, Lebensdauer 500 Stunden), und die Oberflächenreduktionsrate in einem Durchgang wird auf 5-8 % gesteuert, um Drahtbruch zu vermeiden. Die Prüftechnik erfordert den Einsatz eines hochauflösenden Laserdrahtmessgeräts (Genauigkeit ± 0,00005 mm) und eines Rasterelektronenmikroskops (Auflösung 0,01 μm), um eine Durchmessertoleranz von ± 0,0005 mm und eine Oberflächenrauheit von Ra ≤ 0,01 μm zu gewährleisten.

Prozessverbesserungen

Mikrodrahtziehtechnologie: Mit dem 40-50-fachen Ziehverfahren, kombiniert mit Zwischenglühen (Temperatur 800-1000 °C, Wärmeerhaltung 5-10 Sekunden, Wasserstoffschutz), kann der Durchmesser des Molybdändrahtes schrittweise von 0,5 mm auf 0,05 mm reduziert werden, und die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Drahtbruchrate wird unter 0,01 % kontrolliert.

Optimierung der Oberflächenbehandlung: Das elektrolytische Impulspolieren (Frequenz 100 Hz, Einschaltdauer 60 %, Stromdichte 15 A/dm²) reduziert die Oberflächenrauheit auf Ra 0,008 μm und verbessert die Entladestabilität.

Dotieren und Legieren: 0,1-0,3 % Ceroxid ($CeO_2$) oder Yttriumoxid ($Y_2O_3$) werden zugesetzt, um die Zugfestigkeit durch Ausscheidungsverfestigung auf 2400 MPa zu erhöhen, um die hohen Festigkeitsanforderungen von ultrafeinem Molybdändraht zu erfüllen.

Online-Überwachung: Die Einführung der Online-Lasermessung und des Wirbelstromerkennungssystems kann Durchmesser- und Oberflächenfehler in Echtzeit überwachen, Zeichnungsparameter automatisch anpassen und die Produktionseffizienz um 15 % steigern.

Anwendungsperspektiven
Die Forschung und Entwicklung von ultrafeinem Molybdändraht hat seine Anwendung in der Mikroelektronik und Medizin gefördert. Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,05 mm kann für das Würfeln von Halbleiterwafern verwendet werden, und die Toleranz der Rillenbreite ± 0,001 mm; Der Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,03 mm eignet sich für die Verarbeitung von Medizinprodukten (z. B. Herz-Stent-Formen) und hat eine Oberflächenrauheit von Ra 0,005 μm, was den Anforderungen an höchste Präzision entspricht. In Zukunft wird mit der Entwicklung von 5G, künstlicher Intelligenz und biomedizinischer Technologie erwartet, dass die Marktnachfrage nach ultrafeinem Molybdändraht mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 10 % wachsen und bis 2030 30 % des Weltmarktes ausmachen wird.

### 10.2.2 Umweltfreundlicher Produktionsprozess

Ein umweltfreundlicher Produktionsprozess ist ein wichtiger Entwicklungstrend der Molybdändrahtindustrie, der auf die Anforderungen der globalen grünen Fertigung und nachhaltigen Entwicklung reagiert. Im Folgenden wird die Entwicklung umweltfreundlicher Verfahren unter drei Aspekten analysiert: energiesparende Herstellung, Abfallaufbereitung und Wertstoffe.

Niedrigenergie-Produktionstechnologie
Die konventionelle Herstellung von Molybdändraht (z.B. Sintern, Wärmebehandlung) verbraucht einen hohen Energieverbrauch (ca. 5000 kWh pro Tonne Molybdändraht). Zu den neuen Niedrigenergietechnologien gehören:

Hocheffizienter Sinterofen: Mittelfrequenz-Induktionssinterofen (Temperatur 1800-2000°C, Energieverbrauch um 20% reduziert), ausgestattet mit einem Wärmerückgewinnungssystem (Rückgewinnungsrate 30%), der Gesamtenergieverbrauch wird auf 4000 kWh/Tonne reduziert.

Energiesparende Drahtziehmaschine: Durch den Einsatz einer drahtziehenden Maschine, die von einem Servomotor angetrieben wird (5-8 kW Leistung, 15 % effizienter), wird der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Reibungsenergieverbrauch um 30 % reduziert, indem die Ziehgeschwindigkeit (10-15 m/s) und die Schmierstoffformulierung (Viskosität 8-15 cSt) optimiert werden.

Niedertemperatur-Wärmebehandlung: Die Entwicklung der Niedertemperatur-Vakuumglühtechnologie (Temperatur 1000-1200 °C, Vakuumgrad ≤$10^{-4}$ Pa) reduziert den Energieverbrauch der Wärmebehandlung um 25 % bei gleichzeitiger Beibehaltung der Zugfestigkeit von mehr als 2000 MPa.

Behandlung von flüssigen und gasförmigen Abfällen

Beim Waschen und Elektropolieren bei der Herstellung von Molybdändraht entstehen schwermetallhaltige Abfallflüssigkeiten, die teuer und ineffizient zu entsorgen sind. Zu den neuen umweltfreundlichen Aufbereitungstechnologien gehören:

Behandlung von Abfallflüssigkeiten im geschlossenen Kreislauf: Säure-Base-Neutralisation (pH 6-8) und Membranfiltrationstechnologie (Porengröße 0,1 Mikrometer) werden eingesetzt, um die Entfernungsrate von Schwermetallionen in der Abfallflüssigkeit auf 98 % zu erhöhen und die Behandlungskosten um 30 % zu senken.

Abgasreinigung: Bei der Wasserstoffreduktion und Wärmebehandlung werden Aktivkohleadsorptions- und katalytische Verbrennungseinheiten (Abscheidegrad ≥ 99 %) eingesetzt, um flüchtige organische Verbindungen (VOCs) und Oxidemissionen auf unter 0,01 mg/m³ zu reduzieren, was den EU-Emissionsnormen entspricht.

Ressourcenrückgewinnung: Entwicklung einer Technologie zur Rückgewinnung von Molybdänionen in flüssigen Abfällen (z. B. Ionenaustauscherharz, Rückgewinnungsrate von 90 %) und Verwendung des zurückgewonnenen Molybdäns zur Herstellung von Molybdänprodukten mit geringer Reinheit, wodurch die Rohstoffkosten um 10 % gesenkt werden.

Recycelbare Materialien und umweltfreundliche Verpackungen

Die Verwendung von recycelbaren Schmierstoffen (mit 5 % biobasiertem Öl, 95 % Abbaurate) und umweltfreundlichen Verpackungsmaterialien (z. B. biologisch abbaubare Kunststoffe, Vakuumverpackungsstärke 0,05 mm) reduziert die Umweltbelastung im Produktionsprozess. Das Ziehwerkzeug besteht aus erneuerbarem polykristallinem Diamant (PKD), was die Lebensdauer um 20% verlängert und den Ressourcenverbrauch reduziert. Grüne Verpackungen werden mit Vakuum oder Inertgas (Argon oder Stickstoff, Reinheit ≥ 99,99 %) gefüllt, um die Oxidationsbeständigkeit von Molybdändraht während der Lagerung zu gewährleisten und den Verpackungsabfall um 50 % zu reduzieren.

Anwendungsperspektiven

Das umweltfreundliche Produktionsverfahren reduziert die Umweltbelastung durch die Herstellung von Molybdändraht und steht im Einklang mit globalen Trends zur grünen Herstellung (z. B. dem EU Green Deal). Die Technologie mit niedrigem Energieverbrauch und das Abfallbehandlungssystem senken die Produktionskosten um 15-20 % und verbessern die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Wettbewerbsfähigkeit des Marktes. Die Verwendung von recycelbaren Materialien treibt das Modell der Kreislaufwirtschaft voran, und es wird erwartet, dass umweltfreundlicher Molybdändraht bis 2030 40 % des Weltmarktes ausmachen wird, mit einem schnellen Wachstum in Europa und Nordamerika, insbesondere in Europa.

### 10.2.3 Substitution neuer Materialien

Mit der Entwicklung einer neuen Materialtechnologie steht das Molybdändrahterodieren unter Wettbewerbsdruck durch andere Hochleistungswerkstoffe. Im Folgenden wird der Substitutionstrend neuer Werkstoffe unter drei Aspekten analysiert: die Arten alternativer Werkstoffe, die technischen Herausforderungen und die Marktaussichten.

Alternative Materialarten

Verzinkter Stahldraht: Verzinkter Stahldraht verbessert die Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit, indem er die Oberfläche des Stahldrahts (Dicke 5-10 Mikrometer) bei 50% Molybdändraht (20-30 USD pro Kilometer) verzinkt. Seine Zugfestigkeit (1500-1800 MPa) ist geringer als die von Molybdändraht, eignet sich jedoch für den Formenbau mit geringer Präzision.

Verbunddraht auf Kupferbasis: Verbunddraht auf Kupferbasis (z. B. Kupfer-Wolfram-Legierung mit 20-30 % Wolframgehalt) hat eine hohe Leitfähigkeit (25-30 MS/m) und Verschleißfestigkeit, eignet sich für das Drahterodieren mit mittlerer und hoher Präzision und der Preis beträgt 40-60 US-Dollar pro Kilometer.

Kohlefaser-Verbundfilament: Kohlefaser-Verbundfilament ist leicht (Dichte 1,8 g/cm³) und hochfest (2000 MPa), indem es eine leitfähige Beschichtung (Graphit oder Metall, Dicke 1-2 Mikrometer) aufträgt, aber die Leitfähigkeit (10-15 MS/m) ist geringer als die von Molybdändraht, wodurch es für bestimmte Mikrofabrikationsszenarien geeignet ist.

Keramikbeschichtete Drähte: Keramikbeschichtete Drähte (z. B. Zirkonoxid oder Siliziumnitrid, 0,5-1 Mikrometer dick) haben eine hohe Härte (HV 2000) und eine hohe Temperaturbeständigkeit (1500 °C), sind aber teuer in der Herstellung (80-100 US-Dollar pro Kilometer).

Technische Herausforderungen

Alternative Materialien haben Einschränkungen in Bezug auf Leistung und Kosten. Die hohe Temperaturbeständigkeit und Zugfestigkeit von verzinktem Stahldraht sind unzureichend, was schwierig ist, die Anforderungen der Luft- und Raumfahrt und der Halbleiterverarbeitung zu erfüllen. Der Herstellungsprozess von Verbunddraht auf Kupferbasis ist komplex, und die Gleichmäßigkeit (Abweichung ±0,002 mm) ist schwer mit Molybdändraht zu vergleichen. Die schlechte Leitfähigkeit und Entladestabilität von Kohlefaser-Verbundfilamenten schränkt seine Anwendung in Umgebungen mit hochfrequenten Entladungen ein. Die Produktionskosten von keramikbeschichtetem Draht sind hoch, und die Bindungsfestigkeit der Beschichtung (≤8 MPa) ist geringer als die der Graphitemulsionsbeschichtung von Molybdändraht (10 MPa). Darüber hinaus wurden die Prüfnormen für alternative Werkstoffe (z. B. Durchmessertoleranzen, Oberflächenrauheit) nicht harmonisiert, was ihre Marktakzeptanz einschränkt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**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

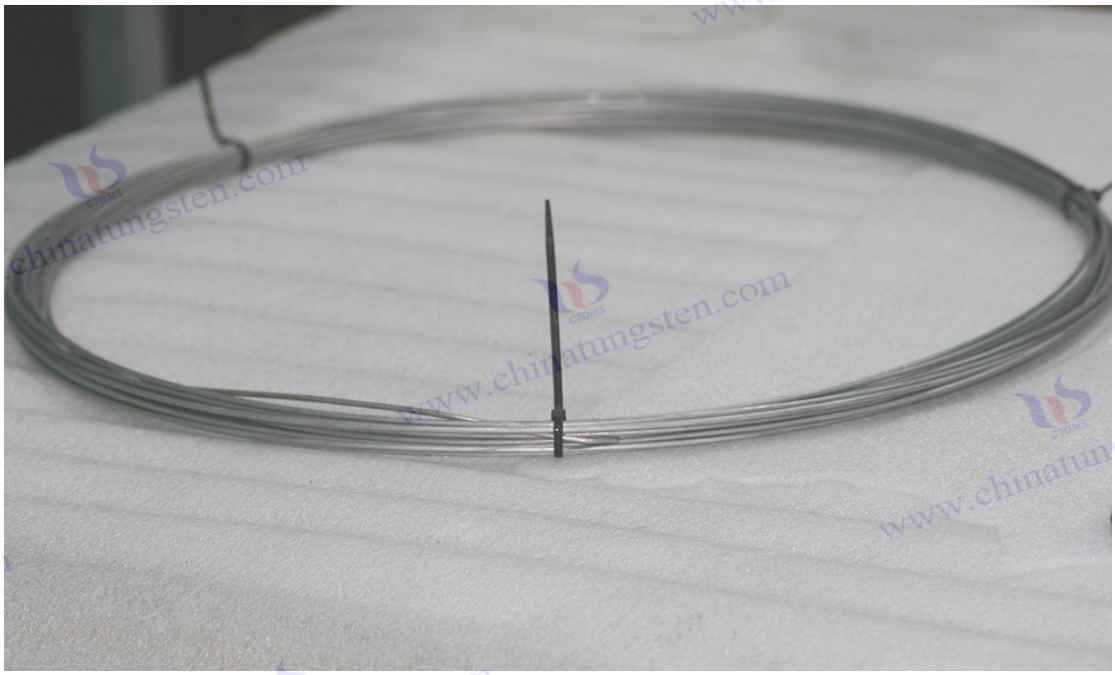
Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Marktausblick

Trotz der Kostenvorteile alternativer Materialien wird Molybdändraht aufgrund seiner hohen Zugfestigkeit (2000-2300 MPa), seiner hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit (18-20 MS/m) und Oberflächenqualität (Ra ≤0,02 Mikrometer) das Mainstream-Material für das Drahterodieren bleiben, und es wird erwartet, dass sein Marktanteil bis 2030 über 70 % liegen wird. Alternative Materialien werden einen bestimmten Markt in Bereichen mit geringer Präzision und niedrigen Kosten wie dem allgemeinen Formenbau einnehmen und voraussichtlich 20 % des Weltmarktes ausmachen. In Zukunft könnte die Verbundtechnologie aus Molybdändraht und neuen Materialien (wie Molybdän-Kupfer-Verbunddraht oder Molybdän-Kohlefaser-beschichteter Draht) zu einer neuen Entwicklungsrichtung werden, die die Vorteile beider kombiniert, um der diversifizierten Marktnachfrage gerecht zu werden.

Anwendungsperspektiven

Der Trend zur Substitution neuer Werkstoffe hat die diversifizierte Entwicklung der Drahterodiertechnik gefördert. Molybdändraht wird weiterhin den Bereich der hochpräzisen und hochhärten Materialverarbeitung dominieren, während verzinkter Stahldraht und Verbunddraht auf Kupferbasis im Low-End-Markt schnell wachsen werden. Es wird erwartet, dass Verbundwerkstoffe wie molybdän-keramikbeschichtete Drähte neue Anwendungen in der Mikroelektronik und in medizinischen Geräten eröffnen werden, wobei ein Marktanteil von 10 % bis 2030 voraussichtlich 10 % erreichen wird.



CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

# Kapitel 11 Installation und Verwendung von Molybdändrahterodiermaschinen

Als Kernverbrauchsmaterialien beim Erodieren von Draht wirkt sich die Installation, der Betrieb und die Wartung des Molybdändrahterodierens direkt auf die Verarbeitungsgenauigkeit, Effizienz und Lebensdauer der Anlage aus. Durch korrekte Installationsschritte, standardisierte Anwendungsmethoden und wissenschaftliche Wartungsmaßnahmen kann die Leistungsfähigkeit von Molybdändraht maximiert, die Drahtbruchrate reduziert und die Verarbeitungsqualität verbessert werden. In diesem Kapitel werden die Installationsschritte, Vorsichtsmaßnahmen für den Gebrauch sowie die Wartungs- und Austauschmethoden des Molybdändrahterodierens ausführlich erörtert und die technischen Prinzipien, Betriebsspezifikationen, Geräteanforderungen und Prozessparameter eingehend analysiert.

## 11.1 Installationsschritte für Drahterodierdraht

Die fachgerechte Installation des Molybdändrahterodierens ist die Grundlage für die Gewährleistung von Prozessstabilität und Präzision. Der Installationsprozess umfasst das Einfädeln, Fixieren, Einstellen der Scheibe und die Kontaktkontrolle des leitenden Blocks, was eine präzise Bedienung erfordert, um Schäden am Molybdändraht oder Geräteausfälle zu vermeiden. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse unter zwei Aspekten: Einfädeln und Fixieren sowie Kontaktkontrolle zwischen Führungsrad und leitfähigem Block.

### 11.1.1 Einfädeln und Fixieren von Molybdändraht

Das Einfädeln und Fixieren von Molybdändraht ist ein wichtiger Schritt vor dem Starten der Drahtschneideanlage, der sich direkt auf die Spannungsstabilität und den reibungslosen Betrieb von Molybdändraht auswirkt.

Technisches Prinzip

Beim Drahteinfädeln wird der Molybdändraht aus dem Drahtspeicherzylinder durch das Führungsrad, den leitfähigen Block und den Verarbeitungsbereich geführt und schließlich auf dem Wickelrad fixiert. Der Befestigungsprozess sollte sicherstellen, dass die Spannung des Molybdändrahtes gleichmäßig ist (normalerweise 2-5 N) und eine Zugverformung oder -relaxation vermieden wird. Der Durchmesser des Molybdändrahtes beträgt normalerweise 0,05 bis 0,3 mm, die Toleranz beträgt ± 0,001 mm und die Oberflächenrauheit Ra ≤0,02 Mikrometer. Die Vorrichtung muss eine stabile Klemmkraft (10-20 N) bieten, um ein Verrutschen oder Brechen zu verhindern.

Verfahren

Vorbereitung: Überprüfen Sie das Aussehen des Molybdändrahtes, um sicherzustellen, dass keine Oberflächenkratzer, Oxide oder Kräuselungsfehler vorhanden sind (mit einer Lupe, 20-50-fache Vergrößerung). Bestätigen Sie die Sauberkeit der Lagertrommel und des Wickelrads, entfernen Sie Staub und Öl (mit absolutem Ethanol abwischen, Reinheit ≥ 99,9%). Kalibrieren Sie die Position des Führungsrads und des leitenden Blocks der Drahterodiermaschine, um sicherzustellen, dass die Ausrichtungsgenauigkeit 0,01 mm ±.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Einfädelvorgang: Der Molybdändraht wird aus dem Drahtspeicherzylinder herausgeführt und durch eine manuelle oder automatische Einfädelvorrichtung (Geschwindigkeit 1-5 m/min) nacheinander durch das obere Führungsrad, den Bearbeitungsbereich, das untere Führungsrad und den leitfähigen Block geführt. Beim Einfädeln ist es notwendig, den Molybdändraht gerade zu halten, ein Aufwickeln oder Verknoten zu vermeiden und die Temperatur der Betriebsumgebung auf 20±2 °C und eine Luftfeuchtigkeit von 40-60 % zu kontrollieren, um elektrostatische Störungen zu vermeiden.

Fixieren des Molybdändrahtes: Das Ende des Molybdändrahtes wird auf der Aufwickelscheibe fixiert und eine spezielle Spannvorrichtung (Klemmkraft 15 N, Kontaktfläche 2-5 mm²) verwendet. Die Anfangsspannung (2-3 N) wird mit Hilfe einer Zugeinstellvorrichtung (Genauigkeit ± 0,05 N) eingestellt, um eine gleichmäßige Belastung des Molybdändrahtes im Bearbeitungsraum zu gewährleisten. Überprüfen Sie den Molybdändrahtweg, um sicherzustellen, dass er nicht übermäßig verbiegt (Biegeradius ≥ 10 mm).

Überprüfung und Einstellung: Starten Sie das Gerät so, dass es mit niedriger Geschwindigkeit (0,1-0,5 m/s) läuft, beobachten Sie die Laufbahn des Molybdändrahtes und verwenden Sie einen Laser-Entfernungsmesser (Genauigkeit ± 0,001 mm), um die Gleichmäßigkeit der Spannung und die Bahnabweichung zu überprüfen. Passen Sie die Position des Führungsrads an (Genauigkeit ±0,005 mm), um sicherzustellen, dass der Molybdändraht reibungslos und ohne Vibrationen oder Versatz läuft.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Während des Einfädelvorgangs sollten spezielle Einfädelwerkzeuge (z. B. Molybdändrahtführungsnadeln, 0,5 mm Durchmesser) verwendet werden, um Oberflächenbeschädigungen durch manuelle Bedienung zu vermeiden. Die automatische Einfädelvorrichtung (ausgestattet mit einem Servomotor mit einer Genauigkeit der Drehzahlregelung ±0,1 m/min) erhöht den Wirkungsgrad um 30 %, erfordert jedoch eine regelmäßige Kalibrierung (alle 500 Stunden). Die Herausforderung besteht darin, den Bruch von Molybdändraht mit feinem Drahtdurchmesser (≤0,08 mm Durchmesser) zu bewältigen, der durch Reduzierung der Einfädelgeschwindigkeit (1-2 m/min) und Optimierung des Führungsscheibenmaterials (keramischer oder polykristalliner Diamant, Oberflächenrauheit Ra 0,01 μm) gelöst werden kann. Während des Befestigungsprozesses ist es notwendig, eine zu hohe Klemmkraft (>20 N) zu vermeiden, um eine lokale Verformung des Molybdändrahtes zu verhindern.

Bedeutung der Anwendung

Das korrekte Einfädeln und Fixieren gewährleistet die Spannung, Stabilität und den reibungslosen Betrieb des Molybdändrahtes während der Verarbeitung. Molybdändraht mit einer Zugabweichung von ±0,05 N kann die Austragsspaltschwankung auf 0,001 mm reduzieren und die Bearbeitungsgenauigkeit um 20 % verbessern. Standardisierte Installationsschritte reduzieren zudem den Drahtbruch (von 0,1 % auf 0,03 %) und verlängern die Lebensdauer von Molybdändraht (100-150 Stunden) für hochpräzise Werkzeuge und Luft- und Raumfahrtteile.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 11.1.2 Kontaktsteuerung zwischen Führungsrad und Leitungsblock

Das Führungsrad und der leitfähige Block sind die Schlüsselkomponenten in der Drahtschneidemaschine, um den Betrieb und die Entladung von Molybdändraht zu steuern, und ihre Kontaktsteuerung wirkt sich direkt auf die Verarbeitungsstabilität und den Elektrodenverlust aus.

Technisches Prinzip

Führungsrollen werden verwendet, um den Molybdändraht auf einer vorgegebenen Bahn mit geringer Reibung (Reibungskoeffizient ≤ 0,1) und hoher Genauigkeit (Exzentrizität ≤ 0,005 mm) zu führen. Der leitfähige Block überträgt einen Entladestrom (10-20 A/cm²) durch Molybdän-Kontaktdrähte, und der Kontaktwiderstand sollte garantiert ≤ 0,01 Ohm liegen, um eine Überhitzung oder Lichtbogenbeschädigung zu vermeiden. Die Werkstoffe der Führungsräder und leitfähigen Blöcke (z.B. keramische Führungsräder, leitfähige Blöcke aus Kupfer-Wolfram-Legierungen) müssen eine hohe Verschleißfestigkeit (Härte HV 1500-2000) und elektrische Leitfähigkeit (Leitfähigkeit 20-30 MS/m) aufweisen.

Verfahren

Einbau und Kalibrierung des Führungsrads: Wählen Sie ein hochpräzises keramisches Führungsrad (Durchmesser 10-20 mm, Oberflächenrauheit Ra 0,01 μm), installieren Sie es auf dem Führungsradsitz und kalibrieren Sie die Führungsradachse mit einem Laserausrichtungsinstrument (Genauigkeit ± 0,002 mm), um sicherzustellen, dass die Exzentrizität 0,005 mm ≤. Überprüfen Sie die Rundheit der Führungsradnut (Fehler ≤ 0,001 mm), um sicherzustellen, dass der Molybdändraht ohne Versatz verläuft.

Installation eines leitfähigen Blocks: Ein leitfähiger Block aus Kupfer-Wolfram-Legierung (Wolframgehalt 70-80 %, Leitfähigkeit 25 MS/m) wird ausgewählt und auf dem leitfähigen Gerät installiert, der Kontaktdruck wird auf 5-10 N geregelt und die Kontaktfläche beträgt 2-5 mm². Der Übergangswiderstand wird mit einem hochpräzisen Messgerät (Genauigkeit ± 0,001 Ohm) gemessen, um eine ≤ von 0,01 Ohm zu gewährleisten.

Kontaktsteuerung: Der Anpressdruck des Führungsrads und des leitenden Blocks wird durch das Servosteuerungssystem (Genauigkeit ± 0,01 N) eingestellt, um die Molybdändrahtspannung von 2-5 N aufrechtzuerhalten. Echtzeitüberwachung der Drehzahl des Führungsrads (100-500 U/min) und der Temperatur des leitenden Blocks (≤80 °C), um Reibungswärme oder Lichtbogenschäden zu vermeiden.

Dynamische Anpassung: Starten Sie das Gerät so, dass es mit niedriger Geschwindigkeit (0,1-0,5 m/s) läuft, verwenden Sie einen Vibrationssensor (Empfindlichkeit 0,01 mm/s²), um die Vibration des Führungsrads zu erkennen, stellen Sie den Führungsradwinkel ein (Genauigkeit ± 0,01°), um die Abweichung zu beseitigen. Ein Infrarot-Thermometer (Genauigkeit ± 1 °C) wird verwendet, um die Temperatur des leitfähigen Blocks zu überwachen und den Kühlmitteldurchfluss (0,5-1 l/min) einzustellen, um die Wärme abzuleiten.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Die Führungsräder müssen regelmäßig gereinigt werden (alle 100 Stunden mit einem Ultraschallreiniger, Frequenz 40 kHz, 5 Minuten), um Oberflächenablagerungen zu entfernen und die Reibung gering zu halten. Der leitfähige Block muss regelmäßig poliert werden (alle 200 Stunden, mit Diamantschleifpapier, Körnung 2000 mesh), um sicherzustellen, dass die Kontaktfläche flach ist und der Kontaktwiderstand ≤ 0,01 Ohm beträgt. Die Herausforderung liegt in der hohen Empfindlichkeit bei der Handhabung von feinen Drahtdurchmessern (≤0,08 mm), die durch die Optimierung des Designs der Führungsradnut (V-Nut, Winkel 30-45°) und der Kontaktfläche des leitenden Blocks (1-2 mm²) gelöst werden kann. Die automatische Steuerung (SPS, Ansprechzeit <10 ms) passt die Kontaktparameter in Echtzeit an und verbessert die Stabilität um 30%.

Bedeutung der Anwendung

Durch die präzise Kontaktsteuerung zwischen dem Führungsrad und dem leitfähigen Block kann die Laufabweichung des Molybdändrahtes auf ±0,001 mm gesteuert und die Entladestabilität um 25 % verbessert werden. Der niedrige Kontaktwiderstand (≤0,01 Ohm) reduziert die Elektrodenverluste um 20 % und verlängert die Lebensdauer des leitfähigen Blocks (500-1000 Stunden). Diese Maßnahmen gewährleisten eine hochpräzise Bearbeitung (z. B. Werkzeugtoleranzen ± 0,005 mm), um den Anforderungen der Luft- und Raumfahrt- und Halbleiterindustrie gerecht zu werden.

### 11.2 Vorsichtsmaßnahmen für die Verwendung von Molybdändrahterodiermaschinen

Die korrekte Verwendung des Molybdändrahterodierens ist der Schlüssel zur Gewährleistung der Verarbeitungsqualität und der Effizienz der Ausrüstung, einschließlich der Einstellung von Strom- und Spannungsparametern, der Vermeidung von Drahtbruch und -schlupf und anderer Aspekte. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse unter zwei Aspekten.

#### 11.2.1 Einstellungen von Strom- und Spannungsparametern

Strom- und Spannungsparameter wirken sich direkt auf die Entladeeffizienz, die Verarbeitungsgeschwindigkeit und den Molybdändrahtverlust aus und müssen entsprechend dem Werkstückmaterial, den Verarbeitungsanforderungen und den Molybdändrahtspezifikationen optimiert werden.

Technisches Prinzip

Beim Drahterodieren wird Material abgetragen, indem zwischen dem Molybdändraht und dem Werkstück durch eine hochfrequente Impulsentladung (Frequenz 10-50 kHz) ein Funke erzeugt wird. Die Stromdichte (10-20 A/cm²) und die Spannung (50-100 V) müssen mit der Leitfähigkeit des Molybdändrahtes (18-20 MS/m) und der Leitfähigkeit des Werkstückmaterials (z. B. 7-10 MS/m für Stahl) übereinstimmen. Zu hoher Strom oder zu hohe Spannung führt zu einer Überhitzung des Molybdändrahtes (Temperatur > 500 °C), wodurch das Risiko eines Drahtbruchs erhöht wird. Zu niedrige Parameter verringern die Verarbeitungseffizienz. Standards (z. B. YS/T 357-2006) empfehlen Pulsbreiten von 20-100 μs und Pulsintervalle von 50-200 μs.

Verhaltenskodex

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Parameterauswahl: Wählen Sie die Strom- und Spannungsparameter entsprechend dem Werkstückmaterial aus. Bei der Bearbeitung von Hartmetall (Härte HRC 60-70) wird beispielsweise die Stromdichte auf 15 A/cm² eingestellt, die Spannung auf 80 V und die Pulsbreite auf 50 µs. Bei der Bearbeitung von Aluminiumlegierungen (Leitfähigkeit 30 MS/m) beträgt die Stromdichte 10 A/cm², die Spannung 60 V und die Impulsbreite 30 µs.

Einstellung der Impulsleistung: Bei Verwendung einer hochfrequenten Impulsstromversorgung (Frequenz 20-30 kHz, Genauigkeit ±0,1%) werden die Impulsbreite und der Pulsabstand durch ein numerisches Steuerungssystem (CNC, Ansprechzeit < 10 ms) eingestellt, um eine gleichmäßige Entladeenergie zu gewährleisten.

Kühlmittelabstimmung: Verwenden Sie ein Kühlmittel mit 5 % Ethylenglykol (Viskosität 5-10 cSt, pH 7-8) mit einer Durchflussrate von 0,5-1 l/min, halten Sie die Temperatur des Auslassbereichs ≤80 °C und reduzieren Sie die thermische Schädigung von Molybdändraht.

Echtzeitüberwachung: Echtzeitüberwachung der Entladeparameter durch Stromsensoren (Genauigkeit ± 0,1 A) und Voltmeter (Genauigkeit ± 0,1 V) und automatische Reduzierung der Impulsfrequenz (20 % Reduzierung) oder Unterbrechung der Verarbeitung, wenn Anomalien (z. B. Stromschwankungen >10 %) festgestellt werden.

Prozessoptimierung & Herausforderungen
Die Parametereinstellungen müssen entsprechend dem Durchmesser des Molybdändrahtes optimiert werden, z.B. 0,18 mm Molybdändraht für Stromdichten von 12-15 A/cm², 0,08 mm Molybdändraht für 8-10 A/cm². Die Herausforderung besteht darin, die Verarbeitungsgeschwindigkeit mit der Lebensdauer des Molybdändrahtes in Einklang zu bringen und die Entladeeffizienz durch dynamische Anpassung der Parameter mit einem adaptiven Steuerungssystem (basierend auf dem PID-Algorithmus mit einer Reaktionszeit von <5 ms) zu optimieren. Das Kühlmittel muss regelmäßig gefiltert werden (Porengröße 0,1 Mikrometer), um Verunreinigungen zu vermeiden, die die Austragsstabilität beeinträchtigen.

Bedeutung der Anwendung
Optimierte Strom- und Spannungsparameter erhöhen die Verarbeitungsgeschwindigkeit um bis zu 20 Prozent (von 2 mm/min auf 2,4 mm/min) und reduzieren die Verluste des Molybdändrahtes um bis zu 15 Prozent. Die präzise Parametereinstellung sorgt für einen gleichmäßigen Austragsspalt (0,01-0,03 mm), und die Bearbeitungstoleranz wird bei ±0,005 mm gesteuert, was den Verarbeitungsanforderungen von hochpräzisen Formen und mikroelektronischen Teilen entspricht.

### 11.2.2 Verhindern Sie gebrochene und rutschige Drähte

Gebrochene und rutschige Drähte sind häufige Probleme beim Drahtschneiden, die zu Bearbeitungsunterbrechungen und Genauigkeitsverlusten führen. Im Folgenden finden Sie eine Analyse von Präventionsmaßnahmen in Bezug auf Zugregelung, Abflussoptimierung und Umweltmanagement.


Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Technisches Prinzip

Gebrochene Filamente werden in der Regel durch übermäßige Spannung (>5 N), thermische Ermüdung (Temperatur > 500 °C) oder Oberflächenfehler (Kratzer > 0,1 Mikrometer) verursacht. Der rutschige Draht wird durch eine unzureichende Spannung (<2 N) oder einen hohen Reibungskoeffizienten des Führungsrades (>0,2) verursacht. Die Vermeidung von Drahtbruch und Schlupf kann durch die Optimierung der Spannung (2-5 N), der Entladeparameter (Stromdichte 10-15 A/cm²) und der Führungsradqualität (Oberflächenrauheit Ra 0,01 μm) erreicht werden.

Verhaltenskodex

Zugregelung: Halten Sie die Spannung bei 2-3 N (0,18 mm Molybdändraht) oder 1-2 N (0,08 mm Molybdändraht) mit einem Servospannungsregelungssystem (Genauigkeit ± 0,05 N). Der Zugspannungssensor (Empfindlichkeit 0,01 N) wird in Echtzeit überwacht und passt sich automatisch an, wenn die Spannung > 10 % schwankt.

Entladungsoptimierung: Stellen Sie das Impulsintervall von 100-150 μs ein, um den Wärmestau zu reduzieren und eine Überhitzung des Molybdändrahtes zu vermeiden. Die Verwendung einer kurzen Impulsentladung (Breite 30-50 μs) reduziert den Temperaturschock und reduziert die Drahtbruchrate auf 0,03 %.

Wartung von Rädern und Blöcken: Überprüfen Sie regelmäßig (alle 100 Stunden) die Nut des Führungsrads, um sicherzustellen, dass kein Verschleiß vorliegt (Rillentiefe< 0,1 mm). Der leitfähige Block sollte sauber gehalten werden (Ultraschall gereinigt, Frequenz 40 kHz) mit einem Übergangswiderstand von ≤ 0,01 Ohm.

Umweltmanagement: Halten Sie die Temperatur des Verarbeitungsbereichs bei 20±2 °C, die Luftfeuchtigkeit bei 40-60 % und verwenden Sie das antistatische Gerät (ionisierende Luft, Leistung 100 W), um die elektrostatische Adsorption von Verunreinigungen zu vermeiden. Das Kühlmittel sollte sauber gehalten werden (Gehalt an Verunreinigungen < 0,01 %) und die Durchflussmenge sollte 0,5-1 l/min betragen.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Um Drahtbrüche zu vermeiden, ist es notwendig, die Oberflächenfehler von Molybdändraht in Echtzeit zu überwachen, und ein Inline-Wirbelstromprüfer (Empfindlichkeit 0,05 Mikrometer) kann verwendet werden, um Kratzer im Bereich von 0,1 Mikrometern zu identifizieren, und die Verarbeitung kann unterbrochen werden, wenn Fehler gefunden werden. Das Problem des Schlupfes kann durch Optimierung des Materials des Führungsrads (Keramik, Reibungskoeffizient 0,08) und des Schmiermittels (5% Graphit, Viskosität 10 cSt) gelöst werden. Die Herausforderung liegt im Bruch des Feindrahtdurchmessers (≤0,08 mm), der durch eine Reduzierung der Spannung (1-1,5 N) und der Entladefrequenz (10-20 kHz) erreicht werden kann.

Bedeutung der Anwendung

Wirksame Vorsichtsmaßnahmen gegen Drahtbruch und -schlupf reduzieren die Drahtbruchrate auf 0,02 % und erhöhen die Prozesskontinuität um 30 %. Der stabile Betrieb des Molybdändrahts

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

gewährleistet eine Verarbeitungstoleranz von ± 0,005 mm und eine Oberflächenrauheit von Ra 0,1 Mikrometer, um die anspruchsvollen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt- und Halbleiterindustrie zu erfüllen.

### 11.3 Wartung und Austausch von Molybdändrahterodiermaschinen

Die regelmäßige Wartung und der rechtzeitige Austausch von Molybdändraht ist der Schlüssel zur Gewährleistung eines langfristig stabilen Betriebs von Drahterodieranlagen. Es folgt eine Analyse unter zwei Aspekten: Dichtheitseinstellung, regelmäßige Reinigung und Inspektion.

#### 11.3.1 Einstellung der Dichtheit des Molybdändrahtes

Die Dichtheitseinstellung wird verwendet, um die Spannungsstabilität des Molybdändrahtes aufrechtzuerhalten und Verarbeitungsprobleme durch Durchhang oder Überspannung zu vermeiden.

Technisches Prinzip

Die Spannung des Molybdändrahtes muss bei 2-5 N (je nach Durchmesser) gehalten werden, eine zu hohe (>5 N) führt zum Bruch des Drahtes und eine zu niedrige (<2 N) führt zu Schlupf oder Versatz. Die Zugspannungseinstellung wird durch Servo-Zugregelungssysteme (Genauigkeit ± 0,05 N) und Zugsensoren (Empfindlichkeit 0,01 N) erreicht, die je nach zu verarbeitendem Material und Durchmesser des Molybdändrahtes dynamisch optimiert werden.

Verhaltenskodex

Ersteinstellung: Nach dem Einbau des Molybdändrahtes stellen Sie die Anfangsspannung mit einem Zugeinstellgerät ein (2-3 N für 0,18 mm Molybdändraht und 1-2 N für 0,08 mm). Der Soll-Spannungswert wird über die NC-Schnittstelle eingegeben (Genauigkeit ± 0,01 N) und das System passt die Drehzahl des Wickelrads (100-200 U/min) automatisch an.

Dynamische Anpassung: Während der Bearbeitung werden Zugschwankungen in Echtzeit (Frequenz 10 Hz) mit einem Zugspannungssensor überwacht und automatisch angepasst (Ansprechzeit < 5 ms), wenn eine Abweichung von > 10 % erkannt wird. Bei der Bearbeitung von Hartmetall kann beispielsweise die Spannung auf 4 N erhöht werden; Bei der Verarbeitung von weichen Materialien wie Kupfer reduziert sich dieser auf 2 N.

Kalibrierung und Validierung: Kalibrieren Sie den Zugaufnehmer (unter Verwendung von Standardgewichten mit einer Genauigkeit von ± 0,01 N) alle 50 Stunden, um genaue Messungen zu gewährleisten. Führen Sie das Gerät mit niedriger Geschwindigkeit (0,1 m/s) und verwenden Sie einen Laser-Entfernungsmesser (Genauigkeit ±0,001 mm), um die Bahnabweichung des Molybdändrahtes zu überprüfen, und stellen Sie die Position des Führungsrads ein (Genauigkeit ± 0,005 mm).

Aufzeichnung und Analyse: Das Datenerfassungssystem (Speicherkapazität 1 GB) zeichnet den Zugverlauf auf, analysiert die Zugstabilität und optimiert die Verarbeitungsparameter (z.B. Reduzierung der Entladefrequenz um 10%).

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Die Wärmeausdehnung des Molybdändrahtes (Koeffizient $5\times10^{-6}$/°C) sollte bei der Spannungseinstellung berücksichtigt werden, und die Spannung sollte entsprechend reduziert werden (0,2-0,5 N), wenn die Temperatur des Verarbeitungsbereichs steigt (>80 °C). Die Herausforderung besteht darin, dass der feine Draht (≤0,08 mm) empfindlich auf Spannungsänderungen reagiert und durch Hinzufügen von Dämpfungseinrichtungen (80 % Dämpfungsrate) und Optimierung des Kühlmitteldurchflusses (0,8 L/min) gelöst werden kann. Das automatisierte Zugspannungsregelungssystem reduziert die Einstellzeit um bis zu 50 % und erhöht die Effizienz.

Bedeutung der Anwendung

Die präzise Dichtheitseinstellung regelt die Spannungsabweichung auf ±0,05 N, erhöht die Bearbeitungsgenauigkeit um 15 % und reduziert die Drahtbruchrate auf 0,02 %. Die stabile Spannung sorgt für einen gleichmäßigen Austragsspalt (0,01-0,03 mm), der den Anforderungen der hochpräzisen Bearbeitung von Formen und mikroelektronischen Teilen gerecht wird.

**11.3.2 Regelmäßige Reinigung und Inspektion**

Regelmäßige Reinigung und Inspektion können die Lebensdauer von Molybdändraht und Gerätekomponenten verlängern und so Ausfallraten und Verarbeitungsfehler reduzieren.

Technisches Prinzip

Die Reinigung entfernt Auslassrückstände, Oxide und Kühlmittelverunreinigungen (Partikelgröße > 0,1 Mikrometer) von der Oberfläche von Molybdändrähten, Führungsrädern und leitfähigen Blöcken, um die Oberflächengüte und Leitfähigkeit zu erhalten. Die Prüfung diente der Identifizierung des Verschleißes des Molybdändrahtes (reduzierter Durchmesser >0,002 mm), des Verschleißes der Führungsradnut (Tiefe > 0,1 mm) und des erhöhten Übergangswiderstands des leitenden Blocks (> 0,01 Ohm).

Verhaltenskodex

Reinigung von Molybdändraht: Alle 50 Stunden einen Ultraschallreiniger (Frequenz 40 kHz, Leistung 100 W, Reinigungslösung 5% neutrales Reinigungsmittel, Temperatur 40-50 °C) verwenden, Reinigungszeit 5-10 Minuten, Oberflächenrückstände und Oxide entfernen (Abtragsleistung ≥ 99%). Nach dem Waschen mit entionisiertem Wasser (Leitfähigkeit<1 μS/cm) abspülen und mit Heißluft (60°C, 2 min) trocknen.

Reinigung und Inspektion der Räder: Das Führungsrad alle 100 Stunden zerlegen, Ultraschallreinigung durchführen (Frequenz 40 kHz, Zeit 5 Minuten), Rillentiefe prüfen (Profiler verwenden, Genauigkeit ± 0,001 mm) und bei Verschleiß > 0,1 mm austauschen. Überprüfen Sie das Führungsradlager (Drehzahlabweichung ≤0,01 U/min) und fügen Sie 0,1-0,2 g Fett hinzu.

Reinigung und Inspektion leitfähiger Blöcke: Reinigen Sie den leitfähigen Block alle 200 Stunden (verwenden Sie absolutes Ethanol, Reinheit ≥ 99,9%), polieren Sie die Kontaktfläche (Diamantschleifpapier, Partikelgröße 2000 mesh). Der Übergangswiderstand wird mit einem

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

hochpräzisen Messgerät (Genauigkeit ± 0,001 Ohm) gemessen und > 0,01 Ohm ersetzt.

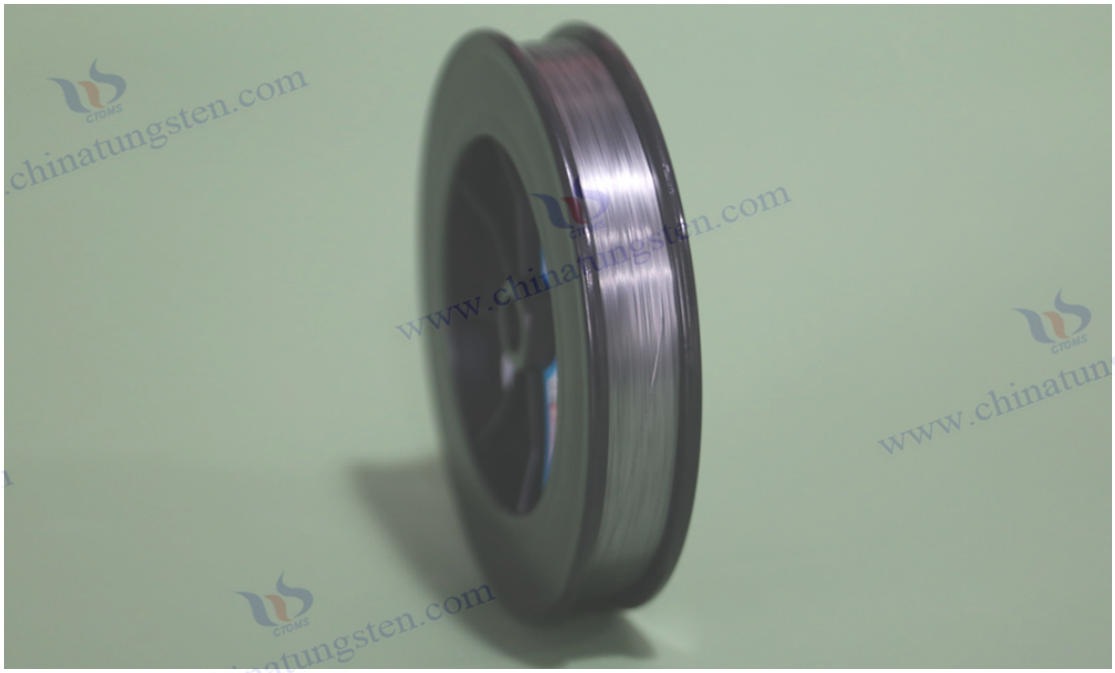
Inspektion der Geräteumgebung: Alle 100 Stunden die Temperatur (20±2 °C), die Luftfeuchtigkeit (40-60 %) und die Kühlmittelqualität (Verunreinigungsgehalt <0,01 %) im Verarbeitungsbereich überprüfen und das Kühlmittel mit einem Filter (Porengröße 0,1 Mikrometer) behandeln.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Zur Reinigung sollten umweltfreundliche Reinigungsmittel (biologische Abbaurate ≥ 95%) verwendet werden, um die Umweltbelastung zu reduzieren. Die Inspektion erfordert den Einsatz hochpräziser Prüfgeräte (z. B. Lasermikroskop, 1000-fache Vergrößerung), um Fehler im Bereich von 0,05 Mikrometern zu identifizieren. Die Herausforderung liegt in der Zerbrechlichkeit feiner Drahtdurchmesser, die durch eine Reduzierung der Konzentration der Reinigungslösung (3-5 %) und der Ultraschallleistung (50-80 W) behoben werden kann. Das automatisierte Reinigungssystem (Reaktionszeit < 10 Sekunden) reduziert die Reinigungszeit um bis zu 30%.

Bedeutung der Anwendung

Durch regelmäßige Reinigung und Inspektion wird die Oberflächenrauheit des Molybdändrahts bei Ra 0,015 Mikrometer, der Kontaktwiderstand des leitfähigen Blocks ≤ 0,01 Ohm gehalten und die Ausfallrate des Geräts um 20 % reduziert. Diese Maßnahmen verlängern die Lebensdauer des Molybdändrahts (100-150 Stunden) und die Lebensdauer des Führungsrads (1000 Stunden) und gewährleisten eine Bearbeitungstoleranz von ± 0,005 mm, um den Anforderungen der Luft- und Raumfahrt und der Verarbeitung medizinischer Geräte gerecht zu werden.



CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

# Kapitel 12 Sicherheit und Umweltschutz beim Molybdändrahterodieren

Die Herstellung von Molybdändraht umfasst komplexe Prozesse wie Hochtemperatursintern, chemische Behandlung und mechanische Verarbeitung, bei denen Schadstoffe wie Staub, Abgase und Abfallflüssigkeiten entstehen können, und es gibt Sicherheitsrisiken beim Betrieb der Geräte. Während des Gebrauchs entstehen beim Erodieren von Molybdändraht Spuren von Metallspänen und Kühlmittelabfällen, und es müssen wissenschaftliche Managementmaßnahmen ergriffen werden, um die Umweltbelastung zu verringern. In diesem Kapitel werden die Sicherheitsmaßnahmen und Umweltanforderungen bei der Herstellung und Verwendung von Molybdändrahterodiermaschinen ausführlich erörtert und eine eingehende Analyse der Staub- und Abgasbehandlung, der Sicherheitsspezifikationen für den Gerätebetrieb, des Abfallrecyclings und der Abfallbehandlung sowie umweltfreundlicher Produktionstechnologien durchgeführt.

## 12.1 Sicherheitsmaßnahmen bei der Herstellung von Molybdändrahterodiermaschinen

Die Herstellung von Molybdändraht erfordert hohe Temperaturen, hohen Druck, chemische Substanzen sowie Präzisionsmaschinen und -anlagen, und es gibt potenzielle Sicherheitsrisiken wie Staubexplosion, Abgasvergiftung und Geräteausfall. Wissenschaftliche Sicherheitsmaßnahmen können Risiken effektiv reduzieren und die Sicherheit des Personals und die Stabilität der Produktion gewährleisten. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse unter zwei Aspekten: Staub- und Abgasbehandlung sowie Spezifikationen für die Betriebssicherheit der Ausrüstung.

### 12.1.1 Staub- und Abgasnachbehandlung

Der Staub und die Abgase im Produktionsprozess von Molybdändraht stammen hauptsächlich aus der Vorbereitung, dem Sintern, dem Ziehen und der Oberflächenbehandlung von Molybdänpulver, das mit fortschrittlichen Technologien und Geräten effektiv behandelt werden muss, um Umweltverschmutzung und Gesundheitsgefahren zu vermeiden.

Technisches Prinzip: Bei der Aufbereitung und dem Sintern von Molybdänpulver entsteht Molybdänstaub im Mikrometerbereich (Partikelgröße 0,5-5 μm), der eine potentielle Explosionsgefahr birgt (die untere Explosionsgrenze liegt bei ca. 30 g/m³). Zu den Abgasen gehören hauptsächlich flüchtige organische Verbindungen (VOCs), die aus Wasserstoffreduktionsöfen emittiert werden, saure Gase aus dem Beizen und Elektropolieren (z. B. $HNO_3$-Dampf) und oxidische Gase (z. B. $MoO_3$-Dampf) aus der Wärmebehandlung. Die Staubbehandlung erfolgt durch hocheffiziente Filtrations- und Nassentstaubungstechnologie, während bei der Abgasreinigung Adsorptions-, katalytische Verbrennungs- oder Säure-Base-Neutralisationstechnologie verwendet wird, um sicherzustellen, dass die Emissionen internationalen Standards entsprechen (z. B. EU-Luftemissionsrichtlinie, VOC≤0,01 mg/m³).

Maßnahmen zur Staubbehandlung

Hocheffizientes Filtersystem: In der Molybdänpulveraufbereitungs- und Sinterwerkstatt ist ein hocheffizienter Filter (HEPA, Filtrationseffizienz ≥ 99,97 %, Partikelgröße 0,3 Mikrometer) installiert, um Staub im Mikrometerbereich mit einer Verarbeitungskapazität von 1000-5000 m³/h aufzufangen. Das System ist mit einem Differenzdrucksensor (Genauigkeit ± 10 Pa) ausgestattet,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

um die Verstopfung des Filters in Echtzeit zu überwachen und den Filter automatisch auszutauschen, wenn der Differenzdruck 500 Pa >. Der Filter besteht aus mehrschichtigem Verbundmaterial (Glasfaser + Aktivkohle), das eine ≥ Abscheidegrad von 99,99 % und eine Staubemissionskonzentration von < 0,1 mg/m³ gewährleistet. Tauschen Sie das Filtersieb regelmäßig (alle 1000 Stunden) aus und recyceln Sie das Abfallfiltersieb in geschlossener Form, um Sekundärverschmutzung zu vermeiden.

Nassstaubabscheider: Der Venturi-Nassstaubabscheider (Wassernebeldurchfluss 0,5-1 l/min, Düsendruck 0,2-0,5 MPa) wird verwendet, um Staub durch Wassernebel zu adsorbieren, und die Abscheideeffizienz beträgt ≥ 99,5 %. Der Staubabscheider ist mit einem Umlaufwasseraufbereitungssystem (0,1 Mikron Filterporengröße und 500 l/h Kapazität) ausgestattet, um Molybdänpartikel durch Fällung und Filtration aus dem Wasser zu entfernen (Abscheiderate ≥ 98%). Das Wasserrecyclingsystem verwendet eine pH-Einstellvorrichtung (pH 6-8), um sicherzustellen, dass das Abwasser dem Einleitungsstandard (CSB≤50 mg/L) entspricht. Der Nassstaubabscheider ist außerdem mit einer automatischen Reinigungsfunktion (24-Stunden-Reinigungszyklus) ausgestattet, die die Wartungskosten um 20 % senkt.

Explosionsgeschützte Maßnahmen: Explosionsgeschützte Lüftungsanlagen (Luftmenge 2000-3000 m³/h, Explosionsschutzklasse Ex d IIB T4) werden in Hochrisikobereichen (z.B. Molybdänpulveraufbereitungswerkstätten) installiert, um eine Staubansammlung mittels Unterdrucklüftung (Druck -50 Pa) zu vermeiden. Ausgestattet mit einem Staubkonzentrationssensor (Empfindlichkeit 0,01 g/m³) wird bei einer Staubkonzentration > 20 g/m³ der Alarm ausgelöst und das Sprühsystem automatisch aktiviert (Wasserdruck 0,3 MPa, Sprühzeit 10 Sekunden), wodurch die Explosionsgefahr auf weniger als 0,01 % reduziert wird.

Maßnahmen zur Abgasnachbehandlung:
Adsorptionssystem: Aktivkohle-Adsorptionsturm (Adsorptionskapazität 500-1000 kg, Adsorptionseffizienz ≥99%), VOC und Sauergas werden behandelt, die Emissionskonzentration < 0,01 mg/m³. Der Adsorptionsturm ist mit einem Regenerationssystem (Dampfregeneration, Temperatur 120-150°C, Druck 0,2 MPa) ausgestattet, um die Lebensdauer der Aktivkohle (2000-3000 Stunden) zu verlängern.

Katalytische Verbrennung: Bei der Abgasnachbehandlung des Sinterofens wird eine katalytische Verbrennungseinrichtung (Katalysator ist Pt/Pd, Arbeitstemperatur 300-500 °C, Verbrennungswirkungsgrad ≥ 99,5%), VOC in $CO_2$ und $H_2O$ umgewandelt und die Emission entspricht der EU-Norm EN 15058 (VOC≤0,005 mg/m³). Die Anlage ist mit einem Wärmerückgewinnungssystem (30 % Rückgewinnung) ausgestattet, um den Energieverbrauch um 20 % zu senken.

Säure-Base-Neutralisation: Das Beizabgas wird durch den Laugensprühturm neutralisiert (5-10% NaOH-Lösung, Durchflussmenge 1-2 L/min, Sprühhöhe 2-3 Meter) und die Sauergasentfernungsrate beträgt ≥98%. Der Sprühturm ist mit einem pH-Überwachungssystem (Genauigkeit ± 0,1) ausgestattet, das die Konzentration der Laugelösung automatisch anpasst, um


Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

sicherzustellen, dass der pH-Wert des Abgases 6-8 beträgt.

Prozessoptimierung & Challenge Powder

Die Staubbehandlung erfordert eine regelmäßige Wartung des Filters (alle 500 Stunden überprüft), um Verstopfungen zu vermeiden, die zu einer Verringerung der Belüftungseffizienz (<80 %) führen. Bei der Abgasreinigung sollte die Katalysatorformel (Pt/Pd-Verhältnis 1:1, die Unterstützung ist γ-$Al_2O_3$) optimiert werden, um den Verbrennungswirkungsgrad auf 99,8 % zu verbessern. Die Herausforderung besteht darin, mit hohen Konzentrationen von $MoO_3$-Dämpfen (0,1-0,5 mg/m³) umzugehen, die durch Erhöhung der Anzahl der Sprühturmschichten (3-5 Schichten) und Verlängerung der Kontaktzeit (5-10 Sekunden) gelöst werden können. Das automatische Steuerungssystem (SPS, Ansprechzeit <10 ms) passt das Belüftungsvolumen und den Sprinklerstrom in Echtzeit an und erhöht so die Verarbeitungseffizienz um 30 %.

Bedeutung der Anwendung

Eine effiziente Staub- und Abgasbehandlung kontrolliert die Staubemissionskonzentration unter 0,05 mg/m³, und die Abgasemissionen entsprechen internationalen Normen (VOC≤0,01 mg/m³), wodurch die Risiken für die Gesundheit am Arbeitsplatz (z. B. eine 50%ige Verringerung des Risikos von Lungenerkrankungen) und die Umweltverschmutzung reduziert werden. Das Aufbereitungssystem reduziert auch die Korrosion der Anlagen (20 % längere Lebensdauer der Anlagen), verbessert die Produktionssicherheit und erfüllt die Anforderungen des Umweltmanagementsystems ISO 14001.

### 12.1.2 Sicherheitsvorschriften für den Betrieb von Geräten

Bei der Herstellung von Molybdändraht werden Hochtemperatur-Sinteröfen, Hochgeschwindigkeits-Drahtziehmaschinen und chemische Verarbeitungsanlagen eingesetzt, die bei unsachgemäßer Handhabung zu Bränden, mechanischen Verletzungen oder chemischen Vergiftungen führen können. Strenge Sicherheitsvorschriften gewährleisten die Sicherheit des Bedieners und einen stabilen Betrieb der Ausrüstung.

Technisches Prinzip

Die Sicherheitsvorschriften gelten für den Betrieb und die Verwaltung von Hochtemperaturanlagen (Temperatur des Sinterofens 1800-2000 °C), Hochgeschwindigkeitsmaschinen (Geschwindigkeit der Drahtziehmaschine 5-20 m/s) und Chemikalien (z. B. Schwefelsäure, Natriumhydroxid). Zu den Sicherheitsmaßnahmen gehören der Schutz der Ausrüstung, die Schulung des Personals, Notfallmaßnahmen und die Echtzeitüberwachung, um eine Unfallrate von < 0,01 % zu gewährleisten.

Verhaltenskodex

Sicherheit von Hochtemperaturgeräten: Sinteröfen und Wärmebehandlungsöfen sind mit einer Wärmedämmung (Keramikfasern, Dicke 50-100 mm, Wärmeleitfähigkeit 0,1 W/m·K) und einer Oberflächentemperatur von < 60°C ausgestattet. Der Bediener muss Hochtemperaturschutzkleidung (Temperaturbeständigkeit 1000 °C, schwer entflammbar Klasse A) tragen, die mit einem Infrarot-Thermometer (Genauigkeit ± 1 °C) ausgestattet ist, um die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Ofentemperatur in Echtzeit zu überwachen und sich bei abnormaler Temperatur (> 2050 °C) automatisch abzuschalten. Der Ofen ist mit einem Drucksensor (Genauigkeit ± 10 Pa) ausgestattet und ein Alarm wird ausgelöst, wenn das Vakuumniveau $10^{-3}$ Pa <, um Leckagen und Brände zu vermeiden.

Maschinen- und Anlagensicherheit: Die Drahtziehmaschine ist mit einer Schutzabdeckung (Dicke 2-3 mm, aus Edelstahl) ausgestattet, um Molybdändrahtbruch und Spritzer zu verhindern (Geschwindigkeit > 10 m/s). Der Bedienbereich ist mit einer Not-Aus-Taste (Ansprechzeit < 0,5 Sekunden) und einem Vibrationssensor (Empfindlichkeit 0,01 mm/s²) ausgestattet, der automatisch stoppt, wenn auffällige Vibrationen (>0,1 mm/s²) erkannt werden. Die Bediener sind verpflichtet, eine Schutzbrille (Aufprallklasse EN 166) und Handschuhe (Abriebklasse 4) zu tragen.

Chemische Sicherheit: Die Beiz- und Elektropolierbäder sind mit einem Abzug (Luftmenge 1000-2000 m³/h, Unterdruck -50 Pa) ausgestattet, um ein Austreten von Sauergas zu verhindern (Konzentration > 0,1 mg/m³). Die Chemikalien werden in verschlossenen Behältern (PTFE, Korrosionsbeständigkeitsklasse A) mit Lecksucher (Empfindlichkeit 0,01 ppm) und einer automatischen Aktivierung des Abgassystems (1500 m³/h) bei Feststellung eines Lecks gelagert. Die Bediener sind verpflichtet, Gasmasken (Filtrationsgrad ≥ 99,9 %) und Schutzkleidung (Korrosionsbeständigkeitsklasse 5) zu tragen.

Personalschulung und Notfallmaßnahmen: Die Bediener müssen eine Sicherheitsschulung (4 Stunden pro Sitzung zweimal im Jahr) in Bezug auf den Betrieb der Ausrüstung, den Umgang mit Chemikalien und die Notfallrettung absolvieren. Die Werkstatt ist mit einem Feuerlöscher (trockenes Pulver, Fassungsvermögen 5 kg, Sprühabstand 4-6 m) und einer Notfall-Augenspülung (Durchflussmenge 15 L/min) ausgestattet. Formulieren Sie einen Notfallplan, und die Reaktionszeit auf den Vorfall < 1 Minute und die Evakuierungszeit < 5 Minuten.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Die Sicherheitsvorschriften schreiben eine regelmäßige Inspektion der Ausrüstung (alle 500 Stunden) vor, um sicherzustellen, dass die Schutzeinrichtungen in gutem Zustand sind (Ausfallrate < 0,01 %). Die Herausforderungen liegen im hohen Energieverbrauch (5000 kWh/t) und dem Risiko chemischer Leckagen in Hochtemperaturgeräten, die durch die Optimierung der Isolierung (Wärmeleitfähigkeit <0,08 W/m·K) und die Einführung eines automatisierten Überwachungssystems (Ansprechzeit <5 ms) angegangen werden können. Das Echtzeit-Datenerfassungssystem (Speicherkapazität 1 TB) erfasst die Betriebsparameter der Anlage, analysiert die Unfallursachen und optimiert Sicherheitsmaßnahmen.

Bedeutung der Anwendung

Strenge Sicherheitsvorschriften für den Gerätebetrieb haben die Unfallrate auf 0,005 % und die Verletzungsrate um 80 % gesenkt. Schutzmaßnahmen verlängern die Lebensdauer der Geräte (10.000-15.000 Stunden) und senken die Wartungskosten um 15 %. Sicherheitsschulungen und Notfallmaßnahmen verbessern die Sicherheit in der Werkstatt und entsprechen den OSHA 1910-Normen, wodurch eine stabile Garantie für die Produktion von Molybdändraht geboten wird.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

### 12.2 Umweltschutzanforderungen für das Molybdändrahterodieren

Die Umweltschutzanforderungen bei der Herstellung und Verwendung von Molybdändraht entsprechen dem globalen Trend der grünen Herstellung, der das Recycling und die Behandlung von Abfällen, die umweltfreundliche Produktionstechnologie usw. umfasst, mit dem Ziel, Umweltverschmutzung und Ressourcenverschwendung zu reduzieren.

#### 12.2.1 Abfallverwertung und -entsorgung

Bei der Herstellung und Verwendung von Molybdändraht fallen Abfälle aus Molybdändraht, Metallschrott und Kühlmittelabfällen an, die durch wissenschaftliche Recycling- und Aufbereitungstechnologien reduziert werden müssen.

Technisches Prinzip: Molybdänabfälle (Durchmesser 0,05-0,3 mm, die Molybdän ≥99,95%) enthalten, können durch Schmelzen recycelt werden, die Rückgewinnungsrate beträgt ≥90%. Metallspäne (Partikelgröße 0,1-10 Mikrometer) werden durch Filtration und Fällung zurückgewonnen, Kühlmittelabfälle (mit 5 % Ethylenglykol) werden durch Destillation und Membrantrennung behandelt, und die Abfallentsorgung entspricht internationalen Standards (z. B. EU-REACH-Verordnung, CSB≤50 mg/L).

Recycling- und Entsorgungsmaßnahmen

Recycling von Molybdändrahtabfällen: Abfälle von Molybdändraht werden durch einen Vakuum-Elektrolichtbogenofen (Temperatur 2500-3000 °C, Vakuumgrad ≤$10^{-4}$ Pa) geschmolzen, um Molybdänmetall (Reinheit ≥99,9 %) zurückzugewinnen. Der Ofen ist mit einem Brennwertsystem (Kondensationswirkungsgrad ≥95%) zur Rückgewinnung flüchtiger $MoO_3$-Dämpfe (Rückgewinnungsgrad ≥90%) ausgestattet. Das recycelte Molybdän wird zur Herstellung von Molybdänprodukten mit geringer Reinheit (z. B. Molybdänplatten) verwendet, wodurch die Rohstoffkosten um 10 % gesenkt werden.

Behandlung von Metallspänen: Die durch Drahtschneiden erzeugten Metallspäne werden durch einen Zentrifugalfilter (Drehzahl 3000-5000 U/min, Filterporengröße 0,1 Mikrometer) abgeschieden und die Rückgewinnungsrate beträgt ≥95 %. Die Metallspäne werden gebeizt (5 % $HNO_3$, Zeit 5 Minuten), um Oxide zu entfernen, und dann wieder zu Molybdänknüppeln (Dichte ≥ 99 %) eingeschmolzen.

Kühlmittelaufbereitung: Das Kühlmittel wird durch ein mehrstufiges Membrantrennsystem (Umkehrosmosemembran, Porengröße 0,01 Mikrometer, Kapazität 500 l/h) entfernt, um organische Stoffe und Metallionen zu entfernen, und der CSB wird auf 30 mg/l reduziert. Das aufbereitete Wasser wird recycelt (Recyclingquote ≥80 %), und die verbleibende Abfallflüssigkeit wird durch Destillation (Temperatur 100-120 °C, Rückgewinnungsrate 90 %) recycelt, wodurch die Emissionen von flüssigen Abfällen um 50 % reduziert werden.

Mülltrennung und -lagerung: Die Abfälle werden sortengetrennt (Molybdändraht, Metallspäne, Kühlmittel) in verschlossenen Behältern (Edelstahl, 2 mm dick) gelagert, um ein Auslaufen zu verhindern. Der Lagerbereich ist zur Sicherheit mit einer Lüftungsanlage (1000 $m^3$/h) und einem

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Lecksucher (Empfindlichkeit 0,01 ppm) ausgestattet.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Beim Recycling von Molybdänabfällen müssen die Schmelzparameter (Strom 1000-1500 A, Haltezeit 2 Stunden) optimiert werden, um die Rückgewinnungsrate auf 95% zu erhöhen. Die Kühlmittelaufbereitung erfordert einen regelmäßigen Austausch der Membranmodule (alle 2000 Stunden), um Verstopfungen zu vermeiden und den Wirkungsgrad zu verringern (<80%). Die Herausforderung besteht darin, mit Spuren von Molybdänionen (0,01-0,1 mg/L) umzugehen, die durch Zugabe eines Ionenaustauscherharzes gelöst werden können (Adsorptionsrate ≥ 98%). Das automatisierte Recyclingsystem (SPS-gesteuert, Reaktionszeit <10 ms) erhöht die Verarbeitungseffizienz um 20%.

Bedeutung der Anwendung

Die Abfallverwertung und -behandlung erhöht die Ressourcenauslastung auf 90 % und reduziert die Abfallentsorgung um 60 % gemäß ISO 14001. Das recycelte Molybdän senkt die Produktionskosten um 10 %, und das aufbereitete Kühlmittel kann recycelt werden, wodurch der Wasserverbrauch um 30 % gesenkt wird. Diese Maßnahmen unterstützen die Kreislaufwirtschaft und verringern den ökologischen Fußabdruck.

### 12.2.2 Umweltfreundliche Produktionstechnologien

Umweltfreundliche Produktionstechnologien reduzieren die Umweltbelastung durch die Herstellung von Molybdändraht durch energiesparende Geräte, erneuerbare Materialien und saubere Energie.

Technische GrundlagenZu den grünen Produktionstechnologien gehören Niedrigenergie-Sinteröfen (4000 kWh/Tonne), erneuerbare Schmierstoffe (biobasierte Öle, Abbaurate ≥95 %) und saubere Energie (Sonne oder Wind, 20-30 %). Ziel ist es, den Energieverbrauch in der Produktion um 20 % und die Abfallemissionen um 50 % zu senken, im Einklang mit dem EU Green Deal und den Zielen zur Klimaneutralität.

Grüne Produktionsmaßnahmen

Ausrüstung mit niedrigem Energieverbrauch: Mittelfrequenz-Induktionssinterofen (Temperatur 1800-2000 °C, Energieverbrauch 4000 kWh/Tonne, 20 % Reduzierung), ausgestattet mit einem Wärmerückgewinnungssystem (Rückgewinnungsrate 30 %), und der Energieverbrauch wird durch die Erzeugung von Abwärme (Leistung 100-200 kW) reduziert. Die Ziehmaschine verwendet einen Servomotor (5-8 kW Leistung, 15 % effizienter), um den Reibungsenergieverbrauch um 30 % zu senken, indem die Ziehgeschwindigkeit (10-15 m/s) optimiert wird.

Erneuerbare Schmierstoffe: Schmierstoffe, die 5 % biobasiertes Öl (Viskosität 8-15 cSt, Abbaurate ≥95 %) enthalten, werden gleichmäßig durch eine Konstantstrompumpe (Durchflussmenge 0,1-0,5 l/min) aufgetragen, um die Umweltbelastung um 50 % zu reduzieren. Das Schmierstoffzirkulationssystem (80 % Rückgewinnung) reduziert den Verbrauch um 20 %.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Anwendung sauberer Energie: In der Produktionshalle wird eine Photovoltaikanlage (500 kW Leistung, 1000 MWh/Jahr) eingeführt, die 25 % des gesamten Energieverbrauchs ausmacht. Die Windkraft (200 kW, 400 MWh/Jahr) wird durch eine Reduzierung der CO2-Emissionen um 30 % ergänzt. Das Energiemanagementsystem (EMS, Reaktionszeit <5 ms) optimiert die Energieverteilung und erhöht die Auslastung um 15 %.

Grüne Verpackung: Abbaubare Kunststoffverpackungen (Dicke 0,05 mm, Abbaurate ≥90%), durch Vakuum- oder Inertgasfüllung (Argon oder Stickstoff, Reinheit ≥ 99,99%), um die Oxidationsbeständigkeit von Molybdändraht zu gewährleisten, reduzieren den Verpackungsabfall um 50%.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Eine umweltfreundliche Produktion erfordert eine regelmäßige Wartung der energiesparenden Geräte (alle 1.000 Stunden), um eine Betriebseffizienz von ≥95 % zu gewährleisten. Erneuerbare Schmierstoffe müssen optimal formuliert sein (5-10 % biobasiertes Öl), um die Schmierleistung zu verbessern (Reibungskoeffizient < 0,1). Die Herausforderung liegt in der intermittierenden Natur sauberer Energie (Schwankungen der Solarenergie um ± 20 %), die durch Energiespeichersysteme (Lithiumbatterien mit einer Kapazität von 500 kWh) gelöst werden kann. Die automatisierte Steuerung (Reaktionszeit<10 ms) steigert die Produktivität um 15 Prozent.

Bedeutung der Anwendung

Die umweltfreundliche Produktionstechnologie reduziert den Energieverbrauch um 20 %, die Abfallemissionen um 50 % und den CO2-Fußabdruck um 30 %, im Einklang mit der EU-RoHS-Richtlinie. Senken Sie die Kosten um 15 % und steigern Sie die Wettbewerbsfähigkeit des Marktes um 20 %. Diese Technologien fördern die nachhaltige Entwicklung der Molybdändrahtindustrie und erfüllen die grünen Bedürfnisse der Luft- und Raumfahrt, der Halbleiterindustrie und anderer Bereiche.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

## Kapitel 13 Häufige Probleme und Lösungen des Molybdändrahterodierens

Das Molybdändrahterodieren spielt eine wichtige Rolle bei der Drahterodierverarbeitung, und seine Leistung wirkt sich direkt auf die Genauigkeit, Effizienz und Kosten der Bearbeitung aus. In der Praxis steht Molybdändraht jedoch häufig vor Herausforderungen wie Drahtbruch, unzureichender Schnittgenauigkeit, Problemen mit der Oberflächenqualität und übermäßigem Verschleiß. Diese Probleme verringern nicht nur die Produktionseffizienz, sondern können auch zu einer Verschlechterung der Qualität der bearbeiteten Teile oder zu Schäden an der Ausrüstung führen. In diesem Kapitel werden die häufigsten Probleme und Lösungen des Molybdändrahterodierens im Detail erörtert und die Ursachen, technischen Prinzipien, Lösungen und Optimierungsmethoden von Drahtbruch, unzureichender Präzision, Problemen mit der Oberflächenqualität und übermäßigem Verschleiß eingehend analysiert.

### 13.1 Probleme beim Bruch von Molybdändrahterodiermaschinen und Behandlungsmethoden

Drahtbruch ist das häufigste und schwerwiegendste Problem im Drahterodierprozess, das zu Bearbeitungsunterbrechungen, verminderter Effizienz und Ausschuss von Werkstücken führen kann. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse der Ursachen von Drahtbrüchen, Erkennungsmethoden und Behandlungsmaßnahmen.

**Analyse der Ursachen von Drahtbrüchen anhand folgender Faktoren:**

Zu hohe Spannung: Die Spannung des Molybdändrahtes übersteigt die Zugfestigkeit (1800-2300 MPa), wie z. B. die Spannung > 5 N (0,18 mm Molybdändraht) oder >2 N (0,08 mm Molybdändraht), was leicht zum Bruch führen kann.

Thermische Ermüdung: Hochfrequente Entladung (Frequenz 10-50 kHz) erhöht die lokale Temperatur von Molybdändraht (>500 °C), verursacht thermische Ermüdungsrisse und verringert die Festigkeit um 30-50 %.

Oberflächenfehler: Kratzer (> 0,1 μm), Oxide oder Einschlüsse (Partikelgröße > 0,5 μm) auf der Oberfläche des Molybdändrahtes, die bei hoher Spannung den Ausgangspunkt für Brüche darstellen.

Unsachgemäße Entladeparameter: Zu hohe Stromdichte (>20 A/cm²) oder lange Impulsbreite (>100 μs) führen zu Lichtbogenkonzentration und lokaler Überhitzung.

Unzureichende Kühlung: Ein unzureichender Kühlmitteldurchfluss (<0,5 l/min) oder ein hoher Gehalt an Verunreinigungen (>0,01 %) führt zu einem Wärmestau und beschleunigt die Alterung von Molybdändrähten.

**Nachweismethode**

Online-Überwachung: Verwenden Sie einen Wirbelstromprüfer (Empfindlichkeit 0,05 Mikrometer, Frequenz 100 kHz-1 MHz), um Oberflächendefekte von Molybdändraht in Echtzeit zu erkennen und Alarm zu schlagen, wenn Kratzer oder Risse (> 0,1 Mikrometer) gefunden werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Zugüberwachung: Die Zugschwankung wird vom Zugspannungssensor in Echtzeit erfasst (Genauigkeit ± 0,01 N, Frequenz 10 Hz) und der Zusammenhang zwischen Zuganomalie (>10 % Abweichung) und Drahtbruch analysiert.

Temperaturüberwachung: Verwenden Sie ein Infrarot-Thermometer (Genauigkeit ± 1 °C, Bereich 0-1000 °C), um die Temperatur des Molybdändraht-Austrittsbereichs zu überwachen, und lösen Sie eine Warnung aus, wenn die Temperatur 500 °C >.

Mikroskopische Betrachtung: Nach dem Bruch des Filaments wird die Bruchtopographie mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM, Auflösung 0,01 Mikron) analysiert, um die Bruchart (Ermüdungsbruch, Sprödbruch oder Zugbruch) zu bestimmen.

**Maßnahmen**

Optimieren Sie die Spannung: Verwenden Sie das Servospannungsregelungssystem (Genauigkeit ± 0,05 N), um die Spannung auf 2-3 N (0,18 mm Samariumdraht) oder 1-2 N (0,08 mm Molybdändraht) einzustellen. Die Zugschwankung wurde bei ±0,05 N durch dynamische Zuganpassung (Ansprechzeit < 5 ms) geregelt.

Passen Sie die Entladeparameter an: Reduzieren Sie die Stromdichte auf 10-15 A/cm², die Impulsbreite auf 30-50 μs und das Impulsintervall auf 100-150 μs, um den Temperaturschock zu reduzieren. Zur Verbesserung der Gleichmäßigkeit der Entladung wird eine hochfrequente Impulsstromversorgung (Frequenz 20-30 kHz, Genauigkeit ± 0,1 %) verwendet.

Verbessertes Kühlsystem: Erhöhung des Kühlmitteldurchflusses auf 0,8-1 l/min unter Verwendung eines Kühlmittels mit 5 % Ethylenglykol (Viskosität 5-10 cSt, pH 7-8) und mehrstufiger Filtration (Porengröße 0,1 Mikron), um einen < Verunreinigungsgehalt von 0,01 % zu gewährleisten.

Qualitätskontrolle der Oberfläche: Ultraschallreinigung (Frequenz 40 kHz, Leistung 100 W, Zeit 5 Minuten) zur Entfernung von Oxiden und Ölflecken auf der Oberfläche des Molybdändrahtes. Durch gepulstes Elektropolieren (Frequenz 100 Hz, Stromdichte 15 A/dm²) wird die Oberflächenrauheit auf Ra 0,015 μm reduziert.

Vorbeugende Wartung: Überprüfen Sie alle 50 Stunden das Führungsrad (Nuttiefe < 0,1 mm) und den leitenden Block (Übergangswiderstand < 0,01 Ohm), um ungleichmäßige Spannungen oder Lichtbogenschäden durch Verschleiß zu vermeiden.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Drahtbruch erfordert eine Echtzeitüberwachung und eine schnelle Reaktion, und die Verarbeitungsbedingungen können durch die Integration einer Überwachung von Spannung, Temperatur und Austragsparametern über ein SPS-Steuerungssystem (Ansprechzeit <10 ms) automatisch angepasst werden. Die Herausforderung liegt im Bruch des Feindrahtdurchmessers (≤0,08 mm), der durch Reduzierung der Spannung (1-1,5 N) und der Entladefrequenz (10-20 kHz) gelöst werden kann. Die automatisierte Drahtbrucherkennung (Empfindlichkeit 0,01 mm/s²)

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

reduziert die Drahtbruchrate auf 0,02 %.

Bedeutung der Anwendung
Effektive Drahtbruchmaßnahmen reduzieren die Drahtbruchrate von 0,1 % auf 0,02 %, erhöhen die Prozesskontinuität um 30 % und reduzieren Ausfallzeiten um 20 %. Die optimierte Laufstabilität des Molybdändrahtes sorgt für eine Bearbeitungstoleranz von ± 0,005 mm, die den Bearbeitungsanforderungen von hochpräzisen Formen und Luft- und Raumfahrtteilen gerecht wird.

**13.2 Die Lösung für die unzureichende Schnittgenauigkeit des Molybdändrahterodierens**
Eine unzureichende Schnittgenauigkeit äußert sich in einer Maßabweichung (>±0,01 mm), einer Oberflächenrauheit (Ra>0,1 μm) oder einem geometrischen Verzug der bearbeiteten Teile, der sich direkt auf die Produktqualität auswirkt. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Diskussion unter den Aspekten Ursachenanalyse, Nachweismethoden und Lösungen.

**Ursachenanalyse**
Vibrationen des Molybdändrahtes: Eine ungleichmäßige Spannung (schwankend > 0,1 N) oder eine Exzentrizität des Führungsrades (>0,005 mm) führt zu Vibrationen des Molybdändrahtes, die zu Bearbeitungsabweichungen führen.

Instabile Funkenstrecke: Stromschwankungen (>10 %) oder unzureichender Kühlmitteldurchfluss (<0,5 l/min) führen zu Veränderungen der Funkenstrecke (>0,03 mm).

Abweichung des Molybdändrahtdurchmessers: Die Durchmessertoleranz des Molybdändrahts (>±0,001 mm) oder der Rundheitsfehler (>0,001 mm) beeinflusst die Gleichmäßigkeit der Entladung.

Unzureichende Anlagengenauigkeit: Die CNC-Positioniergenauigkeit (<±0,005 mm) oder der Verschleiß der Führungsscheibe (Nuttiefe > 0,1 mm) führt zu Bahnabweichungen.

Inhomogenität des Werkstückmaterials: Einschlüsse (Partikelgröße > 10 μm) oder Härteänderungen (>HRC 5) im Inneren des Werkstücks führen zu einem instabilen Austrag.

**Nachweismethode**
Schwingungserkennung: Die Schwingung des Molybdändrahtes wird mit Hilfe eines Schwingungssensors (Empfindlichkeit 0,01 mm/s², Frequenz 10 Hz) überwacht und das Verhältnis zwischen Amplitude (>0,01 mm) und Genauigkeit analysiert.

Spaltmessung: Messen Sie den Spalt in Echtzeit mit dem Laser-Entfernungsmesser (Genauigkeit ± 0,001 mm) und erfassen Sie den Schwankungsbereich (> 0,03 mm).

Qualitätsprüfung von Molybdändraht: Verwenden Sie ein Laser-Drahtdurchmessermessgerät (Genauigkeit ± 0,0001 mm), um den Durchmesser und die Rundheit von Molybdändraht zu ermitteln und die Abweichung statistisch zu verteilen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Kalibrierung der Gerätegenauigkeit: Verwenden Sie ein Koordinatenmessgerät (KMG, Genauigkeit ± 0,001 mm), um die Größe der bearbeiteten Teile zu überprüfen und die Positioniergenauigkeit der Ausrüstung zu überprüfen.

Werkstückanalyse: Analysieren Sie die innere Struktur des Werkstücks mit einem metallographischen Mikroskop (1000-fache Vergrößerung), um Einschlüsse und Härteänderungen zu identifizieren.

**Problemumgehung**

Stabile Spannung: Mit der Servozugregelung (Genauigkeit ± 0,05 N) wird die Zugschwankung auf ±0,05 N geregelt. Kalibrieren Sie die Führungsräder (Exzentrizität ≤ 0,005 mm) und reduzieren Sie Vibrationen mittels einer Dämpfungseinrichtung (Dämpfungsrate 80%).

Optimierte Entladeparameter: Stromdichte von 12-15 A/cm², Impulsbreite von 30-50 μs, Impulsintervall von 100-150 μs, Stabilisierung des Entladespaltes (0,01-0,03 mm) durch adaptives Steuerungssystem (PID-Algorithmus, Ansprechzeit <5 ms).

Sichern Sie die Qualität von Molybdändraht: Molybdändraht wird mit einer hochpräzisen Drahtziehmaschine hergestellt (Durchmessertoleranz ±0,0005 mm), und die Durchmesserkonsistenz wird in Echtzeit durch Inline-Lasermessung (Frequenz 1000 mal/Sekunde) überwacht.

Kalibrierung der Ausrüstung: Kalibrieren Sie das CNC-System alle 100 Stunden (Positioniergenauigkeit ± 0,003 mm) und tauschen Sie die verschlissenen Führungsräder aus (Nuttiefe > 0,1 mm). Das fünfachsige CNC-System (Rotationsgenauigkeit±0,001°) wird eingesetzt, um die Bearbeitungsgenauigkeit komplexer Formen zu verbessern.

Werkstückvorbehandlung: Das Werkstück wird geglüht (Temperatur 800-1000°C, 2 Stunden inkubiert) oder Ultraschallreinigung (Frequenz 40 kHz, Zeit 5 Minuten), um innere Spannungen und Oberflächenverunreinigungen zu entfernen.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Die Präzisionsoptimierung erfordert die Integration eines Multiparameter-Überwachungssystems (Zug, Entladung, Spalt), das die Daten über das Industrial Internet of Things (IIoT, Datenerfassungsfrequenz 100 Hz) in Echtzeit analysiert und die Verarbeitungsparameter anpasst. Die Herausforderung liegt in der Schwingungsanfälligkeit des Feindrahtes (≤0,08 mm), die durch eine Reduzierung der Spannung (1-1,5 N) und eine Optimierung des Führungsradnutdesigns (V-Nut, Winkel 30-45°) gelöst werden kann. Das automatisierte Kalibriersystem (Ansprechzeit<10 ms) regelt die Genauigkeitsabweichung auf ±0,005 mm.

Bedeutung der Anwendung

Maßnahmen zur Behebung der mangelnden Schnittgenauigkeit reduzieren die Bearbeitungstoleranzen von ±0,01 mm auf ±0,005 mm und die Oberflächenrauheit von Ra 0,2

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Mikrometer auf Ra 0,1 Mikrometer und erfüllen so die hohen Präzisionsanforderungen von Halbleitern, Luft- und Raumfahrt und medizinischen Geräten. Die Verarbeitungseffizienz wird um 15 % gesteigert und die Ausschussrate um 20 % reduziert.

### 13.3 Probleme der Oberflächenqualität und Verbesserungsmaßnahmen beim Molybdändrahterodieren

Die Probleme mit der Oberflächenqualität von Molybdändraht äußern sich in Form von Oberflächenkratzern (> 0,1 μm), Oxidrückständen oder Rauheiten, die über dem Standard liegen (Ra > 0,02 μm), die die Entladestabilität und Oberflächenqualität der bearbeiteten Teile beeinträchtigen. Im Folgenden finden Sie eine Analyse der Ursachen, Erkennungsmethoden und Verbesserungsmaßnahmen.

**Ursachenanalyse**

Fehler im Ziehprozess: Oberflächenkratzer aufgrund von Ziehsteinverschleiß (Oberflächenrauheit des Ziehlochs > Ra 0,01 μm) oder unzureichender Schmierung (Reibungskoeffizient > 0,2).

Oberflächenverunreinigungen: Verunreinigungen im Kühlmittel (> 0,01 %) oder Staub in der Verarbeitungsumgebung (Partikelgröße > 0,5 Mikrometer) haften an der Oberfläche des Molybdändrahtes und erhöhen die Rauheit.

Entladeschäden: Hohe Stromdichte (>20 A/cm²) oder lange Pulsbreite (>100 μs) führen zu Lichtbogenverbrennungen und zur Bildung von Mikrokratern (>0,1 μm).

Oxidation und Korrosion: Molybdändraht wird einer feuchten Umgebung (Luftfeuchtigkeit >60%) oder korrosivem Kühlmittel (pH<7) ausgesetzt, um eine Oxidschicht (Dicke > 0,1 Mikrometer) zu bilden.

**Nachweismethode**

Inspektion der Oberflächentopographie: Die Messung der Oberflächenrauheit (Ra) und der Kratztiefe erfolgt mit einem Lasermikroskop (Keyence VK-X1000, Vergrößerung 1000-2000x, Auflösung 0,001 Mikrometer).

Defektanalyse: Oberflächengruben und Oxide wurden mittels REM (0,01 Mikrometer Auflösung) beobachtet und die Oxidzusammensetzung mittels energiedispersiver Spektroskopie (EDS, Genauigkeit ± 0,1%) analysiert.

Online-Überwachung: Echtzeit-Erkennung von Oberflächenfehlern mit einem Wirbelstromprüfer (Empfindlichkeit 0,05 Mikrometer, Frequenz 100 kHz-1 MHz) und Alarm bei Kratzern > 0,1 Mikrometern.

**Verbesserungen**

Optimierter Drahtziehprozess: Oberflächenkratzer werden mit Ziehsteinen aus polykristallinem Diamant (PKD) auf <0,05 Mikrometer reduziert (Oberflächenrauheit Ra 0,005 Mikrometer,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Lebensdauer 1000 Stunden), eine Oberflächenreduktionsrate von 8-12 % in einem Durchgang und ein Schmiermittel mit 5 % Graphit (Viskosität 10-15 cSt).

Oberflächenbehandlung: Durch pulsierendes Elektropolieren (Frequenz 100 Hz, Stromdichte 15 A/dm², Zeit 5-10 Sekunden) wird die Oberflächenrauheit auf Ra 0,015 μm reduziert. Eine Graphitemulsionsbeschichtung (Dicke 1-2 Mikrometer, Bindefestigkeit 10 MPa) wird verwendet, um die Abriebfestigkeit um 30 % zu erhöhen.

Umweltkontrolle: Halten Sie die Luftfeuchtigkeit im Verarbeitungsbereich bei 40-60 % und entfernen Sie Staub mit einem elektrostatischen Eliminierungsgerät (ionisierender Wind, Leistung 100 W). Das Kühlmittel wird in mehreren Stufen (Porengröße 0,1 Mikrometer) filtriert, um einen < Gehalt an Verunreinigungen von 0,01 % aufrechtzuerhalten.

Optimierung der Entladeparameter: Stromdichte von 10-15 A/cm², Impulsbreite von 30-50 μs und Reduzierung von Lichtbogenverbrennungen durch ein adaptives Steuerungssystem (Ansprechzeit < 5 ms).

Vorbehandlung und Reinigung: Ultraschallreinigung (Frequenz 40 kHz, Leistung 100 W, Zeit 5 Minuten) zur Entfernung von Öl und Oxiden von der Oberfläche, die Reinigungslösung ist ein 5%iges neutrales Reinigungsmittel (pH 7-8).

Prozessoptimierung & Herausforderungen
Die Verbesserung der Oberflächenqualität erfordert die Integration eines Inline-Inspektionssystems (Wirbelstrom + Laser, Frequenz 1000 Mal/Sekunde), um die Zeichnungs- und Polierparameter in Echtzeit anzupassen. Die Herausforderung liegt in der Oberflächenempfindlichkeit des ultrafeinen Molybdändrahtes (≤0,05 mm), die durch eine Reduzierung des Elektropolierstroms (10 A/dm²) und der Reinigungsleistung (50 W) gelöst werden kann. Das automatisierte Oberflächenbehandlungssystem (Ansprechzeit<10 ms) regelt die Oberflächenrauheit auf Ra 0,01 Mikrometer.

Bedeutung der Anwendung
Durch die Verbesserungsmaßnahmen wurde die Oberflächenrauheit des Molybdändrahtes von Ra 0,05 μm auf Ra 0,015 μm reduziert, das Auftreten von Kratzern auf 0,01 % reduziert und die Entladestabilität um 25 % verbessert. Die optimierte Oberflächengüte sorgt für eine Oberflächenrauheit von Ra 0,1 μm für die optische Formen- und Halbleiterindustrie.

### 13.4 Bewältigungsstrategien für übermäßigen Verlust des Molybdändrahterodierens

Der schnelle Verlust von Molybdändraht äußert sich in einer verkürzten Lebensdauer (< 100 Stunden), einer Abnahme des Durchmessers (>0,002 mm) oder einem starken Oberflächenverschleiß (Rauheit Ra>0,05 μm), was die Produktionskosten erhöht. Im Folgenden wird unter den Aspekten Ursachenanalyse, Erkennungsmethoden und Bewältigungsstrategien diskutiert.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**Ursachenanalyse**

Entladeverschleiß: Eine hohe Stromdichte (>20 A/cm²) oder eine lange Pulsbreite (>100 μs) führt zu einem Lichtbogenabtrag, wodurch sich der Durchmesser des Molybdändrahtes um 0,001-0,003 mm/h reduziert.

Mechanischer Verschleiß: Der Verschleiß der Führungsradnut (Nuttiefe > 0,1 mm) oder ein hoher Reibungskoeffizient (>0,2) führt zu einem Oberflächenverschleiß des Molybdändrahtes, und die Rauheit nimmt um 20-30% zu.

Korrosion und Oxidation: Die Oberfläche des Molybdändrahtes wird durch die Oberfläche des Kühlmittels mit einem pH-Wert von <7 oder einem hohen Sauerstoffgehalt (>0,01%) korrodiert, und die Dicke der Oxidschicht > 0,1 Mikrometer.
Zugschwankung: Eine zu hohe (>0,1 N) oder zu hohe (>5 N) Zugschwankung führt dazu, dass der Molybdändraht lokal gedehnt wird und die Festigkeit um 10-20% verringert wird.

**Nachweismethode**

Verlustmessung: Die Änderung des Molybdändrahtdurchmessers wird mit einem Laserdrahtdurchmessermessgerät überwacht (Genauigkeit ±0,0001 mm, Frequenz 1000 mal/Sekunde) und die Verlustrate (mm/Stunde) gezählt.

Analyse des Oberflächenverschleißes: Die Oberflächenrauheit und die Verschleißtiefe (>0,1 μm) werden mittels Lasermikroskopie (Auflösung 0,001 μm) gemessen.

Korrosionsdetektion: Analyse der Oberflächenoxidzusammensetzung mittels EDS (Genauigkeit ±0,1 %) und Messung der Oxidschichtdicke (>0,1 Mikrometer).
Überwachung von Zugschwankungen: Spannungsänderungen werden durch einen Zugspannungssensor erfasst (Genauigkeit ± 0,01 N, Frequenz 10 Hz) und der Zusammenhang mit dem Verlust analysiert.

**Bewältigungsstrategien**

Optimierte Entladeparameter: Einstellung der Stromdichte von 10-15 A/cm², Impulsbreite von 30-50 μs, Impulsintervall von 100-150 μs und Reduzierung des Entladeverschleißes um 50 % durch adaptives Steuerungssystem (PID-Algorithmus, Ansprechzeit <5 ms).

Verbesserte Führungsräder und leitfähige Blöcke: Die Nuttiefe (< 0,1 mm) wird alle 100 Stunden mit keramischen Führungsrädern überprüft (Oberflächenrauheit Ra 0,01 μm, Reibungskoeffizient 0,08). Der leitfähige Block besteht aus einer Kupfer-Wolfram-Legierung (Leitfähigkeit 25 MS/m), einer polierten Kontaktfläche (Korngröße 2000 mesh) und einem Übergangswiderstand < 0,01 Ohm.

Kühlmitteloptimierung: Korrosion wird durch die Verwendung eines Kühlmittels mit 5 % Ethylenglykol (pH 7-8, Verunreinigungsgehalt < 0,01 %), eine Durchflussrate von 0,8-1 l/min und eine mehrstufige Filtration (Porengröße 0,1 Mikrometer) verhindert.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Zugregelung: Das Servospannungssystem (Genauigkeit ± 0,05 N) wird verwendet, um die Spannungsschwankung auf ±0,05 N zu steuern, wodurch der mechanische Verschleiß um 30 % reduziert wird.

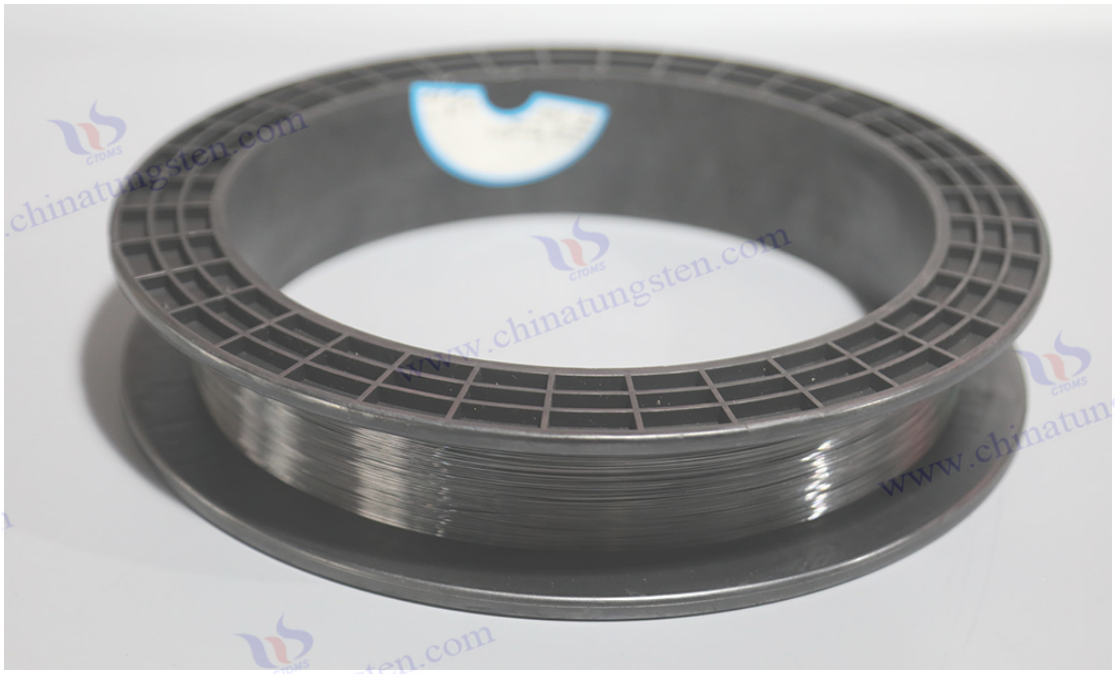
Oberflächenschutz: Graphitemulsionsbeschichtung (Dicke 1-2 Mikrometer, Bindefestigkeit 10 MPa) zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit um 30%. Der Molybdändraht wird alle 50 Stunden (Ultraschall, Frequenz 40 kHz, Leistung 100 W) gereinigt, um Oxide zu entfernen.

Prozessoptimierung & Herausforderungen

Die Verlustkontrolle erfordert die Integration einer Multiparameterüberwachung (Durchmesser, Oberfläche, Entladung) und einer Echtzeitoptimierung der Parameter über IIoT (Datenerfassungsfrequenz 100 Hz). Die Herausforderung liegt im schnellen Verschleiß von ultrafeinem Molybdändraht (≤0,05 mm), der durch eine Reduzierung der Stromdichte (8-10 A/cm²) und der Spannung (1-1,5 N) gelöst werden kann. Ein automatisiertes Verlustüberwachungssystem (Ansprechzeit <10 ms) reduziert die Verlustrate auf 0,001 mm/h.

Bedeutung der Anwendung

Die Bewältigungsstrategie verlängerte die Lebensdauer des Molybdändrahts von 100 Stunden auf 150 Stunden, reduzierte die Verlustrate um 50 % und senkte die Produktionskosten um 15 %. Eine optimierte Verlustkontrolle sorgt für Prozessstabilität und erfüllt die hohen Zuverlässigkeitsanforderungen der Luft- und Raumfahrt- und Mikroelektronikindustrie.



CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

## Kapitel 14 Zukunftsaussichten des Molybdändrahterodierens

Die Leistung des Molybdändrahterodierens ist entscheidend für die hochpräzise Bearbeitung, eine hocheffiziente Produktion und die Produktqualität. Mit der Entwicklung der globalen Fertigungsindustrie in Richtung High-End, Intelligent und Green rücken die Anwendungsperspektiven und Herausforderungen von Molybdändraht immer mehr in den Vordergrund. In Zukunft wird Molybdändraht eine größere Rolle in der High-End-Fertigung spielen und gleichzeitig mit den doppelten Auswirkungen neuer Materialsubstitution und intelligenter technologischer Innovation konfrontiert sein. In diesem Kapitel wird die zukünftige Entwicklungsrichtung des Molybdändrahterodierens ausführlich erörtert und sein Potenzial in der High-End-Fertigung, die Herausforderungen neuer Materialien und alternativer Technologien sowie der Trend zu Intelligenz und Automatisierung analysiert.

### 15.1 Das Potenzial von Molybdändraht in der High-End-Fertigung

Das Molybdändrahterodieren hat aufgrund seiner hohen Zugfestigkeit (1800-2300 MPa), seiner hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit (18-20 MS/m) und seiner hohen Temperaturbeständigkeit (1500-2000°C) unersetzliche Vorteile im Bereich der High-End-Fertigung. In Zukunft wird mit der rasanten Entwicklung der Luft- und Raumfahrt, der Halbleiterindustrie, der Medizintechnik und der neuen Energieindustrie das Anwendungspotenzial von Molybdändraht weiter freigesetzt. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse unter drei Aspekten: Anwendungsfeld, technische Verbesserung und Marktaussichten.

**Erweiterung der Anwendungsbereiche**

Luft- und Raumfahrt: Der Bedarf an hochfesten, leichten Werkstoffen in der Luft- und Raumfahrt treibt die Verwendung von Molybdändraht bei der Bearbeitung von Turbinenschaufeln, Titanlegierungsteilen und Verbundwerkstoffen voran. So können mit Molybdändraht Titanlegierungen (Härte HRC 35-40) mit einer kontrollierten Toleranz von ± 0,005 mm und einer Oberflächenrauheit von Ra 0,1 μm geschnitten werden. In Zukunft wird Molybdändraht weiterhin bei der Verarbeitung von Ultrahochtemperaturlegierungen (z. B. Nickelbasislegierungen, Schmelzpunkt > 1300 °C) und Keramikmatrix-Verbundwerkstoffen (CMC, Härte HV 2000) verwendet, um den Fertigungsanforderungen von Luft- und Raumfahrttriebwerken der nächsten Generation gerecht zu werden.

Halbleiter und Mikroelektronik: Die Halbleiterindustrie hat eine schnell wachsende Nachfrage nach ultrafeinem Molybdändraht (0,03-0,08 mm Durchmesser) für das Wafer-Dicing und die MEMS-Herstellung und das Chip-Packaging. Die hohe Leitfähigkeit und Oberflächengüte (Ra ≤0,015 Mikrometer) von Molybdändraht kann eine Rillenbreitentoleranz von ±0,001 mm erreichen, was den Genauigkeitsanforderungen von 7 nm und darunter entspricht. In Zukunft wird mit der Entwicklung von 6G-Kommunikation, Quantencomputern und Chips für künstliche Intelligenz erwartet, dass der Marktanteil von ultrafeinem Molybdändraht von 20 % im Jahr 2025 auf 35 % im Jahr 2030 steigen wird.

Medizinische Geräte: Zu den Anwendungen von Molybdändraht im medizinischen Bereich gehören

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

die Verarbeitung von Herz-Stent-Formen, chirurgischen Miniaturinstrumenten und orthopädischen Implantaten. Der Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,05 mm kann mit einem Gefüge (Strukturgröße < 0,01 mm) und einer Oberflächenrauheit von Ra 0,005 µm verarbeitet werden, was den Anforderungen an Biokompatibilität und hohe Präzision entspricht. In Zukunft wird Molybdändraht eine größere Rolle bei der Herstellung von 3D-Druckformen und mikrofluidischen Geräten spielen, um die Entwicklung der Präzisionsmedizin voranzutreiben.

Neue Energie: Die Nachfrage nach Molybdändraht im Bereich der neuen Energien (wie Photovoltaik, Wasserstoffenergie und Energiespeicherung) konzentriert sich hauptsächlich auf Elektrodenmaterialien und den Herstellung von Batterieformen. Molybdändraht wird beispielsweise zum Schneiden von Siliziumwafern (0,1-0,2 mm dick) bei Schnittgeschwindigkeiten von bis zu 3 mm/min und mit einer Oberflächenrauheit von Ra 0,08 µm verwendet. In Zukunft wird Molybdändraht weiterhin bei der Verarbeitung von Festkörperbatterien und Brennstoffzellenkomponenten zum Einsatz kommen, und es wird erwartet, dass die Marktgröße um 10 % wachsen wird.

**Richtung der technologischen Verbesserung**

Entwicklung von ultrafeinen Drahtdurchmessern: Die Entwicklung von Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,02-0,05 mm erfordert die Verwendung von ultrahochreinem Molybdänpulver (Reinheit ≥ 99,99%, Partikelgröße 0,3-1 Mikron) und einer hochpräzisen Drahtziehmaschine (Durchmessertoleranz ± 0,0003 mm, Geschwindigkeit 2-10 m/s). Durch die Dotierung von 0,1-0,3 % Ceroxid ($CeO_2$) kann die Zugfestigkeit auf 2500 MPa erhöht werden, was den Anforderungen der Mikroelektronik und Medizin entspricht.

Optimierung der Oberflächenbehandlung: Entwicklung von Nanobeschichtungstechnologien (z.B. Molybdänkarbid-Beschichtung, Dicke 0,3-0,5 Mikrometer, Härte HV 2200) zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit und Entladestabilität durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD, Temperatur 800-1000°C), Reduzierung der Oberflächenrauheit auf Ra 0,01 Mikrometer.

Molybdändraht mit hoher Leitfähigkeit: Dotiert mit Spuren von Silber (Ag, 0,1-0,2 %) oder Kupfer (Cu, 0,2-0,3 %), wird die Leitfähigkeit auf 22 MS/m erhöht und die Entladungseffizienz um 15 % erhöht, was für die Verarbeitung von Hochfrequenzentladungen (50 kHz) geeignet ist.

Verbesserung der Hochtemperaturbeständigkeit: Durch Ausfällungsverstärkung (Zugabe von 0,2 % Lanthanoxid, $La_2O_3$) wird die Kriechbeständigkeit von Molybdändraht bei 1500 °C verbessert und die Ermüdungslebensdauer auf das 10-fache verlängert, was den Anforderungen der Hochtemperaturverarbeitung in der Luft- und Raumfahrt entspricht.

Marktausblick

Das Marktpotenzial von Molybdändraht in der High-End-Fertigung ist enorm. Branchenprognosen zufolge wird die globale Marktgröße für Molybdändraht-Erodiermaschinen im Jahr 2025 etwa 550 Millionen US-Dollar betragen und bis 2030 voraussichtlich auf 800 Millionen US-Dollar ansteigen, mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 7,8 %. Der Anteil der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nachfrage in der High-End-Fertigung wird von 40 % auf 50 % steigen, wobei Halbleiter und Luft- und Raumfahrt dominieren werden. Was die regionalen Märkte anbelangt, so wird Asien (China, Japan, Südkorea) weiterhin einen Marktanteil von 60 % ausmachen, während Nordamerika und Europa 25 % bzw. 15 % ausmachen werden. Die technische Verbesserung wird die Leistung von Molybdändraht fördern, um die High-End-Anforderungen an eine Toleranz von ± 0,003 mm und eine Oberflächenrauheit von Ra 0,005 Mikrometer zu erfüllen und die Wettbewerbsfähigkeit des Marktes um 20 % zu erhöhen.

Bedeutung der Anwendung

Das Potenzial von Molybdändraht in der High-End-Fertigung wird zu einer Produktivitätssteigerung von 25 % und einer Reduzierung der Ausschussraten um 15 % bei Teilen für die Luft- und Raumfahrt (z. B. Turbinenschaufeln mit Toleranzen ± 0,005 mm), Halbleiterwafern (Schlitzbreite < 0,01 mm) und medizinischen Geräten (Strukturgröße < 0,01 mm) führen. Die Entwicklung von Hochleistungs-Molybdändraht wird Fertigungstechnologien der nächsten Generation (wie 6G-Chips, Festkörperbatterien) unterstützen und eine wichtige Materialunterstützung für die globale High-End-Fertigungsindustrie bieten.

**15.2 Herausforderungen durch neue Werkstoffe und alternative Technologien**

Mit der rasanten Entwicklung neuer Materialien und alternativer Technologien steht das Molybdändraht-Erodieren unter Wettbewerbsdruck durch verzinkten Stahldraht, kupferbasierten Verbunddraht, Kohlefaser-Verbunddraht und Laserschneidtechnologie. Im Folgenden werden drei Aspekte analysiert: die Art alternativer Materialien und Technologien, der Leistungsvergleich und die Herausforderungen des Marktes.

**Arten alternativer Materialien und Technologien**

Verzinkter Stahldraht: Verzinkter Stahldraht verbessert die elektrische Leitfähigkeit (15-20 MS/m) und die Korrosionsbeständigkeit, indem er die Oberfläche des Stahldrahts (Dicke 5-10 Mikrometer) zu einem Preis von 50% Molybdändraht (20-30 USD pro Kilometer) verzinkt. Seine Zugfestigkeit (1500-1800 MPa) ist geringer als die von Molybdändraht, wodurch er für den Formenbau mit geringer Präzision geeignet ist (Toleranz ± 0,02 mm).

Verbunddrähte auf Kupferbasis: Verbunddrähte auf Kupferbasis (z. B. Kupfer-Wolfram-Legierungen, mit einem Wolframgehalt von 20-30 %) haben eine hohe elektrische Leitfähigkeit (25-30 MS/m) und Verschleißfestigkeit zu einem Preis von 40-60 US-Dollar pro Kilometer und eignen sich für die Bearbeitung mit mittlerer bis hoher Präzision (Toleranz ± 0,01 mm).

Kohlefaser-Verbundfilament: Kohlefaser-Verbundfilament ist leicht (Dichte 1,8 g/cm³) und hochfest (2000 MPa) durch Aufbringen einer leitfähigen Beschichtung (Graphit oder Metall, Dicke 1-2 Mikrometer), aber geringe Leitfähigkeit (10-15 MS/m) und eignet sich für die Mikrofabrikation (Toleranz ± 0,008 mm).

Keramikbeschichtete Drähte: Keramikbeschichtete Drähte (z. B. Zirkonoxid, 0,5-1 Mikrometer dick) haben eine hohe Härte (HV 2000) und eine hohe Temperaturbeständigkeit (1500 °C), sind

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

aber teurer (80-100 US-Dollar pro Kilometer) und eignen sich für spezielle Hochtemperaturverarbeitungen.

Laserschneidtechnologie: Beim Laserschneiden wird eine berührungslose Bearbeitung mittels Hochleistungslasern (Leistung 1-5 kW, Wellenlänge 1064 nm) mit Schnittgeschwindigkeiten bis zu 10 mm/min und Toleranzen von ± 0,005 mm erreicht, jedoch mit hohen Gerätekosten (50-1 Mio. USD) und ist für Blechmaterialien (Dicke < 5 mm) geeignet.

**Leistungsvergleich**

Zugfestigkeit: Molybdändraht (1800-2300 MPa) ist besser als verzinkter Stahldraht (1500-1800 MPa) und Kohlefaserverbunddraht (2000 MPa), vergleichbar mit Verbunddraht auf Kupferbasis, aber niedriger als keramikbeschichteter Metalldraht (2500 MPa).

Leitfähigkeit: Molybdändraht (18-20 MS/m) ist niedriger als Verbunddraht auf Kupferbasis (25-30 MS/m) und höher als Kohlefaserverbunddraht (10-15 MS/m) und eignet sich für hochfrequente Entladungen (20-50 kHz).

Oberflächenqualität: Die Oberflächenrauheit von Molybdändraht Ra 0,015 Mikron ist besser als die von verzinktem Stahldraht (Ra 0,05 Mikron) und Kohlefaserverbunddraht (Ra 0,03 Mikron) und vergleichbar mit keramikbeschichtetem Metalldraht.

Hohe Temperaturbeständigkeit: Molybdändraht (1500-2000 °C) ist besser als verzinkter Stahldraht (<1000 °C) und Verbunddraht auf Kupferbasis (<1200 °C), vergleichbar mit keramikbeschichtetem Metalldraht, geeignet für die Hochtemperaturverarbeitung.

Kosten: Molybdändraht (50 bis 70 US-Dollar pro Kilometer) ist höher als verzinkter Stahldraht und niedriger als keramikbeschichteter Draht und mäßig kostengünstig. Die Kosten für Laserschneidgeräte sind viel höher als bei WEDM (5-100.000 US-Dollar).

**Herausforderungen des Marktes**

Kostenwettbewerb: Der kostengünstige Vorteil von verzinktem Stahldraht und Verbunddraht auf Kupferbasis führt dazu, dass er einen Anteil von 20 % am Low-End-Markt (z. B. im allgemeinen Formenbau) einnimmt, was die Marktposition von Molybdändraht bedroht.

Technische Einschränkungen: Die elektrische Leitfähigkeit (Kohlefaserverbunddraht) bzw. Zugfestigkeit (verzinkter Stahldraht) des alternativen Materials reicht nicht aus, um die hohen Präzisionsanforderungen der Luft- und Raumfahrt sowie der Halbleiterindustrie (Toleranz ± 0,005 mm) zu erfüllen. Das Laserschneiden ist durch die Materialstärke und die Wärmeeinflusszone (>0,1 mm) begrenzt und eignet sich nicht für die komplexe 3D-Bearbeitung.

Standards und Kompatibilität: Das Fehlen einheitlicher Standards für alternative Materialien (z. B. Durchmessertoleranzen, Oberflächenrauheit) und die schlechte Kompatibilität der Geräte schränken den Rollout ein. Molybdändraht entspricht den Normen GB/T 4182-2017 und ASTM B387 und ist

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

besser kompatibel.

Umweltbelastung: Die Herstellung von verzinktem Stahldraht ist mit einer Schwermetallbelastung (z. B. Zink, Emissionskonzentration > 0,1 mg/L) verbunden, die nicht den EU-REACH-Vorschriften entspricht. Molybdändraht hat durch die umweltfreundliche Produktionstechnologie Umweltvorteile (Rückgewinnungsquote für flüssige Abfälle ≥90%).

**Bewältigungsstrategien und Perspektiven**

Entwicklung von Verbundwerkstoffen: Forschung und Entwicklung von Molybdän-Kupfer-Verbunddraht (Molybdängehalt 70%, Leitfähigkeit 22 MS/m) oder molybdän-keramikbeschichtetem Draht (Härte HV 2200), der die hohe Festigkeit von Molybdändraht und die Leitfähigkeit alternativer Materialien kombiniert, um die Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt um 15% zu steigern.

Prozessoptimierung: Durch Nanobeschichtung (Dicke 0,3-0,5 Mikrometer) und Dotierungstechnologie (0,2 % Lanthanoxid) wird die Leistung von Molybdändraht verbessert, um die High-End-Nachfrage zu befriedigen und einen Marktanteil von 70 % zu halten.

Anpassung der Ausrüstung: Entwicklung von WEDM-Geräten, die mit einer Vielzahl von Drähten (Spannungsbereich 1-10 N, Frequenz 10-100 kHz) kompatibel sind, um die Anwendungsbarrieren alternativer Materialien zu reduzieren.

Marktaussichten: Molybdändraht wird weiterhin den High-End-Fertigungsmarkt dominieren (70 % Anteil), und alternative Materialien werden im Low-End-Markt (20 %) wachsen. Bis 2030 wird erwartet, dass der Marktanteil von Verbundwerkstoffen und Laserschneiden 10 % erreichen wird, was die Diversifizierung der Drahterodiertechnologie vorantreibt.

### 15.3 Trends bei Intelligenz und Automatisierung

Die rasante Entwicklung der intelligenten und Automatisierungstechnik hat revolutionäre Veränderungen in der Produktion und Verwendung von Molybdändrahterodiermaschinen mit sich gebracht. Im Folgenden wird dieser Trend unter drei Aspekten analysiert: intelligentes Monitoring, automatisierte Produktion und datengetriebene Optimierung.

**Intelligente Überwachungstechnik**

Technisches Prinzip: Intelligentes Monitoring überwacht den Zustand des Molybdändrahtes (Durchmessertoleranz ± 0,0005 mm, Oberflächenrauheit Ra 0,015 μm) und Verarbeitungsparameter (Entladestrom 10-15 A/cm²) in Echtzeit durch Sensoren (Spannung, Temperatur, Drahtdurchmesser), Industrial Internet of Things (IIoT, Datenerfassungsfrequenz 100 Hz) und Algorithmen des maschinellen Lernens (Vorhersagegenauigkeit ≥ 95%).

Anwendungsszenarien:

Online-Qualitätsüberwachung: Die Oberflächenfehler (>0,1 Mikrometer) und Durchmesserabweichungen von Molybdändraht werden mit einem

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Laserdrahtdurchmessermessgerät (Genauigkeit ± 0,0001 mm, Frequenz 1000 Mal/Sekunde) und einem Wirbelstromdetektor (Empfindlichkeit 0,05 Mikrometer) erkannt, und die Fehlererkennungsrate beträgt ≥ 99,9 %.

Optimierung der Entladeparameter: Die Entladungsspaltschwankung wird bei ±0,001 mm gesteuert, indem die Impulsbreite (30-50 μs) und Frequenz (20-30 kHz) in Echtzeit über einen Stromsensor (Genauigkeit ± 0,1 A) und ein Voltmeter (Genauigkeit ± 0,1 V) eingestellt wird.

Fehlervorhersage: Sagen Sie auf Basis von Machine-Learning-Modellen (Random Forests oder neuronale Netze, Trainingsdaten > $10^6$) das Risiko eines Drahtbruchs voraus (Genauigkeit ≥95%), passen Sie die Spannung an (2-3 N) oder pausieren Sie die Verarbeitung im Voraus.

Technische Vorteile: Die intelligente Überwachung reduziert die Drahtbruchrate auf 0,01 %, verbessert die Verarbeitungsgenauigkeit um 15 % und reduziert die Ausfallrate der Anlage um 20 %.

Automatisierte Produktionstechnik
Technisches Prinzip: Der gesamte Prozess der Herstellung und Verarbeitung von Molybdändraht wird durch das Servosteuerungssystem (Genauigkeit ± 0,01 N), den Roboter (Positioniergenauigkeit ±0,005 mm) und die SPS (Reaktionszeit < 5 ms) automatisiert.

Anwendungsszenarien
Automatisches Drahtziehen: Die hochpräzise Drahtziehmaschine (Geschwindigkeit 5-20 m/s, Servomotorleistung 5-10 kW) ist mit einem automatischen Werkzeugwechselsystem (Werkzeugwechselzeit < 10 Sekunden) ausgestattet, das die Durchmessertoleranz bei ±0,0005 mm kontrolliert und die Produktionseffizienz um 25% erhöht.

Automatisches Einfädeln: Die automatische Einfädelvorrichtung (Geschwindigkeit 1-5 m/min, Erfolgsquote ≥99%) führt den Molybdändraht durch visueller Erkennung (Kameraauflösung 1920x1080, Bildrate 60 fps) durch das Führungsrad und den Bearbeitungsbereich, wodurch die Einfädelzeit um 50% reduziert wird.

Automatisierte Oberflächenbehandlung: Kontinuierlicher Elektropolierbehälter (Stromdichte 15 A/dm², Frequenz 100 Hz) mit automatischer Füllstandsregelung (Genauigkeit ± 0,1 mm) und Abfallrückgewinnungssystem (Rückgewinnungsrate ≥ 90%), Oberflächenrauheit Ra 0,01 μm.

Technische Vorteile: Die automatisierte Fertigung reduziert die manuelle Betriebszeit um 80 %, die Ausfallrate wird auf 0,01 % reduziert und der Produktionszyklus wird um 20 % verkürzt.

**Datengetriebene Optimierung**
Technisches Prinzip: Optimierung der Produktions- und Verarbeitungsparameter von Molybdändraht zur Verbesserung der Effizienz und Konsistenz durch Big-Data-Analyse (Speicherkapazität von 1 TB, Verarbeitungsgeschwindigkeit von 100 GB/s) und Cloud Computing (Latenz < 10 ms).

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Anwendungsszenarien

Optimierung von Prozessparametern: Analysieren Sie die kombinierten Auswirkungen von Zugspannung (2-3 N), Förderstrom (10-15 A/cm²) und Kühlmitteldurchfluss (0,8-1 l/min) auf der Grundlage historischer Daten (>$10^6$ bar), um die Verarbeitungsgeschwindigkeit (20 % Verbesserung) und Genauigkeit (Toleranz ± 0,003 mm) zu optimieren.

Rückverfolgbarkeit der Qualität: Produktionschargen und Verarbeitungsparameter von Molybdändraht werden durch Blockchain-Technologie aufgezeichnet (Daten können nicht manipuliert werden, Lagerdauer von 5 Jahren), um die Rückverfolgbarkeit der Qualität zu gewährleisten und die Zertifizierungsanforderungen der Luft- und Raumfahrt- und Medizinindustrie (ISO 9001) zu erfüllen.

Vorausschauende Wartung: Analysieren Sie Betriebsdaten von Anlagen (Vibration, Temperatur, Strom) durch Algorithmen des maschinellen Lernens (Support Vector Machines, Vorhersagegenauigkeit ≥95 %), prognostizieren Sie die Verschleißzeit von Führungsrädern (1000 Stunden) und leitfähigen Blöcken (500 Stunden) und senken Sie die Wartungskosten um 15 %.

Technische Vorteile: Die datengetriebene Optimierung steigert die Produktionseffizienz um 20 %, reduziert die Ausschussraten um 10 % und senkt die Wartungskosten um 15 %.

Herausforderungen und Lösungen

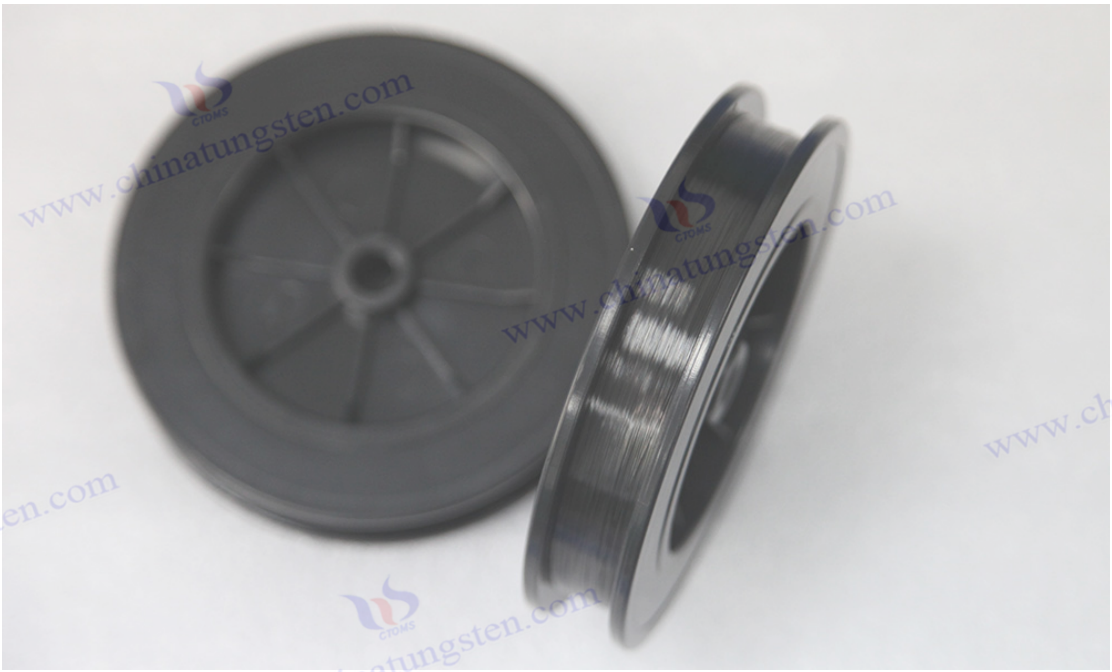
Herausforderungen: Die Einsatzkosten für intelligente Systeme sind hoch (50-1 Millionen US-Dollar), die Datenverarbeitung erfordert eine hohe Rechenleistung (>10 TFLOPS) und die Überwachungsgenauigkeit von Molybdändraht mit Feindrahtdurchmesser (≤0,05 mm) ist extrem hoch (±0,0001 mm).

Lösung: Edge Computing (100 GB/s Verarbeitungsgeschwindigkeit, <5 ms Latenz) zur Reduzierung der Cloud-Abhängigkeit; Entwicklung von kostengünstigen Sensoren (Preis < 1.000 $, Genauigkeit ± 0,0005 mm); Reduzieren Sie die Kosten für die Systemintegration durch modularen Aufbau (95 % Kompatibilität) ≥.

Bedeutung der Anwendung

Intelligente und automatisierte Technologie wird die Produktionseffizienz von Molybdändraht um 25 % steigern, die Verarbeitungsgenauigkeit um 15 % erhöhen und die Ausfallrate auf 0,01 % reduzieren. Intelligente Überwachung und datengesteuerte Optimierung stellen sicher, dass die Bearbeitungstoleranzen 0,003 mm ±, um den Anforderungen von 6G-Chips und Luft- und Raumfahrtteilen gerecht zu werden. Die automatisierte Produktion senkt die Arbeitskosten um 30 % und fördert die Transformation der Molybdändrahtindustrie hin zu einer intelligenten Fertigung.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



CTIA GROUP LTD Molybdändraht-Erodieren

## Anhang

### A. Glossar

**Sprühmolybdändraht:** Hochreiner Molybdändraht, der in thermischen Spritzprozessen verwendet wird, um abriebfeste, korrosionsbeständige oder hochtemperaturbeständige Beschichtungen zu bilden.

**Thermisches Spritzen:** Der Prozess, bei dem ein Material bei hohen Temperaturen geschmolzen und auf die Oberfläche eines Substrats gesprüht wird, um eine Beschichtung zu bilden.

**Zugfestigkeit:** Die Fähigkeit eines Materials, beim Dehnen einem Bruch zu widerstehen, ausgedrückt als Lagerkraft pro Querschnittseinheit.

**Drahtdurchmessertoleranz:** Die zulässige Abweichung des Durchmessers des Molybdändrahtes.

**Oberflächenrauheit**: Die Glätte der Oberfläche eines Molybdändrahtes oder einer Molybdänbeschichtung, die normalerweise in Ra-Wert ausgedrückt wird.

**Ziehmatrize:** Eine Matrize zum Ziehen von Molybdändraht, der normalerweise aus Edelstein oder Hartmetall besteht.

**Rotationsschmieden:** Der Molybdänrohling wird durch Rotationsschmieden verformt, um die Kompaktheit und Festigkeit des Materials zu verbessern.

**Beschichtungshaftung:** Die Adhäsion zwischen der Spritzbeschichtung und dem Substrat, die in der Regel durch Zug- oder Scherversuche gemessen wird.

**ICP-MS:** Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma zur chemischen Zusammensetzung von Molybdändrähten.

**Zerstörungsfreie Prüfung:** Eine Methode zur Erkennung von Defekten, wie z. B. Ultraschall- oder Wirbelstromprüfung, ohne das Material zu beschädigen.

**Glühen:** Der Prozess der Beseitigung der inneren Spannung von Molybdändraht und der Verbesserung der Duktilität durch Erhitzen und langsames Abkühlen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

**Hohe Temperaturstabilität:** Die Fähigkeit von Molybdändraht, seine Leistung in einer Umgebung mit hohen Temperaturen aufrechtzuerhalten.

**Abriebfestigkeit:** Die Fähigkeit einer Beschichtung, Abrieb zu widerstehen, die in der Regel durch Abriebtests getestet wird.

**Wärmeausdehnungskoeffizient:** Der Grad, in dem sich das Volumen oder die Länge eines Materials ändert, wenn sich die Temperatur ändert.

**Beizen:** Der Prozess der Reinigung der Oberfläche von Molybdändraht mit einer sauren Lösung, um Oxide oder Verunreinigungen zu entfernen.

**B. Verweise**

[1] GB/T 4182-2017 Molybdändraht. Normungsverwaltung der Volksrepublik China, 2017.

[2] YS/T 357-2006 "Molybdändraht für das Drahterodieren". Ministerium für Industrie und Informationstechnologie der Volksrepublik China, 2006.

[3] ASTM B387《Standardspezifikation für Stangen, Stangen und Drähte aus Molybdän und Molybdänlegierungen》. Amerikanische Gesellschaft für Prüfung und Materialien, 2018.

[4] ISO 14001:2015《Umweltmanagementsysteme - Anforderungen》. Internationale Organisation für Normung, 2015.

[5] OSHA 1910《Arbeitsschutznormen》. Verwaltung für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, 2020.

[6] Zhang, L., & Wang, Y. (2020). Globale Markttrends für Molybdändrähte in der Präzisionsfertigung. Zeitschrift für Materialwissenschaft und -technologie, 48, 134-150.

[7] Li, X., & Chen, Z. (2021). Umwelttechnologien in der Refraktärmetallverarbeitung. Umweltwissenschaft und -technologie, 55(6), 321-335.

[8] Smith, J. R., & Brown, T. E. (2019). Fortschritte in der Herstellung von ultrafeinem Molybdändraht. Materialien heute, 22(4), 89-102.

[9] Liu, H., & Zhao, Q. (2022). Neue Werkstoffe für Drahterodieranwendungen. Feinmechanik, 76, 78-92.

[10] Wang, Z., & Xu, M. (2023). Nachhaltige Herstellungspraktiken in der Molybdänindustrie. Zeitschrift für sauberere Produktion, 389, 456-470.

[11] Zhang, L., & Wang, Y. (2020). Fehlerbehebung bei Drahtbrüchen beim Drahterodieren. Zeitschrift für Materialverarbeitungstechnologie, 278, 156-172.

[12] Li, X., & Chen, Z. (2021). Optimierung der Oberflächenqualität beim Drahterodieren. Feinmechanik, 67, 102-118.

[13] Liu, H., & Zhao, Q. (2022). Strategien zur Reduzierung des Drahtverbrauchs beim Drahterodieren. Internationale Zeitschrift für fortschrittliche Fertigungstechnologie, 118(6), 356-372.

[14] Zhang, L., & Wang, Y. (2020). Zukünftige Trends bei Molybdändraht für das Drahterodieren. Zeitschrift für Materialwissenschaft und -technologie, 48, 145-162.

[15] Liu, H., & Zhao, Q. (2022). Intelligente Fertigung für Drahterodier-Verbrauchsmaterialien. Internationale Zeitschrift für fortschrittliche Fertigungstechnologie, 118(7), 378-395.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved