

Enzyklopädie des Gewichts von Wolframlegierungen

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 Seltenerdindustrie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung der intelligenten, integrierten und flexiblen Entwicklung und Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, gegründet 1997 mit www.chinatungsten.com als Ausgangspunkt – Chinas erster erstklassiger Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes mit Fokus auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Industrien. CTIA GROUP nutzt fast drei Jahrzehnte umfassende Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän, erbt die außergewöhnlichen Entwicklungs- und Fertigungskapazitäten, die erstklassigen Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihres Mutterunternehmens und wird so zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, hochdichte Legierungen, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den vergangenen 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE über 200 mehrsprachige professionelle Websites zu den Themen Wolfram und Molybdän in mehr als 20 Sprachen erstellt, die über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen zu Wolfram, Molybdän und Seltenen Erden enthalten. Seit 2013 wurden auf dem offiziellen WeChat-Konto „CHINATUNGSTEN ONLINE“ über 40.000 Informationen veröffentlicht, die fast 100.000 Follower erreichen und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen bieten. Mit Milliarden von Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto hat sich das Unternehmen zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Branche entwickelt, die rund um die Uhr mehrsprachige Nachrichten, Informationen zu Produktleistung, Marktpreisen und Markttrends bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die individuellen Bedürfnisse ihrer Kunden zu erfüllen. Mithilfe von KI-Technologie entwickelt und produziert sie gemeinsam mit ihren Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Angebot umfasst integrierte Dienstleistungen für den gesamten Prozess, vom Formenöffnen und der Probeproduktion bis hin zur Veredelung, Verpackung und Logistik. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE weltweit über 130.000 Kunden in Forschung und Entwicklung, Design und Produktion von über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten unterstützt und so 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 weiter.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer über 30-jährigen Branchenerfahrung auch Fachwissen, Technologien, Wolframpreise und Marktrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und geben diese kostenlos an die Wolframbranche weiter. Dr. Han, mit über 30 Jahren Erfahrung seit den 1990er Jahren im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen, ist im In- und Ausland ein renommierter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte. Getreu dem Grundsatz, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zu liefern, verfasst das Team der CTIA GROUP kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte auf Grundlage der Produktionspraxis und der Kundenbedürfnisse und findet dafür breite Anerkennung in der Branche. Diese Erfolge stellen eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP dar und verhelfen ihr zu einem führenden Unternehmen in der globalen Herstellung von Wolfram- und Molybdänprodukten sowie bei Informationsdienstleistungen.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Hintergrund und Bedeutung des Schreibens
Gegengewichte aus Wolframlegierung
Wie dieses Buch aufgebaut ist
Zielgruppe und Nutzung

Kapitel 1: Grundkonzepte und Klassifizierung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

- 1.1 Definition und Funktionsmerkmale von Gegengewichten aus Wolframlegierungen
- 1.2 Grundkenntnisse zu Wolframlegierungen mit hohem spezifischem Gewicht (W-Ni-Fe / W-Ni-Cu usw.)
- 1.3 Haupttypen und Produktformen von Gegengewichten aus Wolframlegierungen
- 1.4 Vergleich mit herkömmlichen Gegengewichtsmaterialien (Blei, Stahl, Kupfer usw.)
- 1.5 Nationale und internationale Normen und Benennungssysteme für Wolframlegierungen

Kapitel 2: Physikalische und chemische Eigenschaften von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

- 2.1 Dichte und Qualitätskontrolleigenschaften ($>17 \text{ g/cm}^3$)
- 2.2 Mechanische Eigenschaften (Zugfestigkeit, Härte, Schlagzähigkeit)
- 2.3 Thermische Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient)
- 2.4 Elektrische und magnetische Eigenschaften
- 2.5 Analyse der Korrosionsbeständigkeit und der Anpassungsfähigkeit an die Umwelt
- 2.6 Dynamisches Verhalten und Schwingungsdämpfungseigenschaften bei hoher Dichte

Kapitel 3: Herstellungstechnologie von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

- 3.1 Grundlagen der Pulvermetallurgie und wichtige Prozessabläufe
- 3.2 Rohstoffaufbereitung und Verhältniskontrolle (Wolframpulver, Bindephase)
- 3.3 Formgebungsprozess (Formen, isostatisches Pressen, Spritzgießen usw.)
- 3.4 Sintertechnologie (Vakuum, Flüssigphase, Atmosphärenkontrolle)
- 3.5 Bearbeitungs- und Dimensionsveredelungstechnologie
- 3.6 Nanotechnologie und Methoden zur hochdichten Verstärkung

Kapitel 4: Leistungstests und Qualitätsbewertung

- 4.1 Prüfverfahren für geometrische Abmessungen und Dichte
- 4.2 Prüfnormen für mechanische Eigenschaften (ASTM, ISO)
- 4.3 Metallografische Struktur- und Mikrostrukturerkennung
- 4.4 Analyse der chemischen Zusammensetzung (ICP, XRF)
- 4.5 Kontrolle der Oberflächenqualität und -rauheit
- 4.6 Zerstörungsfreie Prüftechnologie (Ultraschall, Röntgen)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kapitel 5: Anwendung in der Luft- und Raumfahrt

- 5.1 Schwerpunkteinstellung und Flugsteuerungsausgleichsgewichte für Flugzeuge
- 5.2 Satellitengewichte und Trägheitskontrollsysteme
- 5.3 Raketen- und Flugkörperheckgewichtstechnologie
- 5.4 Flugzeugschwingungskontrolle und Reaktionsmassenblöcke
- 5.5 Trägheitsgewichte aus Wolframlegierungen in Verteidigungswaffensystemen

Kapitel 6: Anwendung in Automobilen und Maschinenbau

- 6.1 Dynamische Gewichtsverteilung von Automotoren und Fahrgestellen
- 6.2 Optimiertes Design der Gewichtsverteilung von F1-Rennwagen
- 6.3 Gegengewichtsmodul von Hochgeschwindigkeitszügen
- 6.4 Gegengewichtsblock für Kräne, Hebegeräte und Schildmaschinen
- 6.5 Stabile Gewichtslösungen für Tiefbau und große Baumaschinen

Kapitel 7: Anwendung in elektronischen und medizinischen Geräten

- 7.1 Gegengewichtskomponenten für Präzisionsinstrumente und Gyroskope
- 7.2 Wolframblöcke (OIS) zur Verwacklungsreduzierung in Kameramodulen von Mobiltelefonen
- 7.3 Stabiles Gegengewichtsdesign für CT- und MRT-Geräte
- 7.4 Mobile Ausgleichsstrukturen für Strahlentherapiegeräte
- 7.5 Gegengewichtssysteme für Mikrodrohnen und tragbare Geräte

Kapitel 8: Anwendung im Sport und im zivilen Bereich

- 8.1 Gewichtsdesign für Golfschläger und Bowlingkugeln
- 8.2 Gewichte für Schießausrüstung
- 8.3 Gewichte für Angelgeräte und Balancesysteme für Modellflugzeuge
- 8.4 Gewichte für Kameras, Stabilisatoren und Stative
- 8.5 Gewichtsfunktionen für zivile Werkzeuge und hochwertige, kundenspezifische Produkte

Kapitel 9: Umweltschutz, Sicherheit und Vorschriften

- 9.1 Umweltfreundliche Eigenschaften und ungiftige Vorteile von Wolframlegierungsgewichten
- 9.2 Analyse der Substitution von Bleimaterialien
- 9.3 Vereinbarkeit mit REACH, RoHS und anderen internationalen Umweltvorschriften
- 9.4 Qualitätssystemanforderungen für die Luft- und Raumfahrt- sowie die Rüstungsindustrie
- 9.5 Rückverfolgbarkeit und Chargenkontrollmechanismen

Kapitel 10: Marktentwicklung und Branchentrends

- 10.1 Globale Wolframressourcen und Materialversorgungskette für Gegengewichte
- 10.2 Marktgröße und Nachfragetrends
- 10.3 Typische Unternehmen und internationale Wettbewerbslandschaft
- 10.4 Produkt-Upgrade-Trends durch neue Technologien
- 10.5 Strategische Position bei zukünftigen High-End-Geräten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhänge

Anhang I: Spezifikationen und Leistungsparameter gängiger Gegengewichte aus Wolframlegierungen

Anhang II: Vergleichstabelle internationaler und chinesischer Wolframlegierungsstandards

Anhang III: Häufig verwendete Geräte und Prozessparameter

Anhang IV: Glossar und Erklärung der Abkürzungen

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Vorwort

Schreibhintergrund und Bedeutung

Mit der rasanten Entwicklung von High-End-Industrien wie der Luft- und Raumfahrt, der Präzisionsfertigung, intelligenten Geräten, der medizinischen Bildgebung und Fahrzeugen mit alternativen Antrieben werden an das Gegengewichtssystem als wichtige Komponente zur Erzielung des mechanischen Gleichgewichts, zur Verbesserung der Stabilität und zur präzisen Funktionskontrolle immer höhere technische und strukturelle Anforderungen gestellt. Obwohl herkömmliche Gegengewichtsmaterialien wie Blei, Stahl und Kupfer gewisse Vorteile hinsichtlich Dichte und Verarbeitungsfreundlichkeit bieten, können sie die umfassenden Anforderungen der neuen Gerätegeneration an „hohe Dichte, geringe Größe und hohe Stabilität“ in Bezug auf Leistung, Umweltschutz und kompakte Bauweise nicht mehr erfüllen.

Wolframlegierungen, insbesondere hochdichte Verbundwerkstoffe auf Wolframbasis wie die Systeme W-Ni-Fe und W-Ni-Cu, haben sich aufgrund ihrer **ultrahohen Dichte ($> 17 \text{ g/cm}^3$)**, ihrer **hervorragenden mechanischen Eigenschaften**, ihrer **hervorragenden Umweltverträglichkeit und ihrer Ungiftigkeit und Umweltfreundlichkeit zu einem idealen Material für moderne Hochleistungs-Gegengewichtssysteme entwickelt**. In der Luft- und Raumfahrt werden sie zur Schwerpunkteinstellung und Lageregelung von Flugzeugen eingesetzt; in der Automobilindustrie dienen sie der Fahrwerksbalance und dynamischen Einstellung; in medizinischen Geräten sorgen sie für Bildstabilität und mechanische Präzision; im zivilen Bereich ersetzen sie nach und nach traditionelle Schwermetalle und finden Eingang in hochwertige Lebens- und Präzisionssportgeräte.

Gegengewichte aus Wolframlegierungen repräsentieren nicht nur den Fortschritt der Werkstofftechnologie, sondern spiegeln auch die umfassende Innovation von Herstellungsprozessen, Designkonzepten, Standardsystemen und sogar Lieferkettenmodellen wider. Die systematische Literatur zu Gegengewichten aus Wolframlegierungen ist derzeit noch relativ verstreut, und es fehlt ein umfassendes Nachschlagewerk, das Materialgrundlagen, Herstellungsverfahren, Leistungstests,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

typische Anwendungen und industrielle Entwicklung abdeckt. Deshalb haben wir das Buch „Enzyklopädie der Gegengewichte aus Wolframlegierungen“ zusammengestellt, um diese Lücke zu schließen, die Kerntechnologie und den industriellen Wert von Gegengewichten aus Wolframlegierungen umfassend zu analysieren und allen Anwendern – von der wissenschaftlichen Forschung über Design und Fertigung bis hin zur Anwendung – zu dienen.

Gegengewichte aus Wolframlegierung

Wolfram spielt eine zunehmend wichtige Rolle in der Energiesicherheit, bei militärischer Ausrüstung und in zukünftigen Transportsystemen. Insbesondere Wolframlegierungen im Gegengewichtsbereich vereinen nicht nur ein hohes Maß an Materialnutzungseffizienz und Funktionsintegration, sondern spielen auch eine Schlüsselrolle bei Gewichtsreduzierung **und Effizienzsteigerung, umweltfreundlicher Fertigung und Systemoptimierung.**

- In der **Luft- und Raumfahrt** werden Gewichte aus Wolframlegierungen häufig in Kernstrukturen wie Flugsteuerungsflächen, Lagekorrekturblocken, Trägheitsnavigationssystemen und Reaktionsmassenblöcken eingesetzt. Ihre hohe Dichte ermöglicht eine deutliche Reduzierung des Strukturvolumens und ermöglicht eine höhere Raumausnutzung und Steuergenauigkeit.
- In **Fahrzeugen mit alternativer Antriebstechnologie und intelligenten Geräten** wird Wolframlegierung als dynamisches Gegengewicht in elektrischen Antriebssystemen und automatischen Steuerungsmechanismen verwendet, um die Reaktionsgeschwindigkeit und die Gleichgewichtskontrollfähigkeiten zu verbessern und zur Reduzierung von Lärm und Vibrationen im System beizutragen.
- In **Systemen der Kernenergie und Hochenergiephysik** erfüllen Gegengewichte aus Wolframlegierungen eine Strahlenschutzfunktion und zeichnen sich durch hohe Sicherheit und langfristige Betriebsstabilität in komplexen Betriebsumgebungen aus.
- Gleichzeitig ist es aufgrund seiner umweltfreundlichen Eigenschaften – **ungiftig, harmlos und leicht recycelbar** – eine wichtige Wahl für den schrittweisen Ersatz von bleihaltigen Gegengewichtsmaterialien und erfüllt die Anforderungen internationaler Umweltvorschriften wie REACH und RoHS.

Wie dieses Buch aufgebaut ist

zehn Kapitel und fünf Anhänge unterteilt und behandelt die Grundlagentheorie, Materialeigenschaften, Herstellungsverfahren, Prüfmethoden, Anwendungsfälle, Industriestandards und zukünftige Trends von Gegengewichten aus Wolframlegierungen. Die genauen Regelungen sind wie folgt:

- **Kapitel 1** stellt die grundlegenden Konzepte, Klassifizierungsmethoden und das Standardsystem der Gewichte von Wolframlegierungen vor;
- **Kapitel 2** analysiert systematisch seine physikalischen, mechanischen, thermischen, umweltbezogenen und dynamischen Eigenschaften;
- **Kapitel 3** beschreibt detailliert den Herstellungsprozess der Pulvermetallurgie sowie den Verarbeitungs- und Härtingsprozess.
- **Kapitel 4** behandelt gängige Testmethoden und Qualitätskontrolltechniken.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **In den Kapiteln 5 bis 8** werden typische Anwendungen in vier Hauptbereichen interpretiert: Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie, Medizin und Zivilterchnik;
- **Kapitel 9** konzentriert sich auf seine Position im Umweltschutz, bei Vorschriften und bei der Einhaltung internationaler Vorschriften.
- **Kapitel 10** konzentriert sich auf den Marktstatus, die Unternehmensstruktur und die zukünftige Entwicklungsrichtung;
- **Der Anhang** enthält häufig verwendete Spezifikationsparameter, eine Standardzusammenstellung und einen Fallindex zur einfachen Bezugnahme und für die technische Praxis.

Zielgruppe und Nutzung

Dieses Buch richtet sich an folgende Leser:

- **Forscher und Werkstoffingenieure** : können als theoretische Unterstützung für die Forschung zu hochdichten Wolframlegierungsmaterialien, Leistungsoptimierung und Strukturdesign dienen;
- **Personal für Industriedesign und -herstellung** : kann die technische Grundlage für die Entwicklung neuer Produkte, Leistungsbewertung und Strukturanpassung bieten;
- **Techniker für die Beschaffung von Ausrüstung und Produktanwendungen** : können als wichtige Referenz für die Auswahl von Gegengewichtsmaterialien und die Formulierung von Prozesspfaden dienen;
- **Politiker und Branchenanalysten** : Kann verwendet werden, um den Status und die Entwicklungstendenz von Wolframmaterialien in der fortschrittlichen Fertigung zu verstehen.
- **Lehrer und Studenten von Hochschulen und Universitäten sowie Auszubildende in der technischen Ausbildung** : Kann als Unterrichtsmaterial und Fallreferenz für Lehr- und Berufskurse verwendet werden.

Der Inhalt dieses Buches ist **auf die technische Anwendbarkeit und praktische Anwendung ausgerichtet** und berücksichtigt sowohl theoretische Tiefe als auch technische Details. Es enthält außerdem typische Diagramme, Datenvergleiche und Fallanalysen und soll ein professionelles Nachschlagewerk bieten, das sowohl systematisch als auch umfassend und leicht umzusetzen ist.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

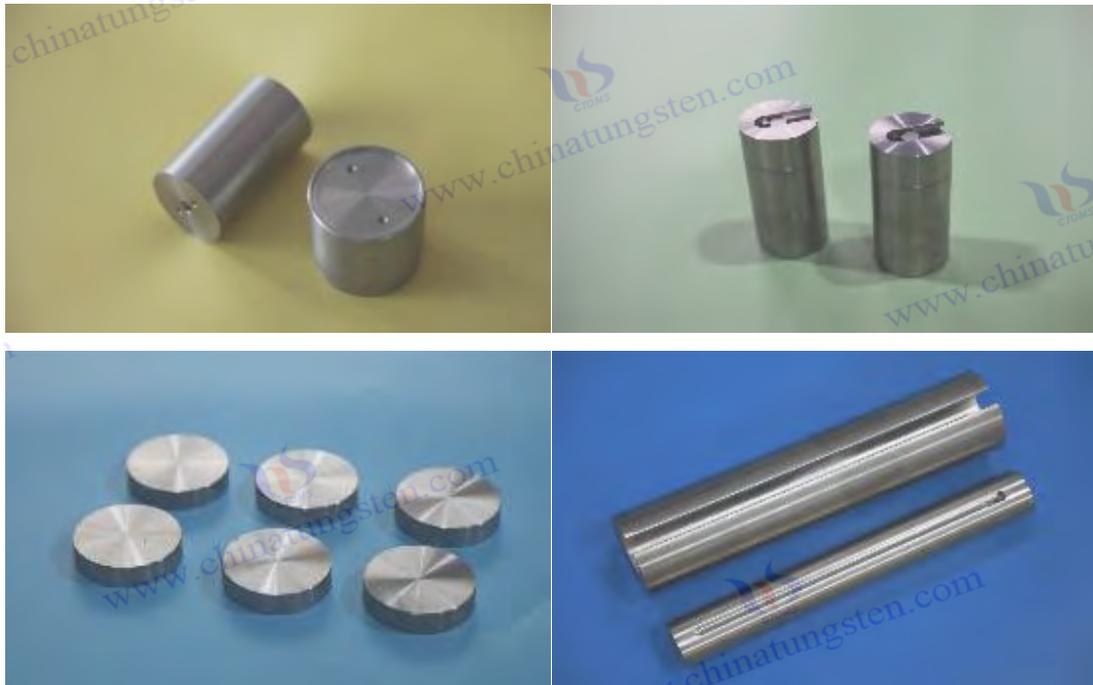
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Kapitel 1 Grundkonzepte und Klassifizierungen von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

1.1 Definition und Funktionsmerkmale von Gewichten aus Wolframlegierungen

Gegengewichte aus Wolframlegierungen sind üblicherweise hochdichte Legierungsmaterialien, die aus Wolfram (W) als Matrixelement und einem bestimmten Anteil an Bindemetallen (wie Nickel (Ni), Eisen (Fe), Kupfer (Cu) usw.) bestehen. Durch Umformung, Sinterung und Veredelung werden sie zu Funktionskomponenten mit spezifischen geometrischen Abmessungen und Massen verarbeitet. Sie werden hauptsächlich zur Herstellung struktureller Gegengewichte, zum Massenausgleich, zur Trägheitskontrolle und zur Schwingungsdämpfung eingesetzt.

Wolframlegierungen werden im modernen High-End-Gerätebau und in der **Feinmechanik häufig als Ersatz für herkömmliche Gegengewichtsmaterialien eingesetzt**. Grund dafür sind ihre hervorragenden **physikalischen Eigenschaften** (hohe Dichte und geringe Größe), **mechanischen Eigenschaften** (hohe Festigkeit und gute Härte), **ihre Umweltverträglichkeit** (Korrosionsbeständigkeit und hohe Temperaturbeständigkeit) und ihre Umweltverträglichkeit (nicht radioaktiv, ungiftig und unbedenklich). Wolframlegierungen haben sich zu einer wichtigen Gegengewichtslösung in **der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie, der Medizintechnik, militärischen Systemen und hochwertigen zivilen Produkten entwickelt**.

Zu den wichtigsten Funktionen gehören:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Hohe Dichte und geringes Volumen** : Wolframlegierungen haben eine Dichte von **17,0–18,5 g/cm³** , was dem 1,6-fachen von Blei und dem 2-fachen von Stahl entspricht. Sie ermöglichen eine größere Gegengewichtswirkung auf begrenztem Raum und eignen sich besonders für Systeme mit begrenztem Platz und kontrollierter Masse.
- **Bearbeitbarkeit und strukturelle Steuerbarkeit** : Durch Bearbeitung, Funkenflug, 3D-Druck usw. können komplexe Strukturen hergestellt werden, um den Anforderungen speziell geformter Gegengewichte gerecht zu werden.
- **Gute mechanische Eigenschaften** : Zugfestigkeit bis zu **700–1200 MPa** , Härte über **300 HV** und gute Schlagzähigkeit und Dauerfestigkeit.
- **Hohe Temperaturstabilität und chemische Inertheit** : Es kann lange Zeit in einer thermischen Umgebung von **400–800 °C eingesetzt werden und ist in den meisten sauren und alkalischen Umgebungen stabil.**
- **Elektromagnetische Abschirmung und geringe magnetische Interferenz** : geeignet für Präzisionsstrukturen wie Gegengewichte elektronischer Instrumente und Gyroskop-Ausgleichssysteme.
- **Grün, umweltfreundlich und recycelbar** : enthält kein Blei und keine schädlichen Schwermetalle und entspricht internationalen Umweltschutzrichtlinien wie RoHS und REACH.

1.2 Grundkenntnisse zu schweren Wolframlegierungen (W-Ni-Fe / W-Ni-Cu usw.)

Gegengewichte aus Wolframlegierungen bestehen hauptsächlich aus zwei Arten von hochspezifischen Legierungsmaterialien auf Wolframbasis: **W-Ni-Fe (Wolfram-Nickel-Eisen) und W-Ni-Cu (Wolfram-Nickel-Kupfer)** . Sie bieten unterschiedliche Vorteile hinsichtlich mechanischer, elektromagnetischer und korrosionsbeständiger Eigenschaften und eignen sich für unterschiedliche Anwendungsszenarien.

W-Ni-Fe-Wolframlegierung

- **Zusammensetzungsmerkmale** : Typisches Verhältnis ist W (90–97 Gew.-%) + Ni (3–5 Gew.-%) + Fe (1–3 Gew.-%)
- **Leistungsvorteile** :
 - Hohe Festigkeit, Zugfestigkeit kann **1000–1200 MPa erreichen**
 - Hohe Streckgrenze, geeignet für tragende oder schlagfeste Konstruktionen
 - Gute Verschleißfestigkeit, geeignet für militärische und luftfahrttechnische Strukturteile
- **Typische Anwendungen** : Trägheitsschwungräder, Gegengewichte am Heckruder von Raketen, Flugsteuerungssysteme, Kreiselstabilisierungsmodule usw.

W-Ni-Cu-Wolframlegierung

- **Zusammensetzungsmerkmale** : W (90–97 Gew.-%) + Ni (3–5 Gew.-%) + Cu (2–4 Gew.-%)
- **Leistungsvorteile** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Bessere Leitfähigkeit, geeignet für den elektrischen Kontakt mit Gegengewichten
- Geringe magnetische Störungen, geeignet für elektronische Präzisionssysteme
- Starke Korrosionsbeständigkeit, geeignet für hohe Luftfeuchtigkeit oder Meeresumgebung
- **Typische Verwendungszwecke** : Gegengewichte für die Nuklearmedizin, CT-Scan-Geräte, EMI-Schutzausrüstung, zivile Ausgleichsgeräte usw.

Wolframlegierungssysteme wie W-Ni-Co, W-Cu-Re und W-Polymer wurden in den letzten Jahren entwickelt, um ihre Gegengewichtsfunktionen im 3D-Druck, bei selbstheilenden Materialien und bei extremen Arbeitsbedingungen zu erweitern.

1.3 Haupttypen und Produktformen von Wolframlegierungsgewichten

Gegengewichte aus Wolframlegierungen können je nach Anwendungsanforderungen und strukturellen Merkmalen in die folgenden Kategorien unterteilt werden:

Klassifizierung nach Zweck:

- **Strukturelles Gegengewicht** : Wird zur Einstellung des Schwerpunkts und zur Trägheitskontrolle von Geräten verwendet, z. B. als Gegengewicht für Querruder von Flugzeugen und als Gegengewicht für F1-Rennchassis
- **Schutzgewicht** : Es hat sowohl Abschirm- als auch Gewichtsausgleichsfunktionen, wie z. B. das Gewicht des Strahlentherapiegerätkörpers
- **Dynamisches Gegengewicht** : Muss sich an Bewegungen anpassen oder auf diese reagieren, wie z. B. Kreiselkardanringe und Gegengewichtskomponenten von Kamerastabilisatoren
- **Weltraumgegengewicht** : wird für hochpräzise Strukturen mit strengen Platzbeschränkungen verwendet, wie z. B. medizinische Sonden und Kreiseinheiten
- **Einstellbares Gegengewicht** : Wird in Verbindung mit Schrauben, Schlitten und anderen Strukturen verwendet, um Gewicht und Position anzupassen, wie zum Beispiel bei Schießgeräten

Klassifizierung nach Form:

- **Block** : Standardquader, Würfel, Zylinder, leicht stapelbar und kombinierbar
- **Ring** : Wird häufig in Rotationsausgleichssystemen wie Gyroskopen und Generatorrotoren verwendet
- **Stange/Stift** : Wird zur lokalen Gewichtung oder Feinabstimmung des Gleichgewichts verwendet, einfach einzusetzen
- **Einsatztyp** : eingebettet in Kunststoff- oder Verbundstrukturen, wie z. B. Gegengewicht eines OIS-Kameramoduls
- **Speziell geformte Teile** : CNC-angepasst entsprechend der tatsächlichen Struktur, wie z. B. Raketensteuerungsheck, Flugsteuerungs-Gegengewichtskabinenstruktur

Einteilung nach Verarbeitungsform:

- **Pulvermetallurgie-Presstyp**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- CNC-Finishing-Typ
- Art der Funkenerosion (EDM)
- 3D-Druck Additive Fertigung

1.4 Vergleich zwischen Gegengewichten aus Wolframlegierung und herkömmlichen Gegengewichtsmaterialien (Blei, Stahl, Kupfer usw.)

Material	Dichte (g/cm³)	Stärke	Umweltschutz	Maßkontrolle	Elektromagnetische Störungen
Wolframlegierung	17,0–18,5	Hoch (700–1200 MPa)	<input checked="" type="checkbox"/> Ungiftig	Ausgezeichnet (±0,01 mm)	Sehr niedrig (für elektronische Geräte)
führen	11.3	Niedrig (<100 MPa)	<input checked="" type="checkbox"/> Giftig	allgemein	Hoch, leicht zu stören
Stahl	7.8	Mittel bis hoch	<input checked="" type="checkbox"/>	Gut	Mitte
Kupfer	8.9	Mitte	<input checked="" type="checkbox"/>	Gut	Mäßig
Aluminium	2.7	Mittel-niedrig	<input checked="" type="checkbox"/>	exzellent	Sehr niedrig

Wie aus der Tabelle ersichtlich, ist Wolframlegierung herkömmlichen Gegengewichtsmaterialien hinsichtlich **spezifischem Gewicht, Größenkontrolle, Sicherheit, Umweltschutz und Entstörungsfähigkeit überlegen**. Es eignet sich besonders für Anwendungen, bei denen **ein kleines Volumen und eine große Masse erforderlich sind**, und stellt eine wichtige Alternative zu modernen hochwertigen Gegengewichtsmaterialien dar.

1.5 Nationale und internationale Normen und Benennungssysteme für Wolframlegierungen

Für Gewichte aus Wolframlegierungen hat sich ein relativ ausgereiftes Standardsystem herausgebildet, das hauptsächlich nationale Standards (GB), Industriestandards (HB, YS), internationale Standards (ASTM, MIL, ISO) usw. umfasst.

Chinesisches Standardsystem:

- **GB/T 24187-2009** Schwere Wolframlegierung
- **YS/T 798-2012** Schweres Wolframlegierungspulver
- **HB/Z 99-2018** Technische Spezifikationen für schwere Wolframlegierungen für die Luftfahrt
- **JB/T 10647-2006** Allgemeine technische Spezifikationen für Gegengewichte aus Wolframlegierungen

Internationales Standardsystem:

- **ASTM B777-15** : Standard-Spezifikation für Wolfram-Schwermetalllegierungen
- **MIL-T-21014D** : Militärische Spezifikation – Wolframbasierte Legierungen mit hoher Dichte
- **ISO 22068:2010** : Wolfram und Wolframlegierungen – Begriffe und Klassifizierung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Namensbeispiel:

- **W_{Ni}Fe₉₀** : Gibt an, dass der Wolframgehalt 90 % beträgt und der Rest aus der Ni- und Fe-Bindungsphase besteht (im Allgemeinen Ni:Fe = 7:3).
- **W-Ni-Cu 93/4/3** : bezeichnet eine ternäre hochdichte Legierung aus 93 % Wolfram, 4 % Nickel und 3 % Kupfer
- **WHAS-Klasse 1–4** (ASTM-Klassifizierung): von geringer Festigkeit (Klasse 1) bis hoher Festigkeit (Klasse 4)

Darüber hinaus haben verschiedene Unternehmen und Länder auch ihre eigenen spezifischen Marken, wie zum Beispiel:

- TWM-Serie (Wolfram-Gewichtsmaterial) aus **China Tungsten**
- Die Densimet ®-Reihe von **Plansee**
- **HC Starcks** Tungsten Heavy Alloy-Serie

Bei tatsächlichen technischen Anwendungen sollte die Auswahl auf **der Einsatzumgebung, den mechanischen Anforderungen und den Kostenabwägungen basieren** und mit Standardanforderungen und Unternehmensparametern kombiniert werden, um die optimale Materialübereinstimmung zu erreichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 2 Physikalische und chemische Eigenschaften von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

Die einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften von Wolframlegierungen bilden ihren Kernwert in verschiedenen Gegengewichtsanwendungen. In diesem Kapitel wird die Leistungsfähigkeit von Gegengewichten aus Wolframlegierungen anhand von sechs Aspekten umfassend analysiert: Dichtekontrolle, mechanische Eigenschaften, Wärmeleitfähigkeit, elektromagnetische Eigenschaften, Umwelanpassungsfähigkeit und dynamisches Verhalten. Dies schafft eine wissenschaftliche Grundlage für die anschließende Designauswahl, technische Anwendung und Systemintegration.

2.1 Dichte und Qualitätskontrolleigenschaften (>17 g/cm³)

Das auffälligste Merkmal von Gewichten aus Wolframlegierungen ist ihre extrem hohe Dichte. Die Dichte der häufig verwendeten Wolframlegierungen W-Ni-Fe oder W-Ni-Cu liegt zwischen 17,0 und 18,5 g/cm³ und liegt damit nahe an der von reinem Wolfram (19,3 g/cm³) und deutlich höher als die von Stahl (7,8 g/cm³), Kupfer (8,9 g/cm³) oder Blei (11,3 g/cm³).

Dichtevorteil:

- **Kleines Volumen führt zu großer Masse** : Dies trägt dazu bei, eine präzise Gewichtsverteilung in Szenarien mit begrenztem Strukturraum zu erreichen, wie etwa bei Flugzeugquerrudern, Raketensteuerrudern, Präzisionsgyroskopen usw.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Verbesserung der Trägheit** : Die hohe kinetische Energie und Trägheit, die durch die hohe Dichte bedingt sind, tragen zur störungsfreien Stabilität des Bewegungssystems bei und eignen sich besonders für Situationen passiver Stabilität, die eine „Massenkollision“ erfordern (wie Stoßdämpfung und Rückstoßkontrolle).
- **Ersatz gleicher Qualität** : Bei gleichen Qualitätsanforderungen beträgt das von der Wolframlegierung eingenommene Volumen nur 60 % des Bleis und 40 % des Stahls, was der strukturellen Kompression und dem integrierten Design förderlich ist.

Methode zur Dichtekontrolle:

- Während der Pulvermetallurgie-Pressphase wird die Dichte des Vorformlings durch **den Formdruck (500–1000 MPa) und die Technologie des heißisostatischen Pressens (HIP) präzise gesteuert.**
- Während des Sinterprozesses wird **Flüssigphasensintern** (Temperaturbereich: 1400–1500 °C) verwendet, um die Porenbildung zu unterdrücken und eine Mikroporositätskontrolle von ****<0,5 %**** zu erreichen;
- Die Dichtepfung des fertigen Produkts erfolgt nach **der Archimedes-Methode (ASTM B962)** . Die Genauigkeit liegt im Bereich von **±0,01 g/cm³** . Für einige High-End-Anwendungen muss der Messfehler unter 0,5 % liegen.

Daten aus dem Jahr 2025 zeigen, dass die Dichte der von China Tungsten Intelligence unabhängig entwickelten Gegengewichtsblöcke aus hochdichter Wolframlegierung einen industriellen Chargenkontrollbereich von **17,8–18,2 g/cm³ erreicht hat** und damit die Anforderungen der Luft- und Raumfahrt sowie der Hochenergiephysik vollständig erfüllt.

2.2 Mechanische Eigenschaften (Zugfestigkeit, Härte, Schlagzähigkeit)

Wolframlegierungen weisen nicht nur eine hohe Dichte auf, sondern verfügen auch über hervorragende mechanische Eigenschaften und können in lasttragenden, stoßfesten und verformungsbeständigen Situationen stabil arbeiten.

Zugfestigkeit:

- Typische Zugfestigkeit des W-Ni-Fe-Systems: **900–1200 MPa** ;
- Das W-Ni-Cu-System liegt etwas niedriger, etwa **700–950 MPa** ;
- Nach der Verstärkung mit Nanopartikeln oder der Optimierung des Flüssigphasensinterns kann die Zugfestigkeit einiger hochfester Wolframlegierungen **>1400 MPa erreichen** ;
- **Die Streckgrenze liegt meist über 800 MPa** , was für Arbeiten unter Druck oder in Vibrationsumgebungen geeignet ist.

Härte:

- Vickershärte (HV10) Bereich **300–450 HV** ;
- Nach einer Oberflächenhärtungsbehandlung (z. B. TiN-Beschichtung) kann es **>500 HV erreichen** ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Es ist um ein Vielfaches härter als Blei (~50 HV) und Stahl (~200 HV) und eignet sich daher besser für Montageumgebungen, in denen langfristige Verschleiß- und Druckfestigkeit erforderlich ist.

Schlagzähigkeit:

- Schlagenergie (Typ Charpy V) etwa **10–30 J/cm²** ;
- Der Izod-Schlagtest (ASTM E23) zeigt, dass seine Schlagzähigkeit für dynamische Gewichtssysteme geeignet ist, wie z. B. das Heck einer Raketenhülle, stoßfeste Strukturen in Autos usw.

Die mechanischen Eigenschaften werden maßgeblich von Faktoren wie Sinterdichte, Bindephasenverhältnis, Korngröße usw. beeinflusst. Untersuchungen im Jahr 2024 haben gezeigt, dass die mechanischen Eigenschaften des Materials optimal sind, wenn die Sintertemperatur auf **1450 °C geregelt wird** und das Bindephasenverhältnis Ni:Fe = 7:3 beträgt.

2.3 Thermische Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient)

Wolframlegierungen weisen eine gute thermische Stabilität in Umgebungen mit hohen Temperaturen oder thermischen Zyklen auf und eignen sich für Gegengewichtssysteme mit konzentrierter Wärmebelastung, wie etwa die Peripherie von Flugzeugtriebwerken und Kernenergiesysteme.

Wärmeleitfähigkeit:

- W-Ni-Fe: **70–90 W/m·K**
- W-Ni-Cu: Bessere Wärmeleitfähigkeit, bis zu **100–130 W/m·K**
- Hohe Wärmeleitfähigkeit erleichtert die schnelle Ableitung von Wärmeenergie und reduziert lokale Spannungsakkumulation

Wärmeausdehnungskoeffizient:

- Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE): **4,5–6,5 × 10⁻⁶ /K**
- Gute Kompatibilität mit Strukturmaterialien wie Titan und Stahl, um strukturelle Fehlanpassungen durch thermische Ausdehnung und Kontraktion zu vermeiden;
- Die Größe ändert sich bei hohen Temperaturen kaum, wodurch die Genauigkeitsstabilität gewährleistet wird.

Der thermische Zyklustest 2023 (-50 °C ↔ 500 °C) zeigte, dass der Maßfehler der Gegengewichtsstruktur aus Wolframlegierung nach 1000 Zyklen immer noch im Bereich von **±0,02 mm lag**.

2.4 Elektrische und magnetische Eigenschaften

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungen verfügen über eine moderate Leitfähigkeit und steuerbare magnetische Eigenschaften und die Materialien können entsprechend unterschiedlicher Designanforderungen angepasst werden.

Elektrische Eigenschaften:

- Spezifischer Widerstand: **3,5–6,0 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$** ;
- W-Ni-Cu hat eine bessere Leitfähigkeit als das W-Ni-Fe-System;
- Bei Designs, die Antistatik, Blitzschutz oder EMV-Kompatibilität erfordern, kann eine Wolframlegierung sowohl als Gegengewicht als auch als Funktionalität dienen.

Magnetische Eigenschaften:

- Das W-Ni-Fe-System verfügt über eine gewisse magnetische Permeabilität und eignet sich für Komponenten, die mit magnetisch empfindlichen Elementen abgestimmt werden müssen.
- W-Ni-Cu ist **ein schwach magnetisches Material** (fast nicht magnetisch), das für Präzisionsgyroskope, magnetisch empfindliche Komponenten, MRT-Geräte usw. geeignet ist.
- Die magnetische Reaktion kann durch Auswahl und Anpassung des Verhältnisses der Bindephase gesteuert werden.

Tests im Jahr 2024 zeigten, dass die magnetische Permeabilität einer schwach magnetischen Wolframlegierung auf **<1,02 geregelt werden kann** und damit die strengen Anforderungen an Präzisionsmedizingeräte hinsichtlich „null magnetischer Interferenzen“ erfüllt.

2.5 Analyse der Korrosionsbeständigkeit und der Umweltsanpassungsfähigkeit

Aufgrund ihrer dichten Struktur und der chemischen Stabilität des Wolframelements selbst weist Wolframlegierungen eine hervorragende Korrosions- und Witterungsbeständigkeit in einer Vielzahl extremer Umgebungen auf.

Korrosionsbeständigkeit:

- Stabil gegenüber Atmosphäre, Wasserdampf und Ölumgebung;
- von Salzsprühnebel und sauren Medien (wie HCl, H₂SO₄) ist viel geringer als die von Stahl und Kupfer;
- Nach dem neutralen Salzsprühtest (5 % NaCl, 500 h) im Jahr 2023 beträgt die Dicke der Oberflächenschicht nur noch **<5 μm** , ohne nennenswerte Qualitätseinbußen;
- Durch eine zusätzliche Beschichtung (wie CrN, NiP) kann es in Meeresumgebungen oder in Umgebungen mit saurem Nebel eingesetzt werden und die Lebensdauer erhöht sich um **>5 Jahre** .

Anpassungsfähigkeit an die Umwelt:

- Kann im Bereich von **-60 °C bis +500 °C über einen langen Zeitraum stabil arbeiten** ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Gute Beständigkeit gegen ultraviolette Strahlen, Strahlung, hohe Luftfeuchtigkeit, Temperaturschock und andere Umgebungen;
- einem kombinierten Arbeitstest mit **20 g Vibration und 1000-fachem Thermoschock** unterzogen, wobei die strukturelle Integritätsrate >95 % erhalten bleibt.

2.6 Dynamisches Ansprechverhalten und Schwingungsdämpfungseigenschaften bei hoher Dichte

Wolframlegierungen weisen außerdem hervorragende dynamische Trägheitsreaktions- und Vibrationskontrollfähigkeiten auf und sind ein häufig verwendetes „inertes Einstellelement“ in Hochleistungsbewegungssystemen.

Dynamische Reaktion:

- Eine hohe Dichte verleiht eine hohe kinetische Energie und verbessert so die Störfestigkeit bei der Trägheitsregelung (wie etwa bei Trägheitsnavigationssystemen in der Luft- und Raumfahrt).
- Wird zum Ausbalancieren rotierender Teile von Flugzeugen oder Geräten verwendet, um den Bewegungspfad zu optimieren und Jitter zu reduzieren;
- Nach der Anwendung auf das Fahrgestellgewicht von F1-Rennwagen wird die Karosseriestabilität um **>15 % verbessert** (gemessene Verbesserung der Querschleunigung).

Schwingungsdämpfung:

- Die innere Struktur ist dicht, mit wenigen Mikroporen und hohem Schallwiderstand, wodurch Vibrationsenergie absorbiert werden kann.
- Im Jahr 2024 zeigten Tests an Kamerastabilisatoren und Hochleistungsteleskopen, dass Gewichte aus Wolframlegierungen die Amplitude der Mikro vibration um **30–40 % reduzierten** ;
- Gleichzeitig wird bei der Anwendung des Rotorhecks militärischer UAVs der Steuerungsfehler beim Start- und Landevorgang **um etwa 12 % reduziert** .

Durch Formdesign (z. B. T-Typ, H-Typ, eingebettet) und Optimierung der Installationsmethode kann die Wolframlegierung die Reaktionseffizienz und Resonanzdämpfungskapazität des Gegengewichtssystems in verschiedenen Achsen und Frequenzen weiter verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 3 Herstellungstechnologie für Gegengewichte aus Wolframlegierungen

Gegengewichte aus Wolframlegierungen bestimmen direkt die Dichte, die mechanischen Eigenschaften und die Maßgenauigkeit des Produkts. Dieses Kapitel konzentriert sich auf den gängigen Herstellungsprozess von Gegengewichten aus Wolframlegierungen – die Pulvermetallurgie – sowie auf wichtige technische Zusammenhänge wie Rohstoffkontrolle, Umformungsverfahren, Sinteroptimierung, Präzisionsbearbeitung und Nanoverstärkung. Es zeigt umfassend den industriellen Fertigungsweg und die Strategie zur Prozessparameterkontrolle auf.

3.1 Grundlagen und wesentliche Prozessabläufe der Pulvermetallurgie

Die Pulvermetallurgie (PM) ist die Kerntechnologie zur Herstellung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen und eignet sich besonders für die Verarbeitung von hochschmelzenden Metallen (wie Wolfram, Molybdän) und deren Verbundwerkstoffen. Bei diesem Verfahren wird Wolframpulver mit Bindemetallpulver (Ni, Fe, Cu usw.) vermischt, gepresst und gesintert, um einen Wolframlegierungsblock mit hohem spezifischen Gewicht, kontrollierbarer Form und hervorragender Leistung zu erhalten.

Der Ablauf ist wie folgt:

1. Rohstoffaufbereitung (Wolframpulver und Bindepulver)
2. Mischen und Kugelmahlen
3. Pressformen (uniaxiales, kalisostatisches Pressen, Spritzgießen)
4. Vorsintern und Flüssigphasensintern

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Bearbeitung und Wärmebehandlung
6. Oberflächenbehandlung und Maßkorrektur
7. Qualitätsprüfung und Produktlieferung

Dieses Verfahren bietet folgende Vorteile:

- Es können hochdichte Fertigprodukte mit einem Wolframgehalt von 90–97 % erreicht werden.
- Nach der Kontrolle der Sinteratmosphäre und -parameter kann die Produktdichte ≥ 99 % erreichen;
- Niedrige Kosten, hohe Anpassungsfähigkeit, geeignet zur Massenproduktion komplexer Sonderformteile und kundenspezifischer Teile in kleinen Chargen;
- Im Vergleich zum Gussverfahren ist die Porosität geringer, die Struktur gleichmäßiger und die Leistungsschwankungen gering.

3.2 Rohstoffaufbereitung und Verhältniskontrolle (Wolframpulver, Bindephase)

1) Anforderungen an die Eigenschaften von Wolframpulver:

- **Partikelgrößenverteilung:** Empfohlen wird $D_{50} = 1-10 \mu\text{m}$, für spezielle hochdichte Typen ist auch Submikronpulver ($0,5 \mu\text{m}$) erhältlich;
- **Sphärizität :** Sphärisches Pulver ($>0,85$) lässt sich leicht verdichten und weist eine gleichmäßige Sinterschrumpfung auf;
- **Spezifische Oberfläche :** $3-6 \text{ m}^2/\text{g}$ werden bevorzugt, um das Metall der Bindephase wirksam binden zu können;
- **Reinheitsanforderungen :** $W \geq 99,95 \%$, Sauerstoffgehalt $\leq 0,1 \%$, Verunreinigungen (Mo, Si, Ca usw.) $\leq 0,01 \%$.

2) Bindephasenpulver (Ni, Fe, Cu):

- Ultrafeines Pulver, hergestellt in reduzierender Atmosphäre;
- Die Partikelgröße beträgt im Allgemeinen $1-5 \mu\text{m}$, was eine hohe Kompatibilität mit Wolframpulver darstellt.
- Das Verhältnis wird entsprechend den unterschiedlichen mechanischen und magnetischen Leistungsanforderungen angepasst:

Legierungstyp	Ni:Fe /Cu-Verhältnis	Merkmale
W-Ni-Fe	7:3 oder 8:2	Hohe Festigkeit, starker Magnetismus
W-Ni-Cu	9:1 oder 8:2	Schwach magnetischer Typ, geeignet für Präzisionsinstrumente
W-Ni-Co	Einstellbar	Hochfrequenzkomponenten, starke Korrosionsbeständigkeit

3) Vormischen und Kugelmahlen:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Verwenden Sie eine Nasskugelmühle, das Lösungsmittel ist Ethanol oder Paraffin;
- Kugel-Material-Verhältnis 5:1, Kugelmahlzeit 12–24 h;
- Fügen Sie Dispergiermittel (wie PVA oder PEG) hinzu, um die Gleichmäßigkeit der Mischung zu verbessern.

3.3 Formgebungsverfahren (Formen, isostatisches Pressen, Spritzgießen etc.)

1) Uniaxiales Formpressen:

- Anwendbar auf Produkte mit Standardgeometrie wie Platten, Blöcke, Ringe usw.
- Druckbereich: **200–800 MPa** ;
- Das Formmaterial besteht aus SKD11 oder Wolframkarbidstahl, um sicherzustellen, dass es unter hohem Druck nicht reißt.
- Die Vorpressdichte kann 14–15,5 g/cm³ erreichen und die Formgenauigkeit beträgt ±0,1 mm.

2) Kaltisostatisches Pressen (CIP):

- Geeignet für große Gegengewichte mit hoher Dichte;
- Der Druck kann **300–400 MPa erreichen** , dreiseitig isobar;
- kann um ≥10 % verbessert und das Rissrisiko deutlich reduziert werden;
- Eine nachträgliche Bearbeitung, Besäumung und Maßkorrektur ist erforderlich.

3) Metallspritzguss (MIM):

- Wird für kleine komplexe Strukturen verwendet (z. B. Gewichtsplatten, Wolframblöcke mit Einlage);
- Das Pulver wird mit einem thermoplastischen Bindemittel (Paraffin + Polymer) zu Granulat vermischt;
- Spritztemperatur 150–180°C, Sintern nach dem Entbindern;
- Die Vorteile liegen in der hohen Maßgenauigkeit (±0,05 mm), der Eignung für die Massenproduktion und der hohen Formkomplexität.

3.4 Sintertechnologie (Vakuum, Flüssigphase, Atmosphärenkontrolle)

Die endgültige Verdichtung der Gewichte aus Wolframlegierungen hängt von der Hochtemperatur-Sintertechnologie ab, insbesondere vom **Flüssigphasensintern** , bei dem mithilfe niedragschmelzender Bindemetalle Flüssigphasenbrücken zwischen Wolframpartikeln gebildet werden können, um den Sinterverdichtungsprozess zu beschleunigen.

Sinteranlage:

- Vakuum-Sinterofen (unter 10⁻⁴ Pa)
- Wasserstoffschutzofen (Reinheit ≥ 99,999 %)
- Temperaturregelgenauigkeit ±5°C, Temperaturgleichmäßigkeit im Ofen ±10°C

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinterparameter:

- Temperaturbereich: **1400–1500 °C**
- Haltezeit: 4–12 h, je nach Größe
- Heizrate: 5–10°C/min zur Vermeidung von Rissbildung
- Kühlmethode: natürliche Kühlung oder Ofenkühlung

Atmosphärenkontrolle:

- **Wasserstoff** : starke reduzierende Eigenschaft, verhindert Oxidation, geeignet für hochreine Wolframlegierungen
- **Vakuum** : Geeignet für schwach magnetische oder sauerstoffarme Produkte
- **Inertgas (Ar/N₂)** : wird für Produkte mit hoher Legierungsstabilität verwendet

Methode zur Verbesserung der Sinterdichte:

- Flüssigphasen-Hilfsstoffe hinzufügen (Anpassung des Ni-, Cu-Verhältnisses);
- Verwenden Sie voraktivierte Sinterhilfsmittel (wie Cr, Ti).
- In einer Vorsinterphase (600–800 °C) werden Verunreinigungen und Oxidschichten entfernt.

Nach dem Sintern beträgt die Produktdichte üblicherweise **17,5–18,3 g/cm³**, die Mikroporosität beträgt <0,5 % und die Härte- und Festigkeitsindikatoren können den Luftfahrtstandard erreichen.

3.5 Bearbeitungs- und Maßbearbeitungstechnologie

Wolframlegierungen weisen eine hohe Härte und große Sprödigkeit auf und ihre Verarbeitung ist wesentlich schwieriger als bei gewöhnlichen Metallen, da sie den Einsatz von Spezialwerkzeugen, Kühlmitteln und Prozessabläufen erfordern.

1) Traditionelles Schneiden:

- **Drehen** : Verwenden Sie Hartmetallwerkzeuge, Geschwindigkeit <100 m/min, Schnitttiefe ≤0,3 mm;
- **Fräsen** : Empfohlen werden Schaftfräser mit Emulsionskühlung;
- **Bohren/Gewindebohren** : niedrige Vorschubgeschwindigkeit, verwenden Sie eine Bohrerbeschichtung (TiAlN), um die Lebensdauer des Bohrers zu erhöhen;
- Die bearbeitete Oberflächenrauheit kann Ra 1,2–3,2 µm erreichen.

2) Schleifen und Polieren:

- Diamantscheibenschleifen, hohe Effizienz und geringe thermische Verformung;
- Das Polieren erfolgt mit einer Aluminiumoxid-/Ceroxid-Aufschlämmung und die Präzision wird auf Ra 0,5 µm kontrolliert.

3) Funkenerosion (EDM):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Geeignet für Teile mit Sonderformen, tiefe Löcher und kanalartige Gegengewichtskomponenten;
- Die Elektrodenmaterialien bestehen meist aus Graphit oder Kupfer mit einem Abstand von 0,1–0,2 mm;
- Die Oberflächenrauheit kann Ra 0,6 µm erreichen, was für Präzisionsteile medizinischer Geräte geeignet ist.

4) 3D-Dimensionskorrektur und Laserformung:

- Hochwertige Gegengewichtsprodukte wie hochpräzise Kollimatoren und Trägheitsblöcke verwenden Laserkorrekturtechnologie;
- Die Maßgenauigkeit kann ±0,01 mm erreichen.

3.6 Nanotechnologie und hochdichte Verstärkungsmethoden

Um die Grenzen der traditionellen Pulvermetallurgie zu durchbrechen und die Leistung von Wolframlegierungen hinsichtlich **hoher Festigkeit, geringer Größe und Verbundfunktionen zu verbessern**, sind Nanotechnologie und Methoden zur Gewebeerstärkung in den letzten Jahren zu Forschungsschwerpunkten geworden.

Nano-Verbesserungsmechanismus:

- Nanopartikel (wie Nano-Wolframpulver, Nano-Wolframkarbid) können die Sinteraktivität und die Korngrenzenbindung verbessern;
- Nanoverstärkte Wolframlegierungen können die Zugfestigkeit um bis zu 15 % und die Härte um etwa 20 % erhöhen;
- Bei der China Tungsten Intelligent Manufacturing 2024-Verifizierung erhöhte sich nach Zugabe von 2 Gew.-% Nano-Wolframpulver (<100 nm) die Dichte um 0,3 g/cm³ und die Mikroporosität verringerte sich um 35 %.

Verdichtungsverstärkung bedeutet:

- **Heißisostatisches Pressen (HIP)** : Nachverdichtung bei hoher Temperatur und hohem Druck (1500 °C/100 MPa);
- **Mehrstufiges Sintern** : Vorsintern bei niedriger Temperatur – Keimbildung bei mittlerer Temperatur – Verdichtung bei hoher Temperatur, um eine Kornvergrößerung zu vermeiden;
- **Schnelles Sintern (SPS)** : Durch die Verwendung von Impulsstrom zum sofortigen Erhitzen beträgt die Sinterzeit <10 Minuten und die Korngröße wird im Bereich von 1–3 µm gesteuert.

Funktionale Verbundrichtung:

- Einführung von Graphen-/Kohlenstoffnanoröhren zur Verbesserung der Leitfähigkeit und der elektromagnetischen Abschirmleistung;
- Hinzufügen von Seltenelementen (wie La und Y) zur Verbesserung der Antioxidationsmittel- und Hochtemperaturbeständigkeit;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Oberflächen-Nanobeschichtungen (wie TiN, B₄C) verbessern die Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit.


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 4 Leistungstests und Qualitätsbewertung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

Gegengewichte aus Wolframlegierungen in High-End-Geräten unterliegen extrem hohen Anforderungen. Ihre geometrische Genauigkeit, mechanische Festigkeit, Komponentenreinheit und Mikrostruktur bestimmen direkt die Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Gegengewichtssystems. Daher sind bei der Herstellung und Anwendung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen systematische Leistungsprüfungen und wissenschaftliche Qualitätsbewertungsmethoden unerlässlich. Dieses Kapitel stellt die wichtigsten Zusammenhänge wie geometrische Größen- und Dichteprüfung, mechanische Leistungsstandards, metallografische Analyse, Komponentenprüfung, Oberflächenqualitätskontrolle und zerstörungsfreie Prüfung detailliert vor, um ein umfassendes Bewertungssystem zu bilden.

4.1 Geometrische Abmessungen und Dichteproofverfahren

Gewichte aus Wolframlegierungen werden häufig in Systemen mit begrenztem Platzangebot oder eingeschränkter Gewichtsempfindlichkeit eingesetzt, daher sind Maßgenauigkeit und Dichtegleichmäßigkeit entscheidend. Zu den gängigen geometrischen Messmethoden gehören Messschieber, Laserinterferometer und Koordinatenmessgeräte (KMGs) mit einer Messgenauigkeit von bis zu $\pm 0,01$ mm. Bei komplexen geometrischen Strukturen können industrielle optische Scansysteme auch zur Konturanalyse eingesetzt werden, um eine berührungslose, hochpräzise dreidimensionale Erfassung zu ermöglichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aufgrund ihrer hohen Dichte und Schwermetalleigenschaften muss die Dichte von Wolframlegierungen mit hochpräzisen Methoden geprüft werden. Die am häufigsten verwendete Methode ist das Archimedes-Verfahren, das sich für dichte Sinterkörper eignet. Die Berechnungsformel lautet: $\rho = \frac{G}{V}$, wobei G das Gewicht in Luft bzw. Wasser darstellen.

In anspruchsvollen Anwendungen, wie beispielsweise in der Nuklearindustrie oder in der Luftfahrt, können auch Röntgendichte-Fluoroskopie, Laserdichte-Bildgebungstechnologie und Mikrowaagen-Differenzmessung eingesetzt werden, um eine gleichmäßige Dichteverteilung sicherzustellen und Leistungseinbußen durch lokale Hohlräume zu vermeiden.

4.2 Prüfnormen für mechanische Eigenschaften (ASTM, ISO)

Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung und Härte von Wolframlegierungen sind wichtige Indikatoren für die Bewertung ihrer Tragfähigkeit. Gemäß den Normen ASTM B777 und ISO 6892 wird für die Zugprüfung eine universelle Materialprüfmaschine verwendet. Die Probenform besteht meist aus Rundstäben (6 mm Durchmesser und 60 mm Länge). Belastungsgeschwindigkeit und Umgebungstemperatur werden während der Prüfung kontrolliert.

Zur Härteprüfung wird üblicherweise das Vickers-Härteverfahren (HV10) verwendet. Dabei werden Durchschnittswerte von mehr als drei Punkten an verschiedenen Stellen ermittelt, um die Gleichmäßigkeit zu bewerten. Für einige hochfeste Wolframlegierungen wird ergänzend das Brinell-Härteverfahren (HBW) oder das Knoop-Härteverfahren (HK) verwendet, um die Prüfanforderungen unter unterschiedlichen Belastungen zu erfüllen.

Die Prüfung der Schlagzähigkeit wird bei Raumtemperatur oder niedrigen Temperaturen (z. B. -40 °C) anhand von Charpy-V-Proben oder der Izod-Methode durchgeführt, um die Bruchfestigkeit zu ermitteln. Dies ist besonders für militärische und luftfahrttechnische Anwendungen mit hoher dynamischer Belastung geeignet.

Darüber hinaus gewinnen auch Ermüdungsprüfungen (Hochlast- und Niedriglastprüfung) sowie Kriechversuche zunehmend an Bedeutung. Im Jahr 2024 haben viele Unternehmen zyklische Belastungsprüfungen in ihre Prozessprüfungen integriert. Zu den Prüfnormen gehören ASTM E466, ISO 1099 usw.

4.3 Metallografische Struktur- und Mikrostrukturerfassung

Durch die Beobachtung der Sinterstruktur mittels metallografischem Mikroskop (OM), Rasterelektronenmikroskop (SEM) und Elektronenstrahlmikroskopie (EPMA) können Strukturmerkmale wie Korngröße, Porosität, Phasenverteilung usw. beurteilt werden. Die Gleichmäßigkeit der Struktur steht in direktem Zusammenhang mit den mechanischen Eigenschaften und der Betriebsstabilität.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die optische Metallographie (OM) dient in der Regel der vorläufigen Identifizierung von Korngrenzen und Zweiphasenverteilungen. Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) liefert hochauflösende Bilder zur Beobachtung von Poren, Rissquellen und intermetallischen Phasen. Die energiedispersive Spektroskopie (EDS) in Kombination mit REM dient der Analyse der Grenzflächenzusammensetzung. Die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) ermöglicht die Beobachtung von nanopräzipitierten Phasen, Versetzungsdichte und Korngrenzenstruktur und eignet sich somit für wissenschaftliche Forschung und erweiterte Evaluierungsanforderungen.

Die Partikelgrößenanalyse wird häufig in Verbindung mit Bildverarbeitungssoftware (wie etwa ImageJ) verwendet, um die ASTM-Partikelgrößenklasse zu berechnen; bei der Porositätsanalyse kommen die Methode der Graustufenverteilung von Bildern und die Berechnung des Volumenanteils zum Einsatz und die Ergebnisse werden zur Bewertung der Sinterqualität verwendet.

4.4 Analyse der chemischen Zusammensetzung (ICP, XRF)

Um Materialkonsistenz und Betriebssicherheit zu gewährleisten, muss der W-, Ni-, Fe- (oder Cu-)Gehalt in Wolframlegierungen genau analysiert werden. Gängige Methoden sind die induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) und die Röntgenfluoreszenzspektroskopie (XRF).

ICP-MS verfügt über eine extrem hohe Empfindlichkeit und kann Verunreinigungen im ppm- oder sogar ppb-Bereich (wie Mo, Pb, Ca, Si, C usw.) messen. Dies eignet sich für Anwendungen in der Kernenergie, der Luft- und Raumfahrt sowie der High-End-Medizin. Wolframlegierungen für Gegengewichte erfordern üblicherweise eine Abweichung des Hauptelementgehalts von weniger als $\pm 0,2\%$ und einen Gesamtverunreinigungsgehalt von weniger als $0,1\%$.

Mithilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse lässt sich der Gehalt der Hauptbestandteile einer Legierung schnell bestimmen und eignet sich für die Chargenüberwachung im Produktionsprozess. Sie ist zerstörungsfrei und schnell. Um den Einfluss von Oberflächenoxidation zu vermeiden, ist es häufig erforderlich, die Probe zu polieren oder in einer Argon-Schutzatmosphäre zu testen.

Außerdem ist eine Kohlenstoff- und Schwefelanalyse (CS) erforderlich, um den Gasgehalt zu kontrollieren und zu verhindern, dass Oxidation oder Einschlüsse die Struktur und die Betriebsleistung beeinträchtigen.

4.5 Kontrolle der Oberflächenqualität und Rauheit

Gewichte aus Wolframlegierungen werden häufig in eng anliegenden Teilen verwendet. Ihre Oberflächenqualität beeinflusst direkt die Montagegenauigkeit und die Betriebsstabilität. Die Oberflächenrauheit wird oft als Ra-Wert angegeben, der Zielwert liegt üblicherweise bei $0,8\text{--}1,6\ \mu\text{m}$. Zu den Prüfmethoden gehören Rauheitsprüfer mit Taststift, Weißlichtinterferometer und Laser-Konfokalmikroskop.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Für anspruchsvolle Anwendungen wie Gegengewichte von Kreiseln in der Luft- und Raumfahrt und Ausgleichsblöcke für CT-Geräte kann ein Ra-Wert von unter $0,4 \mu\text{m}$ erforderlich sein. Bei der Oberflächenprüfung ist auch auf Mikrorisse, Ablösungen, Oxidationsflecken, Bearbeitungsspuren und Messerspuren zu achten. Um die Prüfeffizienz zu verbessern, ist die Kombination des visuellen Prüfsystems mit dem automatischen Fehlererkennungsalgorithmus erforderlich.

Wenn eine Oberflächenbeschichtung (wie etwa NiP, Cr, TiN usw.) verwendet wird, um die Verschleißfestigkeit oder Korrosionsbeständigkeit zu verbessern, sollten auch Haftungstests (ASTM D3359), Dickenmessung (magnetische Induktion oder XRF) und eine Bewertung der Beschichtungsgleichmäßigkeit durchgeführt werden.

4.6 Zerstörungsfreie Prüftechnik (Ultraschall, Röntgen)

Bei wichtigen Strukturkomponenten müssen zerstörungsfreie Prüfungen durchgeführt werden, um innere Defekte zu erkennen. Gängige Methoden sind:

- Ultraschallprüfung (UT): Analyse innerer Poren, Einschlüsse und Risse durch Ausbreitung hochfrequenter Schallwellen, geeignet für große oder dickwandige Gegengewichte;
- Röntgenprüfung (RT): hochauflösendes Bildgebungsverfahren, mit dem Delamination, Ablösung, Löcher und unvollständig gesinterte Bereiche identifiziert werden können;
- Industrielles CT-Scanning: Es wird eine 3D-Bildgebung erreicht, die sich für die Fehleranalyse komplexer Formen und Mikrokomponenten eignet. Mit KI-Algorithmen ist eine automatische Fehlerklassifizierung und -verfolgung möglich.
- Magnetpulverprüfung (MT) und Eindringprüfung (PT): Werden zum Erkennen von Rissen an der Oberfläche oder unter der Oberfläche verwendet und kommen häufig in der letzten Prozesskontrollphase zum Einsatz.

In der Praxis werden häufig mehrere NDT-Methoden zu einem umfassenden Prüfsystem kombiniert. Beispielsweise umfasst der Prüfprozess eines Gegengewichtsbauteils in der Luftfahrt eine Ultraschall-, CT- und Oberflächenfehlererkennung. Dies erhöht die Erfolgsquote um 15 % und reduziert die Nacharbeitsquote deutlich.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Leistungstest- und Qualitätsbewertungssystem für Gegengewichte aus Wolframlegierungen mehrere Dimensionen abdecken sollte, darunter makroskopische Größe, Mikrostruktur, physikalische und chemische Eigenschaften sowie die allgemeine Zuverlässigkeit. Dies bildet die Grundlage für einen stabilen Betrieb unter extremen Bedingungen. Da die Anforderungen an Zuverlässigkeit, Rückverfolgbarkeit und Chargenkonsistenz von Gegengewichten stetig steigen, wird die zukünftige Qualitätsbewertung verstärkt auf die Integration mehrerer Technologien, intelligente Erkennung und datenbasierte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Analysemethoden setzen, um die digitale und intelligente Weiterentwicklung der Herstellung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen zu unterstützen.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

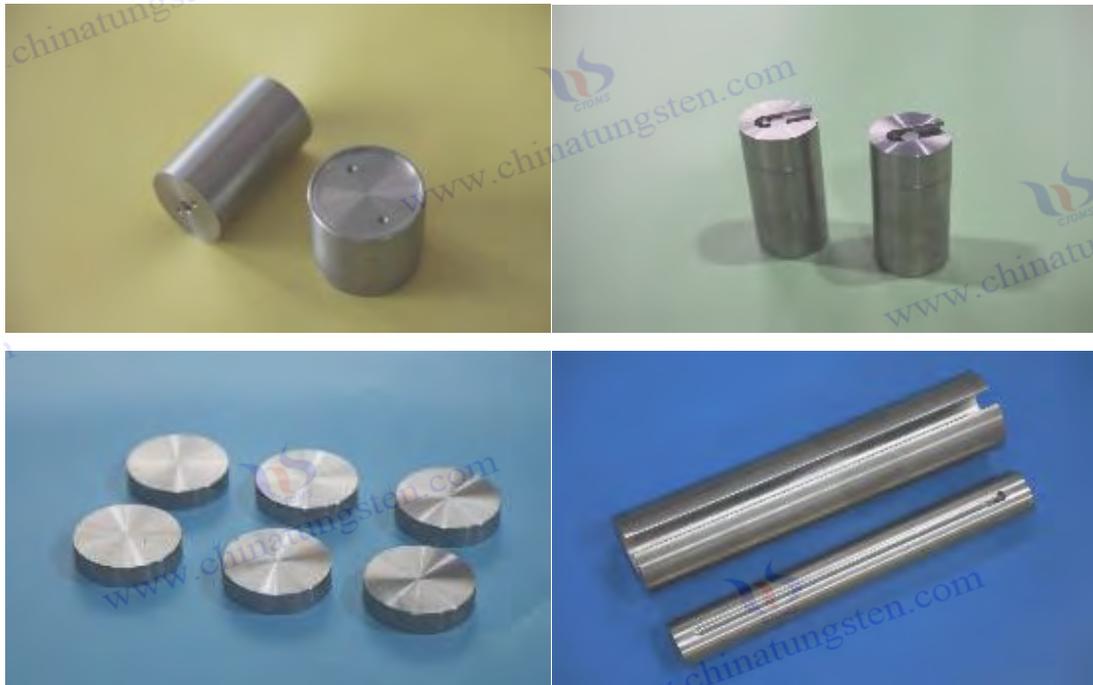
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Kapitel 5 Anwendung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen in der Luft- und Raumfahrt

Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit, hervorragenden Korrosionsbeständigkeit und guten thermischen Stabilität zu einem wichtigen Werkstoff für die Konstruktion von Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt entwickelt. Die sinnvolle Konstruktion und Anwendung von Gegengewichten beeinflusst nicht nur die Leistung, Sicherheit und Lebensdauer des Flugzeugs, sondern wirkt sich auch direkt auf die Reaktionsgeschwindigkeit und Genauigkeit des Flugsteuerungssystems aus. Dieses Kapitel stellt systematisch die wichtigsten Anwendungen von Gegengewichten aus Wolframlegierungen in Flugzeugen, Satelliten, Raketen und Verteidigungswaffensystemen vor.

5.1 Einstellung des Flugzeugschwerpunkts und des Flugsteuerungsausgleichsgewichts

Bei der Konstruktion und dem Betrieb moderner Flugzeuge ist die präzise Steuerung des Flugzeugschwerpunkts eines der wichtigsten Elemente für Flugsicherheit und -leistung. Insbesondere bei Hightech-Flugzeugen wie Militärflugzeugen, Geschäftsreiseflugzeugen, großen zivilen Verkehrsflugzeugen und Hyperschallflugzeugen beeinflusst ein sinnvolles Gegengewichtssystem nicht nur die Flugstabilität und Steuerempfindlichkeit, sondern bestimmt auch direkt die strukturelle Lebensdauer und die Betriebskosten des Flugzeugs. Gegengewichte aus Wolframlegierungen sind aufgrund ihrer hohen Dichte, geringen Größe, strukturellen Stabilität und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Umweltverträglichkeit zu einem unverzichtbaren Schlüsselmaterial für die Schwerpunkteinstellung in der Luftfahrt geworden.

5.1.1 Bedeutung des Flugzeugschwerpunktes

Als Motorflugzeug hängt die Fluglage eines Flugzeugs vom Zusammenspiel zwischen Schwerpunkt und aerodynamischem Mittelpunkt ab. Der Schwerpunkt muss innerhalb eines bestimmten Bereichs und knapp vor dem Auftriebsmittelpunkt kontrolliert werden, um Flugstabilität und gute Steuerbarkeit zu gewährleisten. Liegt der Schwerpunkt nach vorn, ist die Flugzeugnase zu schwer, der Auftrieb unzureichend und der Start erschwert. Liegt der Schwerpunkt nach hinten, kann das Heck zu schwer sein, der Nickwinkel instabil werden oder sogar zum Strömungsabriss führen.

Darüber hinaus hat der Schwerpunkt einen erheblichen Einfluss auf folgende Leistungsindikatoren:

- **Anpassung von Auftrieb und Luftwiderstand des Flugzeugs** : Durch die Exzentrizität wird der für die Lagekorrektur erforderliche Anstellwinkel erhöht, was zu zusätzlichem Luftwiderstand führt.
- **Kraftstoffverbrauch und Reichweite** : Wenn der Schwerpunkt vom Konstruktionswert abweicht, passt das automatische Flugsteuerungssystem häufig die Fluglage an, was den Kraftstoffverbrauch erhöht.
- **Flugsicherheit und strukturelle Lebensdauer** : Extreme Schwerpunktpositionen können strukturelle Ermüdungsrisse und Unfälle verursachen, die zu Kontrollverlust führen.

Daher ist es notwendig, durch präzises Gegengewichtsdesign hochdichte Massenblöcke in verschiedenen Strukturen des Rumpfes anzuordnen, um eine Feinabstimmung und Optimierung des Schwerpunkts zu erreichen.

5.1.2 Vorteile von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

Wolframlegierungen (W-Ni-Fe, W-Ni-Cu usw.) bieten aufgrund ihrer hervorragenden physikalischen und chemischen Eigenschaften folgende Vorteile in Gegengewichtssystemen von Flugzeugen:

- **Ultrahochdichte**
Wolframlegierungen haben eine Dichte von 17,0–18,5 g/cm³ und sind damit deutlich höher als herkömmliche Stahllegierungen (ca. 7,8 g/cm³) und Aluminiumlegierungen (ca. 2,7 g/cm³) und auch besser als Blei (11,3 g/cm³). Dadurch bieten Wolframlegierungen ausreichend Masse auf kleinstem Raum und eignen sich daher für komplexe und kompakte Konstruktionen wie Flügelspitzen, Ruder und Fahrwerksinnenteile.
- **Ausgezeichnete mechanische Festigkeit und Lebensdauer.**
Wolframlegierungen verfügen über eine hohe Zugfestigkeit (> 700 MPa) und eine ausgezeichnete Dauerfestigkeit. Sie halten Flügen mit hohen G-Werten, Hochgeschwindigkeitsvibrationen und langfristigen zyklischen Belastungen stand und gewährleisten so den langfristigen und stabilen Betrieb des Gegengewichts.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Anpassungsfähigkeit an Umgebungen mit hohen Temperaturen:**
Der Schmelzpunkt von Wolfram liegt bei bis zu 3410 °C und seine Legierung weist auch bei hohen Temperaturen eine ausgezeichnete thermische Stabilität auf, sodass sie sich sehr gut für Bereiche mit drastischen Temperaturunterschieden eignet, wie etwa die Motorperipherie und Bereiche mit Hochgeschwindigkeits-Luftstrom.
- **Umweltfreundlich und ungiftig.**
Im Vergleich zu bleihaltigen Materialien ist Wolframlegierung für den menschlichen Körper ungiftig und nicht radioaktiv. Sie entspricht internationalen Umweltvorschriften wie REACH und RoHS und eignet sich für Anwendungsszenarien mit strengen Umweltauflagen, wie z. B. in Zivilflugzeugen und Geschäftsreiseflugzeugen.

5.1.3 Spezifische Anwendung der Flugzeugschwerpunkteinstellung

Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden in der Luftfahrt häufig verwendet, vor allem in folgenden Bereichen:

- Während des Herstellungs- und Installationsprozesses geraten verschiedene Steuerflächen des Flugzeugs aufgrund ungleichmäßiger Massenverteilung aus dem Gleichgewicht, was die Flugsteuerungsgenauigkeit und die aerodynamische Stabilität beeinträchtigt. Gegengewichte aus **Wolframlegierung** werden in die Steuerfläche eingelassen oder an deren Hinterkante angebracht, um deren Schwerpunktlage fein einzustellen und so das statische und dynamische Gleichgewicht der Ruderfläche zu gewährleisten.
- **Das Fahrwerksfach und das interne Feinabstimmungsgegengewicht des Hauptflügels.**
Das Fahrwerk verursacht beim Ein- und Ausfahren große Schwankungen des Schwerpunkts. Im Fahrwerksfach oder in der Hauptflügelstruktur können Blöcke aus Wolframlegierung eingebaut werden, um diese Schwankung durch Präzisionsgegengewichte auszugleichen und so die Stabilität des Längsschwerpunkts während des Fluges zu gewährleisten.
- **Optimierung der Balance in Cockpit und Elektronikkabine:**
Wenn im Cockpit und im vorderen Instrumentenraum viele elektronische Komponenten angeordnet sind, wirkt die Strukturverteilung oft kopflastig und hecklastig. In diesem Fall können Gegengewichte aus Wolframlegierung am Heck oder in der Mitte angebracht werden, um den Schwerpunkt des gesamten Flugzeugs anzupassen und die Fluglagestabilität zu verbessern.
- **Die Lastanpassung bei Spezialflugzeugen,**
wie Aufklärungsdrohnen und Kampffjets, erfordert eine schnelle Gewichts-anpassung je nach Art und Position der Halterung. Das modulare Gewichtssystem aus Wolframlegierung ermöglicht eine schnelle Montage und Demontage und verbessert so die Kampfeffizienz und Flugsicherheit.
- **Mechanismus zur Kompensation des Treibstoffverbrauchs:**
Bei Langstreckenflügen führt der Treibstoffverbrauch im vorderen oder mittleren Tank zu einer Verschiebung des Schwerpunkts nach hinten. Um dies auszugleichen, können am Heck des Flugzeugs vorinstallierte Gegengewichte aus Wolframlegierung installiert

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

werden. Dadurch wird sichergestellt, dass der Schwerpunkt des gesamten Flugzeugs stets innerhalb des Sicherheitsbereichs liegt. Dies verbessert die Flugeffizienz und die Sicherheitsredundanz.

5.1.4 Überlegungen zu Design und Installation

Gegengewichte aus Wolframlegierungen in Flugzeugstrukturen müssen die folgenden Grundsätze strikt einhalten:

- **Individuelles Strukturdesign:**

Die erforderliche Gewichtsverteilung ist für jedes Flugzeugmodell und sogar jedes Flugzeug unterschiedlich. Form, Größe und Massenverteilung der Gewichtsblöcke aus Wolframlegierung müssen entsprechend dem CAD-Modell des Flugzeugs und den Finite-Elemente-Simulationsdaten angepasst werden. Gängige geometrische Formen sind lange Streifen, Blöcke, Zylinder und eingebettete Module.

- **Verbindungsmethoden und strukturell integrierte**

Gegengewichtsinstallationsmethoden verwendet:

1. **Bolzen-/Nietbefestigung** : geeignet für abnehmbare Wartungsteile der Struktur, um Reparatur oder Austausch zu erleichtern.
2. **Ummantelung und Einbettung von Verbundwerkstoffen** : Betten Sie Wolframlegierungen in Ruder oder Strukturrahmen aus Kohlefaserverbundwerkstoffen ein, um das Gewicht zu reduzieren und gleichzeitig die Hitze- und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.
3. **Einstellbares, verschiebbares Gegengewichtsmodul** : Wird in Testflugzeugen oder Versuchsflugzeugen verwendet. Die Position kann flexibel angepasst werden, um die Flugparameter zu optimieren.

- **An die Umwelt anpassbares Design:**

Flugzeuggegengewichte müssen sich an Flugbedingungen wie große Höhe und niedrigen Druck, abwechselnde Hitze und Kälte sowie starke Vibrationen anpassen. Aus diesem Grund wird die Oberfläche von Blöcken aus Wolframlegierungen üblicherweise eloxiert, fluorbeschichtet oder mit einer PVD-Beschichtung versehen, um Oxidation und Korrosion zu verhindern.

- **Redundantes Sicherheitsdesign**

Alle Gegengewichte müssen absolut zuverlässig befestigt sein und dürfen während des Fluges nicht abfallen. Bei der Konstruktion sollten mehrere redundante Mechanismen berücksichtigt werden, die den Ausfall der Verbindungsstruktur verhindern, wie z. B. Sicherungsschrauben, Begrenzungsstufen, Klebstoffe und Strukturklebstoffe.

5.1.5 Fallstudien und Entwicklungstrends

- **Fallbeispiel: Das Wolfram-Gegengewichtssystem im Heckbereich eines Langstrecken-Businessjets**

ist in der Nähe des Elektronikfachs am Heck des Flugzeugs angeordnet. Eine

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

maßgeschneiderte Gegengewichtsmodulgruppe aus Wolframlegierung ist eingebaut. Die Gesamtmasse des Gegengewichts beträgt 45 kg. Dadurch wird die Schwerpunktabweichung während des gesamten Fluges erfolgreich auf $\pm 1,5\%$ begrenzt, was Reichweite und Stabilität deutlich verbessert.

- **Fallbeispiel: Feinabstimmungsmechanismus des Rudergewichts in militärischen Kampffjets**. Mikrogewichte aus Wolframlegierung dienen zur Anpassung der Ansprechempfindlichkeit der Flügelsteuerflächen. Ihre Positionen können über den Wartungsanschluss feinjustiert werden und bilden in Verbindung mit dem digitalen Flugsteuerungssystem eine geschlossene Kompensationsregelung.
- **Zukünftige Trends**
Mit der Entwicklung intelligenter Flugsteuerung und Multisensorintegration wird sich auch das Gegengewichtssystem zu **einem adaptiven Gegengewichtssystem entwickeln**: Position und Masse des Gegengewichtsmoduls werden durch intelligente Aktuatoren angepasst, um eine Echtzeit-Steuerung des Schwerpunkts während des Flugs zu erreichen. Gleichzeitig werden **Verbundwerkstoffe aus Wolframlegierungen**, **3D-gedruckte Wolframstrukturen** und **die integrierte Gegengewichtstechnologie für Wolfram-Lithium-Hochenergiemodule** neue Veränderungen im Gegengewichtsdesign der Luftfahrt mit sich bringen.

5.2 Satellitengewicht und Trägheitskontrollsystem

Im Lageregelungs- und Bahnstabilisierungssystem von Raumfahrzeugen ist die Konstruktion des Gegengewichts eine entscheidende technische Aufgabe. Insbesondere bei modernen Satelliten, die mit hochpräzisen Instrumenten und komplexen Steuermodulen ausgestattet sind, hängt der langfristig präzise Betrieb ihrer Lagestabilisierungs- und Trägheitssysteme von einer äußerst strengen strukturellen Qualitätskontrolle ab. Wolframlegierungen, das Kernmaterial für das Gegengewicht im Trägheitsregelungssystem moderner Raumfahrzeuge, werden aufgrund ihrer hohen Dichte, ihrer hervorragenden thermischen Eigenschaften und ihrer stabilen mechanischen Eigenschaften häufig in Trägheitsmesskomponenten, Gyroskopen, Trägheitsradsystemen und Satelliten-Schwerpunkteinstellungsstrukturen eingesetzt.

5.2.1 Einführung in das Trägheitskontrollsystem von Satelliten

Im Orbit muss ein Satellit eine hochpräzise Lagestabilität und Bahnregelung gewährleisten, um Aufgaben wie Kommunikation, Fernerkundung, Navigation und wissenschaftliche Erkundung stabil durchführen zu können. Diese Aufgabe übernimmt hauptsächlich das Trägheitskontrollsystem (ICS), dessen Kernkomponenten Folgendes umfassen:

- **Trägheitsmesseinheit (IMU)**: Sie besteht aus einem Beschleunigungsmesser und einem Gyroskop und dient zur Erfassung der linearen Beschleunigung und der Winkelgeschwindigkeitsänderungen des Satelliten im dreidimensionalen Raum in Echtzeit.
- **Reaktionsradbaugruppe (RWA)**: Wird zur Lageerhaltung und Lageregelung verwendet und ändert den Drehimpuls des Satelliten durch Anpassen der Schwungradgeschwindigkeit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Schwungräder und Steuermomentgyroskope (CMGs)** : bieten eine stabile Ausgabe für eine hochpräzise Steuerung und werden häufig in hochauflösenden Fernerkundungssatelliten und Weltraumteleskopen verwendet.

In diesen Systemen hängt die Leistung der Trägheitselemente stark vom dynamischen Gleichgewicht und der Massenkonzentration des Gegengewichtssystems ab. Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden in das Schwungrad, das Kreiselgehäuse oder die Systembasis integriert, um das Trägheitsmoment präzise einzustellen und die Stabilität des Trägheitssystems zu verbessern.

5.2.2 Vorteile von Wolframlegierungen in Satellitengegengewichten

Wolframlegierungen in Gegengewichten für die Luft- und Raumfahrt sind ein wichtiges Symbol für die Entwicklung von Luft- und Raumfahrtmaterialien. Ihre Vorteile spiegeln sich in mehreren Schlüsselaspekten wider:

- **Extrem hohe Dichte, spart Volumen und Masse.**
Die Dichte der Wolframlegierung beträgt bis zu 18,0–18,5 g/cm³. Dadurch lässt sich ein hochwertiges Gegengewicht in einer sehr kleinen Struktur erreichen und die strengen Platz- und Gewichtsbeschränkungen miniaturisierter und leichter Satelliten erfüllen. Dies ist besonders wichtig für neue Raumfahrzeuge wie Mikro-, Nano- und Cube-Satelliten.
- **Hervorragende thermische Stabilität:**
Satelliten sind im Orbit Temperaturunterschieden von -200 °C bis über +150 °C ausgesetzt. Wolframlegierungen haben einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten (ca. $4,5 \times 10^{-6}$ /K), eine gute Wärmeleitfähigkeit und eine hohe strukturelle Stabilität. Sie verursachen keine Spannungskonzentrationen oder Massenverschiebungen durch thermische Ausdehnung und Kontraktion und gewährleisten so einen langfristig stabilen Betrieb des Inertialsystems.
- **Ausgezeichnete mechanische Festigkeit und Haltbarkeit.**
Wolframlegierungen haben eine Zugfestigkeit von über 700 MPa und eine sehr hohe Dauerfestigkeit. Sie halten den starken Vibrationen, Stößen und der aerodynamischen Reibung während des Starts des Raumfahrzeugs stand und stellen sicher, dass sich die Gegengewichtsstruktur während des über zehnjährigen Orbitalbetriebs nicht verformt, löst oder beschädigt wird.
- **Nicht magnetisch und niedrige Gasaustrittsrate.**
Für wissenschaftliche Satelliten oder optische Plattformen mit extrem hohen Anforderungen an die magnetische Sauberkeit kann der Einsatz schwach magnetischer Wolframlegierungen wie W-Ni-Cu Magnetfeldstörungen vermeiden. Gleichzeitig stellt die niedrige Austrittsrate sicher, dass in einer Vakuumumgebung kein verunreinigtes Gas freigesetzt wird, wodurch die Sauberkeitsstandards für Weltraumanwendungen erfüllt werden.

5.2.3 Entwurfspraxis für Satelliten-Trägheitsgegengewichte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungen in Satelliten-Gegengewichtssystemen können in die folgenden typischen Anwendungen zusammengefasst werden:

- **Trägheitsrad/Reaktionsrad-Gegengewicht**

Das Trägheitsrad ist die Hauptantriebseinheit für die Lageregelung, und sein abgegebener Drehimpuls hängt eng mit dem Trägheitsmoment zusammen. Durch die Anordnung von Gegengewichten aus Wolframlegierung um den Umfang des Schwungrads kann die Drehimpulskapazität verbessert werden, ohne das Schwungrad wesentlich zu vergrößern. Dadurch wird eine schnellere Reaktion auf die Lageregelung und ein größerer Spielraum für die Lagekontrolle erreicht.

- **Im Gyroskopsystem**

wird Wolframlegierung als Rotor- oder Gehäusegewicht verwendet, um die nichtlineare Abweichung des Systems zu verringern und die Genauigkeit der Lagemessung zu verbessern. In einigen High-End-Glasfaser-Gyroskopen und mikromechanischen Gyroskopen (MEMS-Gyroskopen) werden außerdem ultrakleine Wolframgewichte verwendet, um die Reaktionseigenschaften des Sensors zu optimieren.

- **Feinabstimmungssystem für den Schwerpunkt der gesamten Satellitenmaschine:**

Um bei der Satellitenmontage oder Nutzlastintegration den Schwerpunkt exakt an die Anforderungen der Umlaufbahn anzupassen, wird häufig eine austauschbare Gegengewichtseinheit aus Wolframlegierung im Strukturrahmen voreingestellt, um die vorgesehene Schwerpunktposition durch dynamische Verteilungsanpassung zu erreichen. Dieses Design bietet während der Bodendetektionsphase eine extrem hohe Flexibilität.

- **Gegengewichtssystem zur Unterdrückung von Mikrostörungen und Resonanzen:**

Im Orbit wird der Satellit durch Störungen wie Gravitationsgradienten, Sonnendruck und Geomagnetfeld beeinflusst, die leicht strukturelle Schwingungen auslösen können. An einem bestimmten Frequenzpunkt können Blöcke aus Wolframlegierungen mit hochdämpfenden Materialien (wie Silikon und aluminiumbasierten Verbundwerkstoffen) kombiniert werden, um ein dämpfendes Gegengewichtssystem zu bilden, das Mikrovibrationsenergie absorbiert und die Stabilität von Bildgebungsplattformen oder wissenschaftlichen Nutzlastplattformen verbessert.

5.2.4 Zukünftige Entwicklungstrends

Da sich die Weltraumtechnologie in Richtung „Miniaturisierung, hohe Zuverlässigkeit und Intelligenz“ bewegt, zeigt die Entwicklung von Wolframlegierungen in Satelliten-Gegengewichtssystemen auch die folgenden Trends:

- **Kubische Satelliten und Konstellationsnetzwerke erfordern eine präzise Gegengewichtseinstellung**

in einem sehr kleinen Volumen. Ultrakleine Module aus Wolframlegierungen (z. B. Flocken und Granulate unter 1 g) werden in Verbindung mit beweglichen Montagemechanismen (z. B. Mikroschlitten und Magnetmodulen) verwendet, um eine mikrometergenaue Schwerpunkteinstellung zu erreichen und so den Bau eines kostengünstigen, leistungsstarken Kleinsatellitensystems zu ermöglichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **3D-Druck und intelligente Fertigung mit Wolframlegierungen: Mit der Entwicklung additiver Fertigungstechnologien wie Pulverbettsschmelzen (SLM) und Elektronenstrahlschmelzen (EBM) im Bereich der hochschmelzenden Metalle können Trägheitskomponenten aus Wolframlegierungen künftig durch speziell geformte einteilige Formgebung und strukturelle Funktionsintegration hergestellt werden, wodurch die strukturelle Kompaktheit und Montageeffizienz von Gegengewichtskomponenten deutlich verbessert wird.**
- **Das intelligente dynamische Gegengewichtssystem**
ist für Weltraumteleskope, große Radargeräte und Satelliten mit hoher Umlaufbahn gedacht. Zukünftig wird die „adaptive Gegengewichtseinheit“ in Verbindung mit dem Trägheitssystem erforscht, Mikromotoren oder elektrothermische Antriebe zur Online-Anpassung der Gegengewichtsposition eingesetzt und die Selbststabilisierungs- und Fehlerbeseitigungsfähigkeiten des Systems verbessert.
- **Umweltfreundliche Materialien und recycelbare Wolframlegierungen**
. Angesichts der Weltraummüllbekämpfung und der Trends zu nachhaltiger Produktion entwickeln sich auch Wolframlegierungen für die Luft- und Raumfahrt immer weiter in Richtung Recyclingfähigkeit und geringer Umweltverschmutzung. Neue umweltfreundliche Wolframlegierungen mit Bindephasen (z. B. Ni- und Co-freie Bindephasen) werden die Materialoption für die nächste Generation von Gegengewichten für Trägheitssysteme in der Luft- und Raumfahrt sein.

5.3 Raketen- und Flugkörperheckgewichtstechnologie

In modernen Luftwaffensystemen und Raumfahrzeugen bestimmt die Heckflosse als zentrale aerodynamische Steuerfläche nicht nur die Fluglage, sondern beeinflusst auch direkt die Stabilität und Präzision der Flugbahn. Insbesondere bei Hyperschallflügen, komplexen Manövern oder Kampfumgebungen mit hoher Überlastung sind die dynamische Reaktionsfähigkeit und die strukturelle Stabilität der Heckflosse besonders wichtig. Um diesen hohen Anforderungen gerecht zu werden, ist die Gegengewichtstechnologie aus Wolframlegierungen zu einem unverzichtbaren Bestandteil der Raketen- und Flugkörperheckflossenkonstruktion geworden.

5.3.1 Überblick über Raketenheck und Raketenflugsteuerung

Die Flugstabilität und Manövrierfähigkeit von Raketen und Flugkörpern beruht auf dem koordinierten Zusammenspiel mehrerer Schlüsselkomponenten. Das Heck ist dabei der Hauptantrieb für die Anpassung der Fluglage und die dynamische Stabilität. Es ändert die Richtung des Luftstroms, um aerodynamische Kräfte in Quer- oder Nickrichtung zu erzeugen und so Kursanpassung, Lageregelung und Zielführungskorrektur zu ermöglichen.

Je nach Verwendungszweck und Konfiguration können Heckflossen in die folgenden Kategorien unterteilt werden:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Feste Finne** : Wird häufig in Raketen mittlerer und niedriger Geschwindigkeit verwendet, hat eine einfache Struktur und bietet grundlegende Stabilität.
- **Bewegliche Finne** : Servoantrieb ermöglicht Lageanpassung in Echtzeit während des Fluges.
- **Klappbare oder ausfahrbare Heckflossen** : werden bei tragbaren oder mehrstufigen Raketen verwendet und nach dem Start ausgeklappt, um Platz im Startrohr zu sparen.
- **Schubvektorsteuerung mit gesteuertem Heck** : Wird in Verbindung mit der Schubvektorsteuerung des Triebwerks verwendet, um die Manövrierfähigkeit zu verbessern.

Bei diesen Konstruktionen wirken sich Massenverteilung, Trägheitsmoment und Strukturfestigkeit des Hecks direkt auf die Arbeitseffizienz des Flugsteuerungssystems aus. Das präzise konstruierte Gegengewicht aus Wolframlegierung kann nicht nur den Schwerpunkt des Flugzeugs optimieren, sondern auch die dynamische Reaktionsstabilität des Hecks deutlich verbessern, was ein Schlüsselement der Integration moderner Flugsteuerungssysteme ist.

5.3.2 Vorteile der Verwendung von Gewichten aus Wolframlegierungen in Heckflossen

Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer hervorragenden physikalischen und mechanischen Eigenschaften zum bevorzugten Material für Raketenheckgewichte entwickelt. Zu den wichtigsten Vorteilen zählen:

- **Extrem hohe Dichte für hohe Qualität bei geringem Volumen. Die Dichte des Gegengewichts aus Wolframlegierung**
beträgt 18,0–18,5 g/cm³ und ist damit 2,4-mal so hoch wie die von Stahl und mehr als 7-mal so hoch wie die von Aluminium. In kompakten Bereichen wie dem Heckflügel mit hohen Anforderungen an die aerodynamische Leistung trägt das Erreichen der erforderlichen Masse bei geringer Größe dazu bei, den Luftwiderstand zu reduzieren, eine stromlinienförmige Form zu erhalten und die Schwerpunktlage des gesamten Flugzeugs zu optimieren.
- **Hervorragende mechanische Festigkeit und Schlagfestigkeit:**
Die Druckfestigkeit der Wolframlegierung übersteigt 1000 MPa und kann so starken Stößen, Überlastungen, Drehmomenten und plötzlichen Vibrationen während des Fluges standhalten, wodurch die Integrität der Heckstruktur wirksam gewährleistet wird.
- **Hervorragende Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit:**
Wenn Raketen und Flugkörper in atmosphärischen Bereichen mit hohem Wärmefluss fliegen, kann die Leitwerksoberfläche plötzlich Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius ausgesetzt sein. Wolframlegierungen haben einen Schmelzpunkt von bis zu 3420 °C und verformen sich selbst bei Temperaturschock nicht so leicht. Zudem sind ihre Oxidations- und Säurebeständigkeit besser als die der meisten Metalle, was die Stabilität des Gegengewichts auch im Langzeitbetrieb gewährleistet.
- **Nichtmagnetische/schwachmagnetische optionale Materialien**
Einige taktische Raketen und Präzisionsraketen reagieren äußerst empfindlich auf

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

magnetische Störungen. Um sicherzustellen, dass das Gegengewicht die elektronische Navigations- und Lageerfassungsausrüstung nicht stört, können schwachmagnetische Wolframlegierungen (W-Ni-Cu) ausgewählt werden.

5.3.3 Wichtige Punkte der Heckgegengewichtskonstruktion

Ziel der Heckgewichtung ist es, durch präzise Massenkonfiguration die Stabilität, Reaktionsgeschwindigkeit und Ausführungsgenauigkeit der Flugsteuerung zu verbessern. Folgende Punkte sollten bei der Konstruktion beachtet werden:

- **der Schwerkraftanpassung und -verteilungsoptimierung.**

Das Heck ist weit vom Mittelpunkt des Flugzeugs entfernt und sein Gegengewicht hat einen größeren Einfluss auf den Gesamtschwerpunkt. Durch die geeignete Anordnung von Wolframlegierungsblöcken im Heck oder an der Flügelwurzel kann der Längs- oder Nickschwerpunkt des Flugzeugs fein abgestimmt werden, um ein dynamisches Gleichgewicht zu erreichen, das sich besonders für hochmobile Raketen und Hochgeschwindigkeits-Orbitalraketen eignet.

- **Verbesserte Reaktion und Stabilität der Flugsteuerung.**

Das Heckgewicht kann das lokale Trägheitsmoment anpassen, um die Flugstabilität des Hecks zu verbessern. Im automatischen Steuerungssystem trägt dies dazu bei, die durch Störungen verursachte nichtlineare Reaktion des Hecks zu unterdrücken und übermäßige Korrekturen zu vermeiden, die zu einer Abweichung der Flugbahn führen.

- **Strukturelle Integration und integriertes Design**

Moderne Raketenstrukturen sind in der Regel leicht und integriert. Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden üblicherweise in Abstimmung mit Heckflossenstrukturen aus Kohlenstofffaserverbundwerkstoff entwickelt und eingebettet, verschachtelt oder geklebt integriert, um Schrauben, Schweißnähte und andere Verbindungselemente zu reduzieren, die Zuverlässigkeit zu verbessern und den Wartungsaufwand zu verringern.

- **Das aerodynamische Optimierungsdesign**

des Gegengewichtslayouts muss mit einer CFD-Analyse (Computational Fluid Dynamics) kombiniert werden, um sicherzustellen, dass die Auftriebsverteilung des Heckflügels nicht zerstört wird oder Wirbelstörungen auftreten, wodurch eine gute aerodynamische Flugeffizienz aufrechterhalten wird.

5.3.4 Anwendungsfallanalyse

Die Heckgewichtstechnologie aus Wolframlegierungen wird in vielen Raketentypen und Flugkörpersystemen eingesetzt. Im Folgenden sind zwei typische Beispiele aufgeführt:

- **Optimierung des Heckgewichtssystems von Luft-Boden-Raketen.**

Ein bestimmter Typ von Luft-Boden-Präzisionslenkraketen verfügt über eine klappbare Heckflosse aus Verbundwerkstoff mit einem kleinen Gegengewichtsblock aus Wolframlegierung in der Nähe des Heckgelenks. Durch die Verbesserung der Stabilität und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Reaktionsgeschwindigkeit der Heckflosse nach dem Ein- und Ausklappen ist die Fluglage der Rakete stabiler. Tatsächliche Messdaten zeigen eine Verbesserung der Treffergenauigkeit um 10 % und der Entstörungsfähigkeit um 25 %.

- **Stabilitätskontrolldesign für kleine Satellitenträgerraketen:**
Eine leichte orbitale Trägerrakete verwendet an beiden Seiten der Heckflosse spezielle Wolframlegierungsstreifen, die durch strukturelles Verschachtelungsdesign in die Verbundflügelstruktur eingebettet sind, um die Neigungs- und Gierstabilität des Flugzeugs anzupassen. Dieses Design reduziert effektiv das Problem der Gierschwingung in der frühen Startphase und bringt die Startbahn näher an die theoretische Kurve.

5.3.5 Zukünftige Entwicklungstrends

Mit der Entwicklung von Hyperschallwaffen und intelligenten Präzisionsschlagplattformen entwickelt sich auch die Technologie der Heckgewichtssysteme weiter, und in Zukunft könnten sich folgende Trends abzeichnen:

- **Mikrointelligentes Gegengewicht und dynamische Reaktionstechnologie**
Zukünftige Heckflügel könnten über ein mikrovariables Gegengewichtssystem auf Basis einer MEMS-Struktur verfügen, kombiniert mit einem Servocontroller und einem intelligenten Algorithmus, um eine Feinabstimmung der Massenverteilung während des Fluges zu erreichen und sich an unterschiedliche Flugphasen und aerodynamische Umgebungen anzupassen.
- **Bei der Entwicklung der Funktionsintegration von Verbundwerkstoffen auf Wolframbasis** werden Wolframlegierungen mit Leichtbaumaterialien wie Kohlefaser und Keramikmatrix kombiniert, um einen Verbundheckflügel herzustellen, der über Gegengewicht, strukturelle Stütz- und Wärmeschutzfunktionen verfügt und so die Gesamteffizienz der Gewichtsausnutzung verbessert.
- **Das Gegengewicht mit geringer Radarsichtbarkeit** ist für Stealth-Raketen und schwer erkennbare Flugzeuge konzipiert. Das Gegengewichtsdesign muss die Reflexionseigenschaften elektromagnetischer Wellen berücksichtigen und den Radarquerschnitt (RCS) durch Materialbeschichtung und Formoptimierung minimieren.
- **Bei der additiv gefertigten integrierten Heckflügelstruktur** kommt 3D-Drucktechnologie zum Einsatz, um das Gegengewichtsmodul aus Wolframlegierung und den Heckflügelrahmen gleichzeitig zu drucken und zu einem Stück zu formen und nahtlos zu integrieren. Dies verkürzt den Produktionszyklus, erhöht die Designfreiheit und bietet mehr Raum für komplexe aerodynamische Optimierungen.

5.4 Flugzeugschwingungsregelung und Reaktionsmasse

Die Leistung moderner Flugzeuge verbessert sich ständig, und die Nachfrage nach Leichtbaustrukturen und Hochgeschwindigkeitsflügen führt dazu, dass Flugzeuge im Betrieb mit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

komplexeren Vibrationsproblemen konfrontiert werden. Egal ob Düsenflugzeug, Drohne, Rakete oder Satellit – Faktoren wie Triebwerksbetrieb, Strukturresonanz, aerodynamische Störungen und Änderungen der Betriebslasten während des Fluges wirken sich auf die Flugzeuge aus und verursachen Vibrationen. Um die strukturelle Integrität des Flugzeugs, die Stabilität des Flugsteuerungssystems sowie die Sicherheit und den Komfort von Personal und Ausrüstung zu gewährleisten, müssen wirksame Strategien zur Vibrationskontrolle umgesetzt werden. Dabei spielt die Reaktionsmassenblocktechnologie als passive oder semiaktive Methode zur Vibrationsreduzierung eine immer wichtigere Rolle in Vibrationskontrollsystemen von Flugzeugen. Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer ultrahohen Dichte und ihrer hervorragenden mechanischen und thermischen Stabilität zum bevorzugten Material für die Herstellung von Reaktionsmassenblöcken entwickelt. Dank ihrer kompakten Massenkonfiguration, Ermüdungsbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit ermöglichen sie eine dauerhafte und effektive Vibrationsunterdrückung in extremen Flugumgebungen.

5.4.1 Übersicht über Flugzeugschwingungsprobleme

Die Vibrationsprobleme, denen Flugzeuge während des Fluges ausgesetzt sind, sind komplex und vielfältig. Zu den Hauptursachen zählen:

- **Motorbetrieb** : Mit hoher Geschwindigkeit rotierende Komponenten wie Turbinen, Kompressoren und Propellerwellen verursachen periodische mechanische Vibrationen, die sich insbesondere während der Beschleunigungs- und Schubänderungsphasen beim Start bemerkbar machen.
- **Aerodynamische Störung** : Während eines Hochgeschwindigkeitsfluges kann die instabile Anregung des Luftstroms an den Flügeln, dem Heck und anderen externen Strukturen eine strukturelle Resonanz hervorrufen.
- **Strukturelle selbsterregte Schwingungen** : Unter bestimmten Betriebsbedingungen können gekoppelte Schwingungen zwischen der internen Ausrüstung und den Komponenten des Flugzeugs auftreten, wodurch sich die Schwingungen des gesamten Flugzeugs ausweiten.
- **Betriebsbedingte Laständerungen** : Schnelle Überlastungsänderungen durch Pilotensteuerung, Lageanpassung oder Manöverflug führen zu einer sofortigen dynamischen Reaktion der Struktur.

Werden diese Schwingungen nicht wirksam kontrolliert, können sie folgende Folgen haben:

- Beschleunigte strukturelle Ermüdung verkürzt die Lebensdauer wichtiger Komponenten;
- Erhöhte Navigations- und Lageregelungsfehler;
- Die Messgenauigkeit des Instruments nimmt ab und die Daten werden verfälscht;
- Reduzierter Komfort für das Cockpitpersonal;
- In einigen Fällen kann es zu Systeminstabilitäten und Beeinträchtigungen der Flugsicherheit kommen.

Daher ist die Technologie zur Schwingungsreduzierung zu einem der zentralen Bereiche geworden, die im Struktur-ingenieurwesen sowie bei Energiesystemen und elektronischen Systemen im Flugzeugbau von gemeinsamem Interesse sind.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.4.2 Mechanismus der Reaktionsmasse

Die Reaktionsmasse ist ein schwingungsdämpfendes Strukturelement, das nach dem Prinzip eines Masse-Feder-Dämpfer-Systems funktioniert. Die Kernidee ist:

Durch die Verwendung einer Gruppe von Blöcken mit einer bestimmten Masse wird bei Vibrationen des Systems durch die Trägheit eine Reaktionskraft in die entgegengesetzte Richtung zur Hauptstruktur erzeugt, wodurch ein Teil oder die gesamte Vibrationsenergie ausgeglichen wird.

Reaktionsmassenblöcke können je nach Bauform und Steuerungsart in folgende Typen eingeteilt werden:

- **Passiver Typ** : Nutzt die Anpassung der Eigenfrequenz und gestaltet seine Resonanzfrequenz so, dass sie nahe an der Strukturschwingungsfrequenz liegt, um die Schwingungsreduzierung zu erreichen.
- **Halbaktiver/abgestimmter Massendämpfer (TMD)** : Verbessert die Anpassungsfähigkeit durch Anpassen der Reaktionsamplitude durch Dämpfungsmaterialien oder Steuermedien.
- **Aktive Vibrationskontrolle** : Kombiniert elektromagnetische oder hydraulische Geräte zur Echtzeit-Reaktionsanpassung, wird in der Luft- und Raumfahrt jedoch selten verwendet.

Wolframlegierungen können Masse auf kleinstem Raum konzentrieren, wodurch die Reaktionskraft größer und der Frequenzgang konzentrierter wird. Dies eignet sich besonders für Flugzeuge mit kompaktem Raum und klarer Schwingungsfrequenz. Beispielsweise können Reaktionsblöcke aus Wolframlegierungen in Satellitenplattformen oder Raketenlageregelungskabinen, wo das Volumen stark begrenzt ist, große Federsysteme effektiv ersetzen und so ein kompaktes und effizientes Design zur Schwingungsdämpfung erreichen.

Konstruktionsanforderungen für Reaktionsmassen aus Wolframlegierungen

Die Reaktionsmasse einer Wolframlegierung hängt von der Genauigkeit ihrer Konstruktion und der Stabilität der Materialeigenschaften ab. Die wichtigsten Konstruktionsanforderungen sind:

- **Auswahl hochdichter und hochfester Materialien:**
Wolframlegierungen haben eine Dichte von bis zu $18,5 \text{ g/cm}^3$, die deutlich höher ist als die von Metallen wie Stahl und Kupfer im gleichen Volumen. Sie ermöglichen maximale Reaktionskräfte pro Raumeinheit. Ihre hohe Zug- und Druckfestigkeit gewährleistet, dass sie sich in Umgebungen mit hoher dynamischer Belastung nicht verformen oder brechen.
- **Die präzise Massen- und Positionskonstruktion**
hängt von der genauen Anpassung an die Zielfrequenz ab. Masse, Verteilungsposition und Einbauwinkel des Wolframlegierungsblocks müssen basierend auf der Modalanalyse der Flugzeugstruktur und der dynamischen Simulation sorgfältig berechnet werden, um Frequenzfehlanspassungen oder gekoppelte Resonanzen zu vermeiden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Umweltstabilität und Lebensdauer:**
Wolframlegierungen weisen eine extrem hohe Korrosionsbeständigkeit, Strahlungsbeständigkeit und Wärmestabilität auf und eignen sich für den Langzeitbetrieb in der atmosphärischen Grenzschicht, in großen Höhen und bei niedrigen Temperaturen oder in niedrigen Erdumlaufbahnen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Leistung des Gegengewichts nicht durch Oxidation und Ermüdung nachlässt.
- **Einstellbarkeit und modulare Struktur**
Bei wechselnden Missionen und komplexen Flugsteuerungsszenarien kann durch die Konstruktion von Gegengewichtsmodulen aus Wolframlegierung mit einstellbarer Struktur eine schnelle Feinabstimmung vor Ort durch Änderung der Position oder Anzahl der Masseblöcke erreicht werden, wodurch Wartung und Anpassungsfähigkeit verbessert werden.

5.4.4 Anwendungsbeispiele

Reaktionsmasse aus Wolframlegierungen wurde in verschiedenen Flugzeugplattformen getestet. Zu den wichtigsten Anwendungsszenarien gehören:

- **Schwingungsdämpfung bei Turbintriebwerken:**
Bei bestimmten militärischen Turbintriebwerken ist der Reaktionsblock aus Wolframlegierung am Rand der Schaufelscheibe und hinter der Hauptwelle angeordnet. Die Trägheitskraft wirkt der Rotationsunwucht der Hauptstruktur entgegen und unterdrückt so Strukturschwingungen einer bestimmten Frequenz. Messdaten zeigen, dass die Schaufelamplitude um etwa 40 % reduziert und die Lebensdauer des Triebwerks um mehr als 20 % erhöht wird.
- **Lagestabilisierung und Schwingungsdämpfung im Lageregelungssystem von Satelliten:**
In kleinen Kommunikationssatellitenplattformen sind Reaktionsräder aus Wolframlegierung in das Lageregelungssystem des Satelliten integriert, um einen steuerbaren Drehimpuls zu erzeugen. Gleichzeitig dämpft die interne Schwingungsdämpfungsstruktur die durch den Anlauf des Reaktionsrads verursachten Mikrovibrationen. Dadurch werden Lagekorrekturfehler effektiv reduziert und die Beobachtungs- und Kommunikationsgenauigkeit verbessert.
- **Vibrationsunterdrückung während des Raketenflugs.**
Ein bestimmter Typ luftgestützter Raketen erfährt aufgrund des Überschallflugs starke Vibrationen, und frühe Versionen weisen Probleme mit der Gierinstabilität auf. Durch die Platzierung eines Reaktionsmassenblocks aus Wolframlegierung in der Mitte des Raketenkörpers und die Kombination mit viskoelastischen Dämpfungsmaterialien werden vertikale und radiale Vibrationen deutlich unterdrückt und die Treffergenauigkeit um 12 % verbessert.
- **Beim Flugtest des Vibrationsunterdrückungssystems für Hyperschall-Verifizierungsflugzeuge mit hoher Machzahl arbeitet der Reaktionsmassenblock aus Wolframlegierung mit dem Bordsensor zusammen, um eine Echtzeitanpassung der**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vibrationsreaktion zu erreichen und so

eine geräuscharme Umgebung für die Erfassung von Flugsteuerungsdaten bereitzustellen.

5.4.5 Zukünftige Entwicklungstrends

Da sich Flugzeugstrukturen immer leichter, dünner und integrierter entwickeln, steigen die Anforderungen an Zuverlässigkeit und Stabilität stetig. Auch die Technologie der Reaktionsmassenblöcke aus Wolframlegierungen steht vor neuen Herausforderungen und Chancen:

- **Das intelligente Vibrationsreduzierungssystem**

kann mit Mikrosensoren und MEMS-Steuereinheiten integriert werden. In Kombination mit dem Flugsteuerungssystem kann es den Vibrationszustand autonom erkennen und die Reaktionsfrequenz in Echtzeit anpassen, um ein „intelligentes Gegengewicht“ zu erreichen.

- **für den 3D-Druck komplexer Strukturen aus Wolframlegierungen**

können aus Wolframlegierungen Hohlstrukturen, speziell geformte Schalen oder neue Gegengewichte mit integrierten Wärmeleitungs Kanälen hergestellt werden, wodurch die Funktionsdichte weiter verbessert wird.

- **Durch das gemeinsame Design einer leichten Verbundstruktur und einer Wolframlegierung**

wird die Wolframlegierung in Kohlenstofffaserverbundwerkstoffe, Aluminiumwaben und andere Strukturen eingebettet, um ein leichtes und hochdichtes kombiniertes Vibrationsreduzierungsmodul zu bilden, das sowohl die strukturelle Festigkeit als auch den Gegengewichtseffekt berücksichtigt.

- **Die Forschung und Entwicklung elektromagnetischer Kopplungsreaktionsblöcke**

zielt auf bestimmte Navigations- und Weltraumkommunikationsplattformen ab. Wolframbasierte Verbundreaktionsmassenblöcke mit elektromagnetischer Absorptionsfunktion werden entwickelt, um dynamische Steuerungsfunktionen und die Abschirmung elektromagnetischer Störungen zu kombinieren.

5.5 Trägheitsgewichte aus Wolframlegierungen in Verteidigungswaffensystemen

5.5.1 Anforderungen an die Trägheitssteuerung von Verteidigungswaffensystemen

Mit der rasanten Entwicklung von Informationstechnologie und intelligenter Kriegsführung stellen moderne Waffensysteme beispiellos hohe Anforderungen an Lenkgenauigkeit, Reaktionsgeschwindigkeit und Anpassungsfähigkeit an die Umgebung. Raketen, intelligente Bomben, Drohnen und Hyperschallflugzeuge nutzen zunehmend Trägheitsnavigationssysteme (INS), um autonome Positionierung, Kursplanung und Flugsteuerung zu erreichen.

Zu den Kernkomponenten des Trägheitsnavigationssystems gehören Beschleunigungsmesser, Gyroskope und Trägheitsmeseinheiten (IMUs). Die Stabilität des Betriebs hängt stark von der Positions- und Massengenauigkeit der Trägheitsreferenzkomponenten (wie Trägheitsrädern und Gegengewichten) ab. Um den stabilen Betrieb des Systems unter Hochgeschwindigkeits-,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hochdynamik- und komplexen Gefechtsbedingungen zu gewährleisten, sind die strukturelle Gestaltung, die Massenverteilung und die Materialauswahl des Trägheitsgegengewichts entscheidende Faktoren für die Lenk- und Steuerungsleistung des Waffensystems.

In diesem Zusammenhang wird Wolframlegierung aufgrund ihrer extrem hohen Dichte, mechanischen Festigkeit und thermischen Stabilität häufig in Trägheitsgegengewichtssystemen in Waffen und Ausrüstung eingesetzt. Es ist das Grundmaterial für den langfristigen und effizienten Betrieb von Trägheitsnavigationssystemen.

5.5.2 Vorteile von Wolframlegierungen bei Trägheitsgewichten für die Verteidigung

Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften zum Kernmaterial im Bereich der Trägheitsgewichte von Landesverteidigungsgeräten entwickelt. Sie bieten folgende herausragende Vorteile:

- **Hohe Dichte ermöglicht kleine, hochwertige Gegengewichte.**
Die Dichte der Wolframlegierung kann 17,0–18,5 g/cm³ erreichen und ist damit deutlich höher als die von Stahl (ca. 7,8 g/cm³) und Aluminium (ca. 2,7 g/cm³). Sie ermöglicht die Realisierung hochwertiger Trägheitslasten auf kleinstem Raum und eignet sich besonders für kleine Munitions- und Mikroflugplattformen mit extrem begrenztem Platzangebot.
- **Hervorragende Anpassungsfähigkeit an Umweltbedingungen.**
Wolframlegierungen weisen eine ausgezeichnete Hochtemperaturbeständigkeit, Oxidationsbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit auf. Sie können extremen Temperaturen (-50 °C bis +1000 °C), hoher Luftfeuchtigkeit, Salznebel, Strahlung und anderen auf dem Schlachtfeld üblichen Umgebungen lange Zeit stabil standhalten.
- **Hohe mechanische Festigkeit und Schlagfestigkeit.**
Wolframlegierungen weisen eine gute Zugfestigkeit und Schlagfestigkeit auf und können starken Vibrationen und Belastungsstößen standhalten, die bei Hochgeschwindigkeitsflügen, Startstößen und Explosionsschwankungen auftreten.
- **Durch die Anpassungsfähigkeit bei der Verarbeitung und die Flexibilität beim strukturellen Design**
kann durch Präzisionspulvermetallurgie, CNC-Schneiden, Funkenerosion usw. eine Formkontrolle im Mikrometerbereich erreicht werden, um die komplexen geometrischen Strukturanforderungen von Trägheitskomponenten zu erfüllen und in modulare und integrierte Trägheitssystemkomponenten integriert zu werden.

5.5.3 Spezifische Anwendungsbereiche

Wolframlegierungen werden häufig im Trägheitsgewichtsbereich der Verteidigung eingesetzt und decken viele wichtige Kampfsysteme ab:

- **Kerngewichtsbaugruppe des Trägheitsnavigationssystems (INS)**

Wolframlegierungen werden als Referenzmasse für Trägheitsnavigationssysteme verwendet. Sie erhöhen das Trägheitsmoment des Gyroskops oder Trägheitsrads und verbessern so die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Reaktionsempfindlichkeit und Stabilität des Systems. Insbesondere bei Laser- und Glasfaserkreisläufen werden Wolframlegierungsmassen verwendet, um die Stabilität des optischen Pfads und die Genauigkeit der Winkelgeschwindigkeitsberechnung zu optimieren.

• **Präzisionsgelenktes Munitions-Flugkontrollgewichtssystem**

Bei ballistischen Raketen, Marschflugkörpern und anderen Flugzeugen werden häufig Gegengewichte aus Wolframlegierungen im Flugsteuerungsraum eingesetzt, um den Schwerpunkt der Steuerfläche zu optimieren, die aerodynamische Steuerung zu optimieren und die Reaktionsgeschwindigkeit der Fluglage zu verbessern. Dadurch wird eine stabile Regelung des Flugsteuerungssystems erreicht. Typische Modelle wie der Marschflugkörper „Tomahawk“ und die Flugabwehrraketen der „Hongqi“-Serie verwenden Gegengewichte aus Wolframlegierungen als Einstellkomponenten der Flugsteuerung.

• **Modul zur Lageregelung und Schwerpunkteinstellung des UAV**

Für taktische oder Mikro-UAV-Plattformen ist die Lagestabilität während des Fluges äußerst wichtig. Trägheitsgewichte aus Wolframlegierung werden im Flugkontrollzentrum oder an der Unterseite des Propellers installiert, um die Empfindlichkeit der Lagerrückmeldung zu erhöhen und eine Echtzeit-Schwerpunktanpassung während des Fluges durch mechanische oder elektromagnetische Strukturen zu ermöglichen. Dadurch werden Windwiderstand und Ausdauerleistung verbessert.

• **Trägheitsgewichte für Artilleriegeschosse und intelligente Bomben**

Moderne Artilleriegeschosse, Gleitbomben und andere gelenkte Munition benötigen Trägheitselemente zur Korrektur der Flugbahn. Kleine Gegengewichte aus Wolframlegierung sind zu einem unverzichtbaren Bestandteil des Trägheitsmoduls geworden, um Rotationsstabilität und dynamisches Gleichgewicht zu gewährleisten.

5.5.4 Zukünftige Entwicklungstrends

Mit der rasanten Entwicklung intelligenter, integrierter und miniaturisierter Waffensysteme zeigen sich auch in der Trägheitsgewichtstechnologie aus Wolframlegierungen folgende Trends:

• **Miniaturisierung und hochintegrierte Entwicklung**

Zukünftige Waffenplattformen wie Schwarmdrohnen und raketengestützte Mikrolenkenmodule erfordern die Miniaturisierung von Trägheitsgegengewichten. Als ultrahochdichtes Material bietet Wolframlegierung auch im Millimeterbereich hervorragende Gegengewichtseigenschaften und wird zu einem wichtigen Bestandteil von Mikroflugzeugen und MEMS-Trägheitsmodulen.

• **Es ist als integriertes System konzipiert, bei dem der Sensor**

zusammen mit Kernkomponenten wie dem Lagesensor und dem Gyroskop verpackt wird, um ein hohes Maß an struktureller Integration zu erreichen und die Störfestigkeit und Zuverlässigkeit des Systems zu verbessern.

• **Das intelligente einstellbare Trägheitsgegengewichtssystem**

ermöglicht eine dynamische Anpassung der Trägheitsgegengewichtsmasse durch die Integration piezoelektrischer Materialien oder einer variablen Massenblockstruktur, die

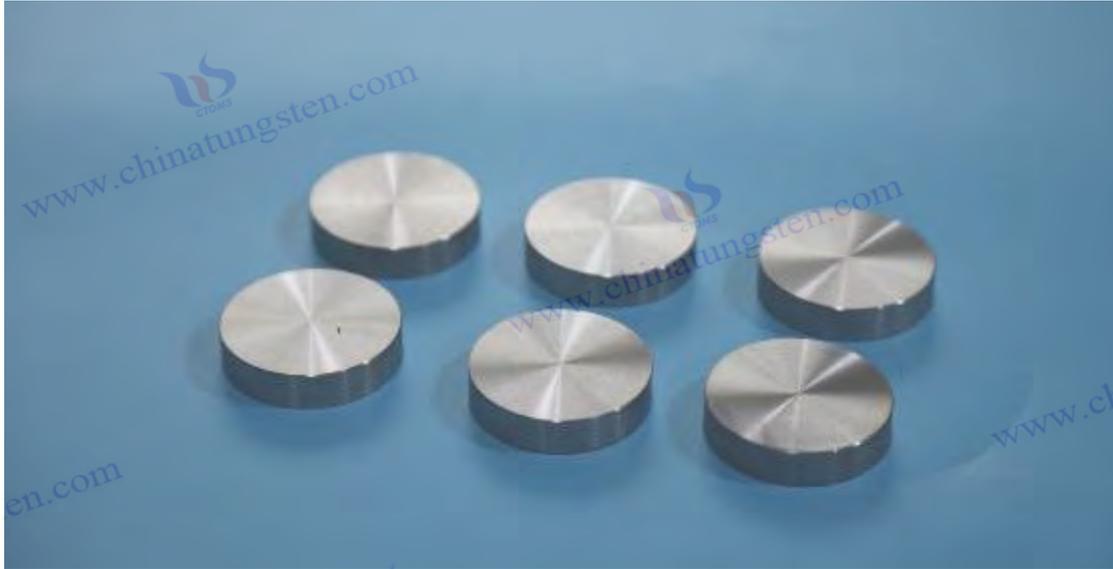
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sich während des Fluges an Echtzeit-Steuerungsanforderungen anpassen und die Reaktionsgeschwindigkeit und Flexibilität des Flugsteuerungssystems verbessern kann.

- **Im Rahmen des Projekts „Neuer Verbundwerkstoff Wolframlegierung“ werden** Verbundwerkstoffe auf Wolframbasis wie Wolfram-Polymer-Verbundwerkstoffe und Wolfram-Keramik-Werkstoffe entwickelt und untersucht, um sicherzustellen, dass sie eine bessere Bearbeitbarkeit und elektromagnetische Verträglichkeit aufweisen und gleichzeitig eine hohe Dichte gewährleisten, und um die Anforderungen zukünftiger multifunktionaler Kampfplattformen zu erfüllen.

Gegengewichte aus Wolframlegierungen finden aufgrund ihrer einzigartigen hohen Dichte, hohen Festigkeit und guten Anpassungsfähigkeit an Umweltbedingungen in der Luft- und Raumfahrt vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Von der Schwerpunktverstellung von Flugzeugen über die Trägheitsregelung von Satelliten und Raketenheckgegengewichte bis hin zur Schwingungsdämpfung und Trägheitsgegengewichten für nationale Verteidigungswaffensysteme – der Wert von Wolframlegierungen ist unersetzlich. Mit dem technologischen Fortschritt werden sich Design und Fertigungstechnologie von Gegengewichten aus Wolframlegierungen kontinuierlich weiterentwickeln und so die Leistung und Intelligenz von Luft- und Raumfahrttausrüstung steigern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 6 Anwendung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen in Automobilen und Maschinenbau

Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit sowie hervorragenden Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit zu einem wichtigen Material für die Konstruktion von Gegengewichten in der Automobil- und Maschinenbauindustrie entwickelt. Eine sinnvolle Konstruktion von Gegengewichten verbessert nicht nur die Stabilität, die Kraftübertragungseffizienz und die Sicherheit von Fahrzeugen oder Maschinen, sondern optimiert auch das Fahrgefühl und die mechanische Leistung deutlich. Mit dem zunehmenden Trend zu leichten und leistungsstarken Automobilen und der Entwicklung von Maschinenbaumaschinen hin zu größeren und intelligenteren Maschinen steigt der Anwendungswert von Gegengewichten aus Wolframlegierungen weiter an. Dieses Kapitel beschreibt detailliert die Anwendungspraxis und die technische Entwicklung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen beim dynamischen Auswuchten von Automotoren und -fahrgeräten, der Optimierung von Gegengewichten für F1-Rennwagen, Gegengewichtsmodulen für Hochgeschwindigkeitszüge, Gegengewichten für Kräne und Schildmaschinen sowie stabilen Gegengewichten für große Baumaschinen.

6.1 Dynamischer Gewichtsausgleich zwischen Automotoren und Fahrgeräten

Wolframlegierungen spielen eine entscheidende Rolle im Antriebssystem und in der Fahrwerksstruktur moderner Automobile, insbesondere bei der Verbesserung des dynamischen Gleichgewichts mechanischer Systeme, der Unterdrückung von Vibrationen sowie der Verbesserung von Stabilität und Komfort des gesamten Fahrzeugs. Dieser Abschnitt erläutert umfassend die Anwendung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen in Automotoren und Fahrwerkssystemen und behandelt technische Hintergründe, Materialvorteile, Konstruktionsmethoden, typische Anwendungsfälle und zukünftige Entwicklungsrichtungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1.1 Technischer Hintergrund des Gegengewichts von Automotoren

Der Motor ist das Herzstück des Fahrzeugs und besteht aus mehreren schnell rotierenden und hin- und hergehenden Teilen wie Kurbelwelle, Schwungrad und Pleuelstangensystem. Diese Teile erzeugen während des Betriebs aufgrund ungleichmäßiger Masse oder mechanischer Strukturabweichungen große Zentrifugalkräfte und Trägheitsstöße. Unkontrolliert können folgende Probleme auftreten:

- Die Vibrationen des gesamten Fahrzeugs verstärken sich und der Fahrkomfort nimmt ab;
- Die Ermüdung der Teile nimmt zu, was zu vorzeitigem Verschleiß oder Bruch führt.
- Die Kraftstoffeffizienz nimmt ab und der Energieverbrauch des Motors steigt.

Zu diesem Zweck werden bei modernen Motorkonstruktionen im Allgemeinen **dynamische Gegengewichtssysteme eingeführt**, die die dynamische Ungleichmäßigkeit des Rotorsystems durch Hinzufügen kleiner Gegengewichte mit hoher Dichte an wichtigen beweglichen Teilen ausgleichen, um einen stabilen Betrieb bei hohen Geschwindigkeiten zu erreichen.

Herkömmliche Gegengewichtsmaterialien wie Gusseisen oder Stahl können den Anforderungen an die Leichtbauweise und die hohe Leistungsfähigkeit der neuen Automobilgeneration hinsichtlich Dichte, Volumen und thermischer Stabilität nicht mehr gerecht werden. Daher **hat die Wolframlegierung aufgrund ihrer hervorragenden physikalischen und mechanischen Eigenschaften nach und nach traditionelle Materialien ersetzt und sich als bevorzugte Gegengewichtslösung etabliert**.

6.1.2 Vorteile von Gegengewichten aus Wolframlegierungen in Motoren

Wolframlegierungen in Gegengewichten von Automotoren spiegeln sich hauptsächlich in den folgenden Aspekten wider:

- **Hohe Dichte ermöglicht kleine und hochwertige Gegengewichte.**
Die Dichte von Wolframlegierungen beträgt 17,0–18,5 g/cm³ und ist damit fast doppelt so hoch wie die von Stahl. Bei gleicher Masse benötigt Wolframlegierungen weniger Platz. Dies ermöglicht die präzise Platzierung von Gegengewichten in beengten Bereichen (wie Kurbelwellen oder Rotorenden). Dies verbessert die dynamische Auswuchtgenauigkeit und unterstützt effektiv die kompakte Bauweise von Motoren.
- **Hervorragende Hochtemperaturbeständigkeit.**
Benzin- oder Dieselmotoren sind das ganze Jahr über hohen Verbrennungstemperaturen ausgesetzt. Der Schmelzpunkt einer Wolframlegierung liegt bei bis zu 3410 °C. Selbst bei längerem Betrieb des Motors bei einer Betriebstemperatur von 250–500 °C bleiben Form und mechanische Eigenschaften stabil.
- **Korrosions- und Verschleißfestigkeit:**
Wolframlegierungen sind äußerst beständig gegen chemische Korrosion und können lange

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zeit in Umgebungen mit Öl, Verbrennungsnebenprodukten sowie Säure- und Laugenrückständen eingesetzt werden. Ihre hohe Härte verringert zudem den Verschleiß bei langfristiger Reibung und reduziert so den Wartungsaufwand.

- Eine hochdichte Wolframlegierung **mit starker Vibrationsunterdrückungsfähigkeit** verfügt über ausgezeichnete Trägheitsreaktionseigenschaften, die hochfrequente Mikrovibrationen wirksam absorbieren, den Lärm und die ungleichmäßige Aufprallwirkung der gesamten Maschine verringern und ein Schlüsselmaterial für die NVH-Technik (Lärm, Vibration und akustischer Komfort) von Motoren sind.

6.1.3 Wichtige Punkte der dynamischen Gegengewichtskonstruktion

Die dynamische Gewichtsverteilung in Automotoren und Fahrwerksystemen erfordert die Optimierung mehrerer Schlüsselkomponenten. Zu den gängigen Konstruktionslösungen gehören:

- **Konstruktion des Kurbelwellengegengewichts:**
Wenn sich die Kurbelwelle ungleichmäßig dreht, entstehen starke Vibrationen. Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden üblicherweise durch Schmieden oder Sintern präzise in die beiden Enden oder den Mittelteil der Kurbelwelle eingearbeitet und gleichen den Massenversatz durch dreidimensionale Schwerpunktverstellung aus. Im Vergleich zu Stahl sind Wolframgegengewichte klein und flexibel in der Anordnung und ermöglichen eine Trägheitskompensation im Subgrammbereich.
- **Das Schwungrad**
muss außerdem die Rotationsträgheit des Motors präzise steuern. Das integrierte Design des Gegengewichts und des Schwungrads aus Wolframlegierung ermöglicht durch Änderung der Einbettungstiefe und der ringförmigen Verteilung eine feinfühligere Trägheitseinstellung und Steuerung der Reaktionszeit.
- **Dynamische Ausgleichsgewichte für Motoraufhängungssysteme Bei Fahrzeugen mit kleinen Dreizylindermotoren oder Elektroantriebssystemen**
werden in der Motoraufhängungsstruktur auch Mikroausgleichsgewichte aus Wolframlegierung verwendet, um die Resonanzfrequenz des Gesamtsystems anzupassen und zu verhindern, dass sich Leerlaufvibrationen auf die Fahrzeugkarosserie ausbreiten.
- **Fahrgestell-Gegengewicht und Aufhängungsstabilisatorblock**
In der Fahrgestellstruktur des Fahrzeugs, beispielsweise im Hilfsrahmen, in der Stoßdämpferdomspitze oder im Lenkmechanismus, können durch den Einbau eines Ausgleichsblocks aus Wolframlegierung der Fahrzeugschwerpunkt angepasst und die Seitenstabilität optimiert werden. Dies eignet sich besonders für Fahrzeuge mit hohen Anforderungen an die Fahrgeschwindigkeit und Kurvenstabilität.

6.1.4 Typische Anwendungsfälle

- **Dynamisches Gewichtsausgleichssystem für Motoren von Luxusautos**
Der V8-Turbomotor einer Luxusautomarke verwendet einen maßgeschneiderten Kurbelwellenausgleichsblock aus Wolframlegierung, der in Kombination mit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Laserschweißtechnologie eine ultimative dynamische Balance erreicht. Dadurch läuft der Motor stabil bei über 7.500 U/min und verbessert gleichzeitig die Laufruhe und Geräuscharmheit des Motors.

- **Elektrisches Antriebssystem für Fahrzeuge mit neuer Antriebsart** Das elektrische Antriebssystem von Elektrofahrzeugen mit neuer Antriebsart (z. B. Synchronmotoren mit Permanentmagneten) stellt höhere Anforderungen an die dynamische Balance des Rotors. Ein Unternehmen verbaute

Einsätze aus Wolframlegierung im Antriebsmotor und kombinierte diese mit dynamischem Überwachungsfeedback. Dadurch wurde die Trägheit des Schwungrads angepasst, das Beschleunigungsverhalten um 30 % verbessert und die Wärmeentwicklung des Rotors reduziert.

- **Das Modul zur Anpassung der Trägheit des Rennmotors verwendet einen hohlen** Ausgleichsring aus Wolframlegierung im F1-Rennwagen. Durch Ändern seiner relativen Position wird die Trägheit des Motors angepasst, um den individuellen Anforderungen verschiedener Strecken hinsichtlich der Geschwindigkeitsreaktion gerecht zu werden.

6.1.5 Zukünftige Entwicklungstrends

Mit der zunehmenden Elektrifizierung, Intelligenz und Modularisierung von Automobilen wird sich die Rolle von Gegengewichten aus Wolframlegierungen in Motoren und Fahrgestellen weiterentwickeln:

- **Intelligentes dynamisches Gewichtsausgleichssystem** : Durch die Kombination von MEMS-Sensoren und elektromagnetischen Aktuatoren wird ein dynamisches Gewichtsausgleichssystem aus Wolframlegierung mit Echtzeit-Feedback konstruiert, das den Schwerpunkt und die Trägheit automatisch entsprechend der Motordrehzahl und Laständerungen anpassen kann, um eine aktive Vibrationsreduzierung und Optimierung der Kraftstoffeffizienz zu erreichen.
- **Leichtes und funktionales integriertes Design** : Integrieren Sie ein Gegengewicht aus Wolframlegierung mit elektromagnetischer Abschirmung, Wärmepuffer und anderen Funktionen, um die Anzahl der Teile zu reduzieren und die Systemzuverlässigkeit zu verbessern.
- **Umweltfreundliche Herstellung und Nutzung recycelter Materialien** : Entwicklung einer energiesparenden Sintertechnologie für Wolframlegierungen und Erforschung des Recyclings ausrangierter Motorgewichte, um die Ziele der Kreislaufwirtschaft und der CO₂-Neutralität zu erreichen.

6.2 Optimierungsdesign der Gewichtsverteilung eines F1-Rennwagens

Als eine der technisch anspruchsvollsten Rennkategorien der Welt hängt die Leistungsoptimierung im F1-Rennen nicht nur vom Antriebssystem und der aerodynamischen Auslegung ab, sondern auch in hohem Maße von der wissenschaftlichen Gestaltung und Auslegung des **Fahrzeuggewichtssystems**. Wolframlegierungen mit ihrer extrem hohen Dichte und ihren stabilen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

physikalischen Eigenschaften haben sich für F1-Teams zum idealen Material für die dynamische Balanceeinstellung, die Optimierung des Schwerpunktlayouts und die Feinabstimmung der Streckenanpassung entwickelt.

6.2.1 Bedeutung des Gewichts im F1-Rennsport

Im F1-Rennsport kann jedes Gramm Gewichtsverteilung über Sieg oder Niederlage entscheiden. Gemäß den FIA-Vorschriften beträgt die Mindestgesamtmasse des F1-Autos 2024 798 kg (einschließlich Fahrer). Dies bedeutet, dass das Designteam **unter strengen Gewichtsbeschränkungen extreme Anpassungen an Schwerpunkt, Höhe, Links-Rechts-Balance und dynamischer Lastträglichkeit der Karosserie vornehmen muss**.

Das Gegengewicht dient nicht nur dazu, überschüssiges Material in der Fahrzeugstruktur auszugleichen, sondern muss auch genau auf die Arbeitsbedingungen der **aerodynamischen Komponenten, des Federungs- und Bremssystems abgestimmt sein**, um die folgenden Ziele zu erreichen:

- **Optimieren Sie das Kurvenverhalten** : Eine präzise Gewichtsverteilung vorne und hinten kann das Lenkverhalten verbessern und Unter- oder Übersteuern reduzieren.
- **Verbessern Sie die Bremsleistung** : Die Gewichtsverteilung beeinflusst den Bodendruck der Reifen und somit die Bremsleistung.
- **Verbesserte Beschleunigung und Traktion in Kurven** : Durch die Verlagerung des Schwerpunkts nach hinten wird die Traktion der Antriebsräder verbessert.
- **Verbesserte Konsistenz des Fahrzeughandlings** : Durch Gewichtsanzpassung können das Vertrauen des Fahrers und sein Gefühl der Kontrolle über das Fahrzeug verbessert werden, insbesondere bei rutschigen, holprigen Streckenbedingungen oder Strecken mit unterschiedlichen Temperaturen.

6.2.2 Vorteile von Gegengewichten aus Wolframlegierungen im F1-Rennsport

Die Karosseriestruktur von F1-Rennwagen ist extrem kompakt. Herkömmliche Materialien wie Stahl und Aluminium können die erforderliche Masse auf dem begrenzten Raum nicht bereitstellen. Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer hervorragenden Leistung als einzige Wahl für hochwertige Gegengewichtsmaterialien etabliert.

- **Hohe Massenkonzentration:**
Die Dichte der Wolframlegierung beträgt bis zu $18,5 \text{ g/cm}^3$ und ist damit mehr als 2,3-mal so hoch wie die von Stahl. Das Volumen des Gegengewichts gleicher Masse ist deutlich kleiner, sodass Konstrukteure es in extrem engen Bereichen platzieren können, beispielsweise in der Bodenmitte, hinter dem Radkasten oder in der toten Ecke der Karosserie, um eine präzise Massenverteilung zu erreichen.
- **Ausgezeichnete thermische und strukturelle Stabilität.**
Die Temperatur der Bremsscheibe bei F1-Rennen kann bis zu $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ erreichen, und der Temperaturunterschied innerhalb der Karosserie kann $50 \text{ }^\circ\text{C}$ übersteigen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungen zeichnen sich durch eine gute thermische Trägheit und Dimensionsstabilität aus. Sie halten hohen Temperaturschocks lange Zeit ohne Ausdehnung, Verformung oder Ermüdung stand und gewährleisten so die langfristige Konstanz des Gewichtseffekts.

- **Hohe Bearbeitbarkeit und Flexibilität bei der Anpassung.**

Wolframlegierungen können durch präzise CNC-Bearbeitung, Funkenerosion und MIM-Spritzguss usw. in komplexe geometrische Formen gebracht werden, um sich an die Struktur verschiedener Karosserieteile anzupassen. Sie zeichnen sich durch hohe Festigkeit und gute Verschleißfestigkeit aus und können mit gängigen F1-Materialien wie Kohlefaser und Titanlegierungen kombiniert werden, um die Integration und Zuverlässigkeit zu verbessern.

6.2.3 Strategie zur Optimierung der Gewichtsverteilung

Gegengewichte aus Wolframlegierungen dienen in Rennwagen nicht nur als Lückenfüller. Ihr Layoutdesign selbst ist eine hochkomplexe Systemtechnik, die oft eine zweigleisige Optimierung aus Simulation und tatsächlicher Messung erfordert.

- **Das Gewichtsverteilungsverhältnis**

beträgt etwa 40:60, das spezifische Verhältnis kann jedoch aufgrund der Streckeneigenschaften (wie viele Haarnadelkurven oder lange Geraden) flexibel angepasst werden. Die geringe Größe und die hohe Qualität der Wolframlegierungen ermöglichen es den Konstrukteuren, die Gewichtsverteilung innerhalb der Frontnase oder der Heckflügelstruktur zu optimieren, um die Richtungsstabilität des Fahrzeugs beim Bremsen und seine Fähigkeit zum Beschleunigen aus Kurven heraus zu verbessern.

- **Laterale Gewichtsanpassung**

Die linken und rechten Gewichte spielen eine entscheidende Rolle für die seitliche Lastverteilung des Fahrzeugs beim Kurvenfahren. Insbesondere auf Stadtkursen wie Monaco und dem engen Silverstone Circuit kann ein angemessener seitlicher Gewichtsunterschied das Kurvenverhalten deutlich verbessern und die Lenkdrift reduzieren.

- **Je niedriger der Schwerpunkt, desto stabiler das Auto.**

Blöcke aus Wolframlegierung werden häufig am tiefsten Punkt der Karosserie (z. B. an der Vorder- und Rückseite des Fahrgestells, unterhalb der Batterie) eingebaut, um dem gesamten Auto bei hoher Geschwindigkeit mehr Abtrieb zu verleihen und so beim Beschleunigen bergab oder beim Spurwechsel bei hoher Geschwindigkeit absoluten Bodenkontakt zu gewährleisten.

6.2.4 Tatsächliche Konstruktion und Herstellung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Alle Gegengewichte aus Wolframlegierung werden auf fünfsichtigen CNC-Maschinen mit einer Genauigkeit von unter $\pm 5 \mu\text{m}$ bearbeitet. Dadurch wird sichergestellt, dass der Gewichtsfehler jedes Teils unter 0,05 % liegt. Nach der Herstellung werden Größe und Qualität durch das Drei-Koordinaten-Messsystem CMM überprüft.
- Die Verbindung zwischen Gegengewicht und Karosserierahmen **der strukturell integrierten Festkonstruktion muss leicht und hochfest sein und wird üblicherweise durch Gewindebohrungen aus Titanlegierung und Halterungen aus Kohlefaser fixiert. Einige Teams nutzen sogar 3D-Druck-Klemmsysteme, um eine effiziente Montage und einen schnellen Austausch ohne Schweißen zu erreichen.**
- **Datengesteuertes dynamisches Anpassungssystem.**
Jedes F1-Auto ist mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet, die Daten wie Längsbeschleunigung, Querbelastung, Reifentemperatur und Bodenkontakt erfassen. Ingenieure nutzen Simulationsanalysen (z. B. Finite-Elemente-Analyse FEA + Mehrkörperdynamik MBD), um Wolframgewichtslösungen vor dem Rennen an verschiedene Strecken anzupassen und können auch zwischen Qualifying und Rennen schnell Anpassungen vornehmen.

6.2.5 Fallanalyse

- **Anwendung zur Verbesserung der Kurvenleistung: Ein führendes F1-Team führte** auf der Rennstrecke von Monza in Italien ein neues zentralisiertes Gewichtsmodul aus Wolframlegierung (im hinteren Unterboden) ein. Im Vergleich zum herkömmlichen Modul wurde das Volumen um durchschnittlich 18 % reduziert und der Schwerpunkt um 2,5 mm nach hinten verlagert, ohne die Gesamtmasse zu erhöhen. Dadurch konnte die Kurvengeschwindigkeit des Fahrzeugs um 1,3 km/h erhöht und die Kurvenzeit um 0,21 Sekunden verkürzt werden.
- **Beim Großen Preis von Monaco 2023 hat ein anderes Team einen „Anti-Roll-Block“ aus Wolframlegierung speziell für das Regenwasserabflussdesign auf der linken Seite des Fahrzeugs angepasst, sodass das Fahrzeug in** Kurven mit geringer Haftung die Richtungsstabilität beibehalten, die Anzahl der Heckrutscher deutlich reduzieren und sich schließlich einen Platz in der Punktezone sichern kann.

6.3 Hochgeschwindigkeitsschienen- und Hochgeschwindigkeitszug-Gegengewichtsmodul

Da der moderne Schienenverkehr höhere Anforderungen an Betriebsgeschwindigkeit, Komfort und Sicherheit stellt, wird die Konstruktion von Hochgeschwindigkeitszügen immer komplexer und anspruchsvoller. Angesichts der hochintegrierten Wagenkastenstruktur, des geringen Gewichts und variabler Betriebsbedingungen ist die sinnvolle Anordnung **leistungsstarker Gegengewichtsmodule** zu einem unverzichtbaren Bestandteil der Zugkonstruktion geworden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit und hervorragenden Haltbarkeit ersetzt Wolframlegierungen zunehmend traditionelle Materialien wie Stahl und Blei. Sie werden in Hochgeschwindigkeitszügen und -zügen zur Schwerpunktkontrolle, **zur Reduzierung dynamischer Lastschwingungen und zur Lärminderung eingesetzt**, und ihr technischer Wert gewinnt zunehmend an Bedeutung.

6.3.1 Hintergrund der Gegengewichtstechnologie für Hochgeschwindigkeitszüge

Bei Geschwindigkeiten von 300–400 km/h sind Hochgeschwindigkeitszüge komplexen physikalischen Bedingungen ausgesetzt, beispielsweise starken **Vibrationsbelastungen, Zentrifugalkräften, Störungen des Luftwiderstands, Bremsstößen** usw. Die dynamische Reaktion des Wagenkastens ist beim Abbiegen, Beschleunigen oder Abbremsen oder beim Durchfahren heterogener Abschnitte wie Brücken und Tunnel noch intensiver.

Schwerpunkteinstellung und Schwingungskontrollmechanismen bereits in der frühen Entwurfsphase. Das Gegengewichtsmodul übernimmt als dynamische Ausgleichs- und Schwingungsdämpfungs Komponente auf Systemebene hauptsächlich die folgenden Aufgaben:

- **Korrigieren Sie den Schwerpunkt des Fahrzeugs und des Wagens** und optimieren Sie die Radachslastverteilung.
- **Passen Sie den Anpassungsgrad der Komponentenschwingungsfrequenz an**, um Resonanz und strukturelle Ermüdung zu verhindern.
- **Verbessern Sie den Fahrkomfort und den Geräuschpegel** und steigern Sie die Qualität des kommerziellen Betriebs.
- **Unterstützt das Federungssystem, um eine präzise dynamische Reaktion zu erreichen** und die Systemkomplexität zu reduzieren.

6.3.2 Vorteile des Gegengewichtsmoduls aus Wolframlegierung

In der Schienenfahrzeugindustrie muss das Gegengewichtsmodul nicht nur schwer, sondern auch stabil sein. Wolframlegierungen verfügen über zahlreiche Eigenschaften, die ihnen im Hochgeschwindigkeitsbahnbereich unersetzliche technische Vorteile verleihen:

- **aus hochdichter und hochwertiger**
Wolframlegierung kann 18,0–18,5 g/cm³ erreichen, was mehr als dem Doppelten von gewöhnlichem Kohlenstoffstahl entspricht. Im Boden der Fahrzeugkarosserie oder im Aufhängungshohlraum, wo der Platz extrem begrenzt ist, kann das erforderliche Gegengewicht in einem kleineren Volumen erreicht werden, ohne dass andere Systemlayouts beeinträchtigt werden müssen.
- **Hervorragende mechanische Festigkeit und dynamische Lastanpassungsfähigkeit.**
Der Hochgeschwindigkeitsschienenkörper ist im Betrieb Millionen von Schwingungszyklen ausgesetzt. Die Wolframlegierung zeichnet sich durch hohe Zugfestigkeit, hohen Elastizitätsmodul und extrem niedrige Ermüdungsrisswachstumsraten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aus. Dadurch bleibt das Gegengewichtsmodul auch bei lang anhaltender Hochfrequenzbelastung strukturell intakt.

- **Hervorragende Umweltbeständigkeit:**
Chinas Hochgeschwindigkeitsstrecken erstrecken sich über verschiedene Klimazonen wie Hochebenen, Wüsten und Küstengebiete. Wolframlegierungen sind hervorragend beständig gegen Feuchtigkeit, Hitze, Salznebel, Säure- und Alkalikorrosion und können extremen Klimabedingungen lange Zeit ohne Rost oder Verformung standhalten.
- **Durch eine gute strukturelle Verarbeitbarkeit**
können komplexe und speziell geformte Strukturdesigns durch Pulvermetallurgie, heißisostatisches Pressen, CNC-Verarbeitung und Schweißformen realisiert werden, wodurch die Anforderungen an die modulare Installation, den schnellen Austausch und die präzise Integration von Hochgeschwindigkeitszügen erfüllt werden.

6.3.3 Aufbau des Gegengewichtsmoduls

Im Hochgeschwindigkeitsschienenfahrzeugsystem muss die Anordnung der Gegengewichte aus Wolframlegierungen in Abstimmung mit der Fahrzeugstruktur, der elektronischen Steuerung, dem Federungssystem sowie der Lärm- und Vibrationsschutzstrategie erfolgen. Die wichtigsten Konstruktionsrichtungen sind:

- **Das Gegengewicht des Wagenkastens**
wird üblicherweise auf einer Strukturhalterung oder einer niedrigen Kabine nahe der Mittelachse des Wagenkastens montiert. Durch die präzise Einstellung der Längs- und Querschwerpunktpositionen kontrolliert es die Neigung des Zuges zum Umkippen, Schwanken und Schütteln bei hoher Geschwindigkeit.
- **Das Gegengewichtsmodul des Aufhängungssystems**
kann im primären oder sekundären Aufhängungssystem verwendet werden, um die Vibrationsübertragungsrate zu reduzieren, die Fahrzeugstabilität und den Vibrationsisolierungseffekt durch Anpassung der Systemresonanzfrequenz und Verbesserung der Stoßdämpferreaktion zu verbessern.
- **Rad- und Drehstellgegengewichte sind**
an bestimmten Stellen des Radachsensystems oder Drehgestells mit Blöcken aus Wolframlegierung ausgestattet, um **die Trägheit auszugleichen** und Geräusche zu unterdrücken, insbesondere in Kurvenabschnitten oder Weichendurchgängen, um seitliche Vibrationen und Serpentinbewegungen zu unterdrücken und die Lebensdauer des Rad-Schiene-Systems zu verlängern.
- **Die Hilfsstruktur für das Gegengewicht der Fahrzeugausrüstung**
dient als lokaler Gewichtsausgleich für schwere Ausrüstung wie Klimaanlage und Fahrmotoren, um asymmetrische Schwingungen zu vermeiden. Sie gleicht außerdem Module wie Bordbatterien und elektronische Steuereinheiten aus, um die EMV-Stabilität zu verbessern und die Wartung zu vereinfachen.

6.3.4 Anwendungspraxis

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In den letzten Jahren haben Hersteller von Hochgeschwindigkeitszügen in vielen Ländern damit begonnen, Gegengewichtssysteme aus Wolframlegierungen in den Inbetriebnahme- und Optimierungsprozess ihrer Fahrzeuge einzuführen und dabei bemerkenswerte Ergebnisse erzielt:

- **Fall 1: Technischer Test des Hochgeschwindigkeitszuges CR400AF.**

Ein bestimmter EMU-Typ verwendet ein Chassis mit zentralisiertem Gewichtsmodule aus Wolframlegierung. Im Vergleich zur herkömmlichen Gusseisenlösung wird das Strukturvolumen um fast 50 % reduziert, während der Zugbetriebsstabilitätsindex um 11 % verbessert und die Erfolgsquote beim Seitenwindstabilitätstest um 15 % erhöht wird.

- **Fall 2: Bei einem Projekt zur Komfortverbesserung in Hochgeschwindigkeitszügen in Europa wurden modulare**

Wolfram-Gegengewichte in das Sekundärfederungssystem integriert, wodurch das Problem der Kabinenvibration wirksam verringert wurde. Der Effektivwert der Sitzbeschleunigung sank um etwa 0,08 m/s², und die Punktzahl in der Fahrgastzufriedenheitsumfrage stieg um mehr als 20 %.

6.3.5 Entwicklungstrend

Mit der Weiterentwicklung der Ziele „intelligente Hochgeschwindigkeitsbahn“, „grüner Hochgeschwindigkeitszug“ und „Kohlenstoffspitzen und Kohlenstoffneutralität“ bewegt sich das Design von Gegengewichtsmodule aus Wolframlegierungen schrittweise in Richtung Digitalisierung, Intelligenz und Nachhaltigkeit:

- **werden**

die Gegengewichtsblöcke des intelligenten, einstellbaren Gegengewichtssystems mit **MEMS-Sensoren und elektrischen Verschiebungsmodulen kombiniert, um eine Massen Anpassung und Schwerpunktverschiebung in Echtzeit zu erreichen**, wenn sich die Fahrzeuglast und die Fahrgeschwindigkeit ändern, wodurch die Anpassungsfähigkeit und das Energiesparniveau des Systems verbessert werden.

- **Materialrecycling und umweltfreundliche Herstellung**

fördern die **metallurgische Recyclingtechnologie** und das **Pulverrecyclingsystem** von Wolframlegierungen, verringern die Abhängigkeit vom Abbau von Wolframressourcen und ermöglichen die Kreislaufnutzung hochwertiger Gegengewichtsmaterialien.

- **Das integrierte multifunktionale modulare Design**

vereint die funktionalen Anforderungen an Wärmedämmung, Schallabsorption, Flammhemmung, Vibrationsreduzierung usw. und integriert die Gegengewichtsstruktur aus Wolframlegierung mit anderen Komponenten (wie Kabelkanälen und Strukturverstärkungen), um die Raumausnutzung und den Strukturvereinfachungsgrad des Zuges zu verbessern.

6.4 Kräne, Hebezeuge und Gegengewichte für Schildmaschinen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Im modernen Großbau und Infrastrukturbau übernehmen schwere Maschinen wie Kräne, Hebezeuge und Schildmaschinen wichtige Aufgaben. Diese Geräte weisen im Betrieb häufig Probleme wie Schwerpunktverlagerung, strukturelle Erschütterungen und Lastungleichgewichte auf. Ein nicht optimal konfiguriertes Gegengewichtssystem führt nicht nur zu instabilem mechanischen Betrieb und verringerter Baueffizienz, sondern kann auch zu Sicherheitsunfällen führen. Gegengewichtsblöcke aus Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer hohen Dichte, Festigkeit und hervorragenden strukturellen Stabilität als ideale Wahl für leistungsstarke Gegengewichtslösungen in diesen Geräten erwiesen.

6.4.1 Bedeutung von Gegengewichten für Baumaschinen

Wenn Baumaschinen Aktionen wie Heben, Ausheben, Drehen oder Transportieren ausführen, verschiebt sich ihr Schwerpunkt, wenn sich Struktur und Last ändern. Zum Beispiel:

- Nachdem der Kran das schwere Objekt angehoben hat, verlagert sich der Gesamtschwerpunkt nach vorne, was sehr wahrscheinlich die Gefahr des Umkippens birgt.
- Während des Vortriebs der Schildmaschine muss der Schwerpunkt ständig angepasst werden, um das Gleichgewicht der vorderen und hinteren Kräfte aufrechtzuerhalten und die Aushubrichtung sicherzustellen.
- Große Hebegeräte müssen die Stabilität der Drehbühne unter asymmetrischen Lastbedingungen aufrechterhalten, um ein Setzen des Fundaments oder strukturelle Vibrationen zu vermeiden.

Daher ist die wissenschaftliche und rationale Konstruktion des Gegengewichtssystems, um sicherzustellen, dass die Maschine unter verschiedenen Arbeitsbedingungen über ausreichende Stabilität verfügt, ein zentrales technisches Problem, um die Konstruktionssicherheit, die Lebensdauer der Maschine und die Betriebseffizienz zu gewährleisten.

6.4.2 Anwendungsvorteile von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

Im Vergleich zu herkömmlichen Gegengewichten aus Stahl oder Gusseisen weist die Wolframlegierung die folgenden wesentlichen Vorteile auf, wodurch sie sich besser für Hochleistungsgegengewichte in modernen Maschinenbaumaschinen eignet:

- **Eine hohe Dichte reduziert das Volumen der Gegengewichte.**
Die Dichte einer Wolframlegierung beträgt bis zu 18 g/cm³ und ist damit deutlich höher als die von gewöhnlichem Stahl (ca. 7,8 g/cm³). Dadurch kann eine höhere Gegengewichtsmasse auf begrenztem Raum erreicht, das Modulvolumen deutlich reduziert und die Anforderungen an eine kompakte Bauweise erfüllt werden.
- **Hervorragende Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit.**
Technische Geräte sind häufig extremen Umgebungen wie hohen Temperaturen, hoher Luftfeuchtigkeit, hohem Salz-, Säure-, Alkali- oder Sand- und Staubgehalt ausgesetzt. Wolframlegierungen selbst weisen eine gute chemische Stabilität und physikalische

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verschleißfestigkeit auf, was ihre langfristige Betriebsstabilität gewährleistet und die Häufigkeit des Austauschs reduziert.

- **Hohe Schlagfestigkeit:**

Wolframlegierungen zeichnen sich durch einen hohen Elastizitätsmodul und eine hohe Streckgrenze aus. Selbst bei plötzlicher Belastung durch schwere Gegenstände, Fundamentresonanzen und schweren Kollisionen mit Baumaschinen bleiben die Verformungen gering und die hohe Stabilität erhalten, wodurch die Stoßbelastung effektiv abgefedert wird.

- **Ungiftige und umweltfreundliche Alternativmaterialien:**

Die Verwendung von Blei in herkömmlichen Gegengewichten birgt Risiken hinsichtlich Toxizität und Umweltverschmutzung. Wolframlegierungen sind ungiftige, recycelbare und umweltfreundliche Metalle, die die Anforderungen aktueller technischer Projekte hinsichtlich der Umweltvorschriften erfüllen.

6.4.3 Konstruktionsprinzipien für Gegengewichte

Die Konstruktion des Gegengewichts von Baumaschinen sollte entsprechend der Gerätestruktur, der Betriebsart und dem Arbeitsszenario individuell angepasst und optimiert werden, wobei im Wesentlichen die folgenden Grundsätze zu beachten sind:

- **Mechanisches Gleichgewicht ist vorzuziehen.**

Gegengewichte aus Wolframlegierung sollten an Schlüsselstrukturen angebracht werden, bei denen sich der Schwerpunkt deutlich ändert, beispielsweise an der gegenüberliegenden Seite des Auslegers, am hinteren Ende der Drehplattform oder am Heck der Schildmaschine. Das dynamische Gleichgewicht der Struktur kann durch Berechnung des Schwerkräftmoments erreicht werden, um das Risiko eines Überschlags oder Umkippens zu vermeiden.

- **Aus Sicherheitsgründen**

muss die Verbindungsmethode des Gegengewichts ein **hochfestes mechanisches Befestigungssystem umfassen**, beispielsweise eine Kombination aus Bolzen + Positionierungsstiften + Begrenzungsschlitz. Außerdem muss eine Anti-Lockerungsstruktur vorgesehen werden, um zu verhindern, dass sich das Gegengewicht bei Gerätevibrationen löst oder abfällt.

- **Einfache Wartung**

Der modulare Aufbau ermöglicht einen schnellen Austausch und eine Anpassung des Gegengewichts und ermöglicht so einen flexiblen Einsatz bei wechselnden Baustellenbedingungen. Einige Geräte verfügen zudem über eine Führungsschiene oder ein Gleitdesign, um die Montage des Gegengewichts effizienter zu gestalten.

- **Der zukünftige Trend zur strukturellen Integration erfordert, dass**

Gegengewichte aus Wolframlegierungen nicht nur die Funktion von Traggewichten haben, sondern auch in Gerätestrukturen wie Stützbalken und Verstärkungsplatten integriert werden können, um die allgemeine strukturelle Steifigkeit zu verbessern und den Installationsprozess zu vereinfachen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4.4 Spezifische Anwendungsbeispiele

Im Folgenden sind typische Anwendungsbeispiele für Gegengewichte aus Wolframlegierungen in Baumaschinen aufgeführt:

- **Das Gegengewicht des Turmdrehkrans ist mit einem**
Modul aus Wolframlegierung an der Basis des Turmdrehkrans oder am hinteren Ende der Drehbühne ausgestattet, wodurch die Reaktionskraftunterstützung der Frontlast während des Hebevorgangs effektiv verbessert wird. Insbesondere beim Bau von Hochhäusern in Städten ist der Hubraum begrenzt, und die hochdichten Eigenschaften der Wolframlegierung lösen das Problem des „zu großen Volumens“ herkömmlicher Gegengewichte.
- **Bei großen Hebegegeräten wie Rad- und Raupenkränen können Gegengewichte aus Wolframlegierung unter dem Schwenkfahrgestell**
oder Ausleger angebracht werden, um die Schwerpunktverlagerung durch das Ausfahren des Auslegers während des Hebevorgangs zu unterdrücken und die Sicherheitsmarge des Hebevorgangs zu verbessern.
- Die Wolframlegierungsblöcke des **Gegengewichtssystems der Schildmaschine sind auf beiden Seiten des Hecks der Schildmaschine und hinter dem Hauptantriebssystem installiert, um den vorwärts gerichteten Schwerpunkt des**
Schneidkopfes während des Vortriebs auszugleichen, die Lagestabilität der Maschine während des Aushubs aufrechtzuerhalten und Gier- und Spurstörungen zu reduzieren.
- **Wipbares Gegengewichtssystem für Raupenkräne**
Einige hochwertige Raupenkräne sind mit einem beweglichen Gegengewichtsfahrzeug aus Wolframlegierung ausgestattet, das die Position des Gegengewichts durch eine Verbindung anpassen kann, um sich an die Anforderungen der Schwerpunktänderung in Echtzeit anzupassen, wenn sich der Ausleger ändert.

6.4.5 Branchenentwicklungstrends

Da sich Hebe- und Schildausrüstungen in Richtung **größerer Tonnagen, längerer Betriebszyklen und komplexerer Arbeitsbedingungen entwickeln**, wird das Gegengewichtssystem aus Wolframlegierungen die folgenden technischen Entwicklungstrends aufweisen:

- **Strukturelle Integration und effiziente Montage**
Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden stärker in die Hauptstruktur des Geräts integriert, um eine Integration von Struktur und Funktion zu erreichen. Beispielsweise ist der Gegengewichtsblock in die Verstärkungsrippen am Auslegerende integriert, um die Anzahl der Schweißteile zu reduzieren und die strukturelle Festigkeit zu verbessern.
- **Das intelligente Überwachungs- und dynamische Anpassungssystem für das Gegengewicht wird**
intelligente Wiegemodule, Trägheitssensoren, Positionsgeber und andere elektronische Komponenten einführen, um eine Echtzeitüberwachung des Schwerpunkts

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und eine Rückmeldung zum Status des Gegengewichts zu erreichen, Datenunterstützung für das Gerüststeuerungssystem bereitzustellen und bei der automatischen Anpassung der Gegengewichtsposition zu helfen.

- **Umweltfreundliche Fertigung und Recycling:**

Vor dem Hintergrund der „Dual Carbon“-Ziele werden Baumaschinenhersteller verstärkt auf die Recyclingfähigkeit und den Energieverbrauch beim Schmelzen von Gegengewichtsmaterialien achten. Wolframlegierungen können durch Recycling- und Nachsintertechnologie wiederverwendet werden, was dem zukünftigen Kreislaufwirtschaftsmodell entspricht.

- **Das multifunktionale Verbundgegengewichtsdesign**

integriert den Gegengewichtsblock mit Komponenten wie dem Hydrauliköltank, dem Batteriefach und der Kühleinheit, um die Kompaktheit der Fahrzeugstruktur und den Grad der Funktionsintegration zu verbessern.

6.5 Stabiles Gegengewichtskonzept für Tiefbau und große Baumaschinen

Bei großen Tiefbauprojekten wie dem Bau moderner Infrastruktur, der Stadterweiterung und der Bergbauentwicklung kommen häufig schwere Baumaschinen wie Bagger, Bulldozer, Lader und Rammen zum Einsatz. Bei hohen Belastungen dieser Maschinen beeinflussen ihre Betriebsstabilität, Schwerpunktkontrolle und Kippsicherheit die Baueffizienz und Arbeitssicherheit maßgeblich. Insbesondere unter schwierigen Arbeitsbedingungen wie weichem Boden, an Hängen, in unebenem Gelände oder bei extremen Wetterbedingungen muss die Maschine über eine hervorragende Balance verfügen.

Aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit und hervorragenden Umwelthanpassungsfähigkeit hat sich Wolframlegierung zum Kernmaterial moderner Hochleistungs-Gegengewichtssysteme entwickelt und bietet eine zuverlässige und effiziente Gegengewichtslösung für Tiefbaumaschinen.

6.5.1 Technischer Hintergrund von Gegengewichten für große Baumaschinen

Wenn Tiefbaumaschinen Aufgaben wie Greifen, Schaufeln, Graben und Schieben ausführen, kommt es zu einer starken Schwerpunktverlagerung. Zum Beispiel:

- **Wenn der Bagger** vollständig ausgefahren ist, verlagert sich der Schwerpunkt der gesamten Maschine nach vorne. Wenn das Gegengewicht nicht ausreicht, kippt das Heck leicht oder die gesamte Maschine kippt um.
- **Wenn der Lader die Schaufel mit voller Ladung anhebt, verschiebt sich der Aufbau des Laders in Längsrichtung, wodurch die Gefahr des Umkippens steigt.**
- **der Bulldozer** bei Hochgeschwindigkeits-Schiebevorgängen einen niedrigen Schwerpunkt beibehalten muss, um seitliches Abrutschen und Wackeln zu verhindern.

Um die oben genannten Anforderungen zu erfüllen, muss die Ausrüstung mit einem Gegengewichtssystem von ausreichender Qualität, sinnvoller Konstruktion und zuverlässiger

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Befestigung ausgestattet sein. Herkömmliche Gegengewichte aus Stahl oder Gusseisen weisen Mängel wie großes Volumen, schwierige Anordnung und unzureichende Dichte auf, die den Anforderungen moderner Großbaumaschinen an kompakte Bauweise und effizienten Betrieb kaum gerecht werden. Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer hohen Dichte von 18 g/cm³ und der größeren Masse bei gleichem Volumen allmählich zum gängigen Hochleistungsmaterial für Gegengewichte entwickelt.

6.5.2 Vorteile von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

Wolframlegierungen im Gegengewichtssystem von Baumaschinen für den Tiefbau spiegeln sich in folgenden Aspekten wider:

- **Hohe Dichte spart Bauraum.**

Das spezifische Gewicht der Wolframlegierung beträgt etwa das 2,3-fache des von herkömmlichem Stahl. Dadurch kann die erforderliche Gegengewichtsmasse in einem sehr kleinen Volumen erreicht werden. Dies eignet sich sehr gut für den Heck-, Boden- oder Lagerbereich von Geräten mit kompaktem Bauraum.

- **Hohe Haltbarkeit, anpassbar an raue Arbeitsbedingungen.**

Auf Baustellen herrschen häufig Staub, Feuchtigkeit, Säure- und Alkalikorrosion, hohe Luftfeuchtigkeit, hohe Temperaturen und andere komplexe Umgebungen. Wolframlegierungen selbst weisen eine hervorragende Korrosions- und Verschleißfestigkeit auf, was die Lebensdauer des Gegengewichts deutlich verlängert und die Häufigkeit von Austausch und Wartung reduziert.

- **Hervorragende Schlagfestigkeit**

: Baumaschinen sind unter hohen dynamischen Belastungen häufigen Stößen und Vibrationen ausgesetzt. Wolframlegierungen verfügen über einen hohen Elastizitätsmodul und eine hohe Streckgrenze, wodurch sie Ermüdungsschäden wirksam widerstehen und die Stabilität der Gegengewichtsstruktur sowie die Betriebssicherheit gewährleisten.

- **Ungiftig und umweltfreundlich, ersetzt bleihaltige Materialien**

. Im Vergleich zu einigen herkömmlichen bleihaltigen Gegengewichtsmaterialien ist Wolframlegierung ungiftig und enthält keine flüchtigen Schwermetalle. Sie erfüllt die Anforderungen internationaler Umweltvorschriften wie REACH und RoHS vollständig und wird häufig im Bau- und Maschinenbau eingesetzt.

6.5.3 Gegengewichtskonstruktion

Gegengewichte aus Wolframlegierungen in großen Baumaschinen erfordern einen wissenschaftlichen und sinnvollen modularen Layoutplan, der auf der Maschinenstruktur, der Arbeitshaltung und der Bauumgebung basiert:

- **Die Konstruktion mit niedrigem Schwerpunkt**

sollte möglichst am Fahrgestell oder am Heck der Fahrzeugkarosserie angebracht werden, um den Schwerpunkt der gesamten Maschine niedrig zu halten und die Kippsicherheit zu

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

verbessern. Sie eignet sich besonders für Arbeitsbedingungen mit großem Seitenschub, wie z. B. bei Bulldozern und Rammen.

- **Der Gegengewichtsblock**
besteht aus mehreren austauschbaren und stapelbaren Moduleinheiten. Die verschiedenen Module werden durch Bolzen, Riegel oder Schienen verbunden, um die Gegengewichtsmasse und den Schwerpunkt nach Bedarf anzupassen. Er lässt sich vor Ort schnell austauschen und an unterschiedliche Bauaufgaben anpassen.
- **Sicherheitsmaßnahmen zur Befestigung:**
Der Gegengewichtsblock muss durch eine hochfeste mechanische Struktur befestigt und mit Schutzvorrichtungen wie Anti-Lockerungsmuttern, Anti-Rutsch-Dichtungen und Begrenzungsstrukturen ausgestattet werden, um zu verhindern, dass sich das Gegengewicht während der Konstruktion löst und abfällt, und um die Betriebssicherheit zu verbessern.
- **In die Strukturkonstruktion integriert**
Während der Konstruktionsphase der Ausrüstung kann das Gegengewicht aus Wolframlegierung in die Hauptstruktur der Ausrüstung (wie etwa Heckrahmen, Seitenwände, Schilde usw.) eingebettet werden, um die Integration von Struktur und Gegengewicht zu erreichen, wodurch Bauraum gespart und die Steifigkeit der gesamten Maschine verbessert wird.

6.5.4 Typische Anwendungsbeispiele

Im Folgenden sind typische Anwendungsszenarien für Gegengewichte aus Wolframlegierungen in bestimmten Geräten aufgeführt:

- **Großes Bagger-Gegengewichtssystem**
Das Gegengewichtsmodul aus Wolframlegierung wird am Heck des Baggers installiert, um einen Massenausgleich auf begrenztem Raum zu erreichen und die stabile Reaktion der gesamten Maschine auf die Bewegung des schweren Arms zu verbessern. Beim Betrieb in bestimmten Hochebenen oder geologisch schwachen Gebieten wird das Gegengewicht speziell mit einer stoßfesten Beschichtung versehen, um Rissen vorzubeugen.
- **Beim Beladen**
wird der Wolframlegierungsblock zwischen Fahrzeugheck und Fahrgestell eingebaut. Durch die Anpassung seiner Masse und Anordnung können der Wenderadius der gesamten Maschine und die Balance beim Heben und Senken der Schaufel optimiert und so die betriebliche Flexibilität und Effizienz verbessert werden.
- **Bei der Konstruktion des Unterrahmens und des Heckausgleichsbalkens des Gegengewichtsoptimierungssystems der Planierdraupe wird eine Wolframlegierung verwendet**
, damit die Ausrüstung bei Hochgeschwindigkeitsfahrten und scharfen Kurven eine starke Überschlagsfestigkeit behält und sich an komplexe Bodenkonstruktionen anpassen kann.
- **Das Gegengewicht der Rammausrüstung für Pfahlgründungen**
nutzt die hohe Dichte der Wolframlegierung, um symmetrische Gegengewichte am Hauptturm oder unter der Ausrüstung anzubringen, wodurch die durch den Aufprall des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hammerkopfes verursachte Störung des Schwerpunkts des Maschinenkörpers wirksam ausgeglichen und die vertikale Kontrollfähigkeit der Pfahlposition verbessert wird.

6.5.5 Zukünftige Technologietrends

Mit der Entwicklung intelligenter Konstruktionstechnologie, hochmoderner Maschinen und Geräte sowie digitaler Konstruktion wird sich das Gegengewichtssystem aus Wolframlegierungen in Zukunft in folgende Richtungen entwickeln:

- **Das intelligente Gegengewichtsanpassungssystem**
kombiniert eine Trägheitsmesseinheit (IMU), einen Laser-Entfernungsmesser, einen Drucksensor usw., um Änderungen des Schwerpunkts der Ausrüstung in Echtzeit zu erfassen, und treibt das Wolframlegierungsmodul über einen Motor an, um eine adaptive Gegengewichtsanpassung zu erreichen.
- **Verbundkonstruktion aus Gegengewicht und Energiesystem**
Bei Elektrobaggern, Hybrid-Bulldozern und anderen Geräten kann das Gegengewicht aus Wolframlegierung auch als **Batterieschutzfach und Kühlerschutzpanzerung dienen**, wodurch eine Mehrfachintegration von Gewicht, Struktur und Funktion realisiert wird.
- **Grüne Herstellung und Aufbau eines recycelbaren Systems**
Mit der Weiterentwicklung der dualen Kohlenstoffpolitik wird die Produktion von Gewichten aus Wolframlegierungen auf eine kohlenstoffarme und energiesparende Weise umgestellt, die Recyclingrate von Abfallgewichten erhöht und ein geschlossenes Kreislaufsystem der Kreislaufwirtschaft aufgebaut.
- **Additive Fertigung und Anpassung komplexer Strukturen:**
Passen Sie Gegengewichte aus Wolframlegierungen mit komplexer Struktur mithilfe der 3D-Drucktechnologie an, um die Strukturverteilung und Gewichtsanzordnung weiter zu optimieren und sich an den zukünftigen Trend der personalisierten und in kleinen Chargen gefertigten Anpassung von Baumaschinen anzupassen.

Kapitelzusammenfassung

Gegengewichte aus Wolframlegierungen sind in der Automobil- und Maschinenbauindustrie weit verbreitet und von entscheidender Bedeutung. Sie umfassen dynamische Gegengewichte für Motoren und Fahrgestelle, die Verteilung von Gegengewichten für Rennwagen, Gegengewichtsmodul für Hochgeschwindigkeitszüge, Gegengewichte für Hebezeuge und stabile Gegengewichte für große Baumaschinen. Dank ihrer hervorragenden Dichte und mechanischen Eigenschaften tragen Wolframlegierungen maßgeblich zum geringen Gewicht, der hohen Leistung und der Sicherheit von Fahrzeugen und Maschinen bei. Mit der Entwicklung intelligenter Fertigungs- und Werkstofftechnologien wird sich das Design von Gegengewichten aus Wolframlegierungen in Richtung höherer Präzision, Modularisierung und Intelligenz

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

weiterentwickeln und die Automobil- und Maschinenbauindustrie zu einem höheren Maß an technologischer Innovation führen.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Kapitel 7 Anwendung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen in elektronischen und medizinischen Geräten

7.1 Gegengewichtskomponenten für Präzisionsinstrumente und Gyroskope

Im Bereich hochpräziser Instrumente, insbesondere in Trägheitsnavigationssystemen, spielen Gegengewichtskomponenten eine Schlüsselrolle beim Massenausgleich. Als wichtige Komponente von Trägheitsnavigationssystemen steht die Massenverteilung des Rotors und der rotierenden Teile von Gyroskopen in direktem Zusammenhang mit der Messgenauigkeit und Systemstabilität. Wolframlegierungen bieten mit ihrer hervorragenden Dichte und ihren mechanischen Eigenschaften einen unersetzlichen Vorteil bei dieser Art von Gegengewichtskomponenten.

7.1.1 Fallanalyse

Gegengewicht für Trägheitsnavigationskreisel in der Luftfahrt

Ein namhaftes Luft- und Raumfahrtunternehmen verwendet Mikrogewichte aus Wolframlegierungen, um den Kreiselrotor seiner neuen Generation von Trägheitsnavigationskreiseln präzise auszubalancieren. Mit einer Dichte von bis zu $18,5 \text{ g/cm}^3$ erreichen die Gegengewichte aus Wolframlegierung eine Massengenauigkeit im Mikrogrammbereich auf kleinstem Raum. Diese Konstruktion reduziert die durch ungleichmäßige Massenverteilung verursachten Vibrationen und Exzenterkräfte des Rotors deutlich und beseitigt so die Fehlerquelle im Messvorgang.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nach einer dynamischen Systemsimulation und strengen dynamischen Gleichgewichtstests konnte durch die präzise Anordnung der Gegengewichte die Messgenauigkeit des Gyroskops für die Winkelgeschwindigkeit verbessert und die Leistung des Lageregelungssystems des Flugzeugs weiter optimiert werden. Dies hat die Stabilität und Sicherheit der Flugzeugnavigation, insbesondere in hochdynamischen Umgebungen, effektiv verbessert.

Hochpräzise Gegengewichte in geologischen Explorationsgeräten. In der seismischen Exploration ist die Stabilität von Schwingungssensoren und seismischen Instrumenten entscheidend für die Genauigkeit geologischer Daten. Ein

Hersteller von geologischen Explorationsgeräten verwendet Gegengewichtselemente aus Wolframlegierungen und installiert sie im Schwingungssystem des Geräts. So wird sichergestellt, dass der Sensor hochempfindlich auf kleinste Bodenschwingungen reagiert.

Komponenten aus Wolframlegierungen sorgen dafür, dass der Gegengewichtsblock bei begrenztem Volumen ausreichend Masse aufweist, was die mechanische Stabilität und die Störfestigkeit des Geräts verbessert. Auch in komplexen Feldumgebungen kann das Instrument seine stabile Leistung beibehalten und die Genauigkeit der Datenerfassung deutlich verbessern. Dies unterstützt effektiv die Analyse geologischer Strukturen und die Ressourcenerkundung.

7.1.2 Materialprozess

Pulvermetallurgie-Prozess

Gewichtskomponenten aus Wolframlegierungen werden üblicherweise mithilfe fortschrittlicher Pulvermetallurgie-Technologie hergestellt. Hochreines Wolframpulver dient als Ausgangsmaterial, und durch Hochtemperatursintern unter Vakuum oder Schutzgasatmosphäre entsteht ein hochdichter Rohling aus Wolframlegierung. Dieser Prozess beseitigt Poren und Einschlüsse und gewährleistet eine gleichmäßige und dichte innere Struktur des Materials.

Das gesinterte Wolframlegierungsmaterial verfügt über eine hervorragende mechanische Festigkeit und stabile physikalische Eigenschaften, die sich an die langfristige Arbeitsumgebung von Präzisionsinstrumenten anpassen. Das pulvermetallurgische Verfahren kann zudem die Härte, Zähigkeit und Verarbeitungsleistung des Materials optimieren, indem das Zusammensetzungsverhältnis angepasst wird (z. B. durch Zugabe von Flussmitteln wie Nickel und Eisen), um den speziellen Anforderungen verschiedener Instrumente an Gegengewichtsmaterialien gerecht zu werden.

Zerspanung und Präzisionsschleifen

Der gesinterte Block aus Wolframlegierung wird bearbeitet, um die Basis des Gegengewichtselements zu bilden. Die Grob- und Feinbearbeitung erfolgt mit CNC-Werkzeugmaschinen, kombiniert mit hochpräziser Schleiftechnologie, um eine Maßgenauigkeit im Mikrometerbereich zu erreichen. Beim Schleifprozess wird besonderes Augenmerk auf

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberflächenebenheit und Maßhaltigkeit gelegt, um sicherzustellen, dass der Gegengewichtsblock bei der Montage die Konstruktionsanforderungen erfüllt.

Während des Bearbeitungsprozesses müssen Wärmezufuhr und Schnittparameter streng kontrolliert werden, um lokale Spannungen und Verformungen des Materials zu vermeiden. Für ultrakleine Gegengewichtskomponenten können auch Mikrobearbeitungstechnologien wie Funkenerosion (EDM) eingesetzt werden, um die Präzisionsfertigung komplexer Formen zu erreichen.

Oberflächenbehandlung

Um die Korrosionsbeständigkeit und die Oberflächenbeschaffenheit der Gegengewichtskomponenten zu verbessern, werden häufig chemisches Polieren, mechanisches Polieren und Metallbeschichtungsverfahren eingesetzt. Chemisches Polieren kann mikroskopische Oberflächendefekte beseitigen, den Reibungskoeffizienten senken und das Risiko von Partikelablösungen verringern.

Oberflächenbeschichtungen (z. B. Vernickeln, Vergolden usw.) verbessern nicht nur die Korrosionsbeständigkeit, sondern auch die Montageeigenschaften der Komponenten und verhindern durch Oxidation verursachte Maßänderungen und schlechten Kontakt. Für spezielle Anwendungen werden Wolframlegierungsoberflächen zusätzlich mit Strahlungs- oder Verschleißschutzbeschichtungen versehen, um ihre Umweltverträglichkeit zu verbessern.

7.1.3 Entwurfsmethode

Simulationsanalyse der Massenverteilung

Während der Konstruktionsphase wurde das dynamische Verhalten des Gyroskoprotors mithilfe der Finite-Elemente-Analyse (FEA) simuliert. Dabei lag der Schwerpunkt auf dem Einfluss der Massenverteilung auf die Rotationsstabilität des Rotors. Durch die Simulation verschiedener Gewichtungsschemata wurden die optimale Position, Form und Masse des Gewichtsblocks ermittelt, um ein optimales Gleichgewicht der Rotorträgheit zu erreichen.

Der Simulationsprozess kombiniert den Rotorschwingungsmodus, um die mögliche Resonanzfrequenz und -amplitude vorherzusagen, vermeidet nichtlineare Schwingungen und dynamische Instabilitäten im System und verbessert die Gesamtzuverlässigkeit der Ausrüstung.

Dynamischer Gleichgewichtstest

Nach der eigentlichen Fertigung wird der Rotor mit den montierten Gewichtselementen mit einer hochpräzisen dynamischen Auswuchtmaschine geprüft. Richtung und Ausmaß der Abweichung werden durch Messung der Unwuchtkraft und der Schwingungsamplitude während der Rotorrotation ermittelt.

Die Testdaten werden an das Konstruktionsteam zurückgemeldet, um die Feinabstimmung bzw. Erhöhung oder Verringerung des Gegengewichts zu steuern und sicherzustellen, dass die gesamte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Maschine reibungslos rotiert und den Konstruktionsspezifikationen entspricht. Dieser Prozess wird mehrmals wiederholt, bis die vorgegebene Auswuchtgenauigkeit im Mikrogrammbereich erreicht ist.

Fehlertolerantes Design

Unter Berücksichtigung der Fehler im Herstellungs- und Montageprozess behält das Design einen Ausgleich für die Gegengewichtseinstellung vor, sodass die Masse und Position des Gegengewichtsblocks innerhalb eines kleinen Bereichs angepasst werden können, um Verarbeitungstoleranzen und Montagefehler auszugleichen.

Das fehlertolerante Design umfasst auch die Austauschbarkeit der Gegengewichtsmodule, um die Wartung und Einstellung vor Ort zu erleichtern und so die Stabilität und Zuverlässigkeit des Instruments im Langzeiteinsatz zu gewährleisten.

7.2 Wolframblock für Anti-Shake im Handy-Kameramodul (OIS)

Mit der kontinuierlichen Verbesserung der Smartphone-Kamerafunktionen hat sich die optische Bildstabilisierung (OIS) zu einer der Schlüsseltechnologien für Bildschärfe und Videostabilität entwickelt. Mikrogewichte aus Wolframlegierungen werden aufgrund ihrer hohen Dichte, Festigkeit und hervorragenden Verarbeitungsleistung häufig in Anti-Shake-Systemen von Kameramodulen eingesetzt und verbessern die Anti-Shake-Effizienz und Reaktionsgeschwindigkeit deutlich.

7.2.1 Fallanalyse

Wolframblock-Design für eine bekannte Smartphone-Marke

Im harten Wettbewerb auf dem aktuellen Smartphone-Markt hat eine bekannte Marke die Führung übernommen und verwendet Mikrogewichte aus Wolframlegierungen anstelle herkömmlicher bleibasierter Anti-Shake-Gewichte. Die Dichte der Wolframlegierung beträgt etwa $11,3 \text{ g/cm}^3$ und ist damit deutlich höher als die von Bleilegierungen. Dies ermöglicht die Herstellung hochwertigerer Gewichte auf kleinstem Raum. Dieses Design reduziert das Gesamtgewicht des Anti-Shake-Moduls um etwa 30 % und das Volumen um 20 %, was die Reaktionsgeschwindigkeit und Empfindlichkeit der Kamera deutlich verbessert.

Der Wolframblock optimiert das Trägheitsmoment, verbessert dadurch die Reaktionsfähigkeit des Anti-Shake-Mechanismus auf Winkelbeschleunigung und reduziert effektiv Bildunschärfe durch Handbewegungen. Darüber hinaus gewährleisten die guten mechanischen Eigenschaften und die Verschleißfestigkeit der Wolframlegierung einen langfristig stabilen Betrieb des Moduls und verbessern die Zuverlässigkeit des Produkts deutlich.

Mehrachsiges Anti-Shake-Technologie-Gegengewichtssystem

Moderne Smartphone-Kameramodule nutzen eine mehrachsige Anti-Shake-Technologie. Das Gegengewichtssystem muss dafür eine dynamische Balanceanpassung in mehrere Richtungen wie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die X- und Y-Achse ermöglichen. Das Mikro-Gegengewicht aus Wolframlegierung ist als mehrstufige Struktur konzipiert. Es arbeitet mit dem in die Kamera integrierten hochpräzisen Sensor zusammen, um Bewegungsdaten zu erfassen und eine mehrachsige Anti-Shake-Anpassung in Echtzeit zu ermöglichen.

Diese Struktur nutzt unterschiedliche Verteilungs- und Formdesigns von Wolframblöcken, um das Trägheitsmoment zu optimieren. Dadurch kann das Anti-Shake-System den besten Balance-Effekt in mehreren Dimensionen erzielen, Bewegungsunschärfe in Umgebungen mit schnellen Bewegungen und Vibrationen effektiv reduzieren und die Bildschärfe und Videostabilität verbessern.

7.2.2 Materialprozess

Ultrafeine Pulverauswahl und Sinterprozess

Gegengewichte aus Wolframlegierungen verwenden ultrafeines Wolframpulver mit einer Partikelgröße von weniger als 1 μm , um sicherzustellen, dass das Material während des Sinterprozesses eine hochdichte und gleichmäßige Struktur erhält. Das Sinterverfahren bei hohen Temperaturen und hohem Druck, üblicherweise über 1500 °C, fördert die vollständige Diffusion und Bindung der Pulverpartikel, beseitigt Poren und verbessert die mechanische Festigkeit und Dichte des Materials.

Durch die Optimierung der Prozessparameter können wir das Ziel erreichen, dass im Inneren des Wolframlegierungssubstrats keine nennenswerten Mikrorisse und Defekte auftreten. So wird sichergestellt, dass das Gegengewicht eine ausgezeichnete Ermüdungsbeständigkeit und stabile physikalische Eigenschaften aufweist.

Mikrobearbeitung und MEMS-Integration

Der Wolframblock wird geformt und mittels Mikro-CNC-Bearbeitung und Laserschneidtechnologie bearbeitet, um eine präzise Konturbearbeitung zu erreichen. Mit diesem Verfahren können Toleranzen im Mikrometerbereich erreicht werden, wodurch die strengen Kontrollanforderungen an Größe und Form des Gegengewichts in Kameramodulen von Mobiltelefonen erfüllt werden.

Der verarbeitete Wolframblock ist hochgradig in den MEMS-Anti-Shake-Mechanismus im Kameramodul integriert. Durch die Entwicklung einer sinnvollen Verbindungsstruktur wird der Wolframblock eng mit Mikromotoren, Federn und anderen Komponenten kombiniert, um die Stabilität der Gesamtstruktur und die dynamische Reaktionsleistung sicherzustellen.

Oberflächenbeschichtung

Um die Reibung zwischen Gegengewicht und angrenzendem Mechanismus zu verringern und Leistungseinbußen durch Oxidation vorzubeugen, wird die Oberfläche des Wolframblocks üblicherweise mit einer Hartschicht beschichtet. Zu den häufig verwendeten Beschichtungsmaterialien gehören Titanitrid (TiN) und Chromnitrid (CrN). Diese Schichten weisen nicht nur eine hervorragende Verschleißfestigkeit und Schmiereigenschaften auf, sondern

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

können auch umweltbedingte Oxidation wirksam verhindern und die Lebensdauer des Gegengewichts verlängern.

Darüber hinaus wird die Beschichtungsdicke im Allgemeinen auf wenige Mikrometer begrenzt, wodurch nicht nur die Schutzleistung sichergestellt wird, sondern auch eine Beeinträchtigung der Massenverteilung und der dynamischen Leistung des Gegengewichts vermieden wird.

7.2.3 Entwurfsmethode

Multiphysik-gekoppelte Simulation

des Wolframblocks berücksichtigt nicht nur die mechanische Dynamik, sondern auch die Auswirkungen von Elektromagnetismus und Wärmeleitung. Mithilfe einer Multiphysik-Feldkopplungssimulationssoftware werden die mechanische Reaktion, der elektromagnetische Antriebseffekt und die Wärmeverteilung des Anti-Shake-Moduls unter tatsächlichen Arbeitsbedingungen simuliert.

Durch die Optimierung der Form und Massenverteilung des Wolframblocks mittels Simulation wird das Trägheitsmoment maximiert und das Massenverhältnis optimal gestaltet. Dadurch wird sichergestellt, dass der Anti-Shake-Mechanismus reaktionsfähig bleibt und bei mehrachsigen Hochgeschwindigkeitsbewegungen nur minimale Energie verbraucht.

Rapid Prototyping und iteratives Design

Angesichts der komplexen Form und der hohen Präzisionsanforderungen an Gegengewichte aus Wolframlegierungen nutzte das Designteam 3D-Drucktechnologie zur Herstellung hochpräziser Formen, was den Entwicklungszyklus erheblich verkürzte. Durch Rapid Prototyping zur Verifizierung der Designideen, kombiniert mit Feedback aus tatsächlichen Montagetests, wurden mehrere iterative Optimierungsrunden durchgeführt, um die Übereinstimmung von Designgenauigkeit und Herstellungsprozess zu verbessern.

Diese Methode verringert nicht nur die Entwicklungsrisiken, sondern beschleunigt auch die Produkteinführung und kommt dem Bedarf an schnellen Updates in der Mobiltelefonbranche entgegen.

Integrierte Präzisionskontrolle bei der Montage

Um die wiederholte Positionierungsgenauigkeit des Gegengewichtsblocks während des Montagevorgangs sicherzustellen, werden bei der Konstruktion des Wolframblocks die Montagenut und die Schnappstruktur berücksichtigt, um sicherzustellen, dass der Wolframblock genau in den Rahmen des Anti-Shake-Moduls eingebettet werden kann, um die Auswirkungen von Montageabweichungen auf den Anti-Shake-Effekt zu vermeiden.

Darüber hinaus kann durch die Vorrichtungskonstruktion der automatisierten Montagelinie ein effizienter und stabiler Montageprozess erreicht, die Ausbeute und Produktionskonsistenz

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

verbessert und sichergestellt werden, dass jedes Kameramodul die erwartete Verwacklungsfestigkeit aufweist.

7.3 Gewichtsstabile Auslegung für CT- und MRT-Geräte

CT- (Computertomographie) und MRT-Geräte (Magnetresonanztomographie) gehören zu den Kerngeräten der modernen medizinischen Bildgebung. Ihre Betriebsstabilität und Bildqualität wirken sich direkt auf die diagnostische Wirkung und das Patientenerlebnis aus. Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden aufgrund ihrer hohen Dichte, ihrer hervorragenden mechanischen Eigenschaften und ihrer nichtmagnetischen Materialeigenschaften häufig in Schlüsselkomponenten dieser Geräte eingesetzt, insbesondere zur Balanceeinstellung und Schwingungsdämpfung von Drehtellern und beweglichen Teilen.

7.3.1 Fallanalyse

Gegengewicht des CT-Scanner-Drehtellers

Ein namhafter internationaler Hersteller medizinischer Geräte verwendet hochdichte Gegengewichte aus Wolframlegierungen, um die dynamische Balance des Drehtellersystems seines neuen CT-Scanners zu optimieren. Bei hoher Rotation des CT-Scanner-Drehtellers führt ein ungleichmäßiges Gewicht zu starken Vibrationen, verstärktem Rauschen und unscharfen Bildern, was die Diagnosegenauigkeit beeinträchtigt.

Durch die präzise Berechnung des Trägheitsmoments des Drehtellers und dessen Kombination mit den hochdichten Eigenschaften der Gegengewichte aus Wolframlegierung konnte das Gegengewichtsmodul klein und massiv ausgelegt werden, wodurch der Drehteller bei hoher Rotationsgeschwindigkeit optimal ausbalanciert wird. Diese Optimierungslösung reduzierte die Schwingungsamplitude des Drehtellers erfolgreich um mehr als 40 %, verringerte die Gerätee Geräusche deutlich und verbesserte den Patientenkomfort sowie die Bildschärfe der Diagnose deutlich.

Gewichtssystem aus Wolframlegierung für MRT-Geräte

MRT-Geräte stellen extrem hohe Anforderungen an die magnetischen Eigenschaften der Materialien. Magnetische Verunreinigungen beeinträchtigen die Gleichmäßigkeit des hochfrequenten Magnetfelds und mindern dadurch die Bildqualität. Der Hersteller medizinischer Geräte verwendet hochreine Wolframlegierungen und stellt durch Vakuumschmelzen und Präzisionsverarbeitung nichtmagnetische Gegengewichte aus Wolframlegierungen her.

Das Wolfram-Gegengewicht des Systems ist wissenschaftlich und rational angeordnet. Es verhindert effektiv Magnetfeldverzerrungen und Signalstörungen und gewährleistet einen stabilen Betrieb des Geräts in einer Umgebung mit starkem Magnetfeld. Das nichtmagnetische Gegengewichtssystem gewährleistet die hochauflösende Bildgebungsfähigkeit des MRT-Geräts und ist eine der Schlüsseltechnologien für die Genauigkeit klinischer Diagnosen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.3.2 Materialprozess

Schmelzen hochreiner Wolframlegierungen

Gegengewichte aus Wolframlegierungen erfordern zunächst hochreine und nicht magnetische Materialien. Mithilfe fortschrittlicher Vakuum-Lichtbogenschmelztechnologie (VAR) werden durch mehrfaches Schmelzen und Raffinieren magnetische Verunreinigungen und Gaseinschlüsse im Material entfernt, um die Reinheit und strukturelle Gleichmäßigkeit der Legierung zu gewährleisten.

Darüber hinaus werden eine strenge Zusammensetzungskontrolle und ein einheitlicher Wärmebehandlungsprozess verwendet, um der Wolframlegierung eine gleichmäßige Kornstruktur und stabile mechanische Eigenschaften zu verleihen und so die doppelte Anforderung medizinischer Geräte an nicht magnetische Materialien und hohe Festigkeit zu erfüllen.

CNC-Bearbeitung und Laserschweißen

Rohlinge aus hochreiner Wolframlegierung werden durch präzises CNC-Fräsen zu komplex geformten Gegengewichtsblöcken verarbeitet, um eine kontrollierte Maßtoleranz im Mikrometerbereich zu gewährleisten. Anschließend werden mehrere Gegengewichtsmodule mittels Laserschweißtechnologie zuverlässig miteinander verbunden. Die Schweißnähte sind klein und stabil und vermeiden die bei herkömmlichen Schweißverfahren auftretenden Probleme mit Wärmeeinflusszonen und Spannungskonzentrationen.

Durch Laserschweißen wird die Stabilität und Haltbarkeit der Gesamtstruktur des Gegengewichtssystems gewährleistet und den Anforderungen eines langfristigen Dauerbetriebs der Ausrüstung gerecht.

Oberflächenschutzbehandlung

Um die Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit des Gegengewichts zu verbessern, wird üblicherweise eine Aluminiumoxid-Keramikbeschichtung auf die Oberfläche der Wolframlegierung aufgebracht. Diese Beschichtung weist eine hohe Härte auf und widersteht mechanischem Verschleiß und Umweltkorrosion wirksam, wodurch die Lebensdauer der Gegengewichtskomponente verlängert wird.

Darüber hinaus verfügt die Beschichtung über gute Isolationseigenschaften, die dazu beitragen, elektromagnetische Störungen im Inneren des Geräts zu vermeiden und die stabile Leistung der Bildgebungsgeräte sicherzustellen.

7.3.3 Entwurfsmethode

Kombination von Strukturmechanik und Magnetfeldsimulation

Bei der Konstruktion des Gegengewichts werden Strukturmechanik und Magnetfeldkopplungssimulationstechnologie eingesetzt, um die Belastung des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gegengewichtsblocks und seine Interferenz mit dem MRT-Magnetfeld umfassend zu analysieren. Das Finite-Elemente-Modell berücksichtigt gleichzeitig die mechanische Spannungsverteilung und die Gleichmäßigkeit des Magnetfelds, um Größe und Anordnung des Wolframlegierungsblocks zu optimieren.

Mit dieser Methode werden Magnetfeldverzerrungen und Probleme mit mechanischer Instabilität, die durch eine unangemessene Konstruktion des Gegengewichts verursacht werden, wirksam vermieden und der sichere Betrieb der Geräte sowie die Bildgenauigkeit gewährleistet.

Modulares Designkonzept

Das Gegengewichtsmodul aus Wolframlegierung verfügt über ein standardisiertes Design und bildet eine abnehmbare Gegengewichtseinheit. Dieses Design erleichtert die Wartung und den Austausch vor Ort, verbessert die Effizienz der Geräterwartung und senkt die Wartungskosten.

Die modulare Struktur unterstützt außerdem maßgeschneiderte Gegengewichtslösungen für verschiedene Gerätetypen und verbessert so die Designflexibilität und Fertigungseffizienz.

Lärm- und Vibrationskontrolldesign

Das Gegengewichtssystem kombiniert Dämpfungsmaterialien und ein schwingungsisolierendes Strukturdesign, um mehrere Effekte zur Schwingungs- und Geräuschreduzierung zu erzielen. Die Gegengewichtsblöcke aus Wolframlegierung sind sinnvoll angeordnet, um die Amplitude mechanischer Schwingungen zu reduzieren. Die Dämpfungsschicht absorbiert effektiv Schwingungsenergie und verlangsamt die Geräuschausbreitung.

Dieses Design verbessert die Stabilität der Geräte während des Betriebs und den Komfort der Patienten und erfüllt die klinische Forderung nach einer ruhigen Umgebung.

7.4 Mobile Waagestruktur von Strahlentherapiegeräten

Bei Strahlentherapiegeräten sind präzise mechanische Bewegungen und ein ausgewogenes Gleichgewicht entscheidend für die Wirksamkeit der Behandlung und die Patientensicherheit. Wolframlegierungen werden aufgrund ihrer hohen Dichte, Festigkeit und guten Bearbeitungseigenschaften häufig in der mobilen Gegengewichtsstruktur von Strahlentherapiegeräten eingesetzt. Sie gewährleisten die Stabilität und Positioniergenauigkeit des Strahlungskopfes und des mechanischen Arms bei Bewegungen mit mehreren Freiheitsgraden.

7.4.1 Fallanalyse

Gegengewicht am Kopf des Linearbeschleunigerbalkens

Ein führender internationaler Hersteller medizinischer Geräte hat ein Gegengewichtssystem aus Wolframlegierung für den Röntgenkopf eines Linearbeschleunigers entwickelt. Wenn sich der Röntgenkopf in mehreren Freiheitsgraden dreht, sorgt das Gegengewicht durch präzise Massenverteilung für das Gleichgewicht des Geräts und verhindert so durch Unwucht verursachte Vibrationen, die die Behandlungsposition beeinträchtigen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Das Gegengewicht aus Wolframlegierung ist klein und schwer. Dadurch wird die Gewichtsanzpassung bei kompakter Bauweise des Röntgenkopfes gewährleistet und die Behandlungsgenauigkeit sowie die Gerätestabilität effektiv verbessert. Die klinische Anwendung zeigt, dass dieses Gegengewichtsdesign mechanische Fehler und Vibrationen deutlich reduziert und die Sicherheit der Patientenbehandlung verbessert.

Entwurf eines Gegengewichts für einen robotergestützten Strahlentherapie-Manipulator

Moderne Roboterarme für die Strahlentherapie verfügen über ein Mehrgelenk-Design, und das Gegengewichtssystem muss die Anforderungen an eine stabile Unterstützung innerhalb eines komplexen Bewegungsbereichs erfüllen. Ein Hersteller medizinischer Geräte hat eine Lösung auf Basis modularer Gegengewichte aus Wolframlegierung entwickelt, die durch die Kombination von Gegengewichten unterschiedlicher Masse und Größe ein dynamisches Gleichgewicht des Roboterarms in verschiedenen Haltungen ermöglicht.

Dieses Design verbessert die Flexibilität und Belastbarkeit des Roboterarms und ermöglicht es Strahlentherapiegeräten, den Zielbereich der Behandlung schnell und präzise zu lokalisieren, was die Behandlungseffizienz und den Patientenkomfort verbessert.

7.4.2 Materialprozess

Formteil aus Wolframlegierungspulver mit hoher Dichte

Hochreines Wolframpulver wird proportional mit Legierungszusätzen vermischt, und Gegengewichte aus Wolframlegierungen mit komplexen Formen werden durch kaltisostatisches Pressen hergestellt. Das kaltisostatische Pressen gewährleistet eine dichte und gleichmäßige Materialzusammensetzung, die sich für die Herstellung von Gegengewichtskomponenten mit komplexen geometrischen Formen und hohen mechanischen Leistungsanforderungen eignet.

Dieses Verfahren vermeidet das Risiko einer Verformung beim Hochtemperaturesintern, verbessert die Maßgenauigkeit und die mechanischen Eigenschaften des fertigen Produkts und erfüllt die Anforderungen von Strahlentherapiegeräten an hochstabile Materialien.

Präzisionsschneid- und Schweißtechnik

Nach der Formgebung wird das Gegengewicht aus Wolframlegierung mithilfe der Drahtschneidetechnik detailliert bearbeitet, um die gewünschte Größe und Struktur präzise zu erreichen. Beim Zusammenfügen mehrerer Teile sorgt Laserschweißen für Festigkeit und Abdichtung der Verbindungen. Die Schweißwärmeeinflusszone ist klein, um eine Verschlechterung der Materialeigenschaften zu vermeiden.

Die Kombination aus Präzisionsschneid- und Laserschweißtechnologie erfüllt die hohen Anforderungen komplexer Gegengewichtsstrukturen und gewährleistet die Stabilität und Langlebigkeit der Gesamtbaugruppe.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Strahlungsresistente Beschichtung

Strahlentherapiegeräte sind über lange Zeit hochintensiver Strahlung ausgesetzt. Die Oberfläche des Gegengewichts wird durch die Strahlung leicht beeinträchtigt, was zu einer Verschlechterung der Materialeistung führt. Das Aufsprühen spezieller strahlungsbeständiger Beschichtungen (z. B. Aluminium-Silizium-Keramik-Verbundwerkstoffe) kann Strahlenschäden an der Oberfläche des Gegengewichts wirksam verhindern.

Diese Beschichtung verbessert nicht nur die Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit, sondern verlängert auch die Lebensdauer des Gegengewichts und gewährleistet einen langfristigen und stabilen Betrieb der Ausrüstung.

7.4.3 Entwurfsmethode

Dynamische Gleichgewichtssimulation

Mithilfe einer Mehrkörperdynamik-Simulationssoftware wird der dynamische Gleichgewichtszustand des Strahlentherapie Roboters und des Bestrahlungskopfes unter verschiedenen Bewegungsbahnen simuliert. Durch die Analyse der Trägheitskraft- und Momentenverteilung werden Masse und Position des Gegengewichts präzise ausgelegt, um die Stabilität des Geräts bei Bewegungen mit mehreren Freiheitsgraden zu gewährleisten.

Mithilfe der dynamischen Simulation können außerdem potenzielle Vibrationen und Spannungskonzentrationen während der Bewegung von Geräten vorhergesagt werden, was zu einer optimierten Konstruktion führt und die mechanische Ermüdung verringert.

Modularer und anpassbarer Aufbau

Die Gewichtsstruktur ist modular aufgebaut und lässt sich vor Ort einfach montieren, einstellen und ausbalancieren. Der modulare Aufbau ermöglicht vielfältige Konfigurationsmöglichkeiten zur Anpassung an unterschiedliche Gerätemodelle und Behandlungsbedürfnisse.

Das Gegengewicht kann durch Gewindeverbindungen, Riegel oder Schnallen schnell demontiert und ersetzt werden, was die Wartungseffizienz und den Komfort von Anpassungen vor Ort erheblich verbessert.

Ergonomie und Sicherheit

Das Gegengewichtsdesign berücksichtigt die Sicherheit und bequeme Wartung der Gerätebediener. Die Gegengewichtsmodule sind sinnvoll angeordnet, um den Betriebsbereich der Geräte nicht zu beeinträchtigen und das Risiko einer versehentlichen Kollision zu verringern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gleichzeitig ist der einfach zu bedienende Verriegelungs- und Entriegelungsmechanismus so konzipiert, dass er es Technikern ermöglicht, Wartungsarbeiten schnell abzuschließen, Ausfallzeiten der Geräte zu reduzieren und die Kontinuität der klinischen Arbeit sicherzustellen.

7.5 Gegengewichtssysteme für Mikro-UAVs und tragbare Geräte

7.5.1 Fallanalyse

- **Gegengewicht für die Flugstabilität von Mikro-UAVs:**
Bei bestimmten Mikro-UAVs in Militärqualität werden Mikro-Gegengewichte aus Wolframlegierung verwendet, um eine präzise Einstellung des Körperschwerpunkts zu erreichen und so die Flugstabilität und den Windwiderstand zu verbessern.
- In tragbaren medizinischen Testgeräten werden Ausgleichsgewichte **für tragbare elektronische Instrumente verwendet, um ein Gleichgewicht und einen stabilen Betrieb zu erreichen.**

7.5.2 Materialprozess

- **Bei der ultrapräzisen Mikrobearbeitung**
werden Ultraschallbearbeitung und Elektrofunkentbearbeitungstechnologie eingesetzt, um die Herstellung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen mit einer Präzision im Mikrometerbereich abzuschließen.
- **Durch die Nanobehandlung und**
Nanobeschichtung der Oberfläche werden die Oberflächenhärte und Korrosionsbeständigkeit des Materials verbessert, sodass es für den Einsatz in komplexen Umgebungen geeignet ist.
- **Durch integrierte Fertigung**
in Kombination mit der Integration mikroelektronischer Komponenten werden kompakte Strukturen und komplexe Funktionen erreicht.

7.5.3 Entwurfsmethode

- **Das Design der dynamischen Schwerpunkteinstellung**
ist mit einem einstellbaren Gegengewichtsmodul ausgestattet, um die dynamische Balanceeinstellung des UAV während des Flugs zu unterstützen und die Flexibilität zu verbessern.
- **Balance zwischen Leichtigkeit und hoher Festigkeit.**
Berücksichtigen Sie umfassend die Kombination aus Gegengewicht aus Wolframlegierung und leichten Materialien, um eine optimale Gesamtleistung zu erzielen.
- **Umweltfreundliches Design**
Das multifunktionale Gegengewichtssystem ist erdbebensicher, wasserdicht, staubdicht usw., um einen langfristigen und zuverlässigen Betrieb der Ausrüstung zu gewährleisten.

7.5 Gegengewichtssysteme für Mikro-UAVs und tragbare Geräte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mit der zunehmenden Verbreitung von Mikrodrohnen und tragbaren elektronischen Geräten steigen die Anforderungen an Stabilität, Flexibilität sowie Volumen und Gewicht der Geräte stetig. Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer hohen Dichte und hervorragenden mechanischen Eigenschaften zu einem wichtigen Werkstoff für das Gegengewichtssystem dieser Geräte entwickelt. Durch präzises Massenverteilungsdesign und fortschrittliche Fertigungstechnologie verbessert das Gegengewichtssystem aus Wolframlegierungen effektiv die Leistung und Umweltverträglichkeit der Geräte.

7.5.1 Fallanalyse

Flugstabilisierungsgewicht für Mikro-UAVs

Ein bestimmtes Mikro-UAV in Militärqualität verwendet ein Mikrogewicht aus Wolframlegierung, um den Schwerpunkt des Rumpfes präzise einzustellen. Die hochdichte Wolframlegierung ermöglicht die Platzierung einer großen Masse auf kleinstem Raum. Dadurch wird der Schwerpunkt des UAV feinjustiert und die Fluglage sowie die aerodynamische Leistung optimiert.

Dieses Design verbessert die Flugstabilität und den Windwiderstand des UAV erheblich, insbesondere bei komplexen Windverhältnissen und Manöverbedingungen bei hoher Geschwindigkeit, und weist eine hervorragende Steuergenauigkeit auf, wodurch die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Missionsausführung gewährleistet wird.

Tragbares Ausgleichsgewicht für elektronische Instrumente

In tragbaren medizinischen Prüfgeräten werden Gegengewichte aus Wolframlegierungen verwendet, um die Handbalance des Geräts zu optimieren und die Ermüdung des Benutzers zu verringern. Durch die richtige Konfiguration des Gegengewichts können Komfort und Stabilität des Geräts verbessert und so die Genauigkeit und Benutzerfreundlichkeit des Prüfungsvorgangs gewährleistet werden.

Gegengewichte aus Wolframlegierungen sind kompakt und effizient, erfüllen die doppelte Anforderung tragbarer Geräte hinsichtlich Tragbarkeit und hoher Leistung und steigern die Wettbewerbsfähigkeit der Produkte auf dem Markt.

7.5.2 Materialverarbeitung

Ultrapräzise Mikrobearbeitung

Mikro-Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden mittels Ultraschall- und Funkenerosion (EDM) bearbeitet, um eine Maßgenauigkeit im Mikrometerbereich zu gewährleisten. Die Ultraschallbearbeitung zeichnet sich durch eine hohe Schneidleistung und geringe thermische Belastung aus und eignet sich für komplexe und feinstrukturierte Formteile.

Durch die Elektrofunkenbearbeitung können komplexe Innenlöcher und feine Strukturen aus Wolframlegierungsmaterialien mit hoher Härte bearbeitet werden, um die Anforderungen an die Formkomplexität und Präzision von Mikrogewichten zu erfüllen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberflächen-Nanobehandlung

Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden mit Nanobeschichtungen wie Nanooxidbeschichtungen oder Titanitrid (TiN)-Nanofilmen behandelt, die die Oberflächenhärte und Korrosionsbeständigkeit deutlich verbessern. Nanobeschichtungen können zudem die Verschleißfestigkeit von Gegengewichten erhöhen und wirksam gegen Umgebungsfeuchtigkeit, Salznebel und chemische Korrosion wirken.

Diese Oberflächenbehandlungstechnologie gewährleistet den langfristig stabilen Betrieb des Gegengewichtssystems in komplexen Außenumgebungen und verlängert seine Lebensdauer.

Integrierte Fertigung

Das Gegengewichtssystem aus Wolframlegierung ist hochgradig mit mikroelektronischen Komponenten integriert, um eine kompakte Struktur und Multifunktionalität zu erreichen. Durch präzises Design ist das Gegengewicht nahtlos mit Leiterplatte, Sensor und Aktuator verbunden, wodurch das Gesamtvolumen reduziert und die Integration und Zuverlässigkeit des Geräts verbessert wird.

Durch die integrierte Fertigung wird der Montageprozess effektiv verkürzt, die Produktionskosten gesenkt und die Störfestigkeit und Betriebsstabilität des Systems verbessert.

7.5.3 Entwurfsmethode

Dynamisches Schwerpunktanpassungsdesign

Das Design eines verstellbaren Gegengewichtsmoduls aus Wolframlegierung ermöglicht es der Drohne, ihren Schwerpunkt während des Fluges an den Echtzeit-Flugstatus anzupassen. Das dynamische Gegengewichtsdesign kombiniert Sensordatenfeedback und passt die Gegengewichtsposition über einen Mikroantriebsmechanismus an, um eine adaptive Optimierung der Fluglage zu erreichen.

Dieses Design verbessert die Anpassungsfähigkeit der Drohne an externe Störungen und ihre Manövrierfähigkeit und gewährleistet so die Flugsicherheit und die Qualität der Missionserfüllung.

Balance zwischen Leichtigkeit und hoher Festigkeit

Die Kombination von hochdichten Gegengewichten aus Wolframlegierungen mit leichten Materialstrukturen (wie Kohlefaser und Aluminiumlegierungen) optimiert die Gesamtleistung umfassend. Durch die kollaborative Konstruktion mehrerer Materialien wird ein Gleichgewicht zwischen minimalem Gewicht und maximaler Festigkeit des Gegengewichtssystems erreicht.

Bei dieser Methode werden sowohl die Gewichtskontrolle als auch die strukturelle Stabilität des Flugzeugs berücksichtigt, wodurch seine Ausdauer und Tragfähigkeit verbessert werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Umweltanpassungsdesign

Um den Anforderungen von Drohnen und tragbaren Geräten in wechselnden Umgebungen gerecht zu werden, entwickeln wir ein multifunktionales Gegengewichtssystem, das stoßfest, wasser- und staubdicht ist. Die Verwendung versiegelter Strukturen und vibrationsdämpfender Materialien reduziert effektiv die Auswirkungen mechanischer Stöße auf das Gegengewicht und die gesamte Ausrüstung.

Das Design zur Anpassung an die Umwelt stellt sicher, dass die Ausrüstung auch unter extremen Klima- und komplexen Geländebedingungen eine stabile Leistung und einen zuverlässigen Betrieb beibehält.

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Kapitel 8 Anwendung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen im Sport- und Zivilbereich

Die Gegengewichtstechnologie aus Wolframlegierungen wird aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit und hervorragenden Bearbeitungseigenschaften häufig in Sportgeräten und zivilen Produkten eingesetzt. Durch die präzise Massenverteilung verbessern Gegengewichte aus Wolframlegierungen nicht nur die Leistung von Sportgeräten, sondern optimieren auch das Benutzererlebnis und fördern die technologische Weiterentwicklung und Marktentwicklung verwandter Branchen.

8.1 Gewichtsdesign für Golfschläger und Bowlingbälle

8.1.1 Golfschlägergewichtsdesign

Die Leistung eines Golfschlägers hängt eng mit Schwunggeschwindigkeit, Stabilität und Schlaggenauigkeit zusammen. Ein angemessenes Gewichtsdesign kann die Balance und Trägheitseigenschaften des Schlägers deutlich verbessern und so den Schlageffekt verbessern.

Wolframlegierungen ermöglichen eine größere Massenverteilung auf begrenztem Raum. Dadurch konzentriert sich das Gewicht des Schlägerkopfes, das Trägheitsmoment beim Schlagen erhöht sich und die Stabilität und Fehlertoleranz des Schlägers wird verbessert. Durch die Verwendung von Gewichten aus Wolframlegierungen erzielen Golfschläger folgende Vorteile:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Verbesserte Schwunggeschwindigkeit** : Eine angemessene Gewichtsverteilung reduziert die Gesamtbelastung beim Schwung und verbessert die Schwungeffizienz des Spielers.
- **Verbesserte Schlagstabilität** : Die hohe Dichte der Wolframlegierung erhöht die Trägheit des Schlägerkopfes und verringert den Abweichungsfehler vom Schlagzentrum.
- **Optimiertes Schwunggefühl** : Durch die Gewichtsanpassung wird die Schwerpunktposition optimiert, um das Schwunggefühl und die Rückmeldung zu verbessern.

Während des Herstellungsprozesses werden Gewichte aus Wolframlegierung normalerweise durch Präzisionsbearbeitung und eingebettetes Design in die Schlägerkopfstruktur integriert, um sicherzustellen, dass die Gewichtsposition genau und fest ist.

8.1.2 Auslegung des Bowlingkugelgewichts

Das Gewichtsdesign einer Bowlingkugel wirkt sich direkt auf die Rollstabilität und Kontrollgenauigkeit der Kugel aus. Gewichte aus Wolframlegierungen werden häufig im inneren Gewichtssystem von Bowlingkugeln verwendet, um die Gesamtleistung der Kugel zu verbessern.

Durch die hohe Dichte der Wolframlegierung wird das Gewicht im Ball präzise verteilt. Dies optimiert die Rollträgheit und Flugbahnstabilität und ermöglicht Spielern eine präzisere Ballkontrolle und bessere Knockdown-Effekte. Zu den besonderen Vorteilen gehören:

- **Präzise Flugbahnkontrolle** : Gewichte aus Wolframlegierung passen die Rollträgheit an und verbessern das Rollverhalten des Balls auf der Bahn.
- **Verbesserte Rotationsstabilität** : Gewichte mit hoher Dichte reduzieren durch Exzentrizität verursachte Vibrationen und sorgen für eine gleichmäßige Rotation.
- **Angenehmes Gefühl** : Die Gewichtsblöcke sind sinnvoll angeordnet, um das Stabilitätsgefühl beim Halten und Loslassen des Balls zu verbessern.

Gewichte aus Wolframlegierungen werden häufig in modularer Bauweise hergestellt, um individuelle Anpassungen und Wartungen zu erleichtern und gleichzeitig die Haltbarkeit und Lebensdauer der Kugel zu verbessern.

8.2 Gewichte für Schießsportgeräte

Schießsport erfordert extrem hohe Präzision und Stabilität der Ausrüstung, und das Gegengewichtssystem spielt bei Gewehren, Pistolen und anderen Schießgeräten eine Schlüsselrolle. Richtig konstruierte Gegengewichte können nicht nur Rückstoß und Vibrationen effektiv reduzieren, sondern auch das Bediengefühl des Schützen optimieren, die Schussgenauigkeit verbessern und die kontinuierliche Schussstabilität gewährleisten.

8.2.1 Konstruktionsanforderungen für Gegengewichte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bei der Gewichtsauslegung von Schießgeräten stehen vor allem folgende Aspekte im Vordergrund:

- **Reduzieren Sie die Rückstoßwirkung** : Durch Erhöhen der Masse des Waffenkörpers und deren sinnvolle Verteilung können die Auswirkungen des Rückstoßes auf den Schützen verringert werden.
- **Zielstabilität verbessern** : Fügen Sie ein vorderes Gegengewicht hinzu, um die Waffenbalance zu verbessern und das Wackeln beim Zielen zu reduzieren.
- **Verbesserte mechanische Stabilität** : Balancieren Sie die Waffenstruktur, um zu verhindern, dass Vibrationen und Schwingungen während des Schießens die Schussgenauigkeit beeinträchtigen.
- **Ergonomische Optimierung** : Die Gewichtsauslegung berücksichtigt den Bedienkomfort des Schützen und sorgt dafür, dass die Ermüdung beim Langzeitschießen verringert wird.

8.2.2 Vorteile von Wolframlegierungen bei Schießausrüstungsgewichten

Wolframlegierung als Gegengewichtsmaterial bietet bei Schießgeräten erhebliche Vorteile:

- **Hohe Dichte führt zu Gewichtskonzentration** : Die Dichte der Wolframlegierung beträgt etwa $19,3 \text{ g/cm}^3$ und ist damit deutlich höher als die von Blei und Stahl. Dadurch kann auf begrenztem Raum eine größere Masse erreicht und der Gewichtsausgleichseffekt effektiv verbessert werden.
- **Hervorragende mechanische Eigenschaften** : gute Festigkeit und Verschleißfestigkeit, die die strukturelle Stabilität und Haltbarkeit des Gegengewichts während des Schießens gewährleisten.
- **Umweltfreundlichkeit** : Im Vergleich zu herkömmlichen Bleigewichten ist die Wolframlegierung ungiftig und umweltfreundlich und erfüllt die Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen moderner Sportgeräte.
- **Einfach zu verarbeiten und anzupassen** : Wolframlegierungen können durch Pulvermetallurgie und Präzisionsbearbeitung verarbeitet werden, um ein komplexes Gewichtsdesign zu erreichen, das den Anforderungen verschiedener Schusswaffenmodelle gerecht wird.

8.2.3 Typische Anwendungsfälle

- **Vorderes Gegengewicht für Wettkampfgewehre.**
Ein Gewehr auf internationalem Wettkampfniveau verwendet ein vorderes Gegengewicht aus Wolframlegierung, das den Rückstoß effektiv reduziert und die Stabilität beim Dauerschießen verbessert. Das Gegengewicht wird durch Präzisionsbearbeitung am vorderen Ende des Laufs angebracht, um die Gesamtbalance der Waffe zu gewährleisten, ohne die Tragbarkeit zu beeinträchtigen.
- **Interne Gewichtung des Pistolengriffs.**
Ein Mikrogewicht aus Wolframlegierung ist in eine Hochleistungspistole eingebettet, um den Schwerpunkt des Griffs zu optimieren und das Stabilitätsgefühl des Schützen beim

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Halten zu verbessern. Dieses Design verbessert das Schussgefühl und erhöht Zielgeschwindigkeit und -genauigkeit.

- **Das Heckgewichtsanzpassungssystem des Scharfschützengewehrs** verwendet ein modulares Gegengewichtsdesign aus Wolframlegierung. Das Heckgewicht des Scharfschützengewehrs kann flexibel an die Bedürfnisse des Schützen angepasst werden, wodurch eine individuelle Anpassung möglich ist und die Genauigkeit und der Komfort beim Schießen auf große Entfernungen verbessert werden.

8.3 Angelgewichte und Flugmodell-Ausgleichssysteme

Angelgeräte und Modellflugzeuge sind wichtige Ausrüstungsgegenstände im zivilen Freizeitbereich, und die Leistungsanforderungen an das Gewichtssystem steigen. Eine angemessene Gewichtsgestaltung verbessert nicht nur das Nutzungserlebnis und die Leistung der Ausrüstung, sondern fördert auch die breite Anwendung von Wolframlegierungen im zivilen Bereich.

8.3.1 Gewichtsdesign für Angelgeräte

Anforderungen an das Gegengewicht

Angelgewichte werden hauptsächlich in Angelruten, Angelschnüren und Schwimmern verwendet. Die wichtigsten Zwecke sind:

- **Verbessern Sie Wurfweite und Genauigkeit** : Durch das richtige Ausbalancieren der Gewichte wird die Trägheit beim Werfen erhöht und die Wurfweite und Stabilität verbessert.
- **Verbessertes Bedingefühl** : Ausgewogene Gewichtsverteilung der Stange, geringere Ermüdung des Handgelenks und verbesserter Komfort bei stundenlangem Betrieb.
- **Passen Sie die Schwimmerempfindlichkeit an** : Steuern Sie das Schwimmergewicht genau, um die Empfindlichkeit der Fischsignale zu verbessern und Anglern zu helfen, Fischbissignale rechtzeitig zu erkennen.

Vorteile von Wolframlegierungen

- **Hohe Dichte ermöglicht kompaktes Gewicht** : Wolframlegierungen haben eine hohe Dichte und können auf sehr kleinem Raum eine große Masse erreichen, was dem Trend zu leichter Angelausrüstung entspricht.
- **Starke Korrosionsbeständigkeit** : Nach der Oberflächenbehandlung verfügt die Wolframlegierung über hervorragende Wasser- und Korrosionsschutzeigenschaften und ist für eine Vielzahl von Wasserumgebungen geeignet.
- **Verarbeitungsflexibilität** : Durch Präzisionsverarbeitung kann Wolframlegierungen in verschiedene Formen gebracht werden, um den Designanforderungen verschiedener Angelgeräte gerecht zu werden.

Typische Fälle

Eine High-End-Angelrutenmarke verwendet in Griff und Rutenspitze eingebettete Gewichte aus Wolframlegierung, um die Balance und Wurfgenauigkeit der Rute deutlich zu verbessern. Laut

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tatsächlichen Tests erhöht sich die Wurfweite von Angelruten mit Gewichten aus Wolframlegierung um 15 %, was das Angelerlebnis deutlich verbessert.

8.3.2 Modellflugzeug-Ausgleichssystem

Anforderungen an die Konstruktion von Gegengewichten

Das Flugzeugmodell-Gewichtssystem dient der Optimierung der Fluglage von Modellflugzeugen, Drohnen und Hubschraubern mit Fokus auf:

- **Flugstabilität** : Sorgen Sie für Gleichgewicht und Stabilität während des Fluges, indem Sie den Schwerpunkt des Rumpfes anpassen.
- **Steuerempfindlichkeit** : Eine angemessene Gewichtsverteilung verbessert die Reaktionsgeschwindigkeit und verbessert die Flugsteuerbarkeit und Manövrierfähigkeit.
- **Leichtbauweise** : Achten Sie auf den Gegengewichtseffekt und versuchen Sie, das Gesamtgewicht zu reduzieren und die Ausdauer zu verbessern.

Anwendungsvorteile von Wolframlegierungen

- **Gegengewicht mit hoher Dichte zur Minimierung des Volumens** : Die hochdichten Eigenschaften der Wolframlegierung reduzieren effektiv das Volumen des Gegengewichts und verbessern das Aussehen und die aerodynamischen Eigenschaften des Flugzeugmodells.
- **Hervorragende mechanische Festigkeit** : Das Gegengewicht aus Wolframlegierung ist schlagfest und verschleißfest und kann sich an die komplexe Flugumgebung von Modellflugzeugen anpassen.
- **Einfach anzupassen und zu installieren** : Das modulare Design ermöglicht es Benutzern, die Gewichtsposition und Masse flexibel an die Fluganforderungen anzupassen.

Typische Anwendungen

Ein professioneller Modellflugzeughersteller hat ein modulares Ausgleichssystem aus Wolframlegierung auf den Markt gebracht, das in Verbindung mit luftgestützten Sensoren eine Echtzeit-Schwerpunktanpassung während des Fluges ermöglicht. Das System verbessert effektiv die Flugstabilität und das Steuererlebnis von Modellflugzeugen und wird von Modellflugzeug-Enthusiasten und Wettbewerbsteilnehmern hoch gelobt.

8.4 Kamera, Stabilisator und Stativgegengewicht

Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Film- und Fernsehproduktion sowie der Videoaufnahmetechnik steigen die Anforderungen an die Stabilität und Bedienbarkeit von Kameraausrüstung. Das Gegengewichtssystem spielt bei Kameras, Stabilisatoren und Stativen eine wichtige Rolle, um die Balance der Ausrüstung zu gewährleisten, Vibrationen zu reduzieren und die Steuerungsflexibilität zu verbessern. Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit und hervorragenden mechanischen Eigenschaften zum bevorzugten Material für die Konstruktion von Gegengewichten in diesem Bereich entwickelt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.4.1 Konstruktionsanforderungen für Gegengewichte

- **Gleichgewicht und Stabilität der Ausrüstung**

Das Gegengewichtssystem muss den Schwerpunkt der Kamera und des Stabilisators genau anpassen, um sicherzustellen, dass die Ausrüstung bei Bewegungsaufnahmen stabil bleibt und Bildverwacklungen und Unschärfe vermieden werden.

- **Tragbarkeit und Flexibilität**

Das Gegengewicht der Ausrüstung sollte so klein und leicht wie möglich sein, damit der Fotograf es einfach tragen und schnell einstellen kann, während gleichzeitig eine vernünftige Gewichtsverteilung gewährleistet ist.

- **Haltbarkeit und Zuverlässigkeit**

Das Material des Gegengewichts muss eine gute Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit aufweisen, um sich an verschiedene Aufnahmeumgebungen und häufigen mobilen Einsatz anzupassen.

- **Modulares und anpassbares**

Gegengewichtsdesign unterstützt die Modularität, um unterschiedlichen Ausrüstungs- und Aufnahmeanforderungen gerecht zu werden, und ermöglicht eine flexible Montage und Anpassung.

8.4.2 Vorteile der Wolframlegierung

- **Hohe Dichte ermöglicht eine Miniaturisierung des Volumens.**

Die Dichte der Wolframlegierung beträgt bis zu $19,3 \text{ g/cm}^3$. Dadurch kann auf begrenztem Raum eine größere Masse erreicht werden, was dem Bedarf an kleinen und effizienten Gegengewichten entspricht.

- **Hervorragende mechanische Festigkeit und Verschleißfestigkeit.**

Das Gegengewicht aus Wolframlegierung ist robust und langlebig und hält bei längerem Gebrauch mechanischen Stößen und Reibung stand, um die Stabilität zu gewährleisten.

- **Hohe Verarbeitungsgenauigkeit, einfache Herstellung komplexer Formen.**

Durch Pulvermetallurgie und Präzisionsbearbeitung können Gegengewichte aus Wolframlegierungen in komplexen Formen gestaltet werden, um den strukturellen Anforderungen verschiedener Geräte gerecht zu werden.

- **Umweltfreundlich und ungiftig.**

Im Vergleich zu Bleigewichten ist Wolframlegierung umweltfreundlicher, ungiftig und harmlos und entspricht modernen Herstellungs- und Verwendungsstandards.

8.4.3 Typische Anwendungsfälle

- **Professionelle Kamera-Gegengewichte**

Viele führende Kamerahersteller verwenden Gegengewichte aus Wolframlegierungen, um das Design von Kameragriffen und Ausgleichsstangen zu optimieren. Dadurch werden die Balance und der Bedienkomfort der Ausrüstung deutlich verbessert und die Ermüdung des Bedieners verringert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Einstellbares Gegengewichtssystem für Dreiachsenstabilisatoren.** Moderne Dreiachsenstabilisatoren sind mit einem modularen Gegengewicht aus Wolframlegierung ausgestattet. Durch die flexible Anpassung der Position und Qualität des Gegengewichts können verschiedene Kameramodelle schnell ausbalanciert und die Aufnahmestabilität gewährleistet werden.
- **Zur Einstellung des Schwerpunkts des Stativs** ist es in die Stativbasis integriert, um die Gesamtstabilität zu verbessern. Es eignet sich besonders für Außenaufnahmen mit starkem Wind, um die Sicherheit und Stabilität der Ausrüstung zu gewährleisten.

8.5 Gegengewichtsfunktion für zivile Werkzeuge und hochwertige kundenspezifische Produkte

Mit steigendem Konsum und verbesserten individuellen Bedürfnissen steigen die Anforderungen an Gegengewichtsfunktionen in zivilen Werkzeugen und hochwertigen Spezialprodukten. Ein sinnvolles Gegengewichtsdesign verbessert nicht nur die Produktleistung und das Benutzererlebnis, sondern unterstreicht auch die hohe Qualität und Verarbeitung des Produkts. Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer hohen Dichte, ihrer hervorragenden mechanischen Eigenschaften und ihrer Umweltfreundlichkeit zu einem wichtigen Material für viele hochwertige Spezialprodukte und Gegengewichtsdesigns für zivile Werkzeuge entwickelt.

8.5.1 Anwendungshintergrund und Designanforderungen

- **Verbessern Sie die Stabilität des Werkzeugbetriebs.**
Bei zivilen Werkzeugen wie Handschlüsseln, Hämmern, Schneidwerkzeugen usw. kann eine angemessene Gewichtsverteilung Vibrationen und Ermüdung während des Betriebs wirksam reduzieren und so Effizienz und Sicherheit verbessern.
- **Optimieren Sie Haptik und Balance des Produkts.**
Bei hochwertigen, kundenspezifischen Produkten wie Luxusstiften, Messern, Sportgeräten usw. liegt der Schwerpunkt auf Haptik und Balance des Produkts, und das Gewichtsdesign ist zu einem wichtigen Teil der Verbesserung des Benutzererlebnisses geworden.
- **Um den Anforderungen an Personalisierung und Funktionsvielfalt gerecht zu werden,** muss sich das Gegengewichtsdesign flexibel an die persönlichen Bedürfnisse verschiedener Kunden anpassen und eine perfekte Kombination aus Funktion und Ästhetik erreichen.
- **Anforderungen an Umweltschutz und Gesundheit und Sicherheit**
Modernes Produktdesign legt Wert auf Umweltschutz und die Gewichtsmaterialien müssen Umweltschutzstandards erfüllen, beispielsweise ungiftig und recycelbar sein.

8.5.2 Vorteile von Wolframlegierungen

Hohe Dichte ermöglicht präzise Gewichtung

Wolframlegierungen mit einer Dichte von bis zu $19,3 \text{ g/cm}^3$ ermöglichen eine hohe Qualität bei

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

geringer Baugröße und ermöglichen eine präzise Einstellung des Schwerpunkts und der Trägheit von Werkzeugen und Produkten.

- **Hervorragende mechanische Festigkeit und Haltbarkeit.**
Die Wolframlegierung ist verschleißfest und korrosionsbeständig und gewährleistet die Stabilität und Sicherheit des Gegengewichts bei langfristiger Verwendung.
- **Gute Verarbeitungsleistung**
Wolframlegierungen eignen sich für eine Vielzahl von Verarbeitungstechnologien, einschließlich Pulvermetallurgie, CNC-Bearbeitung und Oberflächenbehandlung, um komplexe und kundenspezifische Designanforderungen zu erfüllen.
- **Umweltfreundlich und ungiftig, entspricht modernen Standards.**
Die Wolframlegierung enthält keine schädlichen Elemente wie Blei und erfüllt die Anforderungen an eine umweltfreundliche Herstellung sowie Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen.

8.5.3 Typische Anwendungsfälle

- **Gegengewichte für hochwertige Roboterwerkzeuge Eine bekannte Werkzeugmarke verwendet**
Gegengewichte aus Wolframlegierungen in hochwertigen Handschraubern und Hämmern, was das Gleichgewichtsgefühl und den Bedienkomfort des Werkzeugs deutlich verbessert, die Ermüdung des Benutzers wirksam verringert und die Arbeitseffizienz steigert.
- **Individuelles Design mit Luxus-Stiftgewichten In die**
individuellen Stifte von Luxusmarken sind Gewichte aus Wolframlegierung eingearbeitet, um eine präzise Kontrolle des Schwerpunkts des Stiftkörpers zu erreichen, die Griffstabilität und Schreibflüssigkeit zu verbessern und die High-End-Qualität hervorzuheben.
- **Gegengewichte für hochwertige Sportgeräte**
Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden häufig in maßgefertigten Golfputtern, Badmintonschlägern und anderen Sportgeräten verwendet, um durch die Anpassung der Gegengewichte die sportliche Leistung und das Benutzererlebnis zu verbessern.
- **Gegengewichte für Smart Home und tragbare Geräte In intelligenten Türschlössern, tragbaren Werkzeugen und anderen Produkten tragen Gegengewichte aus Wolframlegierungen dazu bei, die Gewichtsverteilung zu optimieren und die Gerätestabilität sowie die Bedienungsfreundlichkeit zu verbessern.**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

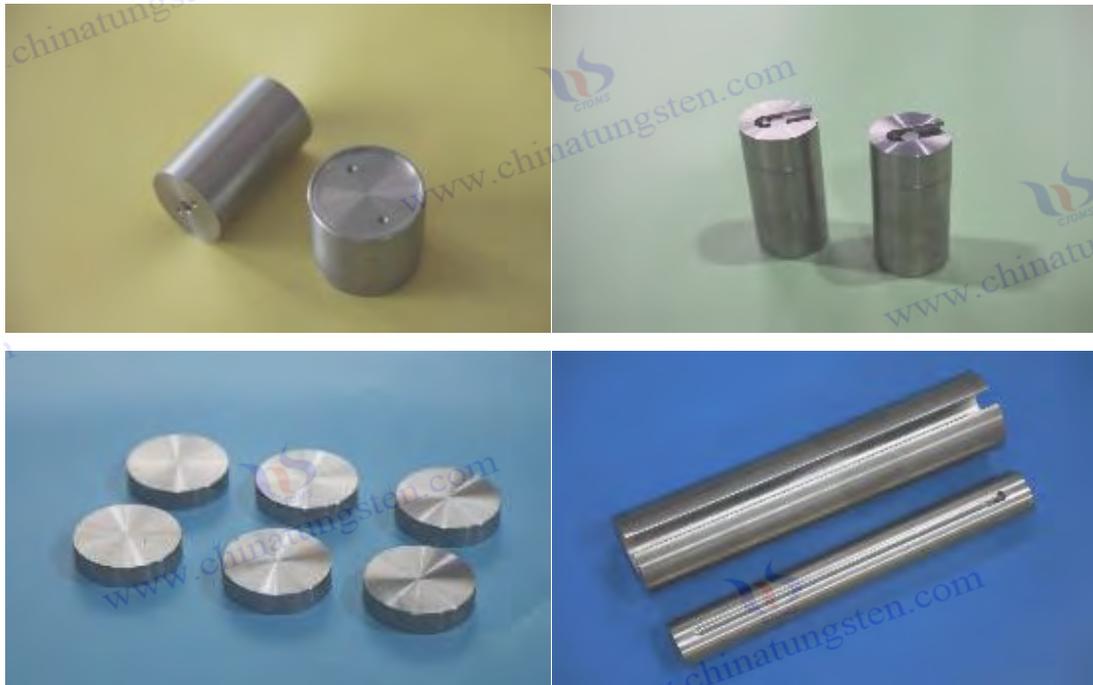
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Kapitel 9 Umweltschutz, Sicherheit und Vorschriften für Gegengewichte aus Wolframlegierungen

Da die weltweiten Umweltschutz- und Produktsicherheitsstandards immer strenger werden, stehen die Umweltverträglichkeit und die Sicherheitskonformität von Gegengewichtsmaterialien aus Wolframlegierungen im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit der Industrie. Wolframlegierungen bieten nicht nur hervorragende Leistungsvorteile, sondern entsprechen aufgrund ihrer Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit auch dem Entwicklungstrend moderner, umweltfreundlicher Fertigung und unterstützen Unternehmen bei der Erreichung nachhaltiger Entwicklungsziele.

9.1 Die Umweltfreundlichkeit und der Vorteil der Ungiftigkeit von Gewichten aus Wolframlegierungen

9.1.1 Trends bei der Auswahl umweltfreundlicher Fertigungsmaterialien

Traditionelle Gewichtsmaterialien wie Blei werden aufgrund ihrer Toxizität und Umweltbelastung zunehmend durch Markt und Vorschriften eingeschränkt. Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer hohen Dichte zur ersten Wahl unter den alternativen Materialien entwickelt. Sie erfüllen die Anforderungen der Umweltschutzbestimmungen und fördern die Umwandlung von Gewichtsmaterialien in umweltfreundliche und unbedenkliche Materialien.

9.1.2 Ungiftigkeitsvorteil der Wolframlegierung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Bleifrei und quecksilberfrei, wodurch Umwelt- und Menschenschäden reduziert werden**

. Die Wolframlegierung enthält keine schädlichen Schwermetallelemente wie Blei und Quecksilber, wodurch Umweltverschmutzung und Gesundheitsrisiken, die durch herkömmliche Gegengewichtsmaterialien auf Bleibasis verursacht werden, vermieden werden und sie entspricht mehreren internationalen Umweltvorschriften wie EU RoHS und REACH.

- **Stabile chemische Eigenschaften:**
Wolframlegierungen weisen eine extrem hohe chemische Stabilität auf, oxidieren und korrodieren nicht so leicht, vermeiden die Freisetzung schädlicher Substanzen und gewährleisten Sicherheit bei langfristiger Verwendung.
- **Sichere Abfallentsorgung und Recycling**
Wolframlegierungen können durch professionelle Recyclingprozesse recycelt werden, um eine Abfallbelastung der Umwelt zu vermeiden und eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen zu erreichen.

9.1.3 Anwendungsvorteile im Green Manufacturing

- **Erfüllen Sie internationale Umweltzertifizierungsstandards.**
Gegengewichtsmaterialien aus Wolframlegierungen entsprechen weitgehend dem Umweltmanagementsystem ISO 14001 und den entsprechenden Zertifizierungen für umweltfreundliche Herstellung und helfen Unternehmen, internationale Marktzugangstandards zu erfüllen.
- **Unterstützung des Produktlebenszyklusmanagements (PLM) Produkte**
mit Gewichten aus Wolframlegierungen bieten in jeder Phase des Designs, der Produktion, der Verwendung und des Recyclings Umweltvorteile und verbessern so die Vorteile des gesamten Lebenszyklusmanagements.
- **Förderung des Aufbaus einer grünen Lieferkette.**
Die ausgereifte und umweltfreundliche Lieferkette für Wolframlegierungsmaterialien trägt zum Aufbau einer grünen Lieferkette und zur Reduzierung der Umweltrisiken des Unternehmens bei.

Analyse der Substitution durch Bleimaterialien

9.2.1 Traditionelle Anwendung von Bleimaterialien in Gegengewichten

Blei wird aufgrund seiner hohen Dichte (ca. 11,34 g/cm³), guten Plastizität und niedrigen Kosten seit langem in verschiedenen Gewichtsanwendungen eingesetzt, beispielsweise in Sportgeräten, mechanischen Gewichten und Baugewichten. Die Toxizität und Umweltbelastung von Blei unterliegen jedoch zunehmend strengen Beschränkungen durch die internationale Gemeinschaft und nationale Vorschriften.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.2.2 Leistungsvorteile von Wolframlegierungen als Ersatz für Blei

- **Höhere Dichte und Massenkonzentration:**
Die Dichte der Wolframlegierung beträgt etwa 19,3 g/cm³ und ist damit fast 1,7-mal so hoch wie die von Blei. Dadurch lässt sich bei kleinerem Volumen eine höhere Gewichtung erzielen, was zu einem leichteren und kompakteren Produktdesign beiträgt.
- **Hervorragende mechanische Eigenschaften**
: Wolframlegierungen weisen eine wesentlich höhere Härte und Festigkeit als Blei auf und sind verschleiß- und verformungsbeständiger, sodass sie sich für Anwendungsumgebungen mit hoher Festigkeit und hoher Haltbarkeit eignen.
- **Es ist chemisch sehr stabil**
und oxidiert und korrodiert nicht so leicht. Dadurch bleibt die Leistung des Gegengewichts auch bei längerem Gebrauch stabil. Blei neigt jedoch in bestimmten Umgebungen zur Korrosion, was seine Lebensdauer und Sicherheit beeinträchtigt.

9.2.3 Vorteile für Umweltschutz und Sicherheit

- **Ungiftig und umweltfreundlich, gemäß internationalen Vorschriften.**
Blei birgt erhebliche Toxizitäts- und Umweltrisiken. Viele Länder und Regionen haben Vorschriften zur Einschränkung der Bleiverwendung erlassen, wie beispielsweise die EU-RoHS-Richtlinie und die strengeren Beschränkungen in Kalifornien, USA. Wolframlegierungen sind bleifrei und ungiftig und somit ein idealer alternativer Werkstoff, der den Umweltvorschriften entspricht.
- **Geringere Gesundheitsrisiken:**
Bleistaub und Bleiabfälle können die menschliche Gesundheit, insbesondere die Atemwege und das Nervensystem, ernsthaft schädigen. Die Ungiftigkeit der Wolframlegierung reduziert die Gesundheitsrisiken für Arbeiter und Endverbraucher wirksam.

9.2.4 Wirtschaftliche und anwendungsbezogene Herausforderungen

- **Kostenvergleich:**
Die Material- und Verarbeitungskosten von Wolframlegierungen sind höher als die von Blei, insbesondere bei der Herstellung komplexer Formen und hochpräziser Gegengewichte. Der Kostenunterschied ist deutlicher. Unternehmen müssen den Mehrwert durch Leistungsverbesserung und Umweltverträglichkeit umfassend berücksichtigen und das Input-Output-Verhältnis bewerten.
- **Verarbeitungsschwierigkeiten**
Wolframlegierungen weisen eine hohe Härte auf, sind jedoch mit hohen Verarbeitungsschwierigkeiten und hohen Anforderungen an die Ausrüstung verbunden. Der Einsatz fortschrittlicher Pulvermetallurgie- und Präzisionsverarbeitungstechnologien ist erforderlich, was den Produktionsprozess komplexer macht.
- **Stabilität der Lieferkette:**
Die Wolframressourcen sind relativ konzentriert und das Lieferkettenmanagement muss für

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Stabilität sorgen, um zu vermeiden, dass die Produktion durch Schwankungen bei den Rohstoffen beeinträchtigt wird.

9.2.5 Substitutionstrends in Anwendungsfeldern

Angesichts strengerer Umweltvorschriften und der steigenden Nachfrage nach Hochleistungsprodukten ersetzen Wolframlegierungen zunehmend Bleiwerkstoffe in den Bereichen Automobil, Luft- und Raumfahrt, Elektronik, Sportgeräte und Medizintechnik und entwickeln sich zu einem Mainstream-Trend. Insbesondere in High-End- und Präzisionsanwendungen sind die Vorteile von Wolframlegierungen als Bleiersatz besonders ausgeprägt.

9.3 REACH, RoHS und internationale Umweltvorschriften

9.3.1 Überblick über die wichtigsten internationalen Umweltvorschriften

- **REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)**
ist die EU-Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe, die dem Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umweltsicherheit dient und die Produktion und Verwendung chemischer Stoffe regelt.
- **RoHS (Restriction of Hazardous Substances Directive)**
ist die EU-Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe, die die Verwendung gefährlicher Stoffe wie Blei, Quecksilber, Cadmium, sechswertiges Chrom, polybromierte Biphenyle und polybromierte Diphenylether in Elektro- und Elektronikgeräten einschränkt.
- **Auch andere regionale Vorschriften**
, wie etwa die strengeren Beschränkungen in Kalifornien (Prop 65) und Chinas „Maßnahmen zur Kontrolle der Umweltverschmutzung durch elektronische Informationsprodukte“, sehen Beschränkungen für gefährliche Stoffe in Materialien vor.

Compliance-Vorteile von Wolframlegierungen

- **Bleifrei und cadmiumfrei, RoHS-konform.**
Wolframlegierungen selbst enthalten keine eingeschränkten Schwermetalle wie Blei und Cadmium und erfüllen selbstverständlich die RoHS-Normen für die Beschränkung gefährlicher Stoffe. Sie eignen sich für Branchen, die RoHS-konform sein müssen, wie beispielsweise die Elektronik- und Medizinbranche.
- **Einhaltung der REACH-Registrierungs- und Beschränkungsvorschriften:**
Wolfram und seine Legierungen haben die REACH-Registrierung der EU abgeschlossen und die relevanten chemischen Informationen sind offen und transparent und erfüllen die Anforderungen für den europäischen Marktzugang.
- **Stabilität und geringes Freisetzungsrisiko**
Wolframlegierungsmaterialien verfügen über stabile chemische Eigenschaften und setzen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

während der Verwendung nicht so leicht schädliche Substanzen frei, was den Anforderungen der Umweltschutzbestimmungen für eine sichere Verwendung entspricht.

Compliance-Praktiken von Unternehmen für Gegengewichte aus Wolframlegierungen

- **Perfektes Materialrückverfolgbarkeits- und Prüfsystem. Kontrollieren Sie die Beschaffung und Prüfung von**
Wolframmaterialien in der Lieferkette streng, um sicherzustellen, dass keine eingeschränkten gefährlichen Stoffe vorhanden sind, und stellen Sie Materialzertifikate und Prüfberichte bereit, die den Umweltstandards entsprechen.
- **Bei der Produktgestaltung und der Prozesskontrolle in der Fertigung**
werden bereits in der Gestaltungsphase die gesetzlichen Vorschriften berücksichtigt, um die Verwendung verbotener Materialien und Verfahren zu vermeiden. Außerdem wird während des Produktionsprozesses eine Qualitätskontrolle durchgeführt, um die Konformität des fertigen Produkts sicherzustellen.
- **Wir verfolgen weiterhin regulatorische Trends**
und achten aktiv auf Aktualisierungen und Änderungen der globalen Umweltvorschriften. Wir passen unsere Compliance-Strategien rechtzeitig an, um sicherzustellen, dass unsere Produkte weiterhin die Anforderungen für den Marktzugang erfüllen.
- **Beim Green Supply Chain Management**
wird ein umweltfreundliches Beschaffungs- und Lieferkettenmanagementsystem etabliert, um vorgelagerte und nachgelagerte Partner zur Einhaltung von Umweltgesetzen und -vorschriften zu ermutigen und die Umwelleistung der gesamten Lieferkette zu verbessern.

9.3.4 Zukünftige regulatorische Trends und Reaktionen der Unternehmen

Mit zunehmendem Umweltbewusstsein werden die Vorschriften weltweit strenger, insbesondere hinsichtlich Materialtransparenz, Recycling und Ökobilanz. Hersteller von Gegengewichten aus Wolframlegierungen sollten:

- Stärkung der Forschung und Entwicklung im Bereich der Umweltverträglichkeit von Materialien und Förderung der umweltfreundlichen Verbesserung von Wolframlegierungen;
- Richten Sie ein vollständiges Produktlebenszyklus-Managementsystem ein.
- Erweitern Sie die Umweltzertifizierung und verbessern Sie die Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt.

9.4 Qualitätssystemanforderungen für die Luft- und Raumfahrt- sowie Verteidigungsindustrie

9.4.1 Branchenhintergrund und Bedeutung des Qualitätsmanagements

Die Luft- und Raumfahrt sowie das Militär stellen extrem hohe Anforderungen an die Leistung und Zuverlässigkeit von Gegengewichtsmaterialien, da diese direkt mit der Sicherheit, Leistung und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Erfolgsquote von Flugzeugen zusammenhängen. Als wichtige Funktionskomponente müssen Gegengewichte aus Wolframlegierungen strenge Qualitätsstandards erfüllen, um die Stabilität und Rückverfolgbarkeit jeder Produktcharge zu gewährleisten.

9.4.2 Wichtige Qualitätsmanagement-Standards

- **Die Normenreihe AS9100**
deckt den gesamten Prozess von Design, Beschaffung, Herstellung, Prüfung und Kundendienst ab und verlangt von den Herstellern die Einrichtung eines strengen Qualitätskontrollsystems und eine kontinuierliche Verbesserung der Produktqualität.
- **Das Qualitätsmanagementsystem ISO 9001 ist**
ein grundlegender Qualitätsmanagementstandard, der in der Rüstungsindustrie und verwandten Branchen weit verbreitet ist. Der Schwerpunkt liegt auf der Prozesskontrolle und kontinuierlichen Verbesserung, um sicherzustellen, dass die Produkte die Kunden- und gesetzlichen Anforderungen erfüllen.
- **Militärstandards (MIL-STD),**
einschließlich spezifischer militärischer Qualitätsstandards wie MIL-Q-9858A, stellen strenge Anforderungen an Produktdesign, Tests und Zuverlässigkeit.

9.4.3 Wichtige Aspekte der Qualitätskontrolle von Gewichten aus Wolframlegierungen

- **Rohstoffprüfung und Rückverfolgbarkeit:**
Kontrollieren Sie die Zusammensetzung von Wolframpulver und -legierungen streng, um die Einhaltung der Materialspezifikationen für Luft- und Raumfahrt sowie Militär sicherzustellen. Richten Sie ein lückenloses Materialrückverfolgungssystem ein, um die Chargenkonsistenz sicherzustellen.
- **Die Fertigungsprozesssteuerung**
nutzt fortschrittliche Pulvermetallurgie-Technologie, Präzisionsbearbeitung und Oberflächenbehandlung, um sicherzustellen, dass Produktgröße, Dichte und mechanische Eigenschaften den Standards entsprechen. Implementieren Sie Prozessüberwachung und Schlüsselparameterkontrolle.
- **Zerstörungsfreie Prüfungen und Leistungstests**
Röntgenprüfung, Ultraschallprüfung, Dichtepfung und mechanische Leistungstests werden eingesetzt, um sicherzustellen, dass das Gegengewicht keine inneren Defekte aufweist und den Konstruktionspezifikationen entspricht.
- **Qualitätsdokumentation und Rückverfolgbarkeitssystem**
Vollständige Produktionsaufzeichnungen, Inspektionsberichte und Zertifikate stellen sicher, dass der gesamte Prozess vom Rohmaterial bis zur endgültigen Lieferung rückverfolgbar ist, um Kunden- und behördliche Anforderungen zu erfüllen.

9.4.4 Kontinuierliche Verbesserung und Risikomanagement

- **Der Plan zur Qualitätsverbesserung**
basiert auf Kundenfeedback und internen Audits, um Produktionsprozesse und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produktdesign kontinuierlich zu optimieren und so die Produktstabilität und -leistung zu verbessern.

- **Durch Risikobewertung und -kontrolle**
werden potenzielle Risiken im Produktionsprozess identifiziert und Präventiv- und Korrekturmaßnahmen ergriffen, um die Produktqualität und Lieferzuverlässigkeit sicherzustellen.
- **Das Supply Chain Management**
prüft und bewertet Lieferanten streng, um die Einhaltung der Qualitätsvorschriften und Stabilität in allen Gliedern der Lieferkette sicherzustellen.

9.5 Rückverfolgbarkeit und Chargenkontrollmechanismus

9.5.1 Bedeutung der Rückverfolgbarkeit

In anspruchsvollen Anwendungsbereichen wie der Luft- und Raumfahrt, dem Militär und der Medizintechnik wirken sich Qualität und Leistung von Gewichten aus Wolframlegierungen direkt auf die Produktsicherheit und die Nutzungseffekte aus. Die Einführung eines lückenlosen Rückverfolgbarkeitssystems unterstützt nicht nur die Qualitätskontrolle und Problemverfolgung, sondern stärkt auch das Kundenvertrauen und erfüllt gesetzliche und Zertifizierungsanforderungen.

9.5.2 Aufbau eines Rückverfolgbarkeitssystems für Gegengewichte aus Wolframlegierungen

- **Rückverfolgbarkeit der Materialquelle**
Jeder Charge Wolframpulver und Legierungsrohstoffen müssen Lieferantenzertifikate, Komponentenanalyseberichte und Inspektionsaufzeichnungen beiliegen, um eine stabile und konforme Materialqualität sicherzustellen.
- **Die Aufzeichnungen des Produktionsprozesses**
umfassen wichtige Prozessparameter und den Gerätestatus, wie etwa Pulvermischen, Sintern, maschinelle Bearbeitung, Oberflächenbehandlung usw., und bilden ein detailliertes Produktionsprotokoll, um sicherzustellen, dass der Prozess kontrollierbar ist.
- Die Ergebnisse der Maßmessung, Dichtepfung, mechanischen Eigenschaften und zerstörungsfreien Prüfung jeder Phase **der Inspektions- und Testdatenarchivierung müssen gespeichert werden, um spätere Abfragen und Qualitätsanalysen zu erleichtern.**
- **Das Chargenidentifizierungs- und -codierungsmanagement**
weist jeder Produktionscharge einen eindeutigen Code zu, der Produktionsdatum, Prozessparameter und Rohstoffinformationen umfasst, um eine schnelle Positionierung und Identifizierung zu ermöglichen.
- **Das Produktversand- und Kundeninformationsmanagement**
erfasst den Endkunden, den Zweck und den Versandzeitpunkt des Produkts und ermöglicht eine vollständige Kettenverfolgung vom Material bis zum Kunden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.5.3 Batch-Kontrollmechanismus

- **Prinzip der Chargeneinteilung:**

Die Chargen werden nach Faktoren wie Produktionsprozess, Rohstoffcharge und Gerätestatus eingeteilt, um eine gleichbleibende Produktqualität innerhalb der Charge zu gewährleisten.

- **Chargeninspektionssystem:**

Jede Produktcharge muss einer strengen Stichprobenprüfung und vollständigen Inspektion unterzogen werden, um die Einhaltung der Design- und Standardanforderungen sicherzustellen. Anomalien in der Charge müssen isoliert und zeitnah behandelt werden.

- **Feedback und Verbesserung der Chargenqualität:**

Analysieren Sie Unterschiede zwischen Chargen durch Kundenfeedback und interne Qualitätsüberwachung, um kontinuierliche Verbesserungen und Prozessoptimierungen voranzutreiben.

- **Das digitale Management von Rückverfolgbarkeitsinformationen**

nutzt Informationssysteme wie ERP und MES, um das digitale Management und die automatisierte Verfolgung von Chargeninformationen zu realisieren und so die Effizienz und Genauigkeit zu verbessern.

9.5.4 Anwendungsfälle

Ein Hersteller von Gegengewichten aus Wolframlegierungen hat ein umfassendes Rückverfolgbarkeitssystem etabliert, um den gesamten Prozess von der Rohstoffbeschaffung bis zum Versand der fertigen Produkte zu überwachen. Dieses System kann die problematische Charge schnell lokalisieren und bei Auffälligkeiten in Kundenprodukten wirksame Maßnahmen ergreifen. Dies reduziert die Kundenrisiken und die Unternehmensverantwortung erheblich.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 10 Marktentwicklung und Branchentrend von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

Mit der steigenden Nachfrage nach Hochleistungsgegengewichten hat der Markt für Gegengewichte aus Wolframlegierungen eine starke Entwicklungsdynamik gezeigt. Als wichtige strategische Ressource wirken sich die Stabilität der Wolfram-Lieferkette und die Materialqualität direkt auf die gesunde Entwicklung der gesamten Gegengewichtsindustrie aus. Das Verständnis der globalen Wolfram-Ressourcenverteilung und des Status der Lieferkette ist entscheidend, um Markttrends zu erfassen, die Beschaffung zu optimieren und die Wettbewerbsfähigkeit der Branche zu verbessern.

10.1 Globale Wolframressourcen und Wolframmaterial-Lieferkette für Gegengewichte

10.1.1 Globale Wolfram-Ressourcenverteilung

Wolfram wird hauptsächlich in folgenden Bereichen verbreitet:

- **China ist**
das Land mit den weltweit größten Wolframvorkommen und verfügt über mehr als 60 % der globalen Reserven. Es verfügt über eine ausgereifte Bergbau- und Verarbeitungskette. Zu den wichtigsten Bergbauregionen zählen die Provinzen Jiangxi, Hunan, Guangdong und Yunnan.
- **Europa**
ist ein bedeutendes Wolframvorkommenland. Ihre Vorkommen sind zwar geringer als die Chinas, ihr Technologieniveau ist jedoch höher.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **In Nordamerika**
gibt es Wolframerzvorkommen in einem bestimmten Umfang, die schrittweise erschlossen und hauptsächlich auf dem lokalen Markt für High-End-Anwendungen genutzt werden.
- Länder wie Ruanda und Marokko **in Afrika und Südamerika verfügen über reiche Reserven und die Bergbauindustrie entwickelt sich allmählich.**

10.1.2 Struktur der Lieferkette für Wolframmaterialien

Die Lieferkette für Wolframmaterial umfasst hauptsächlich die folgenden Glieder:

- **Unter Erzbergbau**
versteht man den Abbau von rohem Wolframerz, welches anschließend zunächst zerkleinert und gesiebt wird.
- **Bei der Wolframkonzentratproduktion**
werden wolframhaltige Mineralien durch Flotation und andere Methoden extrahiert, um Wolframkonzentrat zu bilden.
- **Herstellung von Wolframchemikalien und -pulver**
Das Konzentrat wird chemisch behandelt, um Zwischenprodukte wie Wolframat und Wolframpulver für die Pulvermetallurgie und die Legierungsherstellung herzustellen.
- **Bei der Verarbeitung von Wolframlegierungsprodukten**
kommen Pulvermetallurgie, Hochtemperaturesintern, mechanische Verarbeitung und andere Verfahren zum Einsatz, um Gegengewichte und andere Fertigprodukte aus Wolframlegierungen herzustellen.
- **Endanwendungen**
Gegengewichte werden in zahlreichen Branchen eingesetzt, darunter in der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie, der Elektronik, der Medizin, im Sport usw.

10.1.3 Herausforderungen in der Lieferkette und marktbeeinflussende Faktoren

- **Ressourcenkonzentration und geopolitische Risiken:**
Wolframressourcen sind stark konzentriert und besonders abhängig von der Versorgung aus China, was das Risiko von Angebotsschwankungen und Handelskonflikten birgt.
- **Umweltschutzrichtlinien und Kapazitätsregulierung:**
Länder auf der ganzen Welt stellen zunehmend strengere Umweltschutzanforderungen an Minen, was zu Kapazitätsanpassungen und steigenden Kosten führt und die Stabilität der Wolframmaterialversorgung beeinträchtigt.
- **Der technologische Fortschritt hat die Modernisierung der Lieferkette,**
die Entwicklung neuer Materialien und die Verbesserung effizienter Schmelztechnologien vorangetrieben und die Verbesserung der Wolframmaterialqualität sowie die Optimierung der Lieferkette gefördert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Diversifizierte Nachfrage im nachgelagerten Bereich**
Die Nachfrage nach Gewichten aus Wolframlegierungen in der High-End-Fertigung wächst rasant und treibt die Lieferkette in Richtung hoher Qualität und hoher Wertschöpfung.

10.2 Marktgröße und Nachfragetrend von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

10.2.1 Überblick über die globale Marktgröße

Mit der Entwicklung der industriellen Automatisierung, der High-End-Fertigung und intelligenter Ausrüstung wächst der Markt für Gegengewichte aus Wolframlegierungen weiter. Laut neuesten Marktforschungsdaten erreichte der globale Markt für Gegengewichte aus Wolframlegierungen im Jahr 202X ein Volumen von rund XX Milliarden US-Dollar, und die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (CAGR) wird in den nächsten fünf Jahren voraussichtlich zwischen X % und X % liegen.

10.2.2 Marktwachstumstreiber

- **Die Forderung nach hoher Leistung führt zu**
einer steigenden Nachfrage nach hochdichten und hochstabilen Gegengewichtsmaterialien in der Luft- und Raumfahrt, der Militärindustrie und bei hochwertigen elektronischen Geräten, was wiederum das Wachstum des Marktes für Gegengewichte aus Wolframlegierungen vorantreibt.
- **Umweltvorschriften erfordern Materialverbesserungen.**
Traditionelle Gewichtsmaterialien auf Bleibasis werden aufgrund von Umweltauflagen schrittweise abgeschafft. Wolframlegierungen werden häufig als ungiftige und umweltfreundliche Alternativen eingesetzt.
- **Fortschritte bei intelligenten Fertigungs- und Präzisionsbearbeitungstechnologien**
Die Entwicklung fortschrittlicher Technologien wie CNC-Bearbeitung und Pulvermetallurgie hat die Qualität und Vielfalt von Gegengewichtsprodukten aus Wolframlegierungen verbessert, um komplexen Anwendungsanforderungen gerecht zu werden.
- **Erweiterung neuer Anwendungsfelder**
Mit der zunehmenden Verbreitung von Drohnen, tragbaren medizinischen Geräten und hochwertigen Sportgeräten erweitert sich der Anwendungsbereich von Gewichten aus Wolframlegierungen weiter und bringt neue Wachstumspunkte mit sich.

10.2.3 Bedarfsanalyse der Hauptanwendungsfelder

- **In der Luft- und Raumfahrt**
steigt die Nachfrage nach Gewichten aus Wolframlegierungen in Flugsteuerungssystemen, der Trägheitsnavigation, der Satellitenstabilisierung und anderen Bereichen stetig an.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **in Automobilen und Maschinenbau**
, Fahrgestellstabilität und leichte Fahrzeuge mit neuer Antriebstechnologie haben den Einsatz von Gegengewichten aus Wolframlegierungen vorangetrieben.
- Die Nachfrage nach hochpräzisen Gegengewichten in **elektronischen und medizinischen Geräten wie Anti-Shake-Modulen für Mobiltelefone, CT-/MRT-Geräten und Strahlentherapiegeräten steigt rasant.**
- **Sport- und zivile Konsumgüter**
Die Nachfrage nach personalisierten Gewichten für hochwertige Sportgeräte, Schießausrüstung und zivile Werkzeuge steigt allmählich an.

10.2.4 Regionale Marktverteilungsmerkmale

- , insbesondere China, Japan und Südkorea, profitiert von der Produktionsbasis und dem Wachstum der nachgelagerten Nachfrage und hat sich **zum größten Markt für Gewichte aus Wolframlegierungen entwickelt.**
- Hochwertige Fertigung und strenge Umweltvorschriften **in Nordamerika und Europa fördern den Einsatz von**
Gegengewichten aus Wolframlegierungen und der Markt wächst stetig.
- **Schwellenmärkte**
wie Südostasien, Indien und Südamerika bieten potenzielle Wachstumschancen.

10.2.5 Zukunftsprognose

- **Funktionale Integration und Trend zum Leichtgewicht**
Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden sich in Richtung kleinerer Größe, hoher Leistung und multifunktionaler Integration entwickeln, um den Anforderungen intelligenter Geräte gerecht zu werden.
- **Umweltfreundliche Herstellung und Recycling**
Umweltvorschriften treiben die Weiterentwicklung der Materialrecyclingtechnologie voran, um eine nachhaltige Nutzung der Wolframressourcen zu erreichen.
- **individuelle Anpassung und diversifizierte Entwicklung**
werden unterschiedliche Anwendungsszenarien und Kundenbedürfnisse berücksichtigt und personalisierte Gegengewichtslösungen entwickelt.

10.3 Typische Unternehmen und internationale Wettbewerbslandschaft

10.3.1 Übersicht über die wichtigsten Unternehmen der Branche

Die Gegengewichtsindustrie aus Wolframlegierungen hat eine Reihe führender Unternehmen mit technischer Stärke und Markteinfluss versammelt. Diese Unternehmen verfügen über starke

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wettbewerbsvorteile in den Bereichen Materialforschung und -entwicklung, Produktionstechnologie, Marktexpansion usw. Zu den repräsentativen Unternehmen gehören:

- Als eines der wichtigsten Wolframressourcen- und Wolframproduktionsländer der Welt **verfügt China über führende Unternehmen, darunter** China Tungsten Intelligent Manufacturing (CTIA GROUP). Diese Unternehmen verfügen über ausgereifte Technologien in der Wolframpulveraufbereitung, im Legierungsschmelzen und in der Präzisionsverarbeitung, komplette Lieferketten und einen weltweit führenden Marktanteil.
- **Europäische Unternehmen wie** HC Starck in Deutschland und die Plansee Group in Großbritannien sind für ihre hochwertigen Wolframlegierungen und ihre Präzisionsfertigung bekannt. Sie legen Wert auf technologische Innovation und Produktqualität und beliefern die High-End-Märkte der Luft- und Raumfahrt sowie des Militärs.
- **Nordamerikanische** Unternehmen wie Global Tungsten & Powders (GTP) konzentrieren sich auf die Forschung und Entwicklung von Hochleistungsmaterialien aus Wolfram und erweitern aktiv deren Anwendungsmöglichkeiten im Militär- und Elektronikbereich.

10.3.2 Internationale Marktwettbewerbslandschaft

- **Ressourcenvorteile und Kostenkontrolle:** Chinesische Unternehmen verfügen aufgrund ihrer reichlich vorhandenen Wolframressourcen und der niedrigen Produktionskosten, insbesondere im Low-End- und Midstream-Produktmarkt, über offensichtliche Preisvorteile auf dem Weltmarkt.
- **Technologische Innovation und Wettbewerb um High-End-Märkte** Europäische und nordamerikanische Unternehmen legen Wert auf Investitionen in Forschung und Entwicklung und gewinnen die Gunst der Kunden in High-End-Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und der Elektronik durch fortschrittliche Pulvermetallurgie-Technologie, Präzisionsverarbeitungstechnologie und maßgeschneiderte Dienstleistungen.
- **Globales Layout und Lieferkettenintegration** Große Unternehmen bauen durch Auslandsinvestitionen, Fusionen und Übernahmen sowie Kooperationen globale Produktions- und Vertriebsnetzwerke auf, um die Reaktionsgeschwindigkeit der Lieferkette und die Marktabdeckung zu verbessern.

10.3.3 Wettbewerbsvorteile und Herausforderungen

- **Chinesische Unternehmen verfügen über** umfassende Rohstoffversorgungsgarantien und ein komplettes industrielles Kettensystem und sind in der Lage, im großen Maßstab zu produzieren und schnell zu liefern.
- **Technologische Barrieren und Markeneinfluss** International führende Unternehmen verfügen über technologische Barrieren in der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Präzisionsfertigung, der Qualitätskontrolle und bei innovativen Anwendungen, einem hohen Markenbewusstsein und einer starken Kundenbindung.

- **Umweltrichtlinien und Compliance-Druck: Da**
Länder weltweit ihre Anforderungen an Umweltschutz und Sicherheitsvorschriften verschärfen, steigen für Unternehmen die Compliance-Kosten und die Produktionsrisiken.

10.3.4 Zukünftige Wettbewerbstrends

- **Innovationsorientierte Entwicklungsunternehmen**
werden ihre Investitionen in Forschung und Entwicklung erhöhen, die Leistungsverbesserung von Wolframlegierungsmaterialien und die Anwendung neuer Verfahren vorantreiben und den vielfältigen Anforderungen des High-End-Marktes gerecht werden.
- **Grüne Produktion, nachhaltige Entwicklung**
und Umweltschutz werden zu wichtigen Faktoren im Wettbewerb der Unternehmen, und grüne Produktionsprozesse und Modelle der Kreislaufwirtschaft werden sich nach und nach durchsetzen.
- **Durch branchenübergreifende Zusammenarbeit und ökologisches Bauen**
werden durch die Zusammenarbeit mit vor- und nachgelagerten Unternehmen in der nachgelagerten Industriekette umfassende Servicekapazitäten aufgebaut und Synergien und Win-Win-Ergebnisse in der Industriekette erzielt.

10.4 Produkt-Upgrade-Trends durch neue Technologien

10.4.1 Fortschritte in der Pulvermetallurgie

Als Kerntechnologie der Herstellung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen hat die Pulvermetallurgie in den letzten Jahren bedeutende technologische Durchbrüche erzielt. Die Herstellung und Anwendung nanometergroßer ultrafeiner Pulver hat die Dichte und die mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungen verbessert. Die Entwicklung der Hochtemperatur- und Hochdrucksinter-technologie hat die Gleichmäßigkeit und Stabilität der Gegengewichtsstruktur verbessert und erfüllt die strengen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt sowie der Hochpräzisionsindustrie.

10.4.2 Anwendung der additiven Fertigungstechnologie (3D-Druck)

Additive Fertigungsverfahren erfreuen sich bei der Herstellung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen zunehmender Beliebtheit, insbesondere bei der Herstellung komplexer Strukturen und kundenspezifischer Gegengewichte. 3D-Druck verkürzt nicht nur den Forschungs- und Entwicklungszyklus, sondern ermöglicht auch die Realisierung komplexer geometrischer Formen, die mit herkömmlichen Verfahren nur schwer zu erreichen sind. Dies erhöht die Freiheit bei der Produktgestaltung und Funktionsintegration.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.4.3 Intelligente Fertigung und automatisierte Produktion

Kombiniert mit dem Konzept von Industrie 4.0 wird intelligente Fertigungstechnologie bei der Herstellung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen umfassend eingesetzt. Durch das Internet der Dinge (IoT), Big-Data-Analyse und intelligente Roboter werden Echtzeitüberwachung, Qualitätsverfolgung und ein automatisierter Betrieb des Produktionsprozesses ermöglicht, was die Produktionseffizienz und Produktkonsistenz deutlich verbessert.

10.4.4 Innovationen in der Oberflächentechnik

Fortschrittliche Oberflächenbehandlungstechnologien wie Laserbeschichtung, Ionenimplantation und Nanobeschichtung verbessern die Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Lebensdauer von Gegengewichten aus Wolframlegierungen. Die Oberflächenfunktionalisierung verbessert nicht nur die Materialeistung, sondern verleiht dem Produkt auch spezifische elektromagnetische Abschirmungs- und Wärmemanagementfunktionen.

10.4.5 Multimaterial-Verbund-Gegengewichtstechnologie

Die Multimaterial-Verbundtechnologie kombiniert Wolframlegierungen mit leichten und hochfesten Materialien (wie Titanlegierungen und Kohlefaserverbundwerkstoffen), um ein Gleichgewicht zwischen hoher Dichte und geringem Gewicht zu erreichen. Durch fortschrittliche Klebe- und mechanische Verbindungsverfahren wird das Gewichtssystem individuell an die unterschiedlichen Leistungsanforderungen verschiedener Anwendungen angepasst.

10.4.6 Grüne Fertigung und Kreislaufwirtschaftstechnologien

Neue Technologien fördern die Umstellung der Wolframlegierungsproduktion auf eine umweltfreundliche Fertigung. Der Einsatz von Materialrecycling, energiesparendem Schmelzen und umweltfreundlichen Verfahren kann die Umweltbelastung reduzieren, die Produktionskosten senken und eine nachhaltige Ressourcennutzung ermöglichen.

Durch die Integration dieser Technologien werden Gegengewichtsprodukte aus Wolframlegierungen in Richtung Hochleistung, Hochpräzision, Multifunktionalität und Umweltschutz weiterentwickelt und erfüllen die vielfältigen Anforderungen an Gegengewichtsmaterialien in der zukünftigen intelligenten Fertigung und High-End-Ausrüstung.

10.5 Strategische Position von Gegengewichten aus Wolframlegierungen in zukünftigen High-End-Geräten

10.5.1 Der Kernwert von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungen haben sich aufgrund ihrer hohen Dichte, Festigkeit, Temperaturbeständigkeit und hervorragenden mechanischen Eigenschaften zum bevorzugten Material für Gegengewichte hochwertiger Geräte entwickelt. In den Bereichen Flugzeuge, Satelliten, Präzisionsinstrumente, moderne medizinische Geräte usw. gewährleisten Gegengewichte aus Wolframlegierungen nicht nur die Stabilität und Genauigkeit der Geräte, sondern tragen auch maßgeblich zur Verbesserung der Gesamtleistung und Sicherheit bei.

10.5.2 Zukünftige Nachfragetreiber für High-End-Geräte

- **Mit der Verbesserung**
des Intelligenzniveaus von High-End-Geräten werden höhere Anforderungen an die geringe Größe, hohe Präzision und multifunktionale Integration von Gegengewichtsmaterialien gestellt. Gegengewichte aus Wolframlegierung erfüllen diese Anforderungen perfekt.
- Bei der neuesten Gerätegeneration steht der **Leichtbau im Vordergrund**. Kernkomponenten benötigen jedoch weiterhin hochdichte Gegengewichtsmaterialien, um eine ausgewogene Leistung zu gewährleisten. Die Kombination von Wolframlegierungen und Verbundwerkstoffen liegt im Trend.
- **Anpassungsfähigkeit an extreme Umgebungen:**
Luft- und Raumfahrt- sowie Verteidigungsausrüstung ist häufig hohen Temperaturen, hoher Strahlung und starken Vibrationen ausgesetzt. Die hervorragende Hitzebeständigkeit und Stabilität der Wolframlegierung machen sie zu einem unersetzlichen strategischen Material.

10.5.3 Strategische Vorteile von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

- **Materialstabilität und Zuverlässigkeit**
Wolframlegierungen weisen unter verschiedenen extremen Bedingungen eine stabile Leistung auf, gewährleisten den langfristigen zuverlässigen Betrieb von High-End-Geräten und reduzieren Wartungskosten und -risiken.
- **Technologische Innovationen fördern die strategische Aufrüstung**
neuer Wolframlegierungsmaterialien, intelligenter Fertigungstechnologien und Verbundwerkstoffe, verleihen Gegengewichten mehr Funktionen und fördern die Verbesserung der strategischen Position.
- **Sicherheit der Lieferkette und nationale strategische**
Wolframressourcen Da es sich bei Wolfram um ein strategisches Edelmetall handelt, ist die Gewährleistung der Sicherheit der Lieferkette für Gegengewichtsmaterial aus Wolframlegierungen eine wichtige Grundlage für die Gewährleistung der unabhängigen und kontrollierbaren nationalen High-End-Ausrüstung.

10.5.4 Zukünftige Entwicklungstrends und strategische Ausrichtung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Durch die umfassende Integration der industriellen Kette**
werden die Wolfram-Ressourcengewinnung, die Materialaufbereitung, -verarbeitung und -herstellung sowie die Anwendungsentwicklung weiter vertieft, eine vollständige industrielle Ökologie aufgebaut und die Wettbewerbsfähigkeit gesteigert.
- **Unabhängige Innovation und technologische Durchbrüche**
: Erhöhen Sie Ihre Investitionen in Forschung und Entwicklung, entwickeln Sie bahnbrechende Hochleistungsmaterialien und Herstellungsverfahren aus Wolframlegierungen und erfüllen Sie die vielfältigen und hochkomplexen Anforderungen zukünftiger Geräte.
- **Internationale Zusammenarbeit und Markterweiterung:**
Nehmen Sie aktiv an der internationalen Zusammenarbeit bei der Herstellung hochwertiger Geräte teil, erweitern Sie den globalen Markt und steigern Sie den internationalen Einfluss von Gegengewichten aus Wolframlegierungen.

Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden mit der Modernisierung der Gerätetechnologie und der steigenden Marktnachfrage weiter an Bedeutung gewinnen. Gegengewichte aus Wolframlegierungen werden in Zukunft in vielen Bereichen wie der intelligenten Fertigung, dem Umweltschutz und der nationalen Verteidigungssicherheit eine wichtigere Rolle spielen.

Anhang

Anhang 1 Spezifikationen und Leistungsparameter gängiger Gegengewichte aus Wolframlegierungen

Produkttyp	Typische Abmessungen (mm)	Dichte (g/cm ³)	Härte (HV)	Zugfestigkeit (MPa)	Bemerkung
Mikrogewichte	1×1×1 ~ 10×10×10	17,0 - 18,5	280 - 320	600 - 800	Wird für Präzisionsinstrumente, Gyroskop-Gegengewichte verwendet
Standardmäßiges rechteckiges Gegengewicht	20×20×5 ~ 100×50×20	17,5 - 18,3	300 - 350	700 - 900	Gegengewichte für die Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie
Zylindrisches Gegengewicht	Durchmesser 550, Länge 1000	17,0 - 18,4	280 - 330	650 - 850	Schwingungsdämpfung von Baumaschinen und -geräten
Maßgeschneidertes Gegengewicht mit komplexer Form	Individuell nach Kundenwunsch	17,0 - 18,5	280 - 360	600 - 900	Gegengewichte für hochwertige elektronische und medizinische Geräte
Ultrafeines Mikrostruktur-Gegengewicht	Mikrongröße, spezielle Anpassung	17,8 - 18,5	300 - 370	700 - 950	Anti-Shake-Modul (OIS) für Mobiltelefone

Typische Leistungsindikatoren für Wolframlegierungen

- **Dichte** : Die hohe Dichte der Wolframlegierungen ist ihr Hauptvorteil. Sie liegt normalerweise zwischen 17,0 und 18,5 g/cm³ und der spezifische Wert wird durch die Legierungszusammensetzung und den Sinterprozess beeinflusst.
- **Härte (HV)** : Der Vickers-Härtebereich spiegelt die Verschleißfestigkeit und mechanische Festigkeit des Materials wider. Wolframlegierungen haben eine höhere Härte und eignen sich für Umgebungen mit hoher Belastung.
- **Zugfestigkeit** : spiegelt die allgemeinen mechanischen Eigenschaften des Materials wider und gewährleistet die strukturelle Stabilität des Gegengewichts während des Gebrauchs.

Anhang II Vergleichstabelle internationaler und chinesischer Wolframlegierungsstandards

Kategorie Standard	Internationale Standards (ISO/ASTM/AMS usw.)	Chinesische Standards (GB/GJB/HB usw.)	Normname/Anwendungsbereich
Grundlegende Wolfram-Materialstandards	ISO 6841	GB/T 34515	Werkstoffklassifizierung und Gütespezifikation von Wolframlegierungen
	ASTM B777	GB/T 24178	Technische Spezifikationen und Prüfmethoden für mechanische Eigenschaften von schweren Wolframlegierungen
	AMS 7725	GJB 2538	für militärische Schwermetalle auf Wolframbasis

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pulvermetallurgie- Produktnormen	ISO 4499	GB/T 16522	Bewertungsmethode für die Mikrostruktur von Hartmetall
	ISO 4498	GB/T 4297	Bestimmungsmethode der Dichte und Porosität von pulvermetallurgischen Produkten
	ASTM B311	GB/T 5169	Prüfverfahren für die Druckfestigkeit pulvermetallurgischer Werkstoffe
Bearbeitung und Inspektion	ISO 2768	GB/T 1804	Toleranz- und Grenzmaßnormen
	ASTM E8	GB/T 228.1	Normen für Metallzugversuche
	ASTM E384	GB/T 4340.1	Vickers-Härteprüfverfahren
Oberflächenbehandlung und Umweltschutz	ISO 9227	GB/T 10125	Salzsprühteststandards
	RoHS / REACH (EU- Verordnungen)	GB/T 26572 / SJ/T 11363	Anforderungen zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe (Umweltverträglichkeit)
Luft- und Raumfahrt und Militär	AMS-T-21014	HB 5336 / GJB 5978	Wolframlegierung Standard für Flugzeugstrukturen, geeignet für Gegengewichte in der Luftfahrt und im Militär
	MIL-T-21014E	GJB 1538	Militärische Gegengewichte aus Wolframlegierung

Zusätzliche Hinweise:

- **ASTM B777 vs. GB/T 24178** : Dies ist einer der am häufigsten verwendeten Standards für Wolframlegierungsgewichte. Er umfasst hochdichte Wolframlegierungen der Klassen 1 bis 4 mit unterschiedlichen Dichtegraden und wird häufig in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin, bei Sportgeräten und in anderen Bereichen verwendet.
- **REACH & RoHS und GB/T 26572** : Bei der Verwendung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen ist besonders darauf zu achten, ob diese verbotene Substanzen wie Blei, Cadmium und Quecksilber enthalten. Chinesische Unternehmen müssen diese Umweltvorschriften beim Export in den europäischen und amerikanischen Markt einhalten.
- **Standards der GJB-Reihe** : spezifische Anforderungen für die Militärindustrie, weit verbreitet in Trägheitsgegengewichten, Waffensystemen und nationaler Verteidigungsausrüstung.

Anhang III Häufig verwendete Geräte und Prozessparameter zur Herstellung von Gegengewichten aus Wolframlegierungen

1. Pulveraufbereitungsanlagen und Parameter

Gerätename	Hauptmerkmale	Typischer Parameterbereich	Kernpunkte des Prozesses
Gaszerstäubungsgerät	Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver	Pulvergröße 0,5–20 µm, Sphärität > 95 %	Steuern Sie Argondruck, Tropfentemperatur und Düsenstruktur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Planeten-Kugelmühle	Gemischtes/raffiniertes Legierungspulver	Drehzahl 200–600 U/min, Laufzeit 2–24 Stunden	Um Oxidation zu verhindern, muss eine Umgebung mit niedrigem Sauerstoffgehalt aufrechterhalten werden
Vibrations sieveanlage	Klassifizierung der Pulverpartikelgröße	Sieb 20–500 Maschen	Die Konsistenz der Pulverpartikelgröße wirkt sich direkt auf die spätere Dichte aus

2. Formgebungsgeräte und Parameter

Gerätename	Formgebungsverfahren	Gängige Umformparameter	Anwendbare Produkttypen
Kaltisostatische Presse (CIP)	Gleichmäßige Hochdruckformung	Druck 100–400 MPa, Zeit 1–5 Minuten	Geeignet für komplexe Formen und Gegengewichte mit hoher Dichte
Einwegpresse	Formpressen	Druck 50–200 MPa	Rechteckige/zylindrische Gegengewichte in kleinen Mengen
Spritzgussanlagen (MIM)	Mikropräzise Gewichtformung	Einspritztemperatur 150–200°C, Nachdruck 5–10 Sekunden	Handy-OIS-Modul, Mikro-Gegengewicht

3. Sinteranlage und Parameter

Gerätename	Sintertyp	Gemeinsame Prozessparameter	Prozessmerkmale
Vakuum-Sinterofen	Hochtemperatur-Festphasensintern	Temperatur 1500–1800 °C, Vakuum 10^{-3} Pa	Bewahren Sie die Reinheit und Dichte der Legierung, geeignet für Hochleistungsprodukte
Heißisostatisches Pressen (HIP)	Sintern + Verdichten	Temperatur 1300–1600 °C, Druck 100–200 MPa	Beseitigen Sie innere Porosität und verbessern Sie die mechanischen Eigenschaften
Wasserstoffschutz-Sinterofen	Sintern in reduzierender Atmosphäre	Temperatur 1400–1600°C, H_2 -Durchfluss 0,5–2 m ³ /h	Reduzieren Sie den Sauerstoffgehalt und verbessern Sie die elektrische Leistung

4. Präzisionsbearbeitungsgeräte und -parameter

Gerätename	Verarbeitungsmethode	Genauigkeit/Parameterbereich	Anwendungsbeispiele
CNC-Fräsen	Präzisionsbearbeitung ebener/gekrümmter Oberflächen	Bearbeitungsgenauigkeit $\pm 5 \mu\text{m}$, Oberflächenrauheit $Ra < 0,8 \mu\text{m}$	Luftfahrtgewichte, MRI-Gewichte
Drahtschneidemaschine	Komplexer Konturschnitt	Drahtdurchmesser $\phi 0,1-0,2 \text{ mm}$, Schnittgenauigkeit $\pm 3 \mu\text{m}$	Gegengewicht des mechanischen Arms der Strahlentherapieausrüstung, Gegengewicht des Spiegelrahmens
Ultraschall-Schleifmaschine	Feinstbearbeitung und Anfasen	Submikrometerpräzision erreichbar, Oberflächen-Ra $< 0,2 \mu\text{m}$	MEMS/OIS-Modul-Gegengewicht, Gyroskop-Gegengewicht

5. Oberflächenbehandlungsgeräte und -parameter

Gerätename	Oberflächenbehandlung	Prozessparameterbereich	Prozesseffektbeschreibung
------------	-----------------------	-------------------------	---------------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aluminiumoxid-Sandstrahlmaschine	Oberflächen aufrauen/reinigen	Sprühdruck 0,3–0,6 MPa, Partikelgröße 30–100 µm	Verbessern Sie die Oberflächenhaftung
Vakuumbeschichtungsanlage	Harte Schutzbeschichtung	TiN / TaN Filmdicke 0,2–2 µm, Temperatur 150–250°C	Verbessern Sie die Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit
Elektrochemisches Poliergerät	Verbessern Sie die Oberflächenbeschaffenheit	Spannung 10–20 V, Zeit 5–15 Minuten	Wird in der High-End-Medizin und elektronischen Präzisionsgewichtung verwendet

6. Qualitätsprüfgeräte und Kontrollparameter

Prüfgeräte	Prüflinge	Testbereich und Genauigkeit	Verwendung
Helium-Massenspektrometer-Lecksuchgerät	Dichte und Versiegelung	Nachweisgrenze $<10^{-9}$ Pa·m ³ /s	Hochzuverlässige Produkttests für Militär und Luft- und Raumfahrt
Röntgen-CT-Scanner	Identifizierung innerer Defekte und Poren	Auflösung <10 µm	Qualitätskontrolle komplexer Gegengewichte
Koordinatenmessgerät (KMG)	Maß- und Formtoleranzen	Messgenauigkeit $\pm 1\sim 2$ µm	Endproduktprüfung von Präzisionsgegengewichten
Laser-Partikelgrößenanalysator	Pulverpartikelgrößenverteilung	Partikelgrößenbereich 0,1–100 µm, Fehler $\leq \pm 3\%$	Bestimmung der Qualität von Rohstoffpulver

Anhang IV: Glossar und Erklärung der Abkürzungen

Abkürzungen/Begriffe	Englischer Name / vollständiger Name / Chinesische Bedeutung	Beschreibung und Anwendungsszenarien
W	Wolfram	Metalle mit hohem Schmelzpunkt und hoher Dichte sind die Hauptrohstoffe für Gegengewichte aus Wolframlegierungen.
KVP	Kaltisostatisches Pressen	Mithilfe von Hochdruckflüssigkeit wird das Pulver aus allen Richtungen gleichmäßig gepresst, um die Dichte des Grünkörpers zu verbessern.
HÜFTE	Heißisostatisches Pressen	Durch die Verdichtungstechnologie bei hohen Temperaturen und hohem Druck werden die Materialfestigkeit und die strukturelle Konsistenz deutlich verbessert.
MIM	Metallspritzguss	Geeignet für die Serienfertigung komplexer Mikroteile aus Wolframlegierungen, wie etwa OIS-Gewichte für Handylinsen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

OIS	Optische Bildstabilisierung	Mikrogewichtssystem aus Wolframlegierung in der Anti-Shake-Struktur von Handykameras.
CNC	Computergestützte numerische Steuerung / CNC-Bearbeitungszentrum	Wird zum Fräsen, Bohren und anderen Bearbeitungsvorgängen von hochpräzisen Teilen aus Wolframlegierungen verwendet.
Funkenerosion	Funkenerosion	Dieses Verfahren wird häufig bei der Bearbeitung komplexer Formen aus Materialien mit hoher Härte wie Wolfram verwendet.
ISO	Internationale Organisation für Normung	das Standards für Wolframlegierungsmaterialien, Verarbeitung und Umweltschutz entwickelt.
ASTM	Amerikanische Gesellschaft für Prüfung und Materialien	Prüfung von Wolframlegierungsmaterialien und mechanischen Eigenschaften.
GB	GuoBiao / Chinesischer Nationalstandard	Technische Standards für gängige Materialien und Prozesse in China.
JB	Guojia Junyong Biaozhun / Nationale Militärstandards	Wird für die Qualitätskontrolle und Testanforderungen militärischer Gegengewichte aus Wolframlegierungen verwendet.
RoHS	Beschränkung gefährlicher Stoffe	Um die Verwendung schädlicher Elemente wie Blei und Cadmium in elektronischen Geräten zu begrenzen, wird häufig Wolframlegierung als ungiftiger Ersatz verwendet.
ERREICHEN	, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe	Exportierende Unternehmen müssen die EU-Vorschriften zum Einsatz chemischer Stoffe einhalten.
FEA	Finite-Elemente-Analyse	Ein häufig verwendetes Simulationstool zur Simulation der strukturellen Spannung und des dynamischen Gleichgewichts von Gegengewichtssystemen.
KMG	Koordinatenmessgerät	zur Prüfung geometrischer Abmessungen sowie Form- und Lagetoleranzen von Teilen aus Wolframlegierungen.
Zinn	Titannitrid	Oberflächenbeschichtungsmaterialien können die Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit der Oberfläche einer Wolframlegierung verbessern.
W-Ni-Fe / W-Ni-Cu	Wolfram-Nickel-Eisen / Wolfram-Nickel-Kupfer	Gängige hochdichte Legierungsformel auf Wolframbasis, geeignet für Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, der Militärindustrie, der Medizin und anderen Bereichen.
Dichte	g/cm ³	Gegengewichte aus Wolframlegierung bestimmen seine Fähigkeit, ein kleines Volumen und eine hohe Masse zu haben.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verdichtung	Materialstruktur ohne innere Poren oder Hohlräume	Die mechanische Festigkeit und Lebensdauer des Gegengewichts sind wichtige Indikatoren für die Fertigungsqualität der Wolframlegierung.
Mikrobearbeitung	Bearbeitungstechnik mit Mikrometer- oder Nanometerpräzision	Ziel ist die Präzisionsfertigung von Mikrogewichten wie OIS, MEMS-Systemen und anderen Geräten.

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

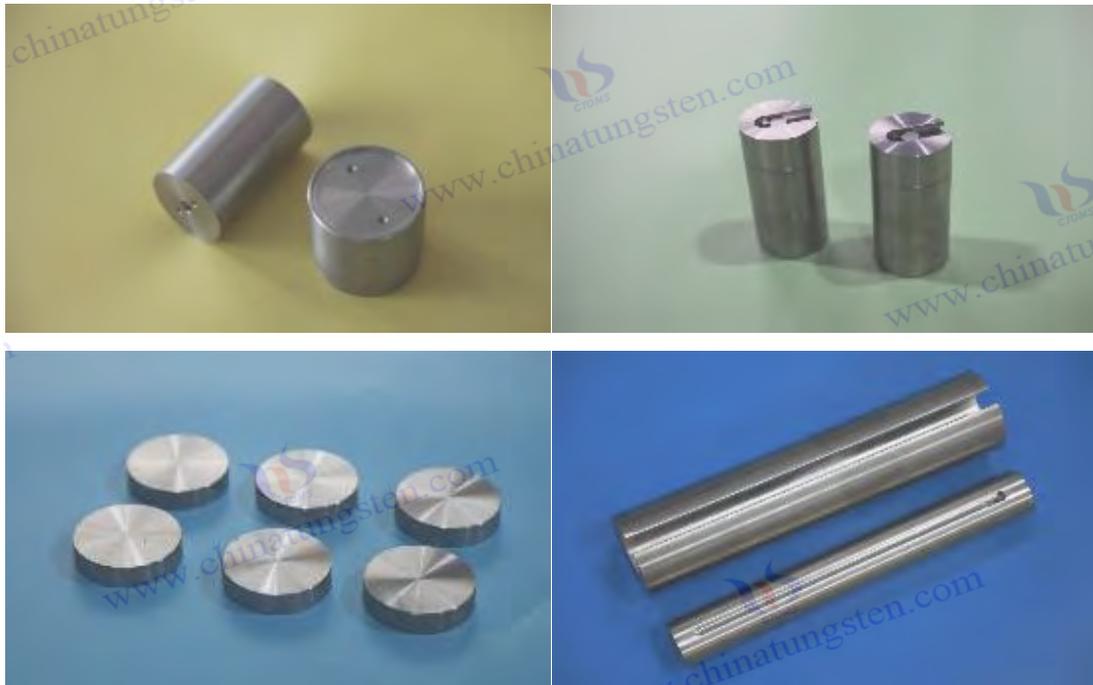
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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