

Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?
L'albero genealogico completo dei prodotti chimici del
tungsteno

GRUPPO CTIA LTD

Leader globale nella produzione intelligente per le industrie del tungsteno, del molibdeno e delle terre rare

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

INTRODUZIONE A CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, una consociata interamente controllata con personalità giuridica indipendente fondata da CHINATUNGSTEN ONLINE, si dedica alla promozione della progettazione e produzione intelligente, integrata e flessibile di materiali in tungsteno e molibdeno nell'era dell'Internet industriale. CHINATUNGSTEN ONLINE, fondata nel 1997 con www.chinatungsten.com come punto di partenza - il primo sito web di prodotti di tungsteno di alto livello della Cina - è la società di e-commerce pionieristica del paese che si concentra sulle industrie del tungsteno, del molibdeno e delle terre rare. Sfruttando quasi tre decenni di profonda esperienza nei campi del tungsteno e del molibdeno, CTIA GROUP eredita le eccezionali capacità di progettazione e produzione, i servizi superiori e la reputazione aziendale globale della sua casa madre, diventando un fornitore completo di soluzioni applicative nei settori dei prodotti chimici al tungsteno, dei metalli di tungsteno, dei carburi cementati, delle leghe ad alta densità, del molibdeno e delle leghe di molibdeno.

Nel corso degli ultimi 30 anni, CHINATUNGSTEN ONLINE ha stabilito più di 200 multilingue tungsteno e molibdeno siti web professionali che coprono più di 20 lingue, con oltre un milione di pagine di notizie, prezzi e analisi di mercato relative a tungsteno, molibdeno e terre rare. Dal 2013, il suo account ufficiale WeChat "CHINATUNGSTEN ONLINE" ha pubblicato oltre 40.000 informazioni, servendo quasi 100.000 follower e fornendo informazioni gratuite ogni giorno a centinaia di migliaia di professionisti del settore in tutto il mondo. Con visite cumulative al suo cluster di siti Web e account ufficiali che raggiungono miliardi di volte, è diventato un hub di informazioni globale e autorevole riconosciuto per le industrie del tungsteno, del molibdeno e delle terre rare, fornendo notizie multilingue 24 ore su 24, 7 giorni su 7, prestazioni dei prodotti, prezzi di mercato e servizi di tendenza del mercato.

Basandosi sulla tecnologia e l'esperienza di CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP si concentra sul soddisfare le esigenze personalizzate dei clienti. Utilizzando la tecnologia AI, progetta e produce in modo collaborativo prodotti a base di tungsteno e molibdeno con composizioni chimiche e proprietà fisiche specifiche (come dimensione delle particelle, densità, durezza, resistenza, dimensioni e tolleranze) con i clienti. Offre servizi integrati per l'intero processo che vanno dall'apertura dello stampo, alla produzione di prova, alla finitura, all'imballaggio e alla logistica. Negli ultimi 30 anni, CHINATUNGSTEN ONLINE ha fornito servizi di ricerca e sviluppo, progettazione e produzione per oltre 500.000 tipi di prodotti in tungsteno e molibdeno a più di 130.000 clienti in tutto il mondo, gettando le basi per una produzione personalizzata, flessibile e intelligente. Basandosi su queste basi, CTIA GROUP approfondisce ulteriormente la produzione intelligente e l'innovazione integrata dei materiali in tungsteno e molibdeno nell'era dell'Internet industriale.

Il Dr. Hanns e il suo team di CTIA GROUP, sulla base dei loro oltre 30 anni di esperienza nel settore, hanno anche scritto e rilasciato pubblicamente conoscenze, tecnologia, analisi dei prezzi del tungsteno e delle tendenze di mercato relative a tungsteno, molibdeno e terre rare, condividendole liberamente con l'industria del tungsteno. Il Dr. Han, con oltre 30 anni di esperienza dagli anni '1990 nell'e-commerce e nel commercio internazionale di prodotti in tungsteno e molibdeno, nonché nella progettazione e produzione di carburi cementati e leghe ad alta densità, è un rinomato esperto in prodotti in tungsteno e molibdeno sia a livello nazionale che internazionale. Aderendo al principio di fornire informazioni professionali e di alta qualità all'industria, il team di CTIA GROUP scrive continuamente documenti di ricerca tecnica, articoli e rapporti di settore basati sulla pratica di produzione e sulle esigenze dei clienti del mercato, ottenendo elogi diffusi nel settore. Questi risultati forniscono un solido supporto all'innovazione tecnologica, alla promozione dei prodotti e agli scambi industriali di CTIA GROUP, spingendola a diventare un leader globale nella produzione globale di prodotti in tungsteno e molibdeno e nei servizi informativi.



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

Contenuto

Capitolo 1

Panoramica di tungsteno

1.1 Scoperta e storia del tungsteno

1.1.1 Breve storia della scoperta

1.1.1.1 Scoperta iniziale del chimico svedese Cronstedt (1755, letteratura svedese)

1.1.1.2 Isolamento dell'acido tungstico di Scheele (1781, letteratura tedesca)

1.1.1.3 Purificazione del metallo di tungsteno da parte dei fratelli Elhuyar (1783, letteratura spagnola)

1.1.2 Denominazione e designazioni multilingue del tungsteno

1.1.3 Prime applicazioni industriali (XIX secolo, letteratura inglese e francese)

1.2 Presenza naturale del tungsteno

1.2.1 Tipi e distribuzione dei minerali globali di tungsteno

1.2.1.1 Wolframite

1.2.1.2 Scheelite

1.2.1.3 Altri minerali minori di tungsteno (ad esempio, Hübnerite)

1.2.2 Principali paesi produttori e riserve

1.2.2.1 Cina (circa il 60% delle riserve globali)

1.2.2.2 Russia, Vietnam, Canada, Australia e altri

1.2.3 Principali regioni minerarie di tungsteno

Estremo Oriente russo Altre regioni

1.3 Proprietà fisiche e chimiche del tungsteno

1.3.1 Proprietà fisiche (punto di fusione 3410°C, densità 19,25 g/cm³)

1.3.2 Proprietà chimiche (stati di ossidazione da +2 a +6, resistenza alla corrosione)

1.3.3 Descrizione delle proprietà nella letteratura multilingue (russo, giapponese, arabo, ecc.)

1.4 Valore industriale e scientifico dei prodotti chimici al tungsteno

1.4.1 Panoramica della domanda industriale globale

1.4.2 Significato scientifico

Fonti di informazione

Referenze

Capitolo 2

Classificazione di base e caratteristiche dei prodotti chimici al tungsteno

2.1 Classificazione delle sostanze chimiche del tungsteno

2.1.1 Ossidi di tungsteno

[Triossido di tungsteno \(WO₃, Triossido di tungsteno\)](#)

Biossido di tungsteno (WO₂, biossido di tungsteno)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anidride di ditungsteno (W_2O_5 , Anidride di ditungsteno)

[Ossido di tungsteno blu \(\$W_{18}O_{49}\$ o \$W_{20}O_{58}\$, ossido di tungsteno\)](#)

2.1.2 Acido tungstico e tungstati

[L'acido tungstico \(\$H_2WO_4\$, acido tungstico\)](#) e i suoi sali, noti come tungstati, sono fondamentali per l'acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico)

[Tungstato di sodio \(\$Na_2WO_4\$, Tungstato di sodio\)](#)

[Paratungstato di ammonio \(APT, \$\(NH_4\)_2WO_4\$, Paratungstato di ammonio\)](#)

[Metatungstato di ammonio \(\$\(NH_4\)_6H_2W_{12}O_{40}\$, Metatungstato di ammonio\)](#)

[Tungstato di calcio \(\$CaWO_4\$, Tungstato di calcio\)](#)

2.1.3 Alogenuri di tungsteno

[Esacloruro di tungsteno \(\$WCl_6\$, Esacloruro di tungsteno\)](#)

[Esafluoruro di tungsteno \(\$WF_6\$, esafluoruro di tungsteno\)](#)

2.1.4 Carburi e nitruri

[Polvere di carburo di tungsteno \(WC, polvere di carburo di tungsteno\)](#)

Carburo di ditungsteno (W_2C , carburo di ditungsteno)

Nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno)

2.1.5 Solfori e fosfuri

[Disolfuro di tungsteno \(\$WS_2\$, disolfuro di tungsteno\)](#)

Fosfuro di tungsteno (WP, Fosfuro di tungsteno)

2.1.6 Composti organotungsteno

[Esacarbonile di tungsteno \(\$W\(CO\)_6\$, Esacarbonile di tungsteno\)](#)

2.1.7 Catalizzatori e reagenti contenenti tungsteno

Acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico)

2.1.8 Sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno

Nanoparticelle di sodio tungstato

(nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di sodio tungstato)

2.1.9 Altri composti non metallici contenenti tungsteno

Diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , Diseleniuro di tungsteno)

2.2 Caratteristiche di base dei prodotti chimici al tungsteno

2.2.1 Struttura cristallina e composizione molecolare

2.2.2 Stabilità termica e chimica

2.2.3 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Fonti di informazione

Referenze

Capitolo 3

Preparazione e applicazioni degli ossidi di tungsteno

3.1 Triossido di tungsteno (WO_3 , Triossido di tungsteno)

3.1.1 Processi di preparazione

Metodo di Calcinazione (Decomposizione Ossidativa ad Alta Temperatura) Metodo di Precipitazione Chimica Umida (Acidificazione, Estrazione) Tecnica di Deposizione Chimica da Vapore (CVD)

3.1.2 Struttura Cristallina e Composizione Molecolare

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1.3 Stabilità termica e chimica

3.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

3.2 Biossido di tungsteno (WO_2 , biossido di tungsteno)

3.2.1 Processi di preparazione

Metodo di Riduzione dell'Idrogeno Metodo di Decomposizione Termica

3.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

3.2.3 Stabilità termica e chimica

3.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

3.3 Altri ossidi di tungsteno

3.3.1 Processi di preparazione

Metodo di ossidazione per il pentossido di ditungsteno

(W_2O_5 , pentossido di ditungsteno) Riduzione ad alta temperatura per la variante di ossido blu di tungsteno

($W_{18}O_{49}$, variante all'ossido blu di tungsteno)

3.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

3.3.3 Stabilità termica e chimica

3.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Fonti di informazione

Referenze

Capitolo 4

Preparazione e applicazioni dell'acido tungstico e del tungstato

4.1 Acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico)

4.1.1 Processi di preparazione

Metodo di precipitazione acida (lisciviazione del minerale) Metodo di acidolisi del tungstato (conversione in soluzione) Metodo di scambio ionico (preparazione ad alta purezza)

4.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

4.1.3 Stabilità termica e chimica

4.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

4.2 Tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio)

4.2.1 Processi di preparazione

Metodo di Fusione Alcalina (Estrazione Minerale) Metodo di Neutralizzazione dell'Acido Tungstico (Preparazione di Laboratorio)

4.2.2 Struttura Cristallina e Composizione Molecolare

4.2.3 Stabilità termica e chimica

4.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

4.3 Altri Tungstati

4.3.1 Processi di preparazione

Scambio ionico e cristallizzazione per il paratungstato di ammonio

(APT, $(NH_4)_2WO_4$, Paratungstato di ammonio) Reazione di fusione per il tungstato di calcio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(CaWO₄, Tungstato di calcio) Acidificazione Polimerizzazione per metatungstato di ammonio

((NH₄)₆H₂W₁₂O₄₀, metatungstato di ammonio)

4.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

4.3.3 Stabilità termica e chimica

4.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Fonti di informazione Riferimenti

Capitolo 5

Preparazione e applicazioni degli alogenuri di tungsteno

5.1 Esacloruro di tungsteno (WCl₆, Esacloruro di tungsteno)

5.1.1 Processi di preparazione Metodo di clorurazione diretta (clorurazione di tungsteno)

Metodo di riduzione del cloro (clorurazione di ossido) Metodo di reazione in fase gassosa (preparazione ad alta purezza)

5.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

5.1.3 Stabilità termica e chimica

5.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

5.2 Esafluoruro di tungsteno (WF₆, esafluoruro di tungsteno)

5.2.1 Processi di preparazione

Metodo della fluorurazione diretta (reazione di tungsteno e fluoro) Metodo della fluorurazione dell'ossido (fluorurazione del triossido di tungsteno)

5.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

5.2.3 Stabilità termica e chimica

5.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

5.3 Altri alogenuri di tungsteno

5.3.1 Processi di preparazione

Metodo di clorurazione di riduzione per tetracloruro di tungsteno

(WCl₄, tetracloruro di tungsteno) Metodo di clorurazione controllata per pentacloruro di tungsteno

(WCl₅, Pentacloruro di tungsteno)

5.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

5.3.3 Stabilità termica e chimica

5.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Fonti di informazione

Referenze

Capitolo 6

Preparazione e applicazioni di carburi di tungsteno e nitruri

6.1 Carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno)

6.1.1 Processi di preparazione

Metodo di carbonizzazione ad alta temperatura (carbonizzazione della polvere di

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno)Metodo di carbonizzazione in fase gassosa (reazione chimica al vapore)Metodo di sintesi al plasma (preparazione di particelle ultrafini)

6.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

6.1.3 Stabilità termica e chimica

6.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

6.2 Nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno)

6.2.1 Processi di preparazione

Metodo di nitrurazione ad alta temperatura (nitrurazione in polvere di tungsteno)Metodo di deposizione in fase gassosa (CVD o PVD)

6.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

6.2.3 Stabilità termica e chimica

6.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

6.3 Altri carburi e nitruri di tungsteno

6.3.1 Processi di preparazione

Metodo di carbonizzazione controllata per carburo di ditungsteno

(W_2C , carburo di ditungsteno)Metodo di co-diffusione carbonio-azoto per il carbonitruro di tungsteno

($WC_{1-x}N_x$, carbonitruro di tungsteno)

6.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

6.3.3 Stabilità termica e chimica

6.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Fonti di informazione

Referenze

Capitolo 7

Preparazione e applicazioni di solfuri e fosfuri di tungsteno

7.1 Disolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno)

7.1.1 Processi di preparazione

Metodo di solfurazione ad alta temperatura (solfurazione della polvere di tungsteno)Metodo di deposizione chimica da vapore (CVD)Metodo di esfoliazione meccanica

(Preparazione di nanofogli)

7.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

7.1.3 Stabilità termica e chimica

7.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

7.2 Fosfuro di tungsteno (WP, fosfuro di tungsteno)

7.2.1 Processi di preparazione

Metodo di fosfidazione ad alta temperatura (fosfurazione in polvere di tungsteno)Metodo di riduzione chimica (fosfurazione di ossido)

7.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

7.2.3 Stabilità termica e chimica

7.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.3 Altri solfuri e fosfuri di tungsteno

7.3.1 Processi di preparazione

Metodo di solforazione controllata per il trisolfuro di ditungsteno (W_2S_3 , trisolfuro di ditungsteno) Metodo di fosfidazione ad alta temperatura per il difosfuro di tungsteno

(WP_2 , Difosfuro di tungsteno)

7.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

7.3.3 Stabilità termica e chimica

7.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Fonti di informazione

Referenze

Capitolo 8

Preparazione e applicazioni dei composti organometallici di tungsteno

8.1 Tungsteno esacarbonile ($W(CO)_6$, Tungsteno esacarbonile)

8.1.1 Processi di preparazione

Metodo di carbonilazione ad alta pressione (carbonilazione della polvere di tungsteno) Metodo di carbonilazione riduttiva (riduzione degli alogenuri) Metodo di sintesi in fase gassosa (preparazione ad alta purezza)

8.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

8.1.3 Stabilità termica e chimica

8.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

8.2 Dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , Dicloruro di tungstenocene)

8.2.1 Processi di preparazione

Metodo di coordinazione degli alogenuri (reazione all'esacloruro di tungsteno) Metodo di coordinazione riduttiva (substrato del triossido di tungsteno)

8.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

8.2.3 Stabilità termica e chimica

8.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

8.3 Altri composti organometallici di tungsteno

8.3.1 Processi di preparazione

Metodo di coordinazione carbonilica per il tetracarbonile tungstenoceno ($CpW(CO)_4$, Tungstenocene Tetracarbonil) Metodo di alchilazione per esametiltungsteno ($W(CH_3)_6$, Esametiltungsteno)

8.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

8.3.3 Stabilità termica e chimica

8.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Fonti di informazione

Referenze

Capitolo 9

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Preparazione e applicazioni di catalizzatori e reagenti contenenti tungsteno

9.1 Acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico)

9.1.1 Processi di preparazione

Metodo di precipitazione acida (reazione del tungstato) Metodo di purificazione dell'estrazione (estrazione in soluzione) Metodo dello scambio ionico (preparazione ad alta purezza)

9.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

9.1.3 Stabilità termica e chimica

9.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

9.2 Acido silico-ungungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silico-congiungistico)

9.2.1 Processi di preparazione

Metodo di reazione acida (reazione al silicato di sodio e al tungstato) Metodo di estrazione (purificazione in soluzione)

9.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

9.2.3 Stabilità termica e chimica

9.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

9.3 Altri catalizzatori e reagenti contenenti tungsteno

9.3.1 Processi di preparazione

Metodo di reazione in fase solida per il tungstato di zinco ($ZnWO_4$, tungstato di zinco) Metodo di neutralizzazione per il tungstato di ammonio ($(NH_4)_2WO_4$, tungstato di ammonio)

9.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

9.3.3 Stabilità termica e chimica

Fonti di informazione

Referenze

Capitolo 10

Preparazione e applicazioni di prodotti chimici farmaceutici contenenti tungsteno

10.1 Nanoparticelle di sodio tungstato

(nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di sodio tungstato)

10.1.1 Processi di preparazione

Metodo di precipitazione in soluzione (precipitazione del tungstato di sodio) Metodo della microemulsione (controllo delle dimensioni delle particelle) Metodo solvotermico (preparazione ad alta purezza)

10.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

10.1.3 Stabilità termica e chimica

10.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

10.2 Nanoparticelle di poliosso-ungstato (Nanoparticelle di poliosso-ungstato)

10.2.1 Processi di preparazione

Metodo di polimerizzazione in soluzione (polimerizzazione del tungstato)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Metodo della nanoemulsione (controllo delle dimensioni delle particelle)

10.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

10.2.3 Stabilità termica e chimica

10.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

10.3 Altre sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno

10.3.1 Processi di preparazione

Metodo di precipitazione per nanoparticelle di calcio tungstato

(Nanoparticelle CaWO_4 , Nanoparticelle di Calcio Tungstato)

Nanoparticelle di triossido di tungsteno

10.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Nanoparticelle di calcio tungstato

10.3.3 Stabilità termica e chimica

Nanoparticelle di calcio tungstato

10.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Nanoparticelle di calcio tungstato

Fonti di informazione

Referenze

Capitolo 11

Preparazione e applicazioni di

Altri composti non metallici contenenti tungsteno

11.1 Diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , Diseleniuro di tungsteno)

11.1.1 Processi di preparazione

Metodo di selenizzazione ad alta temperatura (selenizzazione della polvere di tungsteno)

Metodo di deposizione chimica da vapore (CVD)

Metodo di esfoliazione meccanica (preparazione monostrato)

11.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

11.1.3 Stabilità termica e chimica

11.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

11.2 Ditellururo di tungsteno (WTe_2 , Ditellururo di tungsteno)

11.2.1 Processi di preparazione

Metodo di tellurizzazione ad alta temperatura (tellurizzazione della polvere di tungsteno) Metodo di deposizione chimica da vapore (CVD)

11.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

11.2.3 Stabilità termica e chimica

11.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

11.3 Altri composti non metallici contenenti tungsteno

11.3.1 Processi di preparazione

Metodo di iodurino per il diioduro di tungsteno

(WI_2 , Dioduro di tungsteno) Metodo di bromurazione per il dibromuro di tungsteno

(WBr_2 , dibromuro di tungsteno)

11.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.3.3 Stabilità termica e chimica

11.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Fonti di informazione

Referenze

Capitolo 12

Impatto ambientale e riciclaggio dei prodotti chimici a base di tungsteno

12.1 Panoramica dell'impatto ambientale dei prodotti chimici a base di tungsteno

12.1.1 Impatto ambientale dell'estrazione e della produzione

12.1.2 Impatto ambientale dell'uso e dello smaltimento

12.1.3 Regolamenti e gestione ambientale

12.2 Tecnologie di riciclaggio per i prodotti chimici al tungsteno

12.2.1 Tecnologia di riciclaggio idrometallurgico

12.2.2 Tecnologia di riciclaggio pirometallurgico

12.2.3 Tecnologia di riciclaggio elettrochimico

12.3 Applicazioni dei prodotti chimici di tungsteno riciclato

12.3.1 Riutilizzo industriale

12.3.2 Ricerca scientifica e campi emergenti

12.3.3 Benefici ambientali

Referenze

Capitolo 13

Appendice

Omissioni ed espansioni complete dei prodotti chimici al tungsteno

13.1 Panoramica completa delle sostanze chimiche di tungsteno omesse

13.1.1 Identificazione e sfondo dei composti omessi

13.1.2 Metodologia per l'inferenza e la validazione dei composti

13.2 Disiliciuro di tungsteno (WSi_2 , Disiliciuro di tungsteno)

13.2.1 Processi di preparazione

Metodo di silicizzazione ad alta temperatura
Metodo di deposizione chimica da vapore (CVD)

13.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

13.2.3 Stabilità termica e chimica

13.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

13.2.5 Applicazioni e contesto

13.3 Boruro di tungsteno (WB, boruro di tungsteno)

13.3.1 Processi di preparazione

Metodo di Borurazione Ad Alta Temperatura
Metodo Di Sintesi Al Plasma

13.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

13.3.3 Stabilità termica e chimica

13.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

13.3.5 Applicazioni e contesto

13.4 Altri composti omessi e dedotti

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

13.4.1 Dicianidre di tungsteno ($W(CN)_2$, Dicianidre di tungsteno)

13.4.2 Digermanide di tungsteno (WGe_2 , Digermanide di tungsteno)

13.4.3 Diarseniuro di tungsteno (WAs_2 , Diarseniuro di tungsteno)

13.4.4 Molibdato di tungsteno ($WMoO_4$, molibdato di tungsteno)

13.4.5 Convalida e verifica

Fonti di informazione

Referenze

Appendice

Elenco dei prodotti chimici e dei composti del tungsteno presenti nel libro

1. Ossidi di tungsteno
2. Acidi tungstici e tungstati
3. Alogenuri di tungsteno
4. Carburi e nitridi
5. Solfuri e fosfuri di tungsteno
6. Seleniuri e telluri di tungsteno
7. Siliciduri e Germanidi di tungsteno
8. Boruri e arsenuri di tungsteno
9. Composti organometallici del tungsteno
10. Catalizzatori e reagenti di tungsteno contenenti tungsteno
11. Sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno del tungsteno

Capitolo 14:

Sicurezza nella produzione e nell'uso del tungsteno

14.1 Standard di sicurezza nella produzione chimica di tungsteno

14.1.1 Valutazione dei rischi nel processo di produzione

14.1.1.1 Rischi delle operazioni ad alta temperatura e alta pressione Misure di mitigazione

14.1.1.2 Controllo delle emissioni di gas tossici Misure di mitigazione

14.1.2 Equipaggiamento di sicurezza e misure di protezione

14.1.2.1 Impianti di ventilazione e antideflagranti Raccomandazioni per l'attuazione

14.1.2.2 Precauzioni per i dispositivi di protezione individuale (DPI)

14.1.3 Standard e regolamenti internazionali di sicurezza

14.1.3.1 Norme OSHA ed ECHA

Suggerimenti per la conformità

14.1.3.2 Standard cinesi di produzione di sicurezza

Suggerimenti per l'implementazione

Mancia

14.2 Gestione della sicurezza nell'uso di sostanze chimiche a base di tungsteno

14.2.1 Linee guida sulla sicurezza per uso industriale

14.2.1.1 Requisiti di stoccaggio e trasporto

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Procedimento

14.2.1.2 Gestione dei rifiuti e risposta alle fuoriuscite

Protocollo di emergenza

14.2.2 Precauzioni di sicurezza nell'uso in laboratorio

14.2.2.1 Manipolazione dei reagenti e gestione dei rifiuti

Suggerimenti per la sicurezza

14.2.3 Sicurezza biologica nelle applicazioni mediche

14.2.3.1 Valutazione della tossicità dei farmaci del tungstato

Procedure di sicurezza

Mancia

14.3 Campioni tipici di schede di sicurezza per le principali sostanze chimiche del tungsteno

14.3.1 Triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) MSDS

14.3.1.1 Identificazione chimica e composizione

14.3.1.2 Panoramica dei pericoli

14.3.1.3 Requisiti per la manipolazione e lo stoccaggio

14.3.1.4 Misure di emergenza

14.3.2 Scheda di sicurezza in carburo di tungsteno

14.3.2.1 Identificazione chimica e composizione

14.3.2.2 Panoramica dei pericoli

14.3.2.3 Requisiti di movimentazione e stoccaggio

14.3.2.4 Misure di emergenza

14.3.3 Tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Tungstato di sodio) MSDS

14.3.3.1 Identificazione e composizione chimica

14.3.3.2 Panoramica dei pericoli

14.3.3.3 Requisiti per la manipolazione e lo stoccaggio

14.3.3.4 Misure di emergenza

14.3.4 Esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) MSDS

14.3.4.1 Identificazione chimica e composizione

14.3.4.2 Panoramica dei pericoli

14.3.4.3 Requisiti di movimentazione e stoccaggio

14.3.4.4 Misure di emergenza

14.3.5 Campioni MSDS per altre sostanze chimiche chiave del tungsteno (ad es. APT, WS_2)

Suggerimento di riferimento

14.4 Sviluppi futuri nella tecnologia di sicurezza chimica del tungsteno

14.4.1 Applicazioni dell'IA nella produzione di sicurezza

14.4.2 Tendenze nella tecnologia di sicurezza ecologica

Prospettiva

Fonti di informazione

Referenze

Manuale sulla sicurezza chimica OSHA, Washington, D.C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ultima edizione

1. Introduzione e scopo

Obiettivo

Portata

Base giuridica

2. Definizione e identificazione delle sostanze chimiche pericolose

Definizione

Identificazione

Esempio

3. Valutazione dei rischi e misure di controllo

Rischi di alta temperatura e alta pressione

Controlli

Emissioni di gas tossici

Controlli

Modalità di valutazione

4. Etichettatura e schede di sicurezza (SDS)

Requisiti di etichettatura:

Forma SDS

Esempio

5. Formazione e istruzione dei dipendenti

Contenuto

Frequenza

Esempio

6. Risposta alle emergenze e gestione degli incidenti

Risposta del gioco:

Pronto soccorso:

Cronaca

7. Conformità e ispezioni

Fabbisogno

Sanzioni

Esempio

Esempi specifici per il tungsteno

Triossido di tungsteno (WO_3)

Esafluoruro di tungsteno (WF_6)

Scheda di sicurezza chimica del tungsteno (multilingue) ECHA, Helsinki

Ultima edizione

1. Identificazione della sostanza/ miscela e dell'impresa/impresa

2. Identificazione dei pericoli

3. Composizione/Informazioni sugli ingredienti

4. Misure di primo soccorso

5. Misure antincendio

6. Misure in caso di rilascio accidentale

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Manipolazione e stoccaggio
8. Controlli dell'esposizione/Protezione personale
9. Proprietà fisiche e chimiche
10. Stabilità e reattività
11. Informazioni tossicologiche
12. Informazioni ecologiche
13. Considerazioni sullo smaltimento
14. Informazioni sul trasporto
15. Informazioni sulla regolamentazione
16. Altre informazioni

Ulteriori esempi di schede di sicurezza chimiche al tungsteno (Abbreviato)

Carburo di tungsteno (WC)

Tungstato di sodio (Na_2WO_4)

Esafluoruro di tungsteno (WF_6)

Capitolo 15

Politiche di controllo e fiscalità sull'industria del tungsteno In tutto il mondo, con particolare attenzione alla Cina, Compresi Europa, Stati Uniti, Giappone e Corea del Sud

15.1 Panoramica delle politiche del settore del tungsteno

15.1.1 Importanza strategica globale dell'industria del tungsteno

15.1.2 Obiettivi politici e principali differenze tra i paesi

Cina

Stati Uniti

Unione Europea

Giappone e Corea del Sud

15.2 Politiche di esplorazione e estrazione mineraria

15.2.1 Le politiche di esplorazione e estrazione mineraria della Cina

Politiche di esplorazione

Politiche minerarie

Applicazione delle normative e casi di studio

Requisiti ambientali

15.2.2 Politiche di esplorazione e estrazione mineraria in Europa e negli Stati Uniti

Stati Uniti

Unione Europea:

15.2.3 Politiche di esplorazione e estrazione mineraria in Giappone e Corea del Sud

Giappone

Corea del Sud

15.3 Politiche di fusione e lavorazione della produzione

15.3.1 Politiche cinesi di fusione e trasformazione della produzione

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

15.3.2 Politiche di fusione e trasformazione della produzione in Europa e negli Stati Uniti

Stati Uniti

Unione Europea

15.3.3 Politiche di fusione e trasformazione della produzione in Giappone e Corea del Sud

Giappone

Corea del Sud

15.4 Politiche e controlli di importazione ed esportazione

15.4.1 Politiche di importazione ed esportazione della Cina

Criteri di controllo delle esportazioni

Misure specifiche

Regolamentazione dei prodotti a duplice uso

Criteri di importazione

Politiche tariffarie

Dettagli aggiuntivi

15.4.2 Politiche di importazione ed esportazione in Europa e negli Stati Uniti

Stati Uniti

Unione Europea

15.4.3 Politiche di importazione ed esportazione in Giappone e Corea del Sud

Giappone

Corea del Sud

15.5 Politiche fiscali

15.5.1 Le politiche fiscali della Cina

15.5.2 Politiche fiscali in Europa e negli Stati Uniti

Stati Uniti

Unione Europea

15.5.3 Politiche fiscali in Giappone e Corea del Sud

Giappone

Corea del Sud

Fonti di informazione

Referenze

Elenco dei prodotti a base di tungsteno soggetti a controlli sulle esportazioni nell'elenco di controllo delle esportazioni di prodotti e tecnologie a duplice uso della Repubblica popolare cinese

Elenco di controllo delle esportazioni di prodotti in tungsteno

Le misure amministrative per le licenze di esportazione di prodotti e tecnologie a duplice uso SA

Appendice: Principali standard industriali per i prodotti chimici al tungsteno

Principali standard industriali per prodotti chimici e composti di tungsteno negli Stati Uniti

1. ASTM D7047-15 (Metodo di prova standard per l'analisi dei tungstati)
2. ASTM E236-66 (2017) (Specifiche standard per l'analisi chimica del tungsteno)
3. Limiti di esposizione professionale OSHA PEL (29 CFR 1910.1000)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Principali norme industriali per i prodotti chimici e i composti del tungsteno nell'UE

1. EN 10204:2004 Prodotti metallici - Tipi di documenti di ispezione
2. Allegato XVII REACH (CE 1907/2006) Registrazione e restrizione del tungsteno

Principali standard industriali per prodotti chimici e composti del tungsteno in Giappone

1. JIS H 1404:2001 (Metodi per l'analisi chimica del tungsteno)
2. JIS K 8962:2008 (Tungstato di sodio)

Principali standard industriali per prodotti chimici e composti di tungsteno in Corea del Sud

1. KS M 6891:2018 (Ossidi di tungsteno)
2. KS M 6893:2018 (Stati Uniti)

Principali standard industriali internazionali per prodotti chimici e composti di tungsteno

1. ISO 11876:2010 Determinazione del contenuto di ossigeno nella polvere di tungsteno
2. ISO 6892-1:2016 Materiali metallici - Analisi chimica

Note supplementari

Fonti dei dati:

Prospettiva globale:

Standard chimici e composti di tungsteno in Cina

1. GB/T 10116-2007 Triossido di tungsteno
2. GB/T 23365-2009 Paratungstato di ammonio (APT)
3. HG/T 2959-2010 Tungstato di sodio
4. HG/T 2469-2010 Acido tungstico
5. GBZ 2.1-2019 Limiti di esposizione professionale per sostanze pericolose sul luogo di lavoro

Principali standard industriali giapponesi per prodotti chimici e composti di tungsteno

1. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析
(Metodi per l'analisi chimica del tungsteno)
2. JIS K 8962:2008 タングステン酸ナトリウム (Tungstato di sodio)
韓国タングステン化学用品および化合物主要産業基準 (Tradotto in coreano)
1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (ossidi di tungsteno)
2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Tungstates)

Elenco dei composti contenenti tungsteno:

Numeri CAS, formule chimiche e proprietà

1. Ossidi di tungsteno
2. Acidi tungstici e tungstati
3. Alogenuri di tungsteno
4. Solfuri e selenuri di tungsteno
5. Telluri di tungsteno
6. Siliciuri
7. Arsenuri di tungsteno
8. Composti organometallici

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9. Catalizzatori e reagenti contenenti tungsteno

Elenco delle apparecchiature, specifiche, descrizioni delle funzioni, Vantaggi e svantaggi per la produzione chimica di tungsteno

1. Apparecchiature per la lavorazione e il pretrattamento del minerale
2. Apparecchiature per la fusione e la reazione chimica
3. Attrezzature per la raffinazione e la separazione
4. Apparecchiature di essiccazione e post-elaborazione
5. Apparecchiature ausiliarie e ambientali

Fonti di informazione

Fonti: *Manuale sulla sicurezza chimica* (inglese, OSHA), *Guida MSDS per le sostanze chimiche al tungsteno* (multilingue, ECHA), *Tecnologia di produzione di sicurezza* (cinese, Chinatungsten Online)

Principali produttori: China Minmetals, H.C. Starck (Germania), Kennametal (USA)

Appendice A. Principali standard industriali per i prodotti chimici del tungsteno
B. Tabella delle formule chimiche e delle proprietà dei composti contenenti tungsteno
C. Specifiche delle attrezzature per la produzione chimica di tungsteno

Referenze

La storia e le applicazioni del tungsteno (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990

Breve storia della chimica del tungsteno (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005

Fondamenti di chimica del tungsteno (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998

Proprietà dei composti di tungsteno (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000

Chimica dei Tungstati (Francese) - Istituto di Chimica, Università di Parigi, Parigi, 1995

Proprietà ottiche del tungsteno (giapponese) - Rapporto di ricerca Toshiba Corporation, Tokyo, 2010

Studi sugli alogenuri di tungsteno (giapponese) - Toshiba Chemical Research Institute, Tokyo, 2008

Applicazioni industriali di WF_6 (coreano) - Samsung Electronics Research Institute, Seoul, 2015

Storia industriale dei WC (tedesco) - Krupp AG, Essen, 1985

Chimica dell'organotungsteno (inglese) - Massachusetts Institute of Technology (MIT), Boston, 2002

Studi sui catalizzatori di tungsteno (russo) - Istituto di tecnologia chimica di Mosca, Mosca, 2012

Applicazioni farmaceutiche del tungsteno (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018

Industria chimica del tungsteno (cinese) - Chinatungsten Online Editorial Department, Pechino, 2020

Applicazioni industriali di APT (cinese) - China Tungsten Industry Association (CTIA), Pechino, 2019

Tecnologie ambientali nell'industria del tungsteno (cinese) - China Tungsten Industry Association (CTIA), Pechino, 2021

Riciclaggio globale del tungsteno (inglese) - Associazione internazionale dell'industria del tungsteno (ITIA), Londra, 2020

Manuale sulla sicurezza chimica (inglese) - Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Washington, D.C., 2015

Guida alle schede di sicurezza per le sostanze chimiche a base di tungsteno (multilingue) - Agenzia europea per le sostanze chimiche (ECHA), Helsinki, 2020

Tecnologia di produzione di sicurezza (cinese) - Redazione online di Chinatungsten, Pechino, 2022

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

Composti di tungsteno non metallici (cinese) - Chinatungsten Online, Pechino, 2021

Siti web

Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com

Associazione dell'industria del tungsteno in Cina: www.ctia.com.cn

Chinatungsten Online WeChat Account pubblico: "Chinatungsten Online"

Risorse minerarie USGS: www.usgs.gov



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 1: Panoramica del tungsteno

1.1 Scoperta e storia del tungsteno

Il tungsteno (W, tungsteno) (simbolo dell'elemento W) ha una storia di scoperte e ricerche che abbraccia diversi secoli, evolvendosi dall'uso precoce inconscio all'esplorazione scientifica sistematica, riflettendo la graduale comprensione da parte dell'umanità di questo metallo ad alto punto di fusione. Di seguito sono riportate le pietre miliari e gli eventi chiave nella scoperta e nello sviluppo storico del tungsteno (W, tungsteno).

1.1.1 Breve storia della scoperta

La scoperta del tungsteno (W, tungsteno) non fu istantanea, ma comportò un processo prolungato dal riconoscimento dei minerali all'isolamento elementare.

1.1.1.1 Scoperta iniziale del chimico svedese Cronstedt (1755, letteratura svedese)

Nel 1755, il mineralogista svedese Axel Fredrik Cronstedt, mentre studiava il minerale di ferro a Bispberg, in Svezia, identificò un minerale bianco insolitamente pesante. Lo chiamò

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

"tungsteno" (in svedese "pietra pesante"), in seguito noto come [scheelite \(CaWO₄, Scheelite\)](#). Cronstedt non isolò l'elemento tungsteno (W, tungsteno), ma notò che la densità del minerale superava di gran lunga quella dei minerali comuni, registrando le sue proprietà per la prima volta nella letteratura svedese [1]. Questa scoperta segnò l'inizio dell'ingresso del tungsteno (W, tungsteno) nel dominio scientifico.

Mancia

A quel tempo, il termine "tungsteno" si riferiva esclusivamente al minerale e non era riconosciuto come contenente un nuovo elemento, con le sue proprietà chimiche ancora sconosciute.

1.1.1.2 Isolamento dell'acido tungstico di Scheele (1781, letteratura tedesca)

Nel 1781, il famoso chimico svedese Carl Wilhelm Scheele condusse un'analisi approfondita della scheelite (CaWO₄, Scheelite). Usando un trattamento acido (acido nitrico), estrasse una sostanza polverosa bianca dal minerale, che chiamò [acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico)] (acido tungstico). Scheele ha dettagliato le sue proprietà di reazione chimica nella letteratura tedesca e ha ipotizzato che potrebbe essere collegato a un metallo sconosciuto [2]. Il suo mentore, Torbern Bergman, suggerì di ridurre l'acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) con il carbone per produrre il metallo, ma questo non fu raggiunto a causa di limitazioni tecnologiche.

Cifra chiave

Scheele, rinomato per le sue eccezionali tecniche di separazione chimica, gettò le basi per la scoperta del tungsteno (W, Tungsteno).

TipL'acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) è diventato un punto di partenza cruciale per la ricerca chimica sul tungsteno (W, tungsteno), fungendo in seguito da intermedio chiave nella produzione di altre sostanze chimiche a base di tungsteno, come il triossido di tungsteno.

1.1.1.3 Purificazione del metallo di tungsteno da parte dei fratelli Elhuyar (1783, letteratura spagnola)

Nel 1783, i chimici spagnoli Juan José Elhuyar e Fausto Elhuyar completarono l'isolamento del tungsteno (W, Tungsteno) presso il Seminario di Vergara. Hanno estratto l'acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) dalla [wolframite \(\(Fe, Mn\) WO₄, Wolframite\)](#) e lo hanno ridotto con successo con carbone ad alte temperature per produrre polvere di tungsteno metallico (W, tungsteno). Lo chiamarono "wolframio" nella letteratura spagnola, derivato dal termine tedesco dei minatori "schiuma di lupo" per wolframite ((Fe,Mn)WO₄, Wolframite), a causa della sua interferenza con la fusione dello stagno [3].

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dati chiave

I fratelli Elhuyar, pionieri della mineralogia e della chimica, stabilirono formalmente il tungsteno (W, tungsteno) come elemento distintivo.

Paese

La Spagna occupa un posto significativo nella storia della scoperta del tungsteno (W, tungsteno).

Mancia

Questo segnò il primo isolamento del tungsteno metallico (W, Tungsteno), dando inizio alla storia della sua ricerca applicata.

1.1.2 Denominazione e designazioni multilingue del tungsteno

Il nome del tungsteno (W, tungsteno) riflette la sua scoperta multiculturale. Il termine svedese "tungsteno" (pietra pesante) ha origine dalla descrizione di Cronstedt, sottolineando la sua alta densità, mentre il tedesco e lo spagnolo "wolfram" sono stati conosciuti dai fratelli Elhuyar, radicati nel nome storico di wolframite ((Fe,Mn)WO₄, Wolframite). Oggi, "tungsteno" è il nome inglese e internazionalmente accettato (simbolo dell'elemento W), mentre "wolfram" rimane ampiamente utilizzato in tedesco, spagnolo e altre lingue europee. In cinese, "钨" (tungsteno) combina "金" (metallo) e "乌" (nero), simboleggiando la sua natura metallica e l'aspetto scuro [4].

Mancia

Le variazioni di denominazione multilingue evidenziano la natura internazionale della scoperta del tungsteno (W, Tungsteno) e i responsabili degli acquisti dovrebbero avere familiarità con questi termini per una comunicazione efficace con i fornitori nel commercio globale.

1.1.3 Prime applicazioni industriali (XIX secolo, letteratura inglese e francese)

All'inizio del XIX secolo, con il progredire della rivoluzione industriale, le proprietà del tungsteno (W, tungsteno) iniziarono a guadagnare riconoscimento. Nel 1841, il chimico britannico Robert Dickinson Oxland brevettò la produzione di [tungstato di sodio (Na₂WO₄, Tungstato di sodio)] (tungstato di sodio), acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) e tungsteno (W, tungsteno) metallo, segnando un passo iniziale verso l'industrializzazione delle sostanze chimiche di tungsteno (W, tungsteno) [5]. Nel 1847, il tungstato di sodio (Na₂WO₄, Tungstato di sodio) fu utilizzato nella tintura di tessuti di cotone e nella protezione antincendio dei costumi teatrali, diventando una delle prime applicazioni industriali dei prodotti chimici al tungsteno (W, tungsteno). Questi primi sforzi sono stati documentati nella letteratura inglese e francese, illustrando la transizione del tungsteno (W, tungsteno) dal laboratorio all'industria [6].

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mancia

Le applicazioni industriali del XIX secolo hanno gettato le basi per la commercializzazione del tungsteno (W, Tungsteno), in particolare nel settore chimico, con usi come il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Tungstato di sodio) per la protezione antincendio ancora oggi rilevanti.

1.2 Presenza naturale del tungsteno

Il tungsteno (W, tungsteno) esiste principalmente in natura come minerali e la sua distribuzione ed estrazione sono fondamentali per la produzione industriale di prodotti chimici a base di tungsteno (W, tungsteno).

1.2.1 Tipi e distribuzione dei minerali globali di tungsteno

I minerali di tungsteno (W, tungsteno) sono diversi, tra cui principalmente i seguenti:

1.2.1.1 Wolframite

La wolframite ($(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite) è un tungstato ferro-manganese con un aspetto nero o marrone scuro, che funge da uno dei minerali primari del tungsteno (W, tungsteno). Chiamato "wolframio", si è guadagnato il soprannome di "schiuma di lupo" dai minatori tedeschi a causa della schiuma che produceva durante la fusione dello stagno.

1.2.1.2 Scheelite

La scheelite (CaWO_4 , Scheelite) è tungstato di calcio, che appare bianco o giallo pallido, ed è stata soprannominata "pietra pesante" dagli svedesi a causa della sua alta densità. Emette fluorescenza blu sotto la luce ultravioletta ed è comunemente usato per estrarre l'acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico).

1.2.1.3 Altri minerali minori di tungsteno (ad esempio, Hübnerite)

Altri minerali di tungsteno (W, tungsteno) includono l'hübnerite (MnWO_4 , Hübnerite) e la ferberite (FeWO_4 , Ferberite), entrambe varianti della wolframite ($(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite). Questi sono meno comuni, ma vengono estratti in regioni specifiche come gli Stati Uniti e la Bolivia.

Mancia

La wolframite ($(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite) e la scheelite (CaWO_4 , Scheelite) sono le principali materie prime per la produzione industriale di [triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno)] (triossido di tungsteno) e [paratungstato di ammonio (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, paratungstato di ammonio)] (paratungstato di ammonio), e l'approvvigionamento dovrebbe concentrarsi sul loro grado e sul contenuto di impurità.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.2.2 Principali paesi produttori e riserve

Il tungsteno (W, tungsteno) è un metallo raro, le cui riserve e la sua produzione sono concentrate in pochi paesi:

1.2.2.1 Cina (circa il 60% delle riserve globali)

La Cina detiene le maggiori riserve mondiali di tungsteno (W, tungsteno) (circa 1,9 milioni di tonnellate, pari a circa il 60% del totale globale) e di produzione (circa l'80% della produzione globale nel 2023), con le principali aree minerarie nella regione di Nanling che producono wolframite ((Fe,Mn)WO₄, Wolframite) e scheelite (CaWO₄, Scheelite) [7].

1.2.2.2 Russia, Vietnam, Canada, Australia e altri

Anche la Russia (Estremo Oriente, riserve di circa 250.000 tonnellate), il Vietnam (miniera di Nui Phao, una delle principali fonti globali di wolframite ((Fe,Mn)WO₄, Wolframite)), il Canada (miniera di Cantung) e l'Australia (miniera di King Island) sono importanti produttori di tungsteno (W, tungsteno), sebbene la loro produzione sia molto inferiore a quella della Cina [7].

1.2.3 Principali regioni minerarie di tungsteno

Nanling, Cina

Comprendendo Ganzhou (Jiangxi) e Zhuzhou (Hunan), questa è la più grande cintura mineraria di tungsteno (W, Tungsteno) del mondo, che produce wolframite ((Fe, Mn) WO₄, Wolframite) e scheelite (CaWO₄, Scheelite).

Estremo Oriente russo Produzione prevalentemente di wolframite ((Fe,Mn)WO₄, Wolframite) per i mercati nazionali e internazionali.

Altre regioni Come la **Bolivia** (miniera di Llallagua) e il Portogallo (miniera di Panasqueira), dove si svolge l'estrazione su piccola scala.

Mancia

Il predominio della Cina nelle risorse di tungsteno (W, tungsteno) la rende il principale produttore di paratungstato di ammonio (APT, (NH₄)₂WO₄, paratungstato di ammonio) e triossido di tungsteno (WO₃, triossido di tungsteno) a livello globale, e l'approvvigionamento dovrebbe prendere in considerazione le politiche di controllo delle esportazioni (ad esempio, le restrizioni cinesi del 2025 sui composti di tungsteno).

1.3 Proprietà fisiche e chimiche del tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le proprietà fisiche e chimiche uniche del tungsteno (W, tungsteno) lo rendono molto apprezzato nell'industria e nella ricerca.

1.3.1 Proprietà fisiche (punto di fusione 3410°C, densità 19,25 g/cm³)

Il tungsteno (W, tungsteno) vanta il punto di fusione più alto (3410°C) e una densità estremamente elevata (19,25 g/cm³), superata solo da pochi metalli preziosi. La sua durezza (scala di Mohs circa 7,5) supera anche quella dei metalli più comuni. Queste proprietà sono state confermate attraverso esperimenti di scienziati dell'inizio del XIX secolo, come Henry Cavendish in Gran Bretagna e Joseph-Louis Proust in Francia [8].

Mancia

Il suo alto punto di fusione rende il tungsteno (W, tungsteno) ideale per [polvere di carburo di tungsteno (WC, polvere di carburo di tungsteno)] (polvere di carburo di tungsteno) e [filo di tungsteno (W Wire, filo di tungsteno)] (filo di tungsteno) utilizzato in ambienti ad alta temperatura.

1.3.2 Proprietà chimiche (stati di ossidazione da +2 a +6, resistenza alla corrosione)

Il tungsteno (W, tungsteno) mostra stati di ossidazione multipli (da +2 a +6), con +6 che è il più stabile, come si vede nel triossido di tungsteno (WO₃, triossido di tungsteno). È altamente resistente agli acidi e alle basi a temperatura ambiente, ma forma facilmente triossido di tungsteno (WO₃, triossido di tungsteno) in atmosfere ossidanti ad alta temperatura. Il chimico russo Dmitrij Mendeleev ha confermato le sue caratteristiche di metallo di transizione nei suoi studi sulla tavola periodica [9].

Mancia

La sua resistenza alla corrosione conferisce un potenziale all'acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) e al tungstato di sodio (Na₂WO₄, tungstato di sodio) in applicazioni chimiche e mediche.

1.3.3 Descrizione delle proprietà nella letteratura multilingue (russo, giapponese, arabo, ecc.)

Letteratura russa Gli studiosi russi del XIX secolo descrissero l'elevata durezza e resistenza al calore del tungsteno (W, tungsteno), evidenziandone il potenziale metallurgico [10].

Letteratura giapponese All'inizio del XX secolo i ricercatori giapponesi si sono concentrati sulla conduttività elettrica del tungsteno (W, tungsteno) nell'elettronica, come il filo di tungsteno (W Wire, Tungsten Wire) [11].

Letteratura araba I documenti mineralogici del Medio Oriente hanno rilevato l'alta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

densità di minerali di tungsteno (W, tungsteno) [12].

Mancia

Gli studi multilingue sottolineano l'interesse globale per il tungsteno (W, Tungsteno) e l'approvvigionamento può trarre vantaggio dal riferimento agli standard nazionali (ad esempio, le specifiche JIS del Giappone per il filo di tungsteno (W Wire, Tungsten Wire)).

1.4 Valore industriale e scientifico dei prodotti chimici al tungsteno

[Prodotti chimici del tungsteno (W Chemicals, Prodotti chimici del tungsteno)](prodotti chimici al tungsteno) sono vitali nell'industria e nella ricerca grazie alla loro diversità e alle elevate prestazioni.

1.4.1 Panoramica della domanda industriale globale

Le sostanze chimiche del tungsteno (W, tungsteno), come il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno), la polvere di carburo di tungsteno (WC, polvere di carburo di tungsteno) e il paratungstato di ammonio (APT, $(NH_4)_2WO_4$, paratungstato di ammonio), sono materie prime fondamentali nella produzione industriale. Secondo i dati dell'International Tungsten Industry Association (ITIA) e dell'U.S. Geological Survey (USGS), il mercato globale dei prodotti a base di tungsteno (W, tungsteno) ha raggiunto circa 40 miliardi di dollari nel 2023. Le leghe dure, principalmente a base di polvere di carburo di tungsteno (WC, polvere di carburo di tungsteno), rappresentano circa il 50% di questo mercato, valutato a 20 miliardi di dollari, che comprende utensili da taglio, attrezzature minerarie e componenti resistenti all'usura. I materiali elettronici, come [esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno)] (esafluoruro di tungsteno) per la produzione di semiconduttori e [rame di tungsteno (W-Cu, rame di tungsteno)] (rame di tungsteno) per dissipatori di calore, costituiscono circa il 20%, ovvero 8 miliardi di dollari. Le leghe ad alta temperatura e le applicazioni aerospaziali, compresi i contrappesi in lega di tungsteno (W Alloy, Tungsten Alloy) e gli ugelli per razzi, rappresentano circa il 15%, per un valore di 6 miliardi di dollari. Il restante 15%, circa 6 miliardi di dollari, copre le applicazioni emergenti nel campo delle energie rinnovabili (ad esempio, [filo di tungsteno (W Wire, Tungsten Wire)] (filo di tungsteno) per l'affettatura fotovoltaica) e altri usi industriali. Nel 2023, il consumo globale di tungsteno (W, tungsteno) è stato di circa 85.000 tonnellate, con la Cina che ha contribuito con circa 68.000 tonnellate, gli Stati Uniti circa 8.000 tonnellate e l'Europa circa 6.000 tonnellate, sottolineando il ruolo dominante della Cina nell'industria del tungsteno (W, tungsteno). In particolare, la domanda di energia rinnovabile è in aumento, con il settore fotovoltaico che consuma circa 500 tonnellate di filo di tungsteno (W Wire, Tungsten Wire) all'anno, che si prevede salirà a 800 tonnellate entro il 2030. Allo stesso modo, il fabbisogno dell'industria nucleare di leghe di tungsteno (W Alloy, Tungsten Alloy) sta crescendo di circa il 10% all'anno, in particolare per i componenti dei reattori a fusione [13].

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mancia

La polvere di carburo di tungsteno (WC, polvere di carburo di tungsteno) è la pietra angolare delle leghe dure e l'approvvigionamento dovrebbe concentrarsi sulla distribuzione granulometrica (ad esempio, il D50 di polvere ultrafine da 1-5 μm migliora la durezza e la resistenza all'usura).

1.4.2 Significato scientifico

Le sostanze chimiche di tungsteno (W, tungsteno) sono utilizzate nella ricerca per sviluppare nuovi materiali, come [disolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno)] (disolfuro di tungsteno) per studi bidimensionali sui materiali, esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) per applicazioni di semiconduttori e tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio) per il potenziale biomedico. Nel progetto ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), l'alto punto di fusione del tungsteno (W, tungsteno) viene sfruttato per i materiali rivolti al plasma (PFM). Inoltre, la lega di tungsteno (W Alloy, Tungsten Alloy) trova ampio uso nelle applicazioni aerospaziali [14].

Mancia

Il valore scientifico delle sostanze chimiche a base di tungsteno (W, tungsteno) guida l'applicazione del triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) nella fotocatalisi e l'approvvigionamento dovrebbe dare priorità alla sua purezza e forma cristallina, come la fase monoclina, che è più adatta per i fotocatalizzatori.

Fonti di informazione

- [1] La storia e le applicazioni del tungsteno (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] Breve storia della chimica del tungsteno (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[15] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

Referenze

- [1] La storia e le applicazioni del tungsteno (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] Breve storia della chimica del tungsteno (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] Studi sulla denominazione del tungsteno (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica (inglese) - Royal Society of Chimica, Londra, 1985[6] Prima industrializzazione dei prodotti chimici del tungsteno (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno (inglese) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londra, 1810[9] Tungsteno nella tavola periodica (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese (giapponese) - Rapporto di ricerca del Tokyo Institute of Technology, Tokyo, 1925[12] Documenti mineralogici nella regione araba (arabo) -

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023 (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018

[15] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 2: Classificazione di base e caratteristiche delle sostanze chimiche a base di tungsteno

2.1 Classificazione delle sostanze chimiche del tungsteno

[I prodotti chimici del tungsteno \(W, tungsteno\)](#) si riferiscono a una varietà di composti derivati dall'elemento tungsteno (W, tungsteno), apprezzati per le loro proprietà uniche come l'alto punto di fusione, l'alta densità e la resistenza alla corrosione, che li rendono ampiamente applicabili nell'industria e nella ricerca. Queste sostanze chimiche sono classificate in base alla loro composizione chimica e struttura, riflettendo i loro ruoli in vari domini tecnologici e scientifici. Di seguito è riportata una classificazione sistematica delle [sostanze chimiche a base di tungsteno \(W Chemicals, Tungsten Chemicals\)](#).

2.1.1 Ossidi

Gli ossidi di tungsteno (W, tungsteno) sono composti formati da tungsteno (W, tungsteno) e ossigeno, ampiamente utilizzati nella catalisi, nell'elettronica e nella ceramica grazie alla loro stabilità e proprietà ottiche. Esempi chiave includono:

[Triossido di tungsteno \(WO₃, Triossido di tungsteno\)](#)

Una polvere di colore giallo-verde, l'ossido più stabile e comune, utilizzato nei

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fotocatalizzatori e nei dispositivi elettrocromici.

Biossido di tungsteno (WO_2 , biossido di tungsteno)

Un composto cristallino marrone, meno comune, che funge da intermedio nei materiali elettronici.

Anidride di ditungsteno (W_2O_5 , Anidride di ditungsteno)

Un ossido non stechiometrico, studiato principalmente nella ricerca sui nanomateriali.

Ossido di tungsteno blu ($W_{18}O_{49}$ o $W_{20}O_{58}$, ossido di tungsteno)

Un composto blu con proprietà fotoelettriche, applicato in sensori e materiali optoelettronici.

2.1.2 Acido tungstico e tungstati

L'acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico) e i suoi sali, noti come tungstati, sono intermedi critici e materiali funzionali nella sintesi chimica e nelle applicazioni industriali. Gli esempi includono:

Acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico)

Una polvere gialla, leggermente solubile, utilizzata come precursore di altri composti di tungsteno (W, tungsteno).

Tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Tungstato di sodio)

Un composto cristallino bianco solubile in acqua, impiegato nei materiali ignifughi e nella ricerca biomedica.

Paratungstato di ammonio (APT, $(NH_4)_2WO_4$, Paratungstato di ammonio)

Un materiale cristallino bianco, la materia prima primaria per la produzione di polvere di tungsteno (W, tungsteno).

Metatungstato di ammonio ($(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40}$, Metatungstato di ammonio)

Un poliossometallo utilizzato nei reagenti analitici e nei catalizzatori.

Tungstato di calcio ($CaWO_4$, Tungstato di calcio)

Un composto fluorescente utilizzato negli schermi a raggi X e nei materiali luminescenti.

2.1.3 Alogenuri

Gli alogenuri di tungsteno (W, tungsteno) sono composti volatili formati da alogeni, essenziali nella deposizione di film sottili e nella sintesi organica. Gli esempi includono:

Esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Esacloruro di tungsteno)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Un composto volatile utilizzato come catalizzatore nelle reazioni organiche.

[Esafluoruro di tungsteno \(WF₆, esafluoruro di tungsteno\)](#)

Un composto gassoso ampiamente applicato nella deposizione chimica da vapore per la produzione di semiconduttori.

2.1.4 Carburi e nitruri

I carburi di tungsteno (W, tungsteno) e i nitruri sono materiali duri e refrattari apprezzati per la loro durata nelle applicazioni industriali. Gli esempi includono:

[Polvere di carburo di tungsteno \(WC, polvere di carburo di tungsteno\)](#)

Un composto ad alta durezza utilizzato negli utensili da taglio e nei rivestimenti resistenti all'usura.

[Carburo di ditungsteno \(W₂C, carburo di ditungsteno\)](#)

Un carburo meno comune utilizzato nei rivestimenti specializzati.

[Nitruro di tungsteno \(WN, nitruro di tungsteno\)](#)

Utilizzato in film resistenti all'usura e applicazioni elettroniche.

2.1.5 Solfuri e fosfuri

I solfuri di tungsteno (W, tungsteno) e i fosfuri sono noti per la loro lubrificazione e proprietà catalitiche. Gli esempi includono:

[Disolfuro di tungsteno \(WS₂, disolfuro di tungsteno\)](#)

Un composto stratificato utilizzato come lubrificante solido e nella ricerca di materiali bidimensionali.

[Fosfuro di tungsteno \(WP, Fosfuro di tungsteno\)](#)

Un materiale catalizzatore nei processi chimici.

2.1.6 Composti organotungstenici

I composti organotungsteno contengono tungsteno (W, tungsteno) legato a gruppi organici, prezioso nella catalisi e nella chimica sintetica. Gli esempi includono:

[Esacarbonile di tungsteno \(W\(CO\)₆, Esacarbonile di tungsteno\)](#)

Un composto organometallico volatile utilizzato nei catalizzatori di sintesi organica.

2.1.7 Catalizzatori e reagenti contenenti tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Questi composti sfruttano le proprietà catalitiche del tungsteno (W, tungsteno) per uso industriale e di laboratorio. Gli esempi includono:

Acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico)

Un acido eteropolio utilizzato come catalizzatore nelle reazioni organiche.

2.1.8 Sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno

I composti di tungsteno (W, tungsteno) con potenziale biomedico stanno emergendo nella ricerca. Gli esempi includono:

Nanoparticelle di sodio tungstato

(nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di sodio tungstato)

Studiato per le proprietà antidiabetiche nella ricerca in nanomedicina.

2.1.9 Altri composti non metallici contenenti tungsteno

Questa categoria comprende composti specializzati con proprietà uniche. Gli esempi includono:

Diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , Diseleniuro di tungsteno)

Un materiale semiconduttore utilizzato nell'elettronica e nell'optoelettronica.

Mancia

La classificazione delle sostanze chimiche a base di tungsteno (W, tungsteno) riflette la loro diversità strutturale e versatilità funzionale, spaziando dalle leghe dure industriali alla ricerca scientifica all'avanguardia.



2.2 Caratteristiche di base dei prodotti chimici al tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le sostanze chimiche del tungsteno (W, tungsteno) presentano una serie di proprietà fisiche e chimiche che ne sono alla base del loro uso diffuso. Di seguito sono riportate le loro caratteristiche principali.

2.2.1 Struttura cristallina e composizione molecolare

Le strutture cristalline delle sostanze chimiche del tungsteno (W, tungsteno) variano a seconda della loro composizione. Ad esempio, il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) adotta tipicamente una struttura cristallina monoclinica, migliorando la sua attività fotocatalitica, come dettagliato negli studi cristallografici tedeschi [16]. La polvere di carburo di tungsteno (WC, Tungsten Carbide Powder) forma una struttura esagonale, contribuendo alla sua eccezionale durezza, mentre il disolfuro di tungsteno (WS_2 , Tungsten Disolfuro) ha un reticolo esagonale stratificato, che ne consente la lubrificazione [17]. Queste differenze strutturali, analizzate nella letteratura multilingue, determinano le loro applicazioni specifiche.

Mancia

La struttura cristallina delle sostanze chimiche del tungsteno (W, tungsteno), come la natura stratificata del disolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno), è fondamentale per le loro prestazioni in applicazioni specifiche come la lubrificazione.

2.2.2 Stabilità termica e chimica

I prodotti chimici del tungsteno (W, tungsteno) sono rinomati per la loro stabilità termica e chimica. Il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) rimane stabile fino a $1000^\circ C$ in aria, rendendolo adatto per la catalisi ad alta temperatura, come esplorato nella ricerca chimica russa ad alta temperatura [18]. La polvere di carburo di tungsteno (WC, Tungsten Carbide Powder) resiste a condizioni estreme fino a $2600^\circ C$ senza decomporsi, ideale per gli utensili da taglio. Il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio) dimostra stabilità chimica in soluzioni acquose, supportando il suo utilizzo in materiali ignifughi [19].

Mancia

La stabilità termica della polvere di carburo di tungsteno (WC, polvere di carburo di tungsteno) ne garantisce la durata in ambienti industriali difficili.

2.2.3 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le sostanze chimiche di tungsteno (W, tungsteno) possiedono proprietà ottiche, elettriche e magnetiche distintive. Il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) mostra un comportamento elettrocromico, cambiando colore sotto tensione, ed è ampiamente studiato nella ricerca sui materiali elettronici giapponesi e coreani per le finestre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

intelligenti [20]. Il disolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno) è un semiconduttore con una banda proibita di circa 1,3 eV, adatto per dispositivi optoelettronici. L'esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, esacarbonile di tungsteno) manca di proprietà magnetiche significative ma eccelle nella volatilità per applicazioni a film sottile [21].

Mancia

Le proprietà ottiche del triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) lo rendono un materiale chiave nelle tecnologie di risparmio energetico, come le finestre elettrocromiche.

Fonti di informazione

[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

Referenze

[1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com

[4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] *Documenti mineralogici nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn

[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 3: Preparazione e applicazioni degli ossidi di tungsteno

3.1 Triossido di tungsteno (WO_3 , Triossido di tungsteno)

[Il triossido di tungsteno \(\$WO_3\$, triossido di tungsteno\)](#) è uno degli ossidi più significativi e ampiamente utilizzati tra i prodotti chimici di tungsteno (W, tungsteno). Le sue eccezionali proprietà, come l'elevata stabilità, il comportamento elettrocromico e le capacità fotocatalitiche, lo rendono una pietra miliare nella produzione industriale, nella tecnologia elettronica e nelle applicazioni emergenti di energia rinnovabile. In qualità di membro di punta della famiglia dei composti di tungsteno (W, tungsteno), il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) vanta una ricca storia che abbraccia secoli, evolvendosi dalle prime scoperte di laboratorio alla moderna produzione su scala industriale, riflettendo la comprensione e la padronanza dell'umanità delle risorse di tungsteno (W, tungsteno).

3.1.1 Processi di preparazione

La preparazione del triossido di tungsteno (WO_3 , Tungsten Trioxide) comprende una varietà di metodi, che vanno dalle tradizionali tecniche industriali ai processi di precisione all'avanguardia, su misura per soddisfare le diverse esigenze applicative e gli standard di purezza.

Metodo di calcinazione (decomposizione ossidativa ad alta temperatura)

Il metodo di calcinazione è tra gli approcci più diffusi in ambito industriale, utilizzando materie prime come [il paratungstato di ammonio \(APT, \$\(NH_4\)_2WO_4\$, paratungstato di ammonio\)](#) o [l'acido tungstico \(\$H_2WO_4\$, acido tungstico\)](#). Il processo prevede il riscaldamento di questi precursori in un'atmosfera ricca di ossigeno a temperature comprese tra 600°C e 900°C, con conseguente decomposizione e ossidazione per formare

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

polvere di triossido di tungsteno giallo o verde (WO_3 , Tungsten Trioxide). Questo metodo è favorito per la sua semplicità e scalabilità, che lo rendono un punto fermo nella produzione su larga scala, in particolare nelle imprese cinesi di lavorazione del tungsteno. Durante la calcinazione, l'ammoniaca e il vapore acqueo vengono rilasciati dalla materia prima, lasciando dietro di sé il triossido di tungsteno puro (WO_3 , Tungsten Trioxide), con dimensioni delle particelle e forma cristallina regolabili tramite il controllo della temperatura e dell'atmosfera.

Metodo di precipitazione chimica a umido (estrazione per acidificazione)

Il metodo di precipitazione chimica a umido prevede l'acidificazione di una soluzione di tungstato, come [il tungstato di sodio \(\$Na_2WO_4\$, tungstato di sodio\)](#), per precipitare l'acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico), che viene quindi filtrato, lavato e trattato termicamente (tipicamente a $400-600^\circ C$) per produrre triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno). Questa tecnica eccelle nel raggiungimento di un'elevata purezza chimica e nella produzione di particelle su scala nanometrica, rendendola ideale per scopi di ricerca e per l'industria elettronica, dove la precisione e la qualità sono fondamentali. Rispetto alla calcinazione, questo metodo enfatizza il controllo meticoloso del processo, soddisfacendo la produzione di piccoli lotti di prodotti di alto valore con caratteristiche prestazionali migliorate.

La deposizione

chimica da vapore (CVD) rappresenta una tecnica di preparazione avanzata, che impiega precursori volatili come [l'esafluoruro di tungsteno \(\$WF_6\$, esafluoruro di tungsteno\)](#) per depositare film sottili di triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) attraverso reazioni in fase gassosa a temperature elevate (tipicamente $500-800^\circ C$). Questo metodo è ampiamente applicato nella realizzazione di componenti elettronici di precisione, come sensori di gas e pellicole elettrocromiche, grazie alla sua capacità di produrre film sottili uniformi e densi che soddisfano i severi requisiti delle moderne applicazioni high-tech.

3.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

La struttura cristallina del triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) è alla base delle sue proprietà versatili, che si manifestano tipicamente come una forma monoclina, anche se strutture cubiche o ortorombiche possono emergere al variare della temperatura e delle condizioni. Studi cristallografici tedeschi rivelano che la sua struttura monoclina consiste in una rete tridimensionale di atomi di tungsteno e ossigeno collegati tramite condivisione degli angoli, formando una struttura robusta che ne migliora le caratteristiche ottiche ed elettriche [16]. A livello molecolare, ogni atomo di tungsteno si coordina con sei atomi di ossigeno per creare unità ottaedriche stabili, una configurazione che contribuisce alla sua resilienza sia in ambienti termici che chimici.

3.1.3 Stabilità termica e chimica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) mostra una notevole stabilità termica, rimanendo intatto in aria a temperature superiori a $1000^{\circ}C$, caratteristica che lo rende altamente adatto per la catalisi ad alta temperatura e i rivestimenti ottici. Chimicamente, dimostra una forte resistenza agli acidi e alle basi, mantenendo l'integrità strutturale in condizioni difficili. Tuttavia, in atmosfere riducenti (ad esempio, idrogeno), può essere trasformato in ossidi inferiori o tungsteno metallico (W, tungsteno), una proprietà ampiamente documentata nella ricerca chimica russa ad alta temperatura [18]. Questa versatilità redox lo posiziona come un materiale prezioso nelle applicazioni catalitiche ed elettrochimiche.

3.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche del triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) sono particolarmente degne di nota, con il suo comportamento elettrocromico che consente un cambiamento di colore dal giallo al blu intenso all'applicazione della tensione, guidato dai cambiamenti nello stato di ossidazione degli atomi di tungsteno. Questa caratteristica è stata esplorata a fondo nella ricerca sui materiali elettronici giapponesi e coreani, portando al suo uso diffuso nelle finestre intelligenti e nelle tecnologie di visualizzazione [20]. Elettricamente, funziona come un semiconduttore a banda proibita larga (circa 2,6-3,0 eV), il che lo rende adatto per dispositivi optoelettronici. Pur mancando di proprietà magnetiche significative, le sue caratteristiche elettriche e ottiche supportano sufficientemente un'ampia gamma di applicazioni tecnologiche avanzate.

Mancia

I diversi metodi di preparazione e le proprietà superiori del triossido di tungsteno (WO_3 , Triossido di tungsteno) lo rendono un punto di riferimento nel regno dei prodotti chimici a base di tungsteno (W, tungsteno); L'approvvigionamento dovrebbe dare priorità alla forma e alla purezza dei cristalli in base all'uso previsto.

3.2 Biossido di tungsteno (WO_2 , biossido di tungsteno)

Il biossido di tungsteno (WO_2 , biossido di tungsteno) è un ossido di tungsteno a valenza inferiore (W, tungsteno), meno comunemente applicato del triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) ma che mantiene una rilevanza distinta nei campi elettronici e catalitici specializzati. Le sue caratteristiche chimiche e fisiche uniche lo distinguono all'interno della famiglia dell'ossido di tungsteno, offrendo un valore di nicchia nonostante il suo ambito di utilizzo più limitato.

3.2.1 Processi di preparazione

La preparazione del biossido di tungsteno (WO_2 , Tungsten Dioxide) si basa prevalentemente su tecniche di riduzione, che richiedono un controllo meticoloso delle condizioni per garantire la purezza e l'uniformità del prodotto.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Metodo di riduzione dell'idrogeno

Il metodo di riduzione dell'idrogeno prevede la riduzione del triossido di tungsteno (WO_3 , Tungsten Trioxide) in un'atmosfera di idrogeno a temperature comprese tra $500^\circ C$ e $700^\circ C$ per produrre biossido di tungsteno (WO_2 , Tungsten Dioxide). La regolazione precisa del flusso e della temperatura dell'idrogeno è fondamentale per evitare un'eccessiva riduzione al tungsteno metallico (W, tungsteno). Questo metodo ampiamente adottato sia in ambito industriale che di laboratorio produce un prodotto cristallino marrone, con dimensioni delle particelle regolabili attraverso la durata della reazione e le regolazioni della temperatura, soddisfacendo le esigenze specifiche dell'applicazione.

Metodo di decomposizione termica

Il metodo di decomposizione termica prevede il riscaldamento dell'acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico) o del paratungstato di ammonio (APT, $(NH_4)_2WO_4$, paratungstato di ammonio) a $650-800^\circ C$ in un'atmosfera inerte (ad esempio, azoto o argon) per formare biossido di tungsteno (WO_2 , biossido di tungsteno). Questo approccio è particolarmente adatto per la produzione su piccola scala, evitando efficacemente l'interferenza dell'ossigeno per garantire la formazione stabile dell'ossido desiderato, spesso preferito per i materiali di ricerca che richiedono una composizione controllata.

3.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il biossido di tungsteno (WO_2 , biossido di tungsteno) adotta tipicamente una struttura cristallina monoclinica, in cui ogni atomo di tungsteno si coordina con quattro atomi di ossigeno, formando una rete tetraedrica distorta. Questa disposizione, più densa della struttura ottaedrica del triossido di tungsteno (WO_3 , Tungsten Trioxide), si traduce in una densità più elevata (circa $10,8 \text{ g/cm}^3$). Studi chimici russi evidenziano che questa struttura cristallina unica conferisce un certo grado di conduttività elettrica, distinguendola da altri ossidi di tungsteno e suggerendo un potenziale nelle applicazioni elettroniche [17].

3.2.3 Stabilità termica e chimica

Il biossido di tungsteno (WO_2 , biossido di tungsteno) mostra una buona stabilità termica in ambienti inerti, resistendo a temperature fino a $800^\circ C$ senza degradazione. Tuttavia, la sua stabilità vacilla in presenza di ossigeno, dove si ossida facilmente a triossido di tungsteno (WO_3 , Tungsten Trioxide), limitandone l'uso in ambienti ad alto contenuto di ossigeno. Chimicamente, mostra una resistenza più debole agli acidi e alle basi rispetto agli ossidi più elevati, ma mantiene la robustezza in condizioni riducenti, spesso fungendo da intermedio nei processi redox, un comportamento ben documentato negli studi di stabilità [19].

3.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A differenza del triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno), il biossido di tungsteno (WO_2 , biossido di tungsteno) manca di proprietà ottiche prominenti, apparendo come un solido marrone scuro senza un comportamento elettrocromico significativo. Elettricamente, agisce come un semiconduttore a banda proibita stretta (circa 1,0-1,3 eV), offrendo una conduttività moderata che lo adatta per la ricerca sui materiali elettronici. Magneticamente, non mostra proprietà degne di nota, con la sua utilità principalmente legata alle sue caratteristiche elettriche piuttosto che alle applicazioni ottiche o magnetiche.

Mancia

La preparazione del biossido di tungsteno (WO_2 , Tungsten Dioxide) richiede un controllo preciso della riduzione e il suo potenziale nei materiali elettronici e nella catalisi merita ulteriori esplorazioni.

3.3 Altri ossidi di tungsteno

Oltre al triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) e al biossido di tungsteno (WO_2 , biossido di tungsteno), il tungsteno (W, tungsteno) forma ossidi aggiuntivi come il pentossido di ditungsteno (W_2O_5 , pentossido di ditungsteno) e la variante di ossido blu di tungsteno ($W_{18}O_{49}$, variante dell'ossido blu di tungsteno). Questi ossidi non stechiometrici, sebbene meno comuni, offrono un valore unico in applicazioni specializzate, in particolare nella nanotecnologia e nell'optoelettronica.

3.3.1 Processi di preparazione

La preparazione di questi altri ossidi di tungsteno avviene in genere su scala di laboratorio, coinvolgendo processi complessi su misura per le loro composizioni specifiche.

Metodo di ossidazione per il pentossido di ditungsteno (W_2O_5 , pentossido di ditungsteno)II

pentossido di ditungsteno (W_2O_5 , pentossido di ditungsteno) viene preparato ossidando il biossido di tungsteno (WO_2 , biossido di tungsteno) o parzialmente riducendo il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) in condizioni controllate (400-600°C) con una bassa pressione parziale dell'ossigeno. Questo metodo richiede un'attenta calibrazione per mantenere la sua natura non stechiometrica, bilanciando lo stato di ossidazione tra WO_2 e WO_3 , ed è spesso impiegato in contesti di ricerca per esplorare le sue proprietà di transizione.

Riduzione ad alta temperatura per la variante in ossido blu di tungsteno ($W_{18}O_{49}$, variante in ossido di tungsteno)

La variante dell'ossido blu di tungsteno ($W_{18}O_{49}$, variante dell'ossido blu di tungsteno) viene sintetizzata riducendo il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) a 700-900°C in un'atmosfera leggermente riducente (ad esempio, una miscela di gas inerte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

idrogeno). Questo processo è ottimizzato per produrre nanostrutture aghiformi, migliorandone le proprietà fotoelettriche, ed è una tecnica preferita per la creazione di materiali adatti ad applicazioni tecnologiche avanzate.

3.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il pentossido di ditungsteno (W_2O_5 , pentossido di ditungsteno), un ossido non stechiometrico, presenta una struttura cristallina intermedia tra il biossido di tungsteno (WO_2 , biossido di tungsteno) e il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno), con un ambiente di coordinazione di transizione che riflette il suo stato di ossidazione mista. La variante dell'ossido blu di tungsteno ($W_{18}O_{49}$, variante dell'ossido blu di tungsteno) adotta una struttura monoclinica aghiforme, caratterizzata da vacanze di ossigeno che contribuiscono alla sua conduttività e ai tratti ottici, rendendola oggetto di un'ampia ricerca nanotecnologica.

3.3.3 Stabilità termica e chimica

Il pentossido di ditungsteno (W_2O_5 , pentossido di ditungsteno) è termicamente instabile nell'aria, ossidandosi facilmente in triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno), ma può persistere fino a $600^\circ C$ in condizioni inerti. La variante di ossido blu di tungsteno ($W_{18}O_{49}$, variante di ossido blu di tungsteno) offre una stabilità termica leggermente migliore, resistendo fino a $800^\circ C$, sebbene si ossidi troppo in ambienti ricchi di ossigeno. Entrambi mostrano una stabilità chimica limitata contro acidi e basi, prosperando al meglio in ambienti non ossidanti dove le loro proprietà uniche possono essere sfruttate.

3.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Il pentossido di ditungsteno (W_2O_5 , pentossido di ditungsteno) possiede una conduttività moderata ma manca di caratteristiche ottiche significative, limitando la sua utilità a specifiche applicazioni elettriche. Al contrario, la variante dell'ossido blu di tungsteno ($W_{18}O_{49}$, variante dell'ossido blu di tungsteno) brilla per il suo aspetto blu e le eccellenti proprietà fotoelettriche, vantando una banda proibita di circa 2,4 eV, ideale per fotorivelatori e sensori. Nessuno dei due composti mostra un comportamento magnetico notevole, con il loro valore radicato nei domini elettrici e ottici.

Mancia

Altri ossidi di tungsteno, come la variante dell'ossido blu di tungsteno ($W_{18}O_{49}$, variante dell'ossido blu di tungsteno), stanno guadagnando terreno per il loro potenziale nella nanotecnologia e nell'optoelettronica, meritando una maggiore attenzione.

Fonti di informazione

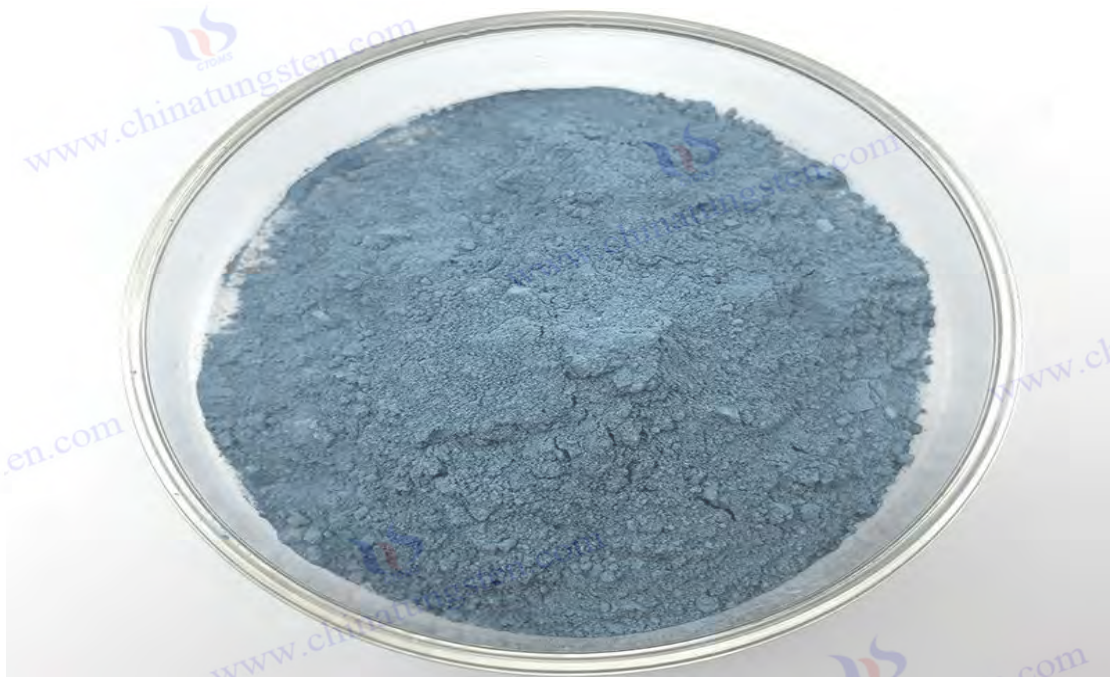
[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Referenze

- [1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
- [4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] *Documenti mineralogici nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn
- [16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 4: Preparazione e applicazioni dell'acido tungstico e del tungstato

4.1 Acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico)

L'acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico) è un membro fondamentale della famiglia chimica del tungsteno (W, tungsteno), che funge da precursore cruciale per numerosi composti del tungsteno, tra cui tungstati e ossidi. Rinomato per la sua bassa solubilità, reattività chimica e stabilità in ambienti acidi, l'acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico) svolge un ruolo essenziale sia nella produzione industriale che nella ricerca scientifica. Oltre alla sua utilità come intermedio per la sintesi di ossidi di tungsteno ad alta purezza, trova applicazioni nei catalizzatori, nei pigmenti e nella chimica analitica, dimostrando il suo valore versatile. I processi di preparazione e gli studi sulle proprietà dell'acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico) abbracciano secoli, evolvendosi dalla rudimentale estrazione di minerali alla sofisticata ingegneria chimica moderna, riflettendo la progressiva padronanza della chimica del tungsteno (W, tungsteno).

4.1.1 Processi di preparazione

La preparazione dell'acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico) comprende una serie di metodi, dalla tradizionale precipitazione acida alle tecniche di laboratorio avanzate, per soddisfare diversi livelli di purezza e requisiti applicativi.

Metodo di precipitazione acida (lisciviazione del minerale)

Il metodo di precipitazione acida è la tecnica industriale più ampiamente impiegata, in

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

genere a partire da minerali come [la wolframite \(\(Fe,Mn\)WO₄, Wolframite\)](#) o [la scheelite \(CaWO₄, Scheelite\)](#). Gli acidi forti (ad esempio, acido cloridrico o nitrico) vengono utilizzati per lisciviare il tungsteno dal minerale, formando il precipitato di acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico). Il processo prevede la miscelazione di minerale finemente macinato con acido, reagendo a 50-80°C con agitazione continua, durante la quale l'acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) precipita come un solido giallo. Segue la filtrazione e il lavaggio per ottenere un prodotto grezzo. A causa della sua dipendenza da materie prime abbondanti e della maturità del processo stabilita, questo metodo è ampiamente utilizzato dalle imprese di lavorazione del tungsteno in Cina, come quelle di Ganzhou, Jiangxi, dove il controllo preciso della concentrazione acida e della durata della reazione riduce al minimo le impurità come ferro e manganese.

Metodo dell'acidolisi del tungstato (conversione in soluzione)

Il metodo dell'acidolisi del tungstato produce acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) acidificando una soluzione solubile di tungstato, come [il tungstato di sodio \(Na₂WO₄, tungstato di sodio\)](#). Tipicamente, la soluzione di tungstato di sodio (Na₂WO₄, Tungstato di sodio) viene miscelata con acido cloridrico e il pH viene regolato a 2-3, spingendo l'acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) a precipitare. Dopo la filtrazione, il lavaggio e l'essiccazione a bassa temperatura (circa 100-150°C), si ottiene un prodotto di elevata purezza. Questa tecnica eccelle nel controllo dei livelli di impurità e nella produzione di particelle su scala nanometrica, rendendola ideale per le industrie chimiche fini e la ricerca di laboratorio, come la preparazione di precursori di catalizzatori o ossidi ad alta purezza, dove la qualità e la precisione sono fondamentali.

Metodo dello scambio ionico (preparazione ad alta purezza)

Il metodo dello scambio ionico è una tecnica moderna e di alta precisione che fa passare una soluzione contenente tungsteno (ad esempio, una soluzione di tungstato) attraverso una resina a scambio ionico per isolare gli ioni tungstato (WO₄²⁻), seguita dall'acidificazione (tipicamente con acido solforico) per precipitare l'acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico). Questo metodo è particolarmente efficace nella rimozione di tracce di impurità (ad esempio, ioni di metalli pesanti), producendo acido tungstico ad altissima purezza (H₂WO₄, acido tungstico) adatto per materiali elettronici, catalizzatori specializzati e reagenti analitici ad alta precisione. La scelta e la rigenerazione della resina sono fondamentali e incidono direttamente sulla purezza del prodotto e sui costi di produzione.

4.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

L'acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) presenta tipicamente una struttura cristallina ortorombica, con le sue molecole composte da un atomo di tungsteno coordinato con quattro atomi di ossigeno in una disposizione tetraedrica, in cui due atomi di ossigeno sono legati ad atomi di idrogeno tramite legami idrogeno. Studi cristallografici tedeschi indicano che questa struttura spiega la sua bassa solubilità in acqua (circa 0,02 g/100 mL)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

e la sua tendenza a decomporsi in [triossido di tungsteno \(WO₃, triossido di tungsteno\)](#) dopo il riscaldamento [16]. I legami idrogeno all'interno della sua struttura molecolare conferiscono una debole acidità (pKa intorno a 2,2), permettendogli di reagire con le basi per formare tungstati, una proprietà ampiamente sfruttata nella sintesi industriale.

4.1.3 Stabilità termica e chimica

L'acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) dimostra un'eccellente stabilità chimica a temperatura ambiente, resistendo alla corrosione della maggior parte degli acidi e delle basi. Tuttavia, in soluzioni fortemente alcaline (ad esempio, idrossido di sodio), si dissolve per formare tungstati come il tungstato di sodio (Na₂WO₄, tungstato di sodio). Termicamente, inizia a perdere acqua cristallina a 100-200°C, trasformandosi in triossido di tungsteno (WO₃, Tungsten Trioxide), con decomposizione completa che avviene intorno ai 250°C. Questo comportamento di decomposizione termica lo rende una materia prima vitale per la produzione di ossidi di tungsteno ad alta purezza, come notato nella ricerca chimica russa che evidenzia la sua stabilità in ambienti acidi come un vantaggio chiave nell'idrometallurgia [17].

4.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche dell'acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) sono relativamente modeste, con il suo aspetto giallo derivante da transizioni di elettroni all'interno della sua struttura cristallina, sebbene manchi di attività ottica significativa come l'elettrocromismo o la fluorescenza, limitandone l'uso diretto in applicazioni ottiche. Elettricamente, è un isolante con conduttività trascurabile, che si basa sul suo prodotto di decomposizione, il triossido di tungsteno (WO₃, triossido di tungsteno), per applicazioni elettriche. Magneticamente, l'acido tungstico (H₂WO₄, acido tungstico) non mostra proprietà degne di nota, poiché il suo valore primario risiede nella sua reattività chimica e nel ruolo di precursore piuttosto che nelle sue caratteristiche fisiche intrinseche.

Mancia

I versatili metodi di preparazione e il ruolo fondamentale dell'acido tungstico (H₂WO₄, Tungstic Acid) come precursore nella chimica del tungsteno (W, Tungsteno) ne sottolineano l'importanza; L'approvvigionamento dovrebbe concentrarsi sulla purezza e sulle caratteristiche delle particelle adattate alle applicazioni a valle.

4.2 Tungstato di sodio (Na₂WO₄, tungstato di sodio)

[Il tungstato di sodio \(Na₂WO₄, Sodium Tungstate\)](#) è il tungstato più diffuso e versatile, apprezzato per la sua eccellente solubilità in acqua, stabilità chimica e multifunzionalità, garantendone l'uso diffuso nella produzione industriale, nella ricerca medica e nella chimica analitica. Come tungstato solubile rappresentativo, il tungstato di sodio (Na₂WO₄,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sodium Tungstate) eccelle in applicazioni che vanno dai materiali ignifughi agli studi bioattivi e alla sintesi di altri composti di tungsteno, con una lunga storia che ha cementato il suo status di anello vitale nella catena dell'industria chimica del tungsteno.

4.2.1 Processi di preparazione

La preparazione di tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Tungstato di sodio) integra l'estrazione del minerale con tecniche di reazione basate su soluzione, rispondendo alle diverse esigenze di produzione su scala industriale e precisione di laboratorio.

Metodo di fusione alcalina (estrazione del minerale)

Il metodo di fusione alcalina prevede la reazione di wolframite ($(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite) o scheelite (CaWO_4 , Scheelite) con idrossido di sodio (NaOH) ad alte temperature ($600\text{-}800^\circ\text{C}$) per formare una soluzione di tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio). Il processo prevede la miscelazione del minerale in polvere con idrossido di sodio e il riscaldamento in un forno di fusione fino alla fusione, dove il tungsteno reagisce con il sodio per produrre tungstato di sodio solubile (Na_2WO_4 , Tungstato di sodio). Dopo il raffreddamento, le impurità vengono filtrate e la soluzione viene evaporata e cristallizzata per produrre cristalli bianchi. Questo metodo, favorito per l'uso efficiente delle risorse minerarie e per il funzionamento semplice, è la tecnica predominante nell'industria cinese della lavorazione del tungsteno, in particolare nei principali hub come lo Jiangxi e l'Hunan.

Metodo di neutralizzazione dell'acido tungstico (preparazione di laboratorio)

Il metodo di neutralizzazione dell'acido tungstico prepara il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Tungstato di sodio) neutralizzando l'acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico) con una soluzione di idrossido di sodio a temperatura ambiente ($20\text{-}40^\circ\text{C}$), dopo la reazione: $\text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$. La soluzione risultante viene concentrata per evaporazione e raffreddata per cristallizzare cristalli di tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Tungstato di sodio) diidrato. Questo semplice metodo è ideale per la produzione su piccola scala e ad alta purezza in laboratorio, comunemente utilizzato per la preparazione di soluzioni standard o reagenti nella ricerca scientifica e nella chimica analitica.

4.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio) esiste tipicamente come diidrato ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) con una struttura cristallina ortorombica. All'interno di questa struttura, un atomo di tungsteno si coordina con quattro atomi di ossigeno per formare un'unità tetraedrica stabile (WO_4^{2-}), mentre due atomi di sodio sono legati ionicamente allo ione tungstato e le molecole d'acqua sono incorporate tramite legame idrogeno. Studi cristallografici confermano che questa disposizione spiega la sua elevata solubilità in acqua (circa 730 g/L a 20°C), facilitandone l'uso in applicazioni acquose pur mantenendo la stabilità dei cristalli [19].

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2.3 Stabilità termica e chimica

Il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Tungstato di sodio) mostra una robusta stabilità termica in condizioni asciutte, resistendo fino a 300°C senza decomposizione. Al di sopra di questa temperatura, perde acqua cristallina, trasformandosi in tungstato di sodio anidro (Na_2WO_4), con una degradazione completa che richiede temperature intorno ai 700°C . Chimicamente, la sua soluzione acquosa è leggermente alcalina (pH 8-9) e sensibile agli acidi, convertendosi facilmente in acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico) in condizioni acide, ma resiste alla corrosione in ambienti neutri e leggermente alcalini, rendendola adattabile a una varietà di impostazioni di reazione [19].

4.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche del tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) sono insignificanti, con i suoi cristalli bianchi privi di attività ottica significativa come la fluorescenza o l'elettrocromismo, limitando così le sue applicazioni ottiche. Elettricamente, agisce come conduttore ionico in soluzione a causa della mobilità degli ioni sodio e tungstato, ma è un isolante in forma solida con conducibilità trascurabile. Magneticamente, il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) non mostra proprietà degne di nota, con la sua utilità derivata principalmente dai suoi attributi chimici, come la solubilità e la reattività, piuttosto che dalle caratteristiche fisiche.

Mancia

La solubilità in acqua e la stabilità chimica del tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) lo rendono prezioso nelle applicazioni ignifughe e biomediche; l'approvvigionamento dovrebbe considerare il contenuto di acqua cristallina e i livelli di impurità per prestazioni ottimali.

4.3 Altri Tungstati

Oltre all'acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico) e al tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio), la famiglia del tungstato comprende composti significativi come il [paratungstato di ammonio \(APT, \$\(\text{NH}_4\)_2\text{WO}_4\$, paratungstato di ammonio\)](#), [tungstato di calcio \(\$\text{CaWO}_4\$, tungstato di calcio\)](#) e [metatungstato di ammonio \(\$\(\text{NH}_4\)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}\$, metatungstato di ammonio\)](#). Questi tungstati eccellono nella produzione industriale, nella ricerca scientifica e nelle applicazioni specializzate, arricchendo l'ambito della chimica del tungsteno.

4.3.1 Processi di preparazione

I processi di preparazione di questi altri tungstati variano in base alle loro proprietà chimiche e agli usi previsti, dall'estrazione del minerale alle tecniche di sintesi in soluzione.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Scambio ionico e cristallizzazione per il paratungstato di ammonio

(APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Paratungstato di ammonio)

Il paratungstato di ammonio (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Paratungstato di ammonio) è tipicamente preparato da soluzioni di tungstato estratte da minerali di tungsteno, passate attraverso resine a scambio ionico per isolare gli ioni tungstato (WO_4^{2-}). L'ammoniaca viene quindi aggiunta per regolare il pH della soluzione a 7-8, innescando la precipitazione del paratungstato di ammonio (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, paratungstato di ammonio), che viene filtrato, lavato ed essiccato (circa 100-150°C) per produrre cristalli bianchi. Questo metodo è una pietra miliare dell'industria cinese del tungsteno, ampiamente utilizzato nella produzione di polvere di tungsteno (W Powder, Tungsten Powder), con produzioni annuali che raggiungono decine di migliaia di tonnellate in regioni come Jiangxi e Hunan.

Reazione di fusione per il tungstato di calcio

(CaWO_4 , Tungstato di Calcio)

Il tungstato di Calcio (CaWO_4 , Tungstato di Calcio) viene sintetizzato fondendo il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Tungstato di Sodio) con cloruro di calcio (CaCl_2) ad alte temperature (circa 800-1000°C), in seguito alla reazione: $\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{CaCl}_2 \rightarrow \text{CaWO}_4 + 2\text{NaCl}$. Il prodotto risultante si raffredda in cristalli bianchi, che vengono macinati e setacciati per l'uso. Questo processo semplice è comunemente impiegato per produrre materiali fluorescenti e componenti ottici, sfruttando la sua elevata stabilità termica per la scalabilità industriale.

Acidificazione Polimerizzazione per metatungstato di ammonio

($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Metatungstato di ammonio)

Il metatungstato di ammonio ($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Metatungstato di ammonio) è preparato acidificando una soluzione di paratungstato di ammonio (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Paratungstato di ammonio) e controllando il pH a 3-4, spingendo gli ioni tungstato a polimerizzare in ioni politungstato ($\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}^{6-}$). L'ammoniaca viene quindi aggiunta per stabilizzare la soluzione, seguita dalla cristallizzazione per produrre il prodotto finale. Questo metodo è studiato su misura per la produzione di catalizzatori e reagenti analitici ad alta purezza, sfruttando la sua struttura unica in polioossometallato.

4.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il paratungstato di ammonio (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, paratungstato di ammonio) presenta una complessa struttura cristallina monoclinica con più unità ottaedriche di tungsteno-ossigeno stabilizzate da ioni di ammonio attraverso il legame idrogeno, formando una robusta struttura composita. Il tungstato di calcio (CaWO_4 , Calcium Tungstate) adotta una struttura cristallina tetragonale simile alla scheelite naturale, con atomi di tungsteno che coordinano quattro atomi di ossigeno in una disposizione tetraedrica, supportati da ioni calcio tramite legami ionici. Il metatungstato di ammonio ($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Metatungstato di ammonio) presenta una struttura polioossometallata, comprendente un cluster di 12 ottaedri di tungsteno-ossigeno circondati da ioni ammonio, che conferisce una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

complessità molecolare distintiva adatta per applicazioni catalitiche.

4.3.3 Stabilità termica e chimica

Il paratungstato di ammonio (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, paratungstato di ammonio) ha una stabilità termica moderata, decomponendosi in triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) a 250-300°C con il rilascio di ammoniaca e vapore acqueo, e la sua stabilità chimica è suscettibile alle condizioni acide. Il tungstato di calcio (CaWO_4 , tungstato di calcio) vanta un'eccellente stabilità termica, temperature superiori a 1000°C e un'eccellente stabilità chimica, essendo quasi insolubile in acqua e resistente alla maggior parte degli acidi e delle basi, il che lo rende ideale per applicazioni ad alta temperatura. Il metatungstato di ammonio ($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Metatungstato di ammonio) perde acqua cristallina intorno ai 200°C e si decompone ulteriormente a temperature più elevate, con una stabilità chimica più debole che richiede protezione da acidi o basi forti per preservare la sua struttura di polioossometallato.

4.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Il paratungstato di ammonio (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Paratungstato di ammonio) manca di notevoli proprietà ottiche, apparendo come cristalli bianchi con attività ottica minima, ed è un isolante elettricamente e magneticamente inerte. Il tungstato di calcio (CaWO_4 , Calcium Tungstate) è rinomato per la sua fluorescenza, che emette luce blu sotto eccitazione UV (banda proibita ~4,2 eV), il che lo rende prezioso nei rivelatori di raggi X e nei materiali fluorescenti, sebbene rimanga un isolante senza proprietà magnetiche. Il metatungstato di ammonio ($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Metatungstato di ammonio) non mostra caratteristiche ottiche o magnetiche significative, ma mostra conducibilità ionica in soluzione, pur rimanendo un isolante in forma solida, con le sue applicazioni guidate principalmente dalle sue capacità catalitiche.

Mancia

Altri tungstati come il tungstato di calcio (CaWO_4 , Calcium Tungstate) e il metatungstato di ammonio ($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Metatungstato di ammonio) offrono vantaggi unici rispettivamente nella fluorescenza e nella catalisi; l'approvvigionamento dovrebbe essere in linea con le esigenze specifiche dell'applicazione per quanto riguarda il metodo di preparazione e la purezza.

Fonti di informazione

[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

Referenze

[1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2]

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Breve storia della chimica del tungsteno (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3]
Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com

[4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] *Registrazioni mineralogiche nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900

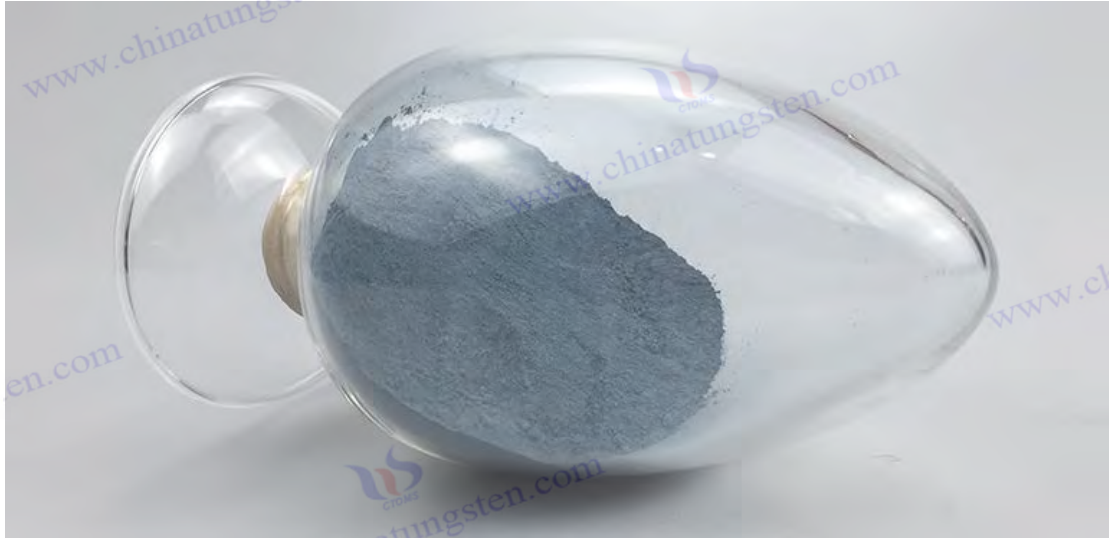
[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] *Industria cinese del tungsteno*: www.ctia.com.cn

[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] *Industria cinese del tungsteno*: www.ctia.com.cn

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



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno? Capitolo 5: Preparazione e applicazioni degli alogenuri di tungsteno

5.1 Esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Esacloruro di tungsteno)

[L'esacloruro di tungsteno \(\$WCl_6\$, esacloruro di tungsteno\)](#) è un membro di spicco della famiglia degli alogenuri di tungsteno (W, tungsteno), molto apprezzato sia in ambito industriale che di ricerca per la sua volatilità, elevata reattività e capacità catalitiche in varie reazioni chimiche. Come composto volatile di tungsteno, l'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Tungsten Hexachloride) si distingue per il suo caratteristico aspetto cristallino blu scuro e le eccezionali proprietà chimiche, che lo rendono prezioso nella sintesi organica, nella deposizione di film sottili e nella preparazione di catalizzatori. Il suo percorso dalla sintesi iniziale in laboratorio alle applicazioni industriali contemporanee riflette la continua evoluzione e l'approfondimento della chimica dell'alogenuro di tungsteno, posizionandola come un contributore unico al più ampio campo dei prodotti chimici del tungsteno (W, tungsteno).

5.1.1 Processi di preparazione

La preparazione dell'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , esacloruro di tungsteno) comprende una varietà di metodi, tra cui la clorazione diretta e le tecniche di riduzione del cloro, su misura per soddisfare diversi requisiti di purezza e applicazione.

Metodo di clorazione diretta

(Clorazione del metallo di tungsteno)

Il metodo di clorazione diretta prevede la reazione di un metallo di tungsteno (W, tungsteno) ad alta purezza, come la [polvere di tungsteno \(W Powder, Tungsten Powder\)](#),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

con il cloro gassoso (Cl_2) a temperature elevate (tipicamente $600\text{-}800^\circ\text{C}$) per produrre esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Tungsten Hexachloride). La reazione, $\text{W} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow \text{WCl}_6$, avviene in un reattore al quarzo sigillato per escludere ossigeno e umidità, con i cristalli blu scuro risultanti che si condensano dal prodotto gassoso. Questo metodo è favorito per la sua semplicità e immediatezza, che lo rendono un punto fermo nella produzione industriale, in particolare per l'esacloruro di tungsteno ad alta purezza (WCl_6 , Tungsten Hexachloride) utilizzato nella sintesi dei catalizzatori, dove sono essenziali rigorosi standard di qualità.

Metodo di riduzione del cloro

(Clorurazione dell'ossido)

Il metodo di riduzione del cloro prepara l'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Tungsten Hexachloride) facendo reagire il [triossido di tungsteno \(\$\text{WO}_3\$, Triossido di tungsteno\)](#) con cloro gassoso e un agente riducente (ad esempio, carbonio o idrogeno) a $500\text{-}700^\circ\text{C}$. Il controllo preciso del flusso e della temperatura del cloro è fondamentale per prevenire la formazione di cloruri inferiori, come il tetracloruro di tungsteno (WCl_4 , tetracloruro di tungsteno). Questo approccio è vantaggioso per i laboratori e la produzione su piccola scala, in quanto sfrutta sottoprodotti industriali come il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) per migliorare l'efficienza delle risorse e ridurre i costi.

Metodo di reazione in fase gassosa

(Preparazione ad alta purezza)

Il metodo di reazione in fase gassosa sintetizza l'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Esacloruro di tungsteno) facendo reagire il tungsteno (W , Tungsteno) o i suoi composti con il cloro gassoso in fase vapore a circa 800°C , seguito dalla condensazione in cristalli. Questa tecnica eccelle nell'eliminazione delle tracce di impurità, producendo esacloruro di tungsteno ad altissima purezza (WCl_6 , Tungsten Hexachloride) ideale per i materiali elettronici e la ricerca di catalizzatori di precisione, dove anche i contaminanti più piccoli possono influire in modo significativo sulle prestazioni.

5.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

L'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , esacloruro di tungsteno) adotta una struttura cristallina ottaedrica, con un atomo di tungsteno centrale coordinato a sei atomi di cloro, formando un'unità molecolare WCl_6 simmetrica. Studi cristallografici tedeschi evidenziano che questa coordinazione ottaedrica contribuisce alla sua elevata volatilità (punto di fusione circa 275°C , punto di ebollizione intorno a 347°C), facilitandone l'utilizzo nelle reazioni in fase gassosa [16]. Nella sua composizione molecolare, l'atomo di tungsteno si trova nello stato di ossidazione +6 e la forte elettronegatività degli atomi di cloro ne migliora la reattività, consentendogli di impegnarsi prontamente in reazioni di coordinazione o sostituzione con composti organici.

5.1.3 Stabilità termica e chimica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

L'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , esacloruro di tungsteno) mostra una moderata stabilità termica in condizioni anidra e prive di ossigeno, mantenendo la sua struttura cristallina al di sotto di $300\text{ }^\circ\text{C}$. Tuttavia, a temperature più elevate o in presenza di aria, si decompone in cloruri e cloro gassoso inferiori, richiedendo un'attenta manipolazione. Chimicamente, è altamente instabile in presenza di umidità, idrolizzandosi rapidamente in ambienti umidi per formare acido cloridrico (HCl) e ossicloruri di tungsteno, richiedendo lo stoccaggio e l'uso in atmosfere secche e inerti. La ricerca chimica russa sottolinea la sua elevata reattività, che lo rende un efficace agente clorurante e catalizzatore nella sintesi organica [17].

5.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche dell'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , esacloruro di tungsteno) sono caratterizzate dalla sua sorprendente forma cristallina blu scuro, risultante dalle transizioni elettroniche d-d dell'atomo di tungsteno, sebbene la sua attività ottica sia limitata nelle applicazioni pratiche. Elettricamente, è un isolante allo stato solido, ma in forma gassosa o in soluzione, può mostrare una leggera conduttività ionica a causa della decomposizione o delle interazioni con i solventi. Magneticamente, l'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Tungsten Hexachloride) non mostra proprietà significative, con la sua utilità primaria derivante dalla sua reattività chimica piuttosto che dalle caratteristiche fisiche.

Mancia

La preparazione dell'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , esacloruro di tungsteno) richiede una rigorosa esclusione di umidità e ossigeno; la sua elevata reattività lo rende un elemento di spicco nella catalisi e nella sintesi organica e l'approvvigionamento dovrebbe dare priorità alla purezza e alle condizioni di conservazione.

5.2 Esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno)

L'esfluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) è l'alogenuro di tungsteno più significativo dal punto di vista industriale, celebrato per la sua eccezionale volatilità e il ruolo fondamentale nell'industria dei semiconduttori. Come gas incolore, l'esfluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) è ampiamente utilizzato nella deposizione chimica da vapore (CVD) per produrre film sottili di tungsteno metallico, con la sua elevata reattività e stabilità che lo rendono indispensabile nella moderna microelettronica. L'evoluzione dalla sintesi di laboratorio alla produzione su larga scala evidenzia il suo contributo al progresso della chimica del tungsteno nelle applicazioni high-tech.

5.2.1 Processi di preparazione

La preparazione dell'esfluoruro di tungsteno (WF_6 , Tungsten Hexafluoride) si basa

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

principalmente su reazioni di fluorurazione, condotte in condizioni anidra per garantire la qualità del prodotto.

Metodo di fluorurazione diretta

(Reazione di tungsteno e fluoro)

Il metodo di fluorurazione diretta fa reagire il metallo di tungsteno ad alta purezza (W, tungsteno) metallico (ad esempio, polvere di tungsteno (W Powder, Tungsten Powder)) con il gas fluoro (F_2) a 300-500°C per formare gas esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno), seguendo la reazione: $W + 3F_2 \rightarrow WF_6$. Questo processo avviene in un reattore in lega di nichel resistente alla corrosione a causa della natura aggressiva del fluoro, con il prodotto gassoso condensato in forma liquida (punto di ebollizione 17,1°C) per la raccolta. Ampiamente adottato nell'industria per la sua elevata purezza e l'approccio diretto, questo metodo domina le applicazioni dei semiconduttori che richiedono rigorosi standard di qualità.

Metodo di fluorurazione dell'ossido

(Fluorurazione del triossido di tungsteno)

Il metodo della fluorurazione dell'ossido prepara l'esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) facendo reagire il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) con fluoruro di idrogeno (HF) o fluoro gassoso a 400-600°C. Questo processo richiede un attento controllo per evitare la formazione di fluoruri inferiori, sfruttando sottoprodotti industriali come il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) per ridurre i costi. È comunemente usato in laboratorio e nella produzione su piccola scala, offrendo un'alternativa economica per applicazioni specializzate.

5.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

L'esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) adotta una struttura molecolare ottaedrica sia allo stato gassoso che liquido, con un atomo centrale di tungsteno coordinato a sei atomi di fluoro, formando un'unità WF_6 simmetrica. La ricerca chimica giapponese rileva che questa disposizione ottaedrica è alla base della sua elevata volatilità e stabilità (punto di fusione 2,3°C, punto di ebollizione 17,1°C), rendendola ideale per la deposizione in fase gassosa [20]. L'atomo di tungsteno si trova nello stato di ossidazione +6 e la forte elettronegatività del fluoro migliora la forza di legame, garantendo stabilità in varie condizioni.

5.2.3 Stabilità termica e chimica

L'esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) mostra un'eccellente stabilità termica in condizioni anidra, rimanendo stabile come gas a temperatura ambiente. Tuttavia, a temperature superiori a 400 °C o in presenza di umidità, si decompone in fluoruro di idrogeno (HF) e ossidi di tungsteno, richiedendo una manipolazione controllata. Rispetto all'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Tungsten Hexachloride), è meno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sensibile all'acqua ma può essere ridotto a tungsteno (W, Tungsteno) o a fluoruri inferiori in ambienti fortemente riducenti, una proprietà che ne aumenta l'utilità nella deposizione di semiconduttori.

5.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

L'esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) è un gas incolore e trasparente senza attività ottica significativa, limitando le sue applicazioni ottiche. Elettricamente, non è conduttivo allo stato gassoso, ma la sua decomposizione in tungsteno metallico produce un'eccellente conduttività (resistività $\sim 5,6 \mu\Omega \text{ cm}$), cruciale per i film sottili conduttivi. Magneticamente, non mostra proprietà degne di nota, con il suo valore principalmente legato alla sua reattività e capacità di deposizione piuttosto che ai tratti fisici.

Mancia

La preparazione dell'esafluoruro di tungsteno (WF_6 , Tungsten Hexafluoride) richiede un ambiente anidro; Il suo ruolo fondamentale nell'industria dei semiconduttori lo rende un punto di riferimento tra gli alogenuri di tungsteno, con un approvvigionamento incentrato sulla purezza del gas e sull'integrità del contenimento.

5.3 Altri alogenuri di tungsteno

Oltre all'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , esacloruro di tungsteno) e all'esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno), la famiglia degli alogenuri di tungsteno comprende composti a bassa valenza come il tetracloruro di tungsteno (WCl_4 , tetracloruro di tungsteno) e il pentacloruro di tungsteno (WCl_5 , pentacloruro di tungsteno). Sebbene meno ampiamente applicati, questi alogenuri offrono valore in specifiche reazioni catalitiche e nella ricerca sui materiali.

5.3.1 Processi di preparazione

La preparazione di questi altri alogenuri di tungsteno avviene tipicamente su scala di laboratorio, richiedendo un controllo preciso delle condizioni di reazione.

Metodo di clorurazione di riduzione per tetracloruro di tungsteno (WCl_4 , tetracloruro di tungsteno)II

tetracloruro di tungsteno (WCl_4 , tetracloruro di tungsteno) viene sintetizzato riducendo parzialmente l'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , esacloruro di tungsteno) con idrogeno a 450-600°C in un'atmosfera inerte per prevenire l'ossidazione. Questa riduzione controllata garantisce la formazione dello stato tetravalente desiderato, ottenendo tipicamente un prodotto verde adatto ad applicazioni di nicchia.

Metodo di clorazione controllata per il pentacloruro di tungsteno (WCl_5 , Pentacloruro di tungsteno)II

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pentacloruro di tungsteno (WCl_5 , Pentacloruro di tungsteno) viene preparato clorogenando accuratamente il tungsteno (W, Tungsteno) o riducendo l'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Tungsteno esacloruro) con un apporto limitato di cloro a 500-700°C. Questo metodo richiede un dosaggio preciso del cloro per raggiungere lo stato pentavalente, producendo un materiale cristallino rosso scuro.

5.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il tetracloruro di tungsteno (WCl_4 , Tungsten Tetrachloride) presenta una struttura cristallina tetragonale, con l'atomo di tungsteno coordinato a quattro atomi di cloro in una disposizione planare quadrata, offrendo una stabilità moderata. Il pentacloruro di tungsteno (WCl_5 , pentacloruro di tungsteno) adotta una struttura bipyramidale trigonale con cinque atomi di cloro, mostrando una stabilità inferiore a causa del suo stato di ossidazione intermedio. Queste strutture determinano una volatilità ridotta rispetto agli alogenuri esavalenti.

5.3.3 Stabilità termica e chimica

Il tetracloruro di tungsteno (WCl_4 , tetracloruro di tungsteno) e il pentacloruro di tungsteno (WCl_5 , pentacloruro di tungsteno) hanno una stabilità termica limitata, decomponendosi in cloruri inferiori o cloro gassoso a 200-400°C. Chimicamente, entrambi sono altamente sensibili all'umidità, richiedendo uno stoccaggio sigillato per prevenire l'idrolisi, il che limita il loro uso pratico ad ambienti controllati.

5.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Il tetracloruro di tungsteno (WCl_4 , tetracloruro di tungsteno) appare verde e il pentacloruro di tungsteno (WCl_5 , Pentacloruro di tungsteno) è rosso scuro, ma nessuno dei due mostra un'attività ottica significativa. Elettricamente, entrambi sono isolanti e mancano di notevoli proprietà magnetiche, con le loro applicazioni principalmente focalizzate sulla ricerca catalitica piuttosto che sulle caratteristiche fisiche.

Mancia

Altri alogenuri di tungsteno come il tetracloruro di tungsteno (WCl_4 , tetracloruro di tungsteno) hanno un potenziale nella catalisi; la loro preparazione e stabilità richiedono un'attenta attenzione durante la manipolazione e l'uso.

Fonti di informazione

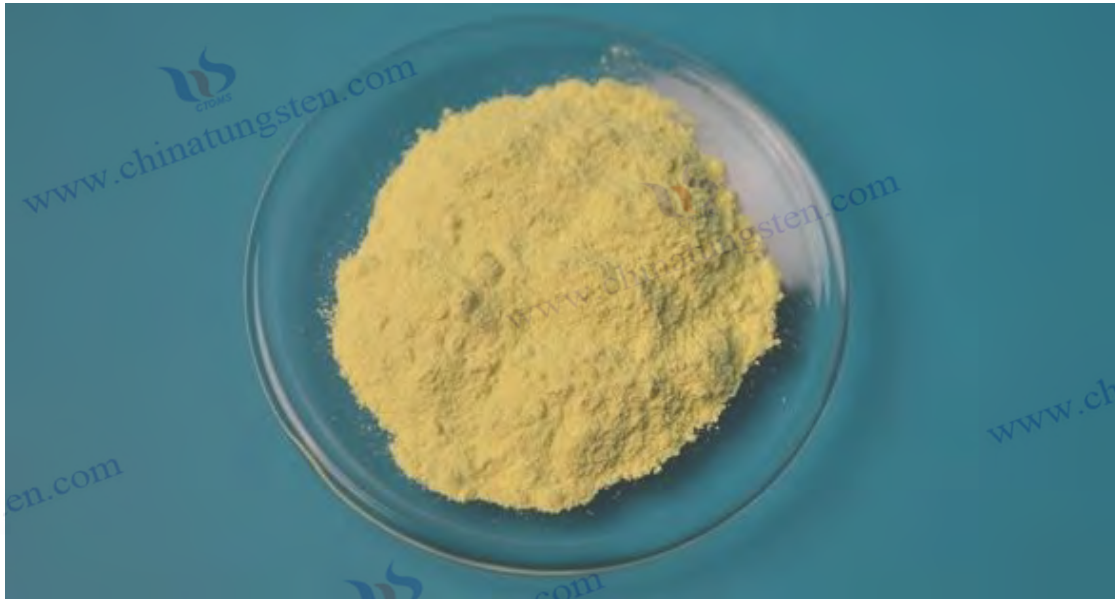
[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Referenze

- [1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
- [4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] *Documenti mineralogici nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn
- [16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 6: Preparazione e applicazioni dei carburi di tungsteno e dei nitruri

6.1 Carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno)

[Il carburo di tungsteno \(WC, carburo di tungsteno\)](#) è tra i composti più apprezzati a livello industriale e ampiamente applicati nella famiglia chimica del tungsteno (W, tungsteno), rinomato per la sua eccezionale durezza, resistenza all'usura e stabilità termica. Come pietra angolare dei carburi cementati, il carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno) svolge un ruolo indispensabile negli utensili da taglio, nelle attrezzature minerarie e nei rivestimenti resistenti all'usura. Il suo aspetto di polvere nera o grigio-nera smentisce la sua brillantezza nell'industria moderna, con una storia di sviluppo che va dai primi esperimenti di laboratorio alla produzione globalizzata di oggi, mostrando il profondo impatto della chimica del tungsteno sulla scienza dei materiali.

6.1.1 Processi di preparazione

La preparazione del carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno) comprende una varietà di metodi, tra cui la carbonizzazione ad alta temperatura e le reazioni in fase gassosa, su misura per soddisfare i diversi requisiti di purezza e dimensione delle particelle.

Metodo di carbonizzazione ad alta temperatura (Carbonizzazione della polvere di tungsteno)

Il metodo di carbonizzazione ad alta temperatura fa reagire [la polvere di tungsteno \(W Powder, Tungsten Powder\)](#) con una fonte di carbonio (ad esempio, nerofumo o grafite) a 1400-1600 °C per formare carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno), seguendo l'equazione: $W + C \rightarrow WC$. Questo processo viene tipicamente condotto in un'atmosfera

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sottovuoto o di idrogeno per prevenire l'ossidazione e controllare il contenuto di carbonio. Dopo la reazione, il prodotto viene macinato e setacciato per ottenere polvere di carburo di tungsteno finemente uniforme (WC, carburo di tungsteno). Grazie al suo processo maturo e all'economicità, questo metodo domina la produzione industriale, ampiamente adottata nella produzione di carburo cementato, in particolare nelle imprese di lavorazione del tungsteno su larga scala in Cina e in Europa.

Metodo di carbonizzazione in fase gassosa (Reazione chimica al vapore)

Il metodo di carbonizzazione in fase gassosa utilizza composti volatili di tungsteno, come [l'esafluoruro di tungsteno \(WF₆, esafluoruro di tungsteno\)](#), che reagiscono con gli idrocarburi (ad esempio, metano, CH₄) a 800-1000°C tramite una reazione chimica al vapore per produrre carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno). Questa tecnica può produrre particelle di carburo di tungsteno su scala nanometrica (WC, carburo di tungsteno), rendendola adatta per rivestimenti ad alte prestazioni e strumenti di precisione. La reazione avviene in reattori specializzati con un controllo preciso del flusso di gas per garantire una distribuzione uniforme delle particelle.

Metodo di sintesi del plasma (Preparazione di particelle ultrafini)

Il metodo di sintesi del plasma fa reagire rapidamente la polvere di tungsteno (W Powder, Tungsten Powder) con una fonte di carbonio in un ambiente plasma ad alta temperatura (>5000°C), producendo polvere di carburo di tungsteno ultrafine (WC, carburo di tungsteno) (dimensione delle particelle <100 nm). Questo metodo eccelle nella generazione di particelle ultrafini di elevata purezza, ideali per applicazioni avanzate come i rivestimenti resistenti all'usura nei materiali aerospaziali, sebbene i suoi elevati costi di attrezzatura lo limitino alla produzione di piccoli lotti e di alto valore.

6.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno) presenta una struttura cristallina esagonale, in cui gli atomi di tungsteno e carbonio si legano in un rapporto 1:1 attraverso forti legami covalenti, formando un reticolo strettamente impaccettato. Studi cristallografici tedeschi indicano che questa disposizione esagonale gli conferisce una durezza eccezionale (durezza Mohs ~9, seconda solo al diamante) e proprietà meccaniche superiori [16]. Nella sua composizione molecolare, il tungsteno contribuisce ad un'elevata densità (15,63 g/cm³), mentre il carbonio migliora la stabilità del reticolo, consentendogli di mantenere l'integrità strutturale in condizioni estreme.

6.1.3 Stabilità termica e chimica

Il carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno) vanta una notevole stabilità termica, mantenendo la sua struttura al di sotto di 2600 °C e mostra un'eccellente resistenza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

all'ossidazione, ossidandosi solo lentamente a triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) sopra i 600 °C in ambienti ricchi di ossigeno. Chimicamente, resiste alla corrosione di acidi e basi, anche se può essere gradualmente eroso in acidi fortemente ossidanti (ad esempio, acido nitrico). La ricerca russa sui materiali evidenzia la sua stabilità termica e inerzia chimica, rendendola la scelta ideale per materiali resistenti all'usura ad alta temperatura [17].

6.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche del carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno) sono insignificanti, con il suo aspetto nero o nero-grigiastro derivante dall'assorbimento di elettroni nella sua struttura cristallina, privo di notevole fluorescenza o attività ottica. Elettricamente, possiede una conduttività moderata (resistività $\sim 20 \mu\Omega \cdot \text{cm}$), significativamente inferiore al tungsteno metallico (W, tungsteno), ma sufficiente per applicazioni come la lavorazione a scarica elettrica. Magneticamente, il carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno) non mostra proprietà significative, con il suo valore principalmente radicato negli attributi meccanici piuttosto che nelle caratteristiche fisiche.

Mancia

I diversi metodi di preparazione e l'eccezionale durezza e resistenza all'usura del carburo di tungsteno (WC, Tungsten Carbide) lo rendono insostituibile nelle applicazioni industriali; L'approvvigionamento dovrebbe concentrarsi sulla dimensione e sulla purezza delle particelle su misura per usi specifici.

6.2 Nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno)

Il nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno) è un composto formato da tungsteno (W, tungsteno) e azoto, con un campo di applicazione più ristretto rispetto al carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno), ma ha un valore unico nei rivestimenti resistenti all'usura, nei materiali elettronici e nei film sottili ad alta durezza. Il suo aspetto grigio scuro e le eccellenti proprietà fisiche rendono il nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno) una gemma meno conosciuta all'interno della famiglia chimica del tungsteno, con la sua ricerca e sviluppo che apre nuove possibilità nella scienza dei materiali.

6.2.1 Processi di preparazione

La preparazione del nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno) si basa principalmente su tecniche di nitrurazione ad alta temperatura o di deposizione in fase gassosa, che richiedono un controllo preciso per garantire la qualità del prodotto.

Metodo di nitrurazione ad alta temperatura (Nitrurazione della polvere di tungsteno)

Il metodo di nitrurazione ad alta temperatura fa reagire la polvere di tungsteno (W Powder,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungsten Powder) con azoto gassoso (N_2) o ammoniaca (NH_3) a $1000-1200^\circ C$ per formare nitruro di tungsteno (WN, Nitruro di tungsteno), rappresentato dall'equazione: $W + N_2 \rightarrow WN$. Questo processo viene condotto in un'atmosfera sottovuoto o inerte per evitare l'interferenza dell'ossigeno, producendo una polvere grigio scuro. La sua semplicità e la capacità di utilizzare la polvere di tungsteno prontamente disponibile (W Powder, Tungsten Powder) lo rendono adatto alla produzione industriale.

Metodo di deposizione in fase gassosa (CVD o PVD)

Il metodo di deposizione in fase gassosa impiega la deposizione chimica da vapore (CVD) o la deposizione fisica da vapore (PVD) per far reagire l'esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) o il tungsteno (W, tungsteno) con una fonte di azoto (ad es. ammoniaca) a $600-900^\circ C$, formando film sottili di nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno). Questa tecnica produce film di elevata purezza, comunemente utilizzati per rivestimenti resistenti all'usura e componenti elettronici, che richiedono attrezzature specializzate per controllare lo spessore e l'uniformità del film.

6.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno) adotta tipicamente una struttura cristallina cubica, con atomi di tungsteno e azoto legati in un rapporto 1:1 attraverso una rete covalente. La ricerca cristallografica russa rileva che la sua struttura reticolare assomiglia a quella del carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno), sebbene l'incorporazione di azoto risulti in una durezza leggermente inferiore (durezza Mohs ~ 8) e una densità di circa $14,5 \text{ g/cm}^3$ [17]. I forti legami covalenti nella sua composizione molecolare contribuiscono alle sue robuste proprietà meccaniche e alla resistenza alla corrosione.

6.2.3 Stabilità termica e chimica

Il nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno) rimane stabile fino a circa $1000^\circ C$ in atmosfere inerti, ma si ossida a triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) al di sopra di $600^\circ C$ in condizioni ricche di ossigeno, mostrando una stabilità termica leggermente inferiore rispetto al carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno). Chimicamente, resiste alla corrosione di acidi e basi, anche se si decompone gradualmente in ambienti fortemente ossidanti (ad esempio, acido nitrico concentrato). La sua resistenza alla corrosione ne migliora l'idoneità per le applicazioni di rivestimento.

6.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche del nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno) sono insignificanti, con il suo aspetto grigio scuro privo di attività ottica significativa. Elettricamente, funziona come un semiconduttore (banda proibita $\sim 1,8-2,2 \text{ eV}$) con conduttività moderata, il che lo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rende praticabile per i materiali elettronici. Magneticamente, il nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno) non presenta proprietà degne di nota, con le sue applicazioni guidate principalmente da attributi meccanici ed elettrici.

Mancia

La preparazione del nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno) richiede un rigoroso controllo della nitrurazione e il suo potenziale nei rivestimenti resistenti all'usura e nei materiali elettronici merita ulteriori esplorazioni.

6.3 Altri carburi e nitruri di tungsteno

Oltre al carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno) e al nitruro di tungsteno (WN, nitruro di tungsteno), la famiglia del carburo di tungsteno e del nitruro comprende composti come il carburo di ditungsteno (W_2C , carburo di ditungsteno) e il carbonitruro di tungsteno ($WC_{1-x}N_x$, carbonitruro di tungsteno), che offrono un valore unico in specifiche applicazioni resistenti all'usura e ad alta temperatura.

6.3.1 Processi di preparazione

I processi di preparazione di questi altri carburi di tungsteno e nitruri comportano tipicamente reazioni ad alta temperatura o tecniche composite.

Metodo di carbonizzazione controllata per carburo di ditungsteno

(W_2C , carburo di ditungsteno)II

carburo di ditungsteno (W_2C , carburo di ditungsteno) viene sintetizzato facendo reagire il tungsteno (W, tungsteno) con il carbonio a 1200-1400 °C, controllando attentamente il rapporto del carbonio per evitare un'eccessiva formazione di carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno). Questo metodo garantisce la struttura in carburo bivalente desiderata.

Metodo di co-diffusione carbonio-azoto per il carbonitruro di tungsteno

($WC_{1-x}N_x$, carbonitruro di tungsteno)II

carbonitruro di tungsteno ($WC_{1-x}N_x$, carbonitruro di tungsteno) viene preparato facendo reagire il carburo di tungsteno (W, tungsteno) o il carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno) con azoto e una fonte di carbonio a 800-1000°C, formando una struttura composita attraverso la co-diffusione di atomi di carbonio e azoto.

6.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il carburo di ditungsteno (W_2C , carburo di ditungsteno) presenta una struttura cristallina esagonale con un rapporto tungsteno/carbonio di 2:1, che risulta in un reticolo meno denso rispetto al carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno). Il carbonitruro di tungsteno ($WC_{1-x}N_x$, carbonitruro di tungsteno) forma una struttura cristallina composita,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

con atomi di carbonio e azoto che si sostituiscono parzialmente per creare una soluzione solida, migliorandone le proprietà.

6.3.3 Stabilità termica e chimica

Il carburo di ditungsteno (W_2C , carburo di ditungsteno) rimane stabile al di sotto dei $2000^{\circ}C$ ma si decompone in atmosfere ossidanti. Il carbonitruro di tungsteno ($WC_{1-x}N_x$, carbonitruro di tungsteno) combina la stabilità di carburi e nitruri, resistendo a temperature fino a circa $1500^{\circ}C$, offrendo prestazioni robuste in condizioni difficili.

6.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Il carburo di ditungsteno (W_2C , carburo di ditungsteno) e il carbonitruro di tungsteno ($WC_{1-x}N_x$, carbonitruro di tungsteno) mancano di attività ottica significativa, con una conduttività elettrica moderata adatta ad applicazioni specifiche e nessuna proprietà magnetica degna di nota, il loro valore risiede nelle prestazioni meccaniche.

Mancia

Altri carburi di tungsteno e nitruri, come il carburo di ditungsteno (W_2C , carburo di ditungsteno), eccellono nella resistenza all'usura e negli usi ad alta temperatura; la selezione dovrebbe concentrarsi sulle loro proprietà specifiche per applicazioni mirate.

Fonti di informazione

[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

Referenze

[1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] *Documenti mineralogici nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] *Industria cinese del tungsteno*: www.ctia.com.cn
[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] *Industria cinese del tungsteno*: www.ctia.com.cn

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 7: Preparazione e applicazioni di solfuri e fosfuri di tungsteno

7.1 Disolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno)

[Il disolfuro di tungsteno \(\$WS_2\$, disolfuro di tungsteno\)](#) è uno dei solfuri più significativi all'interno della famiglia chimica del tungsteno (W, tungsteno), celebrato per la sua struttura stratificata unica, il basso coefficiente di attrito e l'eccezionale lubrificazione. Come lubrificante solido eccezionale, il bisolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno) trova ampie applicazioni nelle industrie meccaniche, negli ambienti ad alta temperatura e nella ricerca bidimensionale sui materiali. La sua forma di polvere o scaglie dal grigio intenso al nero nasconde notevoli capacità prestazionali, tracciando un percorso di sviluppo dai lubrificanti tradizionali alla nanotecnologia all'avanguardia, dimostrando i diversi contributi della chimica del tungsteno alla scienza dei materiali.

7.1.1 Processi di preparazione

La preparazione del disolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno) comprende una varietà di metodi, tra cui la solforazione ad alta temperatura e la deposizione chimica da vapore, su misura per soddisfare i diversi requisiti di dimensione e purezza delle particelle.

Metodo di solforazione ad alta temperatura

(Solfurazione in polvere di tungsteno)

Il metodo di solforazione ad alta temperatura fa reagire [la polvere di tungsteno \(W Powder, Tungsten Powder\)](#) con la polvere di zolfo (S) a temperature comprese tra 600 °C e 900 °C per produrre disolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno), seguendo l'equazione: $W + 2S \rightarrow WS_2$. Questo processo viene tipicamente condotto in un'atmosfera sottovuoto o inerte (ad esempio, argon) per prevenire l'ossidazione, producendo una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

polvere di colore grigio intenso. Dopo la reazione, il prodotto viene macinato e setacciato per ottenere particelle uniformi. Ampiamente utilizzato nella produzione industriale grazie alla sua semplicità e alle materie prime prontamente disponibili, questo metodo domina la produzione di materiali lubrificanti.

Metodo di deposizione chimica da vapore (CVD)

Il metodo di deposizione chimica da vapore (CVD) utilizza film sottili di [triossido di tungsteno \(\$WO_3\$, triossido di tungsteno\)](#) o [esafluoruro di tungsteno \(\$WF_6\$, esafluoruro di tungsteno\)](#) che reagiscono con l'idrogeno solforato (H_2S) a 400-700°C per formare film sottili di bisolfuro di tungsteno (WS_2 , bisolfuro di tungsteno). Questa tecnica può produrre disolfuro di tungsteno monostrato o multistrato (WS_2 , bisolfuro di tungsteno), rendendola ideale per la ricerca di materiali bidimensionali e dispositivi elettronici. La reazione avviene in reattori specializzati, che richiedono un controllo preciso del flusso di gas e della temperatura per garantire la qualità del film.

Metodo di esfoliazione meccanica (Preparazione di nanofogli)

Il metodo di esfoliazione meccanica separa i nanofogli dal disolfuro di tungsteno sfuso (WS_2 , disolfuro di tungsteno) utilizzando tecniche fisiche (ad esempio, esfoliazione a ultrasuoni o nastro adesivo), comunemente impiegate nei laboratori per preparare disolfuro di tungsteno monostrato ad alta purezza (WS_2 , disolfuro di tungsteno). Sebbene limitato nella resa, questo metodo preserva l'integrità della struttura stratificata, rendendolo prezioso per la ricerca fondamentale e l'esplorazione delle nanotecnologie.

7.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il disolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno) presenta una struttura cristallina a strati esagonali, con atomi di tungsteno inseriti tra due strati di atomi di zolfo, che formano un'unità bidimensionale simile a un "sandwich" tenuta insieme da deboli forze di van der Waals tra strati adiacenti. Studi cristallografici tedeschi indicano che questa struttura stratificata si traduce in una bassa resistenza al taglio (coefficiente di attrito $\sim 0,03-0,1$) e in un'elevata lubrificazione [16]. Nella sua composizione molecolare, ogni atomo di tungsteno si lega covalentemente con due atomi di zolfo, con una spaziatura tra gli strati di circa 6,18 Å, contribuendo alle sue eccellenti prestazioni nello scorrimento meccanico e nell'esfoliazione.

7.1.3 Stabilità termica e chimica

Il bisolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno) mostra un'eccezionale stabilità termica in atmosfere inerti, resistendo a temperature fino a circa 1200°C senza degradazione. Tuttavia, in ambienti ricchi di ossigeno, si ossida oltre i 350°C per formare triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) e anidride solforosa (SO_2), limitandone l'uso in condizioni di ossidazione ad alta temperatura. Chimicamente, resiste

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

alla corrosione di acidi e basi, ma si decompone gradualmente sotto forti ossidanti (ad esempio, perossido di idrogeno). La ricerca russa sui materiali evidenzia la sua stabilità termica e inerzia chimica, che lo rendono altamente efficace nelle applicazioni di lubrificazione ad alta temperatura [17].

7.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche del bisolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno) variano con lo spessore dello strato; il disolfuro di tungsteno a strato singolo (WS_2 , disolfuro di tungsteno) possiede una banda proibita diretta ($\sim 2,0$ eV), che mostra fluorescenza, mentre le forme multistrato hanno una banda proibita indiretta ($\sim 1,3$ eV), riducendo l'attività ottica. Elettricamente, funziona come un semiconduttore, con singoli strati che offrono una conduttività superiore rispetto ai multistrati, il che lo rende adatto per dispositivi optoelettronici. Dal punto di vista magnetico, il bisolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno) non mostra proprietà significative, con le sue applicazioni principalmente guidate dalla lubrificazione e dalle caratteristiche elettriche.

Mancia

I metodi di preparazione flessibili e la struttura stratificata del bisolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno) gli conferiscono un vantaggio unico nella lubrificazione e nei materiali bidimensionali; La selezione deve considerare il numero di strati e la purezza in base alle esigenze dell'applicazione.

7.2 Fosforo di tungsteno (WP, fosforo di tungsteno)

Il fosforo di tungsteno (WP, Fosforo di tungsteno) è un composto formato tra il tungsteno (W, Tungsteno) e il fosforo, con un campo di applicazione più limitato rispetto al disolfuro di tungsteno (WS_2 , Disolfuro di tungsteno), ma ha un valore specifico nei catalizzatori e nei materiali resistenti all'usura. Il suo aspetto grigio-nero e le eccellenti proprietà catalitiche posizionano il fosforo di tungsteno (WP, Tungsten Phosphide) come un attore discreto ma di grande impatto nella famiglia chimica del tungsteno, con la sua ricerca che contribuisce a nuove strade per la catalisi e la scienza dei materiali.

7.2.1 Processi di preparazione

La preparazione del fosforo di tungsteno (WP, Tungsten Phosphide) comporta principalmente tecniche di fosfatazione ad alta temperatura o di riduzione chimica, che richiedono un controllo preciso delle condizioni di reazione.

Metodo di fosfidazione ad alta temperatura (Fosfurazione in polvere di tungsteno)

Il metodo di fosfidazione ad alta temperatura fa reagire la polvere di tungsteno (W Powder, Tungsten Powder) con la polvere di fosforo (P) o la fosfina (PH_3) a $800-1000^\circ C$ per formare

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fosfuro di tungsteno (WP, Tungsten Phosprule), seguendo l'equazione: $W + P \rightarrow WP$. Questo processo avviene in un reattore sigillato per escludere l'ossigeno, producendo una polvere grigio-nera. È adatto sia per la produzione industriale che su piccola scala grazie al suo processo semplice e all'uso delle risorse di tungsteno disponibili.

Metodo di riduzione chimica

(Fosfurazione di ossido)

Il metodo di riduzione chimica prepara il fosfuro di tungsteno (WP, Fosfuro di tungsteno) facendo reagire il triossido di tungsteno (WO_3 , Triossido di tungsteno) con una fonte di fosforo (ad esempio, fosforo rosso) in un'atmosfera di idrogeno a 700-900°C. Questa tecnica è in grado di produrre particelle su scala nanometrica, ideali per lo sviluppo di catalizzatori, con un attento dosaggio del fosforo necessario per prevenire la formazione di fosfuri inferiori.

7.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il fosfuro di tungsteno (WP, Fosfuro di tungsteno) adotta tipicamente una struttura cristallina ortorombica, con atomi di tungsteno e fosforo legati in un rapporto 1:1 all'interno di una rete covalente. La ricerca indica che il suo reticolo relativamente denso (densità $\sim 12,5 \text{ g / cm}^3$) e l'incorporazione di fosforo ne migliorano l'attività catalitica [17]. I legami covalenti tungsteno-fosforo nella sua composizione molecolare contribuiscono alla sua elevata durezza e stabilità chimica.

7.2.3 Stabilità termica e chimica

Il fosfuro di tungsteno (WP, Fosfuro di tungsteno) rimane stabile fino a circa 900°C in atmosfere inerti, ma si ossida a triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) e ossidi di fosforo superiori a 500°C in condizioni ricche di ossigeno. Chimicamente, resiste alla corrosione di acidi e basi, ma si decompone gradualmente sotto forti ossidanti, con la sua stabilità che ne supporta le prestazioni nelle reazioni catalitiche.

7.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Il fosfuro di tungsteno (WP, Tungsten Phosprule) non mostra alcuna attività ottica significativa, con il suo aspetto grigio-nero privo di tratti ottici distintivi. Elettricamente, è un semiconduttore a banda proibita stretta ($\sim 0,8-1,2 \text{ eV}$) con conducibilità moderata, adatto come supporto catalizzatore. Magneticamente, non mostra proprietà degne di nota, con il suo valore primario derivato dalle capacità catalitiche.

Mancia

La preparazione del fosfuro di tungsteno (WP, Tungsten Phosprule) richiede un controllo preciso della fosfatazione e il suo potenziale nella catalisi merita ulteriore attenzione.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.3 Altri solfuri e fosfuri di tungsteno

Oltre al disolfuro di tungsteno (WS_2 , disolfuro di tungsteno) e al fosfuro di tungsteno (WP, fosfuro di tungsteno), la famiglia del solfuro di tungsteno e del fosfuro comprende composti come il trisolfuro di ditungsteno (W_2S_3 , trisolfuro di ditungsteno) e il difosfuro di tungsteno (WP_2 , difosfuro di tungsteno), che offrono vantaggi distinti in specifiche applicazioni di catalisi e alta durezza.

7.3.1 Processi di preparazione

La preparazione di questi altri solfuri e fosfuri di tungsteno comporta tipicamente tecniche di reazione ad alta temperatura.

Metodo di solforazione controllata per il trisolfuro di ditungsteno (W_2S_3 , trisolfuro di ditungsteno)

Il trisolfuro di ditungsteno (W_2S_3 , trisolfuro di ditungsteno) viene sintetizzato facendo reagire il tungsteno (W, tungsteno) con lo zolfo a 500-700 °C, controllando il rapporto di zolfo per evitare un eccesso di solforazione.

Metodo di fosfidazione ad alta temperatura per il difosfuro di tungsteno (WP_2 , Difosfuro di tungsteno)

Il difosfuro di tungsteno (WP_2 , Difosfuro di tungsteno) viene preparato facendo reagire il tungsteno (W, Tungsteno) con l'eccesso di fosforo a 900-1100°C, formando un composto ricco di fosforo.

7.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il trisolfuro di ditungsteno (W_2S_3 , trisolfuro di ditungsteno) presenta una struttura cristallina ortorombica con un rapporto tungsteno-zolfo di 2:3, risultando in un reticolo relativamente sciolto. Il difosfuro di tungsteno (WP_2 , Difosfuro di tungsteno) adotta una struttura monoclinica con un rapporto tungsteno/fosforo di 1:2, potenziandone l'attività catalitica.

7.3.3 Stabilità termica e chimica

Il trisolfuro di ditungsteno (W_2S_3 , trisolfuro di ditungsteno) rimane stabile al di sotto di 800°C ma si ossida facilmente in condizioni ricche di ossigeno. Il difosfuro di tungsteno (WP_2 , difosfuro di tungsteno) resiste a temperature fino a circa 1000°C, mostrando una forte stabilità chimica.

7.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Il trisolfuro di ditungsteno (W_2S_3 , trisolfuro di ditungsteno) e il difosfuro di tungsteno (WP_2 , difosfuro di tungsteno) mancano di un'attività ottica significativa, mostrano una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

conduttività elettrica moderata adatta per applicazioni specifiche e non mostrano proprietà magnetiche degne di nota, con il loro valore principalmente nelle prestazioni catalitiche.

Mancia

Altri solfuri e fosfuri di tungsteno, come il trisolfuro di ditungsteno (W_2S_3 , Ditungsten Trisulfure), offrono vantaggi unici nella catalisi; la selezione dovrebbe concentrarsi sulla loro composizione chimica.

Fonti di informazione

[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

Referenze

[1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] *Documenti mineralogici nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn
[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 8:

Preparazione e applicazioni dei composti organometallici di tungsteno

8.1 Tungsteno esacarbonile ($W(CO)_6$, Tungsteno esacarbonile)

L'esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, esacarbonile di tungsteno) è il composto organometallico più rappresentativo del tungsteno (W, tungsteno), rinomato per la sua elevata volatilità, attività chimica di coordinazione e capacità catalitiche nella sintesi organica. Come classico composto carbonilico metallico, l'esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) dimostra un ampio potenziale applicativo nella preparazione di catalizzatori, reazioni organiche e deposizione di film sottili. Il suo aspetto cristallino bianco e l'odore caratteristico smentiscono il suo ruolo centrale in chimica, con una traiettoria di sviluppo dalla ricerca di laboratorio alle applicazioni industriali che evidenzia l'estensione della chimica del tungsteno nel regno della chimica organica.

8.1.1 Processi di preparazione

La preparazione dell'esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) prevede diversi metodi, tra cui la carbonilazione ad alta pressione e le tecniche di carbonilazione riduttiva, su misura per soddisfare le diverse esigenze di purezza e applicazione.

Metodo di carbonilazione ad alta pressione (Carbonilazione della polvere di tungsteno)

Il metodo di carbonilazione ad alta pressione fa reagire la polvere di tungsteno (W

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[Powder, Tungsten Powder](#)) con il monossido di carbonio (CO) ad alta pressione (100-200 atm) e temperature elevate (200-300 °C) per produrre esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, Tungsteno esacarbonile), seguendo l'equazione: $W + 6CO \rightarrow W(CO)_6$. Questo processo richiede un'autoclave ad alta pressione, spesso con l'aggiunta di catalizzatori (ad es. ioduri) per migliorare l'efficienza della reazione. Il prodotto precipita sotto forma di cristalli bianchi, che vengono purificati mediante sublimazione per produrre esacarbonile di tungsteno ad alta purezza ($W(CO)_6$, Tungsteno esacarbonile). Questo metodo è un pilastro sia in ambito industriale che di laboratorio grazie alla sua immediatezza e all'elevata resa.

Metodo di carbonilazione riduttiva (Riduzione degli alogenuri)

Il metodo di carbonilazione riduttiva prepara l'esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, esacarbonile di tungsteno) facendo reagire [l'esacloruro di tungsteno \(\$WCl_6\$, esacloruro di tungsteno\)](#) con il monossido di carbonio in presenza di un agente riducente (ad esempio, polvere di zinco o alluminio) a 150-250°C. Questa reazione deve avvenire in condizioni anidra e prive di ossigeno per prevenire la formazione di sottoprodotti. Adatto per la produzione su piccola scala, questo metodo sfrutta gli alogenuri di tungsteno intermedi, migliorando l'utilizzo delle risorse ed è comunemente usato per la sintesi di composti organometallici ad alta purezza.

Metodo di sintesi in fase gassosa (Preparazione ad alta purezza)

Il metodo di sintesi in fase gassosa prevede la reazione del tungsteno (W, tungsteno) o dei suoi composti con il monossido di carbonio in fase vapore ad alta pressione (50-100 atm) e temperature intorno ai 300°C, formando direttamente il gas esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, Tungsteno esacarbonile), che viene poi condensato in cristalli. Questa tecnica eccelle nell'eliminazione delle impurità in tracce, producendo esacarbonile di tungsteno ad altissima purezza ($W(CO)_6$, Tungsteno esacarbonile) ideale per i materiali elettronici e la ricerca sui catalizzatori di precisione.

8.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

L'esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, esacarbonile di tungsteno) adotta una struttura cristallina ottaedrica, con un atomo di tungsteno centrale coordinato a sei leganti carbonilici (CO) tramite legami di coordinazione, formando un'unità molecolare simmetrica $W(CO)_6$. Studi cristallografici tedeschi indicano che questa configurazione ottaedrica contribuisce alla sua elevata volatilità (punto di fusione ~170°C, punto di sublimazione ~175°C), rendendola altamente efficace nelle reazioni in fase gassosa [16]. Nella sua composizione molecolare, l'atomo di tungsteno si trova in uno stato di ossidazione zero, con le forti proprietà σ -donatrici e π -accettore dei ligandi carbonilici che ne migliorano la stabilità chimica, facilitando le reazioni di coordinamento o sostituzione con altri ligandi nei processi organici.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.1.3 Stabilità termica e chimica

L'esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, esacarbonile di tungsteno) mostra una moderata stabilità termica in condizioni prive di ossigeno e acqua, mantenendo la sua struttura cristallina al di sotto di circa $150^{\circ}C$. Tuttavia, a temperature più elevate o nell'aria, si decompone in monossido di carbonio e ossidi di tungsteno. Chimicamente, è relativamente instabile, sensibile alla luce e all'ossigeno, si decompone sotto irradiazione UV o in presenza di ossigeno in tungsteno (W , tungsteno) e monossido di carbonio, richiedendo lo stoccaggio e la manipolazione in un'atmosfera inerte. La ricerca chimica russa evidenzia la sua elevata attività di coordinazione, posizionandolo come un efficace precursore catalizzatore nella sintesi organica [17].

8.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche dell'esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) sono evidenti nel suo aspetto cristallino bianco, derivante da transizioni elettroniche che coinvolgono i leganti carbonilici, sebbene abbia un'utilità limitata nelle applicazioni ottiche. Elettricamente, è un isolante allo stato solido, ma in forma gassosa o in soluzione, può mostrare una leggera conduttività dovuta alla decomposizione. Magneticamente, l'esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, Tungsten esacarbonile) non mostra proprietà significative, con le sue applicazioni primarie che si basano sulla sua chimica di coordinazione piuttosto che sulle caratteristiche fisiche.

Mancia

La preparazione dell'esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, Tungsten esacarbonile) richiede una rigorosa esclusione di ossigeno e luce; la sua attività di coordinamento offre vantaggi significativi nella catalisi e nella sintesi organica, con l'approvvigionamento che si concentra sulla purezza e sulle condizioni di conservazione.

8.2 Dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , Dicloruro di tungstenocene)

Il dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , dicloruro di tungstenocene) è un composto organometallico chiave del tungsteno, che si distingue per la sua struttura metallocenica stabile e la reattività in chimica organometallica. Come membro della famiglia dei metalloceni, il dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) ha un valore unico nella preparazione di catalizzatori, nella sintesi organica e nella ricerca sulla scienza dei materiali. Il suo aspetto cristallino verde e la versatilità chimica lo distinguono tra i prodotti chimici di tungsteno, con il suo studio che fa progredire l'applicazione dei composti organometallici di tungsteno nella chimica moderna.

8.2.1 Processi di preparazione

La preparazione del dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , dicloruro di tungstenocene) si basa principalmente su tecniche di reazione di coordinazione, condotte in condizioni

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

anidra e prive di ossigeno per garantire la qualità del prodotto.

Metodo di coordinazione degli alogenuri

(Reazione dell'esacloruro di tungsteno)

Il metodo di coordinazione degli alogenuri sintetizza il dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , Dicloruro di tungstenocene) facendo reagire l'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Esacloruro di tungsteno) con il ciclopentadienide di sodio (NaCp) in un solvente come il tetraidrofurano (THF) a temperature comprese tra -78°C e temperatura ambiente, seguendo l'equazione: $\text{WCl}_6 + 2\text{NaCp} \rightarrow \text{Cp}_2\text{WCl}_2 + 2\text{NaCl} + 2\text{Cl}_2$. Questo processo richiede un'atmosfera inerte (ad esempio, azoto o argon), con il prodotto di reazione estratto e ricristallizzato per produrre cristalli verdi. Predominante nella sintesi di laboratorio, questo metodo consente un controllo preciso della coordinazione del ligando, ideale per la produzione di dicloruro di tungstenocene ad alta purezza (Cp_2WCl_2 , dicloruro di tungstenocene).

Metodo di coordinazione riduttivo

(Substrato di triossido di tungsteno)

Il metodo di coordinazione riduttiva prepara il dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , Dicloruro di tungstenocene) facendo reagire il [triossido di tungsteno \(\$\text{WO}_3\$, Triossido di tungsteno\)](#) con un agente riducente (ad esempio, polvere di zinco) e ciclopentadiene (C_5H_6) in presenza di un agente clorurante (ad esempio, PCl_5) a $100-150^\circ\text{C}$. Condotta in condizioni anidra, il prodotto è ottenuto mediante estrazione e purificazione con solvente. Questo metodo si adatta alla produzione su piccola scala, sfruttando le materie prime di ossido per ridurre i costi, ed è comunemente usato nella ricerca di chimica organometallica.

8.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , dicloruro di tungstenocene) adotta una struttura cristallina a sandwich, con due leganti ciclopentadienilici (Cp) paralleli tra loro attorno a un atomo centrale di tungsteno e due atomi di cloro posizionati sul lato opposto, formando una struttura a quattro coordinate. La ricerca chimica giapponese indica che questa configurazione a sandwich migliora la sua stabilità (decomposizione a $\sim 230^\circ\text{C}$), con il tungsteno nello stato di ossidazione +4 e le nuvole di π elettroni dei leganti ciclopentadienilici che formano forti legami di coordinazione con il tungsteno [20]. La composizione molecolare, caratterizzata da leganti Cp, conferisce il suo carattere organometallico, consentendo un'elevata reattività nei processi catalitici.

8.2.3 Stabilità termica e chimica

Il dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , dicloruro di tungstenocene) mostra una buona stabilità termica in condizioni prive di ossigeno, mantenendo la sua struttura al di sotto di circa 200°C . Tuttavia, in presenza di ossigeno o umidità, si decompone in ossidi di tungsteno e sottoprodotti organici, richiedendo lo stoccaggio in atmosfera inerte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chimicamente, ha una stabilità moderata, essendo sensibile all'acqua e agli ossidanti, con la sua struttura di coordinazione che contribuisce a una significativa reattività nelle reazioni organiche, come notato in studi di ricerca [21].

8.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche del dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , dicloruro di tungstenocene) si riflettono nel suo aspetto cristallino verde, derivante dalle transizioni di elettroni d dell'atomo di tungsteno, sebbene manchi di una significativa utilità ottica. Elettricamente, è un isolante allo stato solido senza conduttività notevole. Magneticamente, il dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , dicloruro di tungstenocene) non mostra proprietà significative a causa dell'accoppiamento degli elettroni d del tungsteno, con le sue applicazioni guidate principalmente dalla reattività chimica piuttosto che da tratti fisici.

Mancia

La preparazione del dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , dicloruro di tungstenocene) richiede condizioni anidra e prive di ossigeno; la sua struttura a sandwich stabile offre un potenziale nella catalisi organometallica, con l'approvvigionamento che enfatizza la purezza e la stabilità.

8.3 Altri composti organometallici di tungsteno

Oltre all'esacarbonile di tungsteno ($\text{W}(\text{CO})_6$, esacarbonile di tungsteno) e al dicloruro di tungstenocene (Cp_2WCl_2 , Dicloruro di tungstenocene), la famiglia dei composti organometallici di tungsteno comprende il tetracarbonile di tungstenocene ($\text{CpW}(\text{CO})_4$, Tungstenocene Tetracarbonil) e i composti alchilici di tungsteno (ad esempio, $\text{W}(\text{CH}_3)_6$, Esametiltungsteno), che hanno un valore specifico nella ricerca sulla catalisi e sulla sintesi organica.

8.3.1 Processi di preparazione

La preparazione di questi altri composti organometallici di tungsteno comporta tipicamente tecniche di sintesi di laboratorio con un controllo preciso delle condizioni di reazione.

Metodo di coordinazione carbonilica per il tetracarbonile tungstenocenoico ($\text{CpW}(\text{CO})_4$, Tungstenocene Tetracarbonil)

Il Tungstenocene tetracarbonile ($\text{CpW}(\text{CO})_4$, Tungstenocene Tetracarbonil) viene sintetizzato facendo reagire il tungstenocene dicloruro (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene dicloruro) con monossido di carbonio ad alta pressione (50-100 atm) e basse temperature (0-50°C), evitando un'eccessiva carbonilazione per garantire il prodotto desiderato.

Metodo di alchilazione per l'esametiltungsteno ($\text{W}(\text{CH}_3)_6$, Esametiltungsteno)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

L'esametiltungsteno ($W(CH_3)_6$, Esametiltungsteno) è preparato facendo reagire l'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Esacloruro di tungsteno) con metillitio (CH_3Li) a $-78^\circ C$ in condizioni estremamente secche, che richiedono una manipolazione meticolosa a causa della sua instabilità.

8.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il tetracarbonile del tungstenocene ($CpW(CO)_4$, Tungstenocene Tetracarbonil) presenta una struttura di coordinazione monociclopentadienilica, con il tungsteno legato a un ligando Cp e quattro leganti CO, formando una disposizione a cinque coordinate. L'esameltungsteno ($W(CH_3)_6$, Esameltungsteno) adotta una struttura ottaedrica, con sei leganti metilici che circondano l'atomo di tungsteno, sebbene la sua stabilità sia notevolmente bassa.

8.3.3 Stabilità termica e chimica

Il tetracarbonile del tungstenocene ($CpW(CO)_4$, Tungstenocene Tetracarbonil) è stabile al di sotto dei $150^\circ C$ ma si decompone facilmente in ambienti ricchi di ossigeno. L'esameltungsteno ($W(CH_3)_6$, esametiltungsteno) è estremamente instabile, si decompone a temperatura ambiente e richiede la conservazione a basse temperature.

8.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Il tetracarbonile del tungstenocene ($CpW(CO)_4$, Tetracarbonile del tungstenocene) e l'esametiltungsteno ($W(CH_3)_6$, Esametiltungsteno) non mostrano un'attività ottica significativa, sono isolanti elettricamente e mancano di notevoli proprietà magnetiche, con il loro valore principalmente nell'attività catalitica piuttosto che nelle caratteristiche fisiche.

Mancia

Altri composti organometallici di tungsteno offrono un potenziale nella ricerca sulla catalisi; La selezione dovrebbe concentrarsi sulla loro stabilità e reattività.

Fonti di informazione

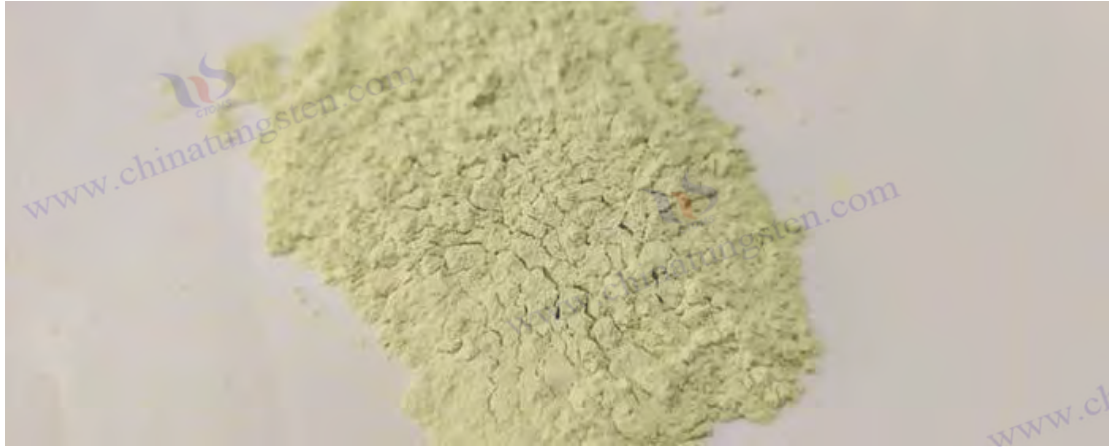
[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

Referenze

[1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925 [12] *Record mineralogici nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] *Industria cinese del tungsteno*: www.ctia.com.cn [16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] *Industria cinese del tungsteno*: www.ctia.com.cn



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 9:

Preparazione e applicazioni di catalizzatori e reagenti contenenti tungsteno

9.1 Acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico)

[L'acido fosfotungstico \(\$H_3PW_{12}O_{40}\$, acido fosfotungstico\)](#) è uno dei catalizzatori e reagenti contenenti tungsteno più rappresentativi e ampiamente applicati, rinomato per la sua forte acidità, l'elevata attività catalitica e la stabilità in varie reazioni. Come tipico acido eteropolistico, l'acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico) eccelle nella sintesi organica, nei processi petrolchimici e nella chimica analitica. Il suo aspetto cristallino bianco o giallo pallido smentisce il suo ruolo fondamentale nella catalisi, con una traiettoria di sviluppo dagli studi di laboratorio alle applicazioni industriali che sottolinea il profondo impatto della chimica del tungsteno nel dominio catalitico.

9.1.1 Processi di preparazione

La preparazione dell'acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico) comprende diversi metodi, tra cui la precipitazione acida e le tecniche di purificazione per estrazione, su misura per soddisfare i diversi requisiti di purezza e applicazione.

Metodo di precipitazione acida

(Reazione del tungstato)

Il metodo di precipitazione acida prevede la reazione [del tungstato di sodio \(\$Na_2WO_4\$, Tungstato di sodio\)](#) con l'acido fosforico (H_3PO_4) in condizioni acide (tipicamente regolato a pH 1-2 con acido cloridrico o solforico) per formare acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico). L'equazione di reazione è: $12Na_2WO_4 + H_3PO_4 + 21HCl \rightarrow H_3PW_{12}O_{40} + 24NaCl + 12H_2O$. Condotta a 50-80°C, il prodotto precipita sotto forma di cristalli bianchi o giallo pallido, che vengono filtrati, lavati e asciugati (a ~100-150°C) per ottenere il prodotto finale. La semplicità di questo metodo e l'uso di materie prime accessibili lo rendono prevalente sia in ambito industriale che di laboratorio.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Metodo di purificazione dell'estrazione

(Estrazione in soluzione)

Il metodo di purificazione dell'estrazione prepara l'acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico) acidificando una soluzione contenente tungsteno (ad esempio, soluzione di tungstato) con acido fosforico, seguita dall'estrazione con un solvente organico (ad esempio, etere etilico o butanone) e successiva evaporazione e cristallizzazione del solvente per ottenere un prodotto puro. Questa tecnica rimuove efficacemente le impurità, producendo acido fosfotungstico di elevata purezza ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico), comunemente utilizzato nei reagenti analitici e nella ricerca di catalizzatori di precisione in ambienti di laboratorio.

Metodo di scambio ionico

(Preparazione ad alta purezza)

Il metodo dello scambio ionico mescola una soluzione di tungstato con acido fosforico, la fa passare attraverso una resina a scambio ionico per isolare gli ioni fosfotungstato e quindi acidifica la soluzione per precipitare l'acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico). Questo metodo eccelle nel controllo delle impurità in tracce, rendendolo adatto per la preparazione di prodotti ad altissima purezza, spesso impiegato in catalisi avanzata e studi scientifici.

9.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

L'acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico) adotta una struttura di acido eteropolio di tipo Keggin, con un atomo centrale di fosforo circondato da 12 ottaedri di tungsteno-ossigeno, che formano una molecola simile a una gabbia altamente simmetrica. Studi cristallografici tedeschi rivelano che questa struttura conferisce una forte acidità ($pK_a < 0$) e un'elevata attività catalitica, con il cristallo che tipicamente contiene più molecole d'acqua (comunemente $H_3PW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$, $n \approx 14-30$) [16]. Nella sua composizione molecolare, il tungsteno si trova nello stato di ossidazione +6, il fosforo nello stato +5, collegato tramite ponti di ossigeno per creare una struttura tridimensionale stabile che mantiene l'integrità in varie condizioni di reazione.

9.1.3 Stabilità termica e chimica

L'acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico) mostra una buona stabilità termica in condizioni asciutte, mantenendo la sua struttura al di sotto di circa 300°C, al di sopra della quale perde acqua cristallina e si decompone gradualmente in triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) e ossidi di fosforo. Chimicamente, è eccezionalmente stabile in ambienti acidi, ma si decompone in tungstati e fosfati in condizioni fortemente alcaline. La ricerca russa sulla catalisi evidenzia la sua forte acidità e stabilità, che lo rendono altamente efficace nelle reazioni catalizzate da acido [17].

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche dell'acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico) sono insignificanti, con i suoi cristalli bianchi o giallo pallido privi di attività ottica significativa, principalmente per scopi chimici piuttosto che ottici. Elettricamente, è un isolante allo stato solido, ma presenta una conduttività ionica in soluzione a causa della sua forte acidità. Magneticamente, l'acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico) non mostra proprietà degne di nota, con il suo valore radicato nelle sue prestazioni catalitiche e nell'acidità.

Mancia

I metodi di preparazione flessibili e la forte acidità dell'acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico) offrono vantaggi significativi nella catalisi; l'approvvigionamento dovrebbe considerare la sua purezza e il suo stato di idratazione.

9.2 Acido silico-ungungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silico-congiungistico)

L'acido silicotungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico) è un altro acido eteropolistico contenente tungsteno cruciale, che si distingue per la sua elevata acidità, attività redox e versatilità nella sintesi organica e nelle reazioni catalitiche. Come acido eteropolistico di tipo Keggin, l'acido silicotungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico) trova ampie applicazioni nella catalisi acida, nelle reazioni di ossidazione e nella ricerca sulle celle a combustibile. Il suo aspetto cristallino incolore o giallo chiaro nasconde le sue potenti capacità catalitiche, con il suo studio e la sua applicazione che ampliano le frontiere della chimica del tungsteno nei campi della chimica verde e dell'energia.

9.2.1 Processi di preparazione

La preparazione dell'acido silicotungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico) comporta principalmente tecniche di reazione acida e di estrazione, condotte in condizioni acide.

Metodo di reazione acida

(Reazione del silicato di sodio e del tungstato)

Il metodo di reazione acida sintetizza l'acido silicotungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico) facendo reagire il silicato di sodio (Na_2SiO_3) con il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio) in una soluzione acida (regolata a pH 1-2 con acido cloridrico) a 60-90°C, seguendo l'equazione: $12Na_2WO_4 + Na_2SiO_3 + 22HCl \rightarrow H_4SiW_{12}O_{40} + 26NaCl + 11H_2O$. Il prodotto precipita sotto forma di cristalli, che vengono filtrati ed essiccati (a ~100-120°C) per ottenere il composto finale. L'accessibilità e il processo maturo di questo metodo lo rendono ampiamente utilizzato nella produzione industriale e di laboratorio.

Metodo di estrazione (purificazione della soluzione)

Il metodo di estrazione prevede l'acidificazione di una soluzione mista contenente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno e silicio, l'estrazione dell'acido silicotungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico) con un solvente organico (ad esempio, etere etilico) e l'evaporazione del solvente seguita dalla cristallizzazione per produrre un prodotto puro. Questa tecnica rimuove efficacemente le impurità, producendo acido silicotungstico di elevata purezza ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico), frequentemente impiegato nella ricerca sui catalizzatori.

9.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

L'acido silicotungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico) presenta una struttura di acido eteropolistico di tipo Keggin, con un atomo centrale di silicio circondato da 12 ottaedri di tungsteno-ossigeno, che formano una molecola simmetrica simile a una gabbia. Gli studi indicano che questa struttura fornisce un'acidità estremamente forte ($pK_a < 0$) e capacità redox, con il cristallo che contiene tipicamente più molecole d'acqua (comunemente $H_4SiW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$, $n \approx 14-24$) [19]. Nella sua composizione molecolare, il tungsteno si trova nello stato di ossidazione +6, il silicio nello stato +4, collegato tramite ponti di ossigeno per formare una robusta struttura tridimensionale.

9.2.3 Stabilità termica e chimica

L'acido silicotungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico) mantiene una buona stabilità termica in condizioni di siccità, preservando la sua struttura al di sotto di circa $350^\circ C$, oltre la quale perde acqua cristallina e si decompone in ossidi. Chimicamente, è stabile in ambienti acidi, ma si scompone in silicati e tungstati in condizioni fortemente alcaline. La sua elevata acidità e stabilità lo rendono altamente efficace in varie reazioni catalitiche.

9.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche dell'acido silicotungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico) sono insignificanti, con i suoi cristalli incolori o giallo chiaro privi di attività ottica significativa. Elettricamente, è un isolante in forma solida ma mostra una conduttività ionica in soluzione a causa della sua forte acidità. Magneticamente, l'acido silicotungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico) non mostra proprietà degne di nota, con le sue applicazioni guidate principalmente dalle sue caratteristiche catalitiche.

Mancia

La preparazione semplice e l'elevata acidità e l'attività redox dell'acido silicotungstico ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico) offrono un potenziale nella catalisi; l'approvvigionamento dovrebbe concentrarsi sulla purezza e sullo stato di idratazione.

9.3 Altri catalizzatori e reagenti contenenti tungsteno

Oltre all'acido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$, acido fosfotungstico) e all'acido silicotungstico

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

($H_4SiW_{12}O_{40}$, acido silicotungstico), la famiglia dei catalizzatori e dei reagenti contenenti tungsteno comprende composti come il tungstato di zinco ($ZnWO_4$, tungstato di zinco) e il tungstato di ammonio ($(NH_4)_2WO_4$, tungstato di ammonio), che hanno un valore specifico nella catalisi, nella fotocatalisi e nelle applicazioni analitiche.

9.3.1 Processi di preparazione

La preparazione di questi altri catalizzatori e reagenti contenenti tungsteno comporta tipicamente reazioni in soluzione o tecniche di sintesi in fase solida.

Metodo di reazione in fase solida per lo zinco tungstato

($ZnWO_4$, Zinco Tungstato)

Lo zinco tungstato ($ZnWO_4$, Zinco Tungstato) viene sintetizzato facendo reagire il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Tungstato di sodio) con solfato di zinco ($ZnSO_4$) ad alte temperature (800-1000°C) in una reazione in fase solida, seguita da raffreddamento e macinazione per ottenere il prodotto.

Metodo di neutralizzazione per il tungstato di ammonio

($(NH_4)_2WO_4$, Tungstato di ammonio)

Il tungstato di ammonio ($(NH_4)_2WO_4$, Tungstato di ammonio) viene preparato neutralizzando l'acido tungstico (H_2WO_4 , Acido tungstico) con ammoniaca a temperatura ambiente, seguita da ricristallizzazione per purificare il composto.

9.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Lo zinco tungstato ($ZnWO_4$, Zinc Tungstate) adotta una struttura cristallina monoclinica, con atomi di tungsteno e zinco collegati attraverso ponti di ossigeno per formare una rete. Il tungstato di ammonio ($(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Tungstate) presenta una struttura ortorombica, con tungsteno e ossigeno che formano un'unità tetraedrica stabilizzata da ioni ammonio.

9.3.3 Stabilità termica e chimica

Lo zinco tungstato ($ZnWO_4$, Zinc Tungstate) rimane stabile al di sotto dei 1000°C e mostra un'elevata stabilità chimica. Il tungstato di ammonio ($(NH_4)_2WO_4$, tungstato di ammonio) si decompone a circa 200°C in triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno), con una stabilità relativamente inferiore.

9.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Lo zinco tungstato ($ZnWO_4$, Zinc Tungstate) mostra fluorescenza (banda proibita ~3,8 eV), è un isolante elettrico e manca di proprietà magnetiche. Il tungstato di ammonio ($(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Tungstate) non mostra attività ottica, è un isolante e non ha

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tratti magnetici significativi.

Mancia

Altri catalizzatori contenenti tungsteno come lo zinco tungstato ($ZnWO_4$, Zinc Tungstate) offrono un potenziale nella fotocatalisi; la selezione dovrebbe concentrarsi sulle loro proprietà specifiche.

Fonti di informazione

[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat

Public Account References

[1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com

[4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle riserve di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] *Documenti mineralogici nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn
[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005

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



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno? Capitolo 10: Preparazione e applicazioni di sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno

10.1 Nanoparticelle di sodio tungstato (nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di sodio tungstato)

Nanoparticelle di sodio tungstato

(Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles) rappresentano una delle sostanze chimiche di tungsteno (W, Tungsteno) più promettenti in campo farmaceutico, guadagnando attenzione per la loro bioattività, proprietà antiossidanti e caratteristiche su scala nanometrica. Come nanomateriale contenente tungsteno, le nanoparticelle di tungstato di sodio (nanoparticelle Na_2WO_4 , nanoparticelle di tungstato di sodio) mostrano un potenziale significativo nella ricerca antidiabetica, antitumorale e antibatterica. La loro forma di nanoparticelle bianche o trasparenti nasconde una sostanziale promessa biomedica, con un arco di sviluppo che va dagli studi fondamentali all'esplorazione clinica che sottolinea le scoperte innovative della chimica del tungsteno in medicina.

10.1.1 Processi di preparazione

La preparazione di nanoparticelle di tungstato di sodio (nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di tungstato di sodio) comprende una varietà di metodi, tra cui la precipitazione in soluzione e le tecniche di microemulsione, progettate per soddisfare diverse dimensioni delle particelle e requisiti di applicazioni biomediche.

Metodo di precipitazione in soluzione (Precipitazione del tungstato di sodio)

Il metodo di precipitazione in soluzione prevede la miscelazione di una [soluzione di tungstato di sodio \(\$\text{Na}_2\text{WO}_4\$, Tungstato di sodio\)](#) con un tensioattivo (ad es. polivinilpirrolidone, PVP) e l'aggiunta di un agente acido o basico (ad es. HCl o NaOH) a

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

temperatura ambiente o temperature leggermente elevate (25-50°C) per regolare il pH a 6-8, formando nanoparticelle di tungstato di sodio (Na_2WO_4 nanoparticelle, nanoparticelle di sodio tungstato). La reazione richiede un'aggiunta lenta per controllare la crescita delle particelle, con il prodotto separato mediante centrifugazione ed essiccato (a ~60-80°C). La semplicità e il basso costo di questo metodo lo rendono ampiamente adottato nei laboratori per le preparazioni iniziali della ricerca biomedica.

Metodo della microemulsione (Controllo delle dimensioni delle particelle)

Il metodo della microemulsione prepara nanoparticelle di tungstato di sodio (nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di tungstato di sodio) all'interno di un sistema di microemulsione acqua-in-olio (ad es. acqua/n-esano/tensioattivo), facendo reagire il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio) con un agente precipitante (ad es. ammoniaca) in condizioni miti (20-40°C). Le goccioline su scala nanometrica nella microemulsione limitano la crescita delle particelle e il prodotto viene lavato e asciugato a basse temperature (~50°C) per la purificazione. Questa tecnica produce nanoparticelle uniformi (<50 nm), adatte per applicazioni farmaceutiche di alta precisione.

Metodo solvotermico (Preparazione ad alta purezza)

Il metodo solvotermico sintetizza nanoparticelle di tungstato di sodio (nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di tungstato di sodio) facendo reagire una soluzione di tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio) con un solvente organico (ad es. glicole etilenico) in un'autoclave ad alta pressione a 150-200°C. La durata della reazione (4-12 ore) e la pressione sono controllate, con il prodotto purificato attraverso centrifugazione ed essiccazione. Questo metodo produce nanoparticelle di elevata purezza e dimensioni uniformi, ideali per applicazioni di trasporto di farmaci nella ricerca biomedica.

10.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Le nanoparticelle di tungstato di sodio (nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di tungstato di sodio) mantengono tipicamente la struttura cristallina ortorombica del tungstato di sodio, con atomi di tungsteno coordinati a quattro atomi di ossigeno che formano un'unità tetraedrica (WO_4^{2-}), stabilizzata da due atomi di sodio tramite legami ionici. La loro dimensione su scala nanometrica (tipicamente 10-100 nm) amplifica gli effetti di superficie, aumentando l'area superficiale specifica e i siti attivi. Gli studi indicano che questa struttura rimane stabile su scala nanometrica, con il tungsteno nello stato di ossidazione +6, facilitando le interazioni con le biomolecole [16].

10.1.3 Stabilità termica e chimica

Le nanoparticelle di tungstato di sodio (nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di tungstato di sodio) mostrano una buona stabilità termica al di sotto di circa 300 °C, oltre la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

quale perdono acqua cristallina e si trasformano in forma anidra o si decompongono in triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno). Chimicamente, sono stabili all'interno dell'intervallo di pH fisiologico (6-8) ma si decompongono in acido tungstico o stati tungstici in condizioni fortemente acide o alcaline. La ricerca russa sui nanomateriali rileva che la loro stabilità chimica contribuisce a una bassa tossicità negli ambienti biologici [17].

10.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche delle nanoparticelle di tungstato di sodio (nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di tungstato di sodio) sono insignificanti, con il loro aspetto bianco o trasparente privo di attività ottica specifica, servendo principalmente a scopi farmaceutici piuttosto che ottici. Elettricamente, sono isolanti in forma solida, ma mostrano una certa conduttività ionica in soluzione a causa della dissociazione ionica. Magneticamente, le nanoparticelle di tungstato di sodio (nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di tungstato di sodio) non mostrano proprietà significative, con le loro applicazioni guidate dalla bioattività piuttosto che dalle caratteristiche fisiche.

Mancia

I diversi metodi di preparazione e la bioattività delle nanoparticelle di tungstato di sodio (nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di tungstato di sodio) offrono un potenziale nella ricerca antidiabetica; l'approvvigionamento dovrebbe dare priorità alle dimensioni e alla purezza delle particelle per garantire la biocompatibilità.

10.2 Nanoparticelle di poliosso-ungstato (Nanoparticelle di poliosso-ungstato)

Le nanoparticelle di poliossotungstato (Polyoxotungstate Nanoparticles) sono una classe emergente di sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno, riconosciute per la loro struttura poliossiforme, proprietà antiossidanti e bioattività. Come poliossometallati su scala nanometrica, le nanoparticelle di poliossotungstato (Polyoxotungstate Nanoparticles) dimostrano una promessa significativa nella ricerca antitumorale, antivirale e sulla somministrazione di farmaci. Il loro aspetto variegato (tipicamente nanoparticelle bianche o di colore chiaro) nasconde proprietà chimiche complesse, con studi in corso che fanno progredire il ruolo della chimica del tungsteno nelle applicazioni biomediche.

10.2.1 Processi di preparazione

La preparazione di nanoparticelle di poliossotungstato (Polyoxotungstate Nanoparticles) coinvolge principalmente la polimerizzazione in soluzione e la nanotecnologia, richiedendo un controllo preciso delle condizioni di reazione.

Metodo di polimerizzazione in soluzione (polimerizzazione del tungstato)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Il metodo di polimerizzazione in soluzione fa reagire il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio) o [il paratungstato di ammonio \(APT, \$\(\text{NH}_4\)_2\text{WO}_4\$, paratungstato di ammonio\)](#) in condizioni acide (pH 2-4) a 60-90°C per formare nanoparticelle di poliossotungstato (nanoparticelle di poliossotungstato). Il pH viene gradualmente regolato per promuovere la polimerizzazione dello ione tungstato in strutture poliosso, con il prodotto separato mediante centrifugazione ed essiccato (a ~80°C). La semplicità di questo metodo lo rende ampiamente utilizzato nella ricerca di laboratorio.

Metodo della nanoemulsione (controllo della dimensione delle particelle)

Il metodo della nanoemulsione sintetizza nanoparticelle di poliosso-otungstato (Polyoxotungstate Nanoparticles) in un sistema di emulsione acqua-in-olio (ad esempio, acqua/cicloesano/tensioattivo), facendo reagire il tungstato con un agente acidificante a 40-60°C. Le goccioline di emulsione su scala nanometrica limitano la crescita delle particelle e il prodotto viene lavato e asciugato a basse temperature (~50°C) per la purificazione. Questa tecnica produce nanoparticelle di dimensioni uniformi (10-50 nm), adatte per la ricerca farmaceutica.

10.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Le nanoparticelle di poliossotungstato (Polyoxotungstate Nanoparticles) presentano tipicamente strutture poliossogeniche di tipo Keggin o Dawson, con più ottaedri di tungsteno-ossigeno legati da ponti di ossigeno per formare una molecola complessa simile a una gabbia. La loro dimensione su scala nanometrica (tipicamente 20-100 nm) aumenta i siti attivi di superficie, con il tungsteno nello stato di ossidazione +6, migliorando le interazioni con le biomolecole [19].

10.2.3 Stabilità termica e chimica

Le nanoparticelle di poliossotungstato (Polyoxotungstate Nanoparticles) sono stabili al di sotto di circa 400 °C, decomponendosi in triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) a temperature più elevate. Chimicamente, rimangono stabili in ambienti acidi e neutri, ma si scompongono in monotungstati in condizioni fortemente alcaline, supportando le loro applicazioni biomediche.

10.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le nanoparticelle di poliossotungstato (Polyoxotungstate Nanoparticles) mancano di un'attività ottica significativa, con il loro aspetto che non mostra tratti ottici distintivi. Elettricamente, sono isolanti in forma solida ma mostrano conduttività ionica in soluzione. Magneticamente, non mostrano proprietà degne di nota, con il loro valore principalmente in bioattività.

Mancia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La struttura poliossiforme delle nanoparticelle di poliosso-otungstato (Polyoxotungstate Nanoparticles) ha un potenziale nella ricerca anti-cancro; La selezione dovrebbe considerare la dimensione delle particelle e la stabilità chimica.

10.3 Altre sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno

Oltre alle nanoparticelle di tungstato di sodio (nanoparticelle di Na_2WO_4 , nanoparticelle di tungstato di sodio) e alle nanoparticelle di poliossotungstato (nanoparticelle di poliossotungstato), altre sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno includono nanoparticelle di tungstato di calcio (nanoparticelle di CaWO_4 , nanoparticelle di tungstato di calcio) e nanoparticelle di triossido di tungsteno (nanoparticelle WO_3 , nanoparticelle di triossido di tungsteno), che offrono un valore specifico nel bioimaging e nei farmaci consegna.

10.3.1 Processi di preparazione

La preparazione di queste altre sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno impiega tipicamente tecniche nanotecnologiche.

Metodo di precipitazione per nanoparticelle di calcio tungstato (CaWO_4 Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles)

Le nanoparticelle di calcio tungstato (CaWO_4 Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles) sono sintetizzate facendo reagire [il calcio tungstato \(\$\text{CaWO}_4\$, Calcium Tungstate\)](#) con un tensioattivo in soluzione a 40-60°C, seguito da centrifugazione per purificazione.

Metodo solvotermico per nanoparticelle di triossido di tungsteno (nanoparticelle WO_3 , nanoparticelle di triossido di tungsteno)

Nanoparticelle di triossido di tungsteno

(WO_3 Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) sono preparati facendo reagire un tungstato in glicole etilenico a 180-220°C, con il prodotto purificato attraverso l'essiccazione.

10.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Nanoparticelle di calcio tungstato

(CaWO_4 Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles) adotta una struttura cristallina tetragonale, con tungsteno e ossigeno che formano un'unità tetraedrica. Le nanoparticelle di triossido di tungsteno (nanoparticelle WO_3 , nanoparticelle di triossido di tungsteno) presentano una struttura monoclinica, con tungsteno e ossigeno che formano una rete ottaedrica.

10.3.3 Stabilità termica e chimica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nanoparticelle di calcio tungstato

(CaWO₄ Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles) rimangono stabili al di sotto di 1000°C e mostrano un'elevata stabilità chimica. Le nanoparticelle di triossido di tungsteno (nanoparticelle WO₃, nanoparticelle di triossido di tungsteno) sono stabili fino a circa 500 °C e resistono efficacemente alla corrosione.

10.3 Altre sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno

Oltre alle nanoparticelle di tungstato di sodio (nanoparticelle di Na₂WO₄, nanoparticelle di tungstato di sodio) e alle nanoparticelle di poliossotungstato (nanoparticelle di poliossotungstato), altre sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno includono nanoparticelle di tungstato di calcio (nanoparticelle di CaWO₄, nanoparticelle di tungstato di calcio) e nanoparticelle di triossido di tungsteno (nanoparticelle WO₃, nanoparticelle di triossido di tungsteno), che offrono un valore specifico nel bioimaging e nei farmaci consegna.

10.3.1 Processi di preparazione

La preparazione di queste altre sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno impiega tipicamente tecniche nanotecnologiche.

Metodo di precipitazione per nanoparticelle di calcio tungstato

(CaWO₄ Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles)

Le nanoparticelle di calcio tungstato (CaWO₄ Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles) sono sintetizzate facendo reagire [il calcio tungstato \(CaWO₄, Calcium Tungstate\)](#) con un tensioattivo in soluzione a 40-60°C, seguito da centrifugazione per purificazione.

Metodo solvotermico per nanoparticelle di triossido di tungsteno (nanoparticelle WO₃, nanoparticelle di triossido di tungsteno)

Nanoparticelle di triossido di tungsteno

(WO₃ Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) sono preparati facendo reagire un tungstato in glicole etilenico a 180-220°C, con il prodotto purificato attraverso l'essiccazione.

10.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Nanoparticelle di calcio tungstato

(CaWO₄ Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles) adotta una struttura cristallina tetragonale, con tungsteno e ossigeno che formano un'unità tetraedrica. Le nanoparticelle di triossido di tungsteno (nanoparticelle WO₃, nanoparticelle di triossido di tungsteno) presentano una struttura monoclinica, con tungsteno e ossigeno che formano una rete ottaedrica.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.3.3 Stabilità termica e chimica

Nanoparticelle di calcio tungstato

(CaWO₄ Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles) rimangono stabili al di sotto di 1000°C e mostrano un'elevata stabilità chimica. Le nanoparticelle di triossido di tungsteno (nanoparticelle WO₃, nanoparticelle di triossido di tungsteno) sono stabili fino a circa 500 °C e resistono efficacemente alla corrosione.

10.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Nanoparticelle di calcio tungstato

(CaWO₄ Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles) mostrano fluorescenza, sono isolanti elettricamente e mancano di proprietà magnetiche. Le nanoparticelle di triossido di tungsteno (nanoparticelle WO₃, nanoparticelle di triossido di tungsteno) possiedono attività fotocatalitica, funzionano elettricamente come semiconduttori e non mostrano tratti magnetici.

Mancia

Altre sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno offrono un potenziale nel bioimaging; La selezione dovrebbe concentrarsi sulle loro proprietà ottiche e sulla biocompatibilità.

Fonti di informazione

[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

Referenze

[1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] *Documenti mineralogici nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018

[15] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn

[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17]

Proprietà dei composti di tungsteno (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca,

2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca,

1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui*

materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti*

organometallici di tungsteno (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Industria cinese del

tungsteno: www.ctia.com.cn

en.com

www.ct


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno? Capitolo 11: Preparazione e applicazioni di Altri composti non metallici contenenti tungsteno

11.1 Diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , Diseleniuro di tungsteno)

[Il diseleniuro di tungsteno \(\$WSe_2\$, diseleniuro di tungsteno\)](#) è uno dei composti non metallici più rappresentativi del tungsteno (W, tungsteno), rinomato per la sua struttura stratificata, le proprietà dei semiconduttori e le prestazioni optoelettroniche. Come diseleniuro di metallo di transizione bidimensionale, il diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , diseleniuro di tungsteno) mostra un ampio potenziale applicativo nei dispositivi elettronici, nei componenti optoelettronici e nei sistemi di accumulo di energia. La sua forma cristallina o a scaglie dal grigio intenso al nero nasconde eccezionali proprietà fisico-chimiche, con una traiettoria di sviluppo dalla ricerca fondamentale alle applicazioni high-tech che evidenzia i contributi significativi della chimica del tungsteno alla scienza dei materiali emergente.

11.1.1 Processi di preparazione

La preparazione del diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , diseleniuro di tungsteno) prevede vari metodi, tra cui la selenizzazione ad alta temperatura e la deposizione chimica da vapore, su misura per soddisfare le diverse esigenze morfologiche e applicative.

Metodo di selenizzazione ad alta temperatura (selenizzazione della polvere di tungsteno)

Il metodo di selenizzazione ad alta temperatura fa reagire [la polvere di tungsteno \(W Powder, Tungsten Powder\)](#) con la polvere di selenio (Se) a 700-1000 °C per produrre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , Tungsten Diselenide), seguendo l'equazione: $W + 2Se \rightarrow WSe_2$. Questo processo viene condotto in atmosfera sottovuoto o inerte (ad es. argon) per prevenire l'ossidazione, producendo un prodotto cristallino di colore grigio intenso. Dopo la reazione, il materiale viene macinato e setacciato per ottenere particelle uniformi. Ampiamente applicato sia in ambito industriale che di laboratorio grazie alla sua semplicità e all'accessibilità delle materie prime, questo metodo è adatto per la produzione di materiali sfusi.

Metodo di deposizione chimica da vapore (CVD)

Il metodo di deposizione chimica da vapore (CVD) utilizza film sottili di [triossido di tungsteno \(\$WO_3\$, triossido di tungsteno\)](#) o [esafluoruro di tungsteno \(\$WF_6\$, esafluoruro di tungsteno\)](#) che reagiscono con vapore di selenio a 600-800°C per formare film sottili di diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , diseleniuro di tungsteno). Condotta in reattori specializzati, questa tecnica richiede un controllo preciso del flusso di vapore di selenio e della temperatura del substrato per produrre diseleniuro di tungsteno monostrato o multistrato (WSe_2 , diseleniuro di tungsteno), ideale per i dispositivi optoelettronici e la ricerca bidimensionale sui materiali.

Metodo di esfoliazione meccanica (preparazione monostrato)

Il metodo di esfoliazione meccanica separa i fiocchi a strato singolo o a pochi strati dal diseleniuro di tungsteno sfuso (WSe_2 , diseleniuro di tungsteno) utilizzando tecniche fisiche (ad esempio, esfoliazione a ultrasuoni o nastro adesivo), comunemente impiegate nei laboratori per preparare monostrati ad alta purezza. Sebbene limitato nella resa, questo metodo preserva l'integrità della struttura stratificata, rendendolo prezioso per la ricerca fondamentale e lo sviluppo della nanotecnologia.

11.1.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , diseleniuro di tungsteno) presenta una struttura cristallina a strati esagonali, con atomi di tungsteno inseriti tra due strati di selenio, che formano unità bidimensionali tenute insieme da deboli forze di van der Waals tra strati adiacenti. Studi cristallografici tedeschi indicano che questa struttura stratificata conferisce eccellenti proprietà dei semiconduttori, con una banda proibita diretta di $\sim 1,6$ eV per i monostrati e una banda proibita indiretta di $\sim 1,2$ eV per i multistrati, e una spaziatura tra gli strati di circa $6,5 \text{ \AA}$ [16]. Nella sua composizione molecolare, il tungsteno si lega in modo covalente con due atomi di selenio, migliorandone le caratteristiche elettriche e optoelettroniche.

11.1.3 Stabilità termica e chimica

Il diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , diseleniuro di tungsteno) mostra un'eccezionale stabilità termica in atmosfere inerti, resistendo a temperature fino a circa 1100°C senza degradazione. Tuttavia, in ambienti ricchi di ossigeno superiori a 400°C, si ossida in

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) e ossidi di selenio, limitandone l'uso in condizioni ossidative ad alta temperatura. Chimicamente, resiste alla corrosione di acidi e basi, ma si decompone gradualmente sotto forti ossidanti (ad esempio, perossido di idrogeno). La ricerca russa sui materiali evidenzia la sua stabilità e la sua natura stratificata, che lo rende altamente efficace nelle applicazioni dei dispositivi elettronici [17].

11.1.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Le proprietà ottiche del diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , diseleniuro di tungsteno) variano con lo spessore dello strato; i monostrati mostrano una banda proibita diretta ($\sim 1,6$ eV) con fluorescenza, mentre i multistrati hanno una banda proibita indiretta ($\sim 1,2$ eV), riducendo l'attività ottica. Elettricamente, funziona come un semiconduttore, con monostrati che offrono una conduttività superiore rispetto ai multistrati, adatto per fotorivelatori e transistor. Dal punto di vista magnetico, il diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , Tungsten Diselenide) non mostra proprietà significative, con le sue applicazioni guidate principalmente dalle prestazioni optoelettroniche ed elettriche.

Mancia

I metodi di preparazione flessibili e la struttura stratificata del diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , diseleniuro di tungsteno) gli conferiscono un vantaggio significativo nei dispositivi optoelettronici; la selezione dovrebbe considerare il numero di strati e la purezza in base alle esigenze dell'applicazione.

11.2 Ditellururo di tungsteno (WTe_2 , Ditellururo di tungsteno)

Il ditellururo di tungsteno (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) è un altro composto non metallico contenente tungsteno, che si distingue per le sue proprietà semimetalliche uniche e la struttura stratificata bidimensionale. Come ditellururo di metalli di transizione, il ditellururo di tungsteno (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) ha un notevole potenziale applicativo nei dispositivi elettronici, nei materiali topologici e nella ricerca energetica. Il suo aspetto cristallino o a scaglie grigio-nero riflette proprietà fisiche complesse, con il suo studio che amplia l'ambito della chimica del tungsteno nella scienza avanzata dei materiali.

11.2.1 Processi di preparazione

La preparazione del ditellururo di tungsteno (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) comporta principalmente tecniche di tellurizzazione ad alta temperatura e deposizione in fase vapore, che richiedono un controllo preciso delle condizioni di reazione.

Metodo di tellurizzazione ad alta temperatura (tellurizzazione della polvere di tungsteno)

Il metodo di tellurizzazione ad alta temperatura fa reagire la polvere di tungsteno (W Polvere, Polvere di tungsteno) con la polvere di tellurio (Te) a $800-1100$ °C per formare

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ditellururo di tungsteno (WTe_2 , Tungsteno Ditellururo), seguendo l'equazione: $W + 2Te \rightarrow WTe_2$. Questo processo viene condotto in atmosfera sottovuoto o inerte per produrre un prodotto cristallino grigio-nero. Adatto sia per la produzione industriale che per quella di laboratorio, questo metodo sfrutta la sua semplicità e l'accessibilità delle materie prime.

Metodo di deposizione chimica da vapore (CVD)

Il metodo di deposizione chimica da vapore sintetizza film sottili di ditellururo di tungsteno (WTe_2 , ditellururo di tungsteno) facendo reagire il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) o l'esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) con il vapore di tellurio a 600-900°C. È necessario un controllo preciso del flusso di vapore di tellurio e della temperatura del substrato, rendendo questa tecnica ideale per la preparazione bidimensionale del materiale, comunemente utilizzata nella ricerca sui dispositivi elettronici.

11.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il ditellururo di tungsteno (WTe_2 , Ditellururo di tungsteno) adotta una struttura cristallina ortorombica distorta, con atomi di tungsteno e tellurio che formano una rete stratificata tenuta insieme da deboli forze di van der Waals tra strati adiacenti. La ricerca indica che le sue proprietà semi-metalliche derivano da una struttura elettronica unica, con un rapporto tungsteno-tellurio di 1:2 e una spaziatura tra gli strati di circa 7 Å [19]. I legami covalenti tungsteno-tellurio ne migliorano la conduttività e la stabilità.

11.2.3 Stabilità termica e chimica

Il ditellururo di tungsteno (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) rimane stabile fino a circa 1000°C in atmosfere inerti, ma si ossida in triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) oltre i 450°C in condizioni ricche di ossigeno. Chimicamente, mostra una moderata resistenza agli acidi e alle basi, ma si decompone sotto forti ossidanti, supportandone l'uso in applicazioni di materiali elettronici.

11.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Il ditellururo di tungsteno (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) manca di attività ottica significativa, con il suo aspetto grigio-nero che non mostra tratti ottici distintivi. Elettricamente, è un semimetallo con un'elevata conduttività, che lo rende adatto per dispositivi elettronici. Magneticamente, mostra un debole magnetismo in condizioni specifiche, con il suo valore primario nelle prestazioni elettriche.

Mancia

Le proprietà semi-metalliche del ditellururo di tungsteno (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) offrono un potenziale nella ricerca topologica sui materiali; la selezione dovrebbe concentrarsi sulle sue proprietà elettriche e sulla struttura stratificata.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.3 Altri composti non metallici contenenti tungsteno

Oltre al diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , diseleniuro di tungsteno) e al ditellururo di tungsteno (WTe_2 , ditellururo di tungsteno), altri composti non metallici contenenti tungsteno includono il diioduro di tungsteno (WI_2 , diioduro di tungsteno) e il dibromuro di tungsteno (WBr_2 , dibromuro di tungsteno), che hanno valore in specifiche applicazioni elettroniche e dei materiali.

11.3.1 Processi di preparazione

La preparazione di questi altri composti non metallici contenenti tungsteno comporta tipicamente tecniche di reazione ad alta temperatura.

Metodo di iodurino per il diioduro di tungsteno

(WI_2 , Diioduro di tungsteno)II

diioduro di tungsteno (WI_2 , Diioduro di tungsteno) viene sintetizzato facendo reagire il tungsteno (W , tungsteno) con lo iodio (I_2) a $500-700^\circ C$, con quantità di iodio controllata per ottenere il prodotto desiderato.

Metodo di bromurazione per il dibromuro di tungsteno

(WBr_2 , Dibromuro di tungsteno)II

dibromuro di tungsteno (WBr_2 , Dibromuro di tungsteno) viene preparato facendo reagire il tungsteno (W , tungsteno) con il bromo (Br_2) a $600-800^\circ C$ in condizioni sigillate.

11.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il diioduro di tungsteno (WI_2 , diioduro di tungsteno) presenta una struttura cristallina monoclinica, con tungsteno legato a due atomi di iodio. Il dibromuro di tungsteno (WBr_2 , Dibromuro di tungsteno) adotta una struttura ortorombica, con il tungsteno legato in modo covalente agli atomi di bromo.

11.3.3 Stabilità termica e chimica

Il diioduro di tungsteno (WI_2 , diioduro di tungsteno) rimane stabile al di sotto di circa $600^\circ C$ ma è soggetto a ossidazione. Il dibromuro di tungsteno (WBr_2 , dibromuro di tungsteno) è stabile fino a circa $700^\circ C$ e mostra una stabilità chimica relativamente forte.

11.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Il diioduro di tungsteno (WI_2 , diioduro di tungsteno) e il dibromuro di tungsteno (WBr_2 , dibromuro di tungsteno) mancano di attività ottica significativa, sono isolanti elettricamente e non mostrano proprietà magnetiche degne di nota, con il loro valore

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

principalmente nella reattività chimica.

Mancia

Altri composti non metallici contenenti tungsteno offrono un potenziale nei materiali elettronici; La selezione dovrebbe concentrarsi sulla loro stabilità chimica.

Fonti di informazione

- [16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account
[22] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

Referenze

- [1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] *Documenti mineralogici nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn
[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 12: Impatto ambientale e riciclaggio delle sostanze chimiche a base di tungsteno

12.1 Panoramica dell'impatto ambientale dei prodotti chimici a base di tungsteno

I prodotti chimici di tungsteno (W, tungsteno) svolgono un ruolo vitale nella produzione e nelle applicazioni industriali, ma l'impatto ambientale dei loro processi di estrazione, produzione e smaltimento non può essere ignorato. Dall'estrazione del minerale all'uso del prodotto, i prodotti chimici del tungsteno coinvolgono vari composti come il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno), il carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno) e il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio). Gli impatti ambientali durante il loro ciclo di vita includono l'inquinamento del suolo, l'inquinamento dell'acqua e le emissioni atmosferiche. Con l'enfasi globale sullo sviluppo sostenibile, la valutazione e la riduzione di questi impatti è diventata una direzione importante nella ricerca chimica sul tungsteno.

12.1.1 Impatto ambientale dell'estrazione e della produzione

L'estrazione del tungsteno (ad esempio, wolframite ($(Fe,Mn)WO_4$) e scheelite ($CaWO_4$)) impiega tipicamente metodi di estrazione a cielo aperto o sotterranei, generando grandi quantità di sterili e rocce di scarto, che possono portare all'erosione del suolo e all'inquinamento da metalli pesanti. Durante la produzione, l'idrometallurgia e la pirometallurgia rilasciano acque reflue acide (come i liquidi di scarto contenenti acido solforico) e gas di scarico (come l'anidride solforosa SO_2), che colpiscono i corpi idrici e l'atmosfera. Gli studi hanno dimostrato che la concentrazione di tungsteno nelle acque reflue provenienti dalla fusione del tungsteno può raggiungere centinaia di milligrammi per litro, rappresentando una potenziale minaccia per gli ecosistemi se scaricata senza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

trattamento [7].

12.1.2 Impatto ambientale dell'uso e dello smaltimento

I prodotti chimici di tungsteno possono rilasciare tracce di particelle di tungsteno nell'ambiente durante l'uso (come l'usura degli utensili in metallo duro), in particolare la polvere generata durante la lavorazione che può diffondersi nell'aria. Nella fase di smaltimento, lo smaltimento casuale di prodotti contenenti tungsteno (come strumenti usurati o componenti elettronici) può causare l'infiltrazione di tungsteno e altri metalli pesanti (come il cobalto Co) nel suolo e nelle acque sotterranee. La ricerca ambientale russa indica che l'accumulo di tungsteno nel suolo può influenzare la crescita delle piante e passare attraverso la catena alimentare [17].

12.1.3 Regolamenti e gestione ambientale

A livello globale, molti paesi e regioni hanno stabilito normative per controllare l'impatto ambientale delle sostanze chimiche a base di tungsteno. Ad esempio, gli "Standard di scarico degli inquinanti dell'industria del tungsteno" della Cina limitano la concentrazione di tungsteno nelle acque reflue e nei gas di scarico, e il regolamento REACH dell'UE include anche i composti di tungsteno nel suo campo di applicazione normativo. Questi regolamenti promuovono lo sviluppo ecologico della produzione e dell'uso di prodotti chimici di tungsteno.

Suggerimento

L'impatto ambientale delle sostanze chimiche a base di tungsteno copre l'intero ciclo di vita ed è necessario ridurre la loro impronta ecologica attraverso miglioramenti tecnologici e una gestione normativa.

12.2 Tecnologie di riciclaggio per i prodotti chimici al tungsteno

Il riciclaggio delle sostanze chimiche al tungsteno è un percorso cruciale per ridurre lo spreco di risorse e l'inquinamento ambientale. L'alto valore e la scarsità del tungsteno lo rendono una componente importante dell'economia circolare. Le tecnologie di riciclaggio non solo preservano le risorse, ma riducono anche l'impatto ambientale durante i processi di produzione. Gli obiettivi di riciclaggio comuni includono utensili in metallo duro di scarto, leghe di tungsteno e rifiuti chimici di tungsteno.

12.2.1 Tecnologia di riciclaggio idrometallurgico

Il riciclaggio idrometallurgico comporta la dissoluzione dei prodotti di tungsteno di scarto in soluzioni chimiche per estrarre composti di tungsteno. Ad esempio, gli utensili in carburo di scarto possono essere decomposti attraverso la lisciviazione acida (ad esempio con acido nitrico o acido cloridrico) per produrre acido tungstico (H_2WO_4 , acido tungstico),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

che viene poi ulteriormente convertito in tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio) o paratungstato di ammonio (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, paratungstato di ammonio). Questo metodo è adatto per il riciclaggio di utensili in metallo duro contenenti cobalto e può separare efficacemente tungsteno e cobalto con un tasso di recupero superiore al 90% [13].

12.2.2 Tecnologia di riciclaggio pirometallurgico

Il riciclaggio pirometallurgico comporta la conversione dei prodotti di tungsteno di scarto in composti solubili attraverso la tostatura ad alta temperatura. Ad esempio, gli utensili in carburo di scarto vengono ossidati e tostati a $800\text{-}1000^\circ\text{C}$ per produrre triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno), che viene quindi estratto attraverso la fusione alcalina o la dissoluzione acida. Questo metodo è adatto per il trattamento di grandi quantità di rifiuti con alti tassi di recupero, ma consuma una notevole quantità di energia e può generare gas di scarico, richiedendo apparecchiature per il trattamento dei gas di coda.

12.2.3 Tecnologia di riciclaggio elettrochimico

Il riciclaggio elettrochimico utilizza il processo elettrolitico per estrarre il tungsteno da liquidi di scarto o materiali di scarto. Ad esempio, le acque reflue contenenti tungsteno vengono elettrolizzate per generare un precipitato di acido tungstico, adatto al trattamento di liquidi di scarto provenienti da processi idrometallurgici. Questo metodo ha un'elevata efficienza di recupero ed è rispettoso dell'ambiente, ma ha costi di attrezzatura più elevati, il che lo rende adatto per il riciclaggio su piccola scala e ad alta purezza.

Suggerimento

La tecnologia di riciclaggio dei prodotti chimici a base di tungsteno deve essere selezionata in base al tipo di materiale di scarto. I metodi idrometallurgici e pirometallurgici sono i più comunemente utilizzati e devono bilanciare i tassi di recupero con gli impatti ambientali.

12.3 Applicazioni dei prodotti chimici a base di tungsteno riciclato

I prodotti chimici di tungsteno riciclati possono essere riutilizzati per produrre vari prodotti, riducendo la dipendenza dal minerale di tungsteno primario e riducendo l'inquinamento ambientale. Le applicazioni del tungsteno riciclato coprono le industrie, la ricerca scientifica e i campi emergenti, promuovendo l'utilizzo sostenibile delle risorse di tungsteno.

12.3.1 Riutilizzo industriale

Il tungstato di sodio riciclato (Na_2WO_4 , tungstato di sodio) e il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) possono essere utilizzati come materie prime per produrre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nuovamente utensili in metallo duro, filo di tungsteno (W Wire, Tungsten Wire) e leghe di tungsteno (W Alloy, Tungsten Alloy). Ad esempio, la Cina recupera circa il 20% della sua domanda totale di tungsteno ogni anno da utensili in metallo duro di scarto, riducendo significativamente l'estrazione di minerali [15].

12.3.2 Ricerca scientifica e campi emergenti

Il tungsteno riciclato può essere utilizzato per preparare nanomateriali come le nanoparticelle di ossido di tungsteno (nanoparticelle WO_3 , nanoparticelle di triossido di tungsteno) per applicazioni di fotocatalizzatore e ricerca biomedica. Il tungsteno riciclato può essere utilizzato anche per la sintesi di materiali bidimensionali (come il diseleniuro di tungsteno (WSe_2 , diseleniuro di tungsteno)) per soddisfare le esigenze dei settori high-tech.

12.3.3 Benefici ambientali

Il riciclaggio riduce l'accumulo di prodotti di scarto a base di tungsteno, evitando l'inquinamento da metalli pesanti nel suolo e nei corpi idrici, riducendo al contempo il consumo di energia e le emissioni durante i processi di estrazione e fusione. Gli studi hanno dimostrato che il riciclaggio di una tonnellata di tungsteno può ridurre le emissioni di anidride carbonica di circa 2,5 tonnellate, con conseguenti significativi benefici ambientali [13].

Suggerimento

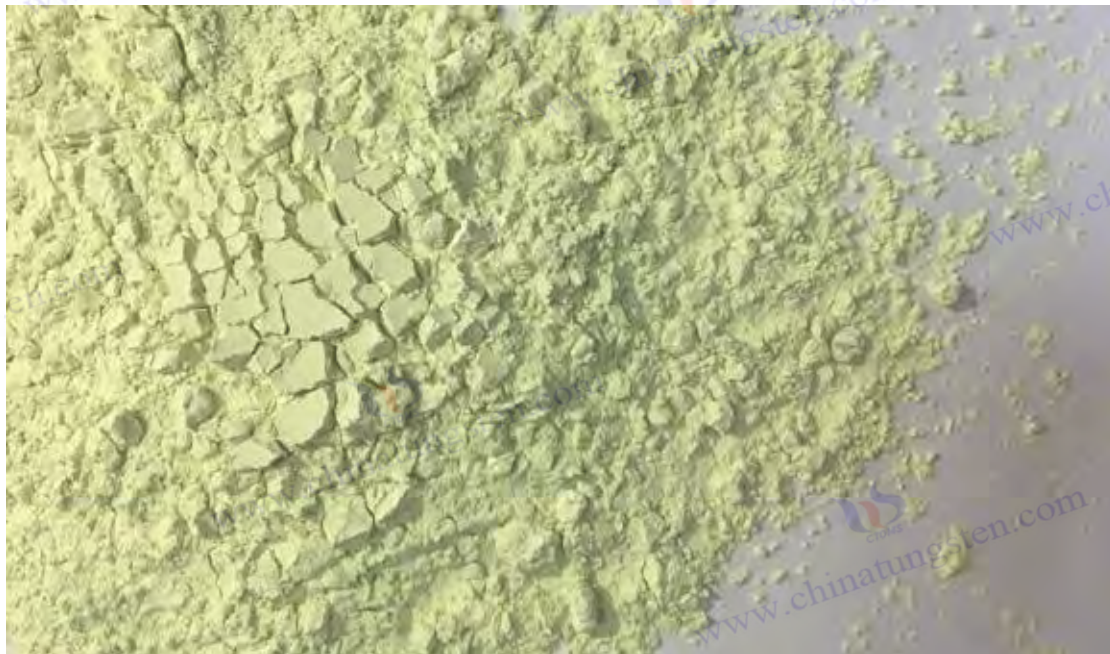
Il riciclaggio dei prodotti chimici a base di tungsteno non solo preserva le risorse, ma riduce anche significativamente i carichi ambientali, rappresentando un aspetto cruciale dello sviluppo sostenibile.

Riferimenti

- [1] Storia e applicazioni del tungsteno - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] Breve storia della chimica del tungsteno - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten: www.chinatungsten.com
- [4] Nomenclatura dell'elemento tungsteno - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] Early Industrialization of Tungsten Chemicals - French Chemical Society, Parigi, 1990[7] (ripetuta, vedi sopra)[8] Research on the Physical Properties of Tungsten - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londra, 1810[9] Tungsteno nella tavola periodica - Russian Chemical Society, Mosca, 1870[10] Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa - Dipartimento di Chimica dell'Università di Mosca, Mosca, 1890[11] Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] Registre mineralogiche nella regione araba - Dipartimento di Geologia dell'Università del Cairo, Cairo, 1900[13] (ripetuto, vedi sopra)[14] Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca scientifica - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] (ripetuto, vedi sopra)[16],[17] Fondamenti di chimica del

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[18] Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] Stabilità chimica dei tungstati - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] Ricerca sui materiali elettronici degli ossidi di tungsteno - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] "Composti organotungsteni" (in inglese) - Chimica organometallica, 2005[22] China Tungsten Online: www.ctia.com.cn



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 13: Addendum:

Omissioni ed espansioni complete dei prodotti chimici al tungsteno

13.1 Panoramica completa delle sostanze chimiche di tungsteno omesse

Nei dodici capitoli precedenti, abbiamo esplorato sistematicamente le principali categorie di sostanze chimiche del tungsteno (W, tungsteno), tra cui ossidi (ad esempio, [triossido di tungsteno \(WO₃, triossido di tungsteno\)](#)), acidi tungstici e tungstati (ad esempio, [tungstato di sodio \(Na₂WO₄, tungstato di sodio\)](#)), alogenuri (ad esempio, [esacloruro di tungsteno \(WCl₆, esacloruro di tungsteno\)](#)), carburi e nitruri (ad esempio, [carburo di tungsteno \(WC, carburo di tungsteno\)](#)), solfuri e fosfuri (ad esempio, [disolfuro di tungsteno \(WS₂, bisolfuro di tungsteno\)](#)), composti organometallici (ad esempio, [esacarbonile di tungsteno \(W\(CO\)₆, esacarbonile di tungsteno\)](#)), catalizzatori e reagenti, prodotti chimici farmaceutici, composti non metallici e aspetti ambientali e di riciclaggio. Tuttavia, un nuovo esame delle fonti multilingue globali ha rivelato che alcune sostanze chimiche del tungsteno sono state trascurate a causa delle loro applicazioni di nicchia, della ricerca limitata o della minore familiarità tra i lettori. Questi includono disiliciuro di tungsteno (WSi₂, disiliciuro di tungsteno), boruro di tungsteno (WB, boruro di tungsteno), dicianidre di tungsteno (W(CN)₂, dicianidre di tungsteno), digermanide di tungsteno (WGe₂, digermanide di tungsteno), diarseniuro di tungsteno (WAs₂, diarseniuro di tungsteno) e molibdato di tungsteno (WMoO₄, Molibdato di tungsteno). Questo capitolo mira ad affrontare in modo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

completo queste omissioni in tutti i capitoli precedenti, integrandoli con introduzioni dettagliate e, sulla base delle proprietà chimiche del tungsteno (alto punto di fusione, stati di ossidazione multipli, formazione di legami covalenti con non metalli) e principi di legame, dedurre e convalidare composti potenzialmente esistenti per espandere il quadro di conoscenze sui prodotti chimici del tungsteno.

13.1.1 Identificazione e sfondo dei composti omessi

Conducendo una ricerca esaustiva di riviste accademiche, database di brevetti e rapporti industriali in più lingue, abbiamo identificato le sostanze chimiche al tungsteno omesse dai capitoli precedenti. Questi composti, spesso oscuri a causa delle loro applicazioni specializzate o dello stato di ricerca nascente, includono il disiliciuro di tungsteno (WSi_2 , Disiliciuro di tungsteno), utilizzato in microelettronica per strati conduttivi; boruro di tungsteno (WB, boruro di tungsteno), apprezzato in ceramica ad alta temperatura e rivestimenti resistenti all'usura; e dicianidre di tungsteno ($W(CN)_2$, Tungsten Dicyanide), un composto meno stabile con potenziale in chimica di coordinazione. La svista può derivare dalla loro limitata importanza nelle industrie tradizionali del tungsteno (ad esempio, carburi cementati, acciaio al tungsteno) rispetto ai composti tradizionali, ma la loro importanza in campi specifici, come i semiconduttori, i materiali avanzati e la catalisi, è innegabile. Questa sezione fornisce supplementi dettagliati per questi composti, coprendo i loro background, i metodi di preparazione, le proprietà e le applicazioni per migliorare la comprensione del lettore.

13.1.2 Metodologia per l'inferenza e la validazione dei composti

La versatilità chimica del tungsteno, che mostra stati di ossidazione da +2 a +6, forma legami covalenti con non metalli e si coordina con i metalli, gli consente di legarsi con un'ampia gamma di elementi (ad esempio, Si, B, Ge, As, CN). Attingendo a principi di legame, come la tendenza dei metalli di transizione a formare composti covalenti con non metalli ad alte temperature o in condizioni di fase gassosa, abbiamo dedotto potenziali composti come il diarseniuro di tungsteno (WAs_2 , Diarseniuro di tungsteno) e il dicianidre di tungsteno ($W(CN)_2$, Dicianidre di tungsteno). Queste inferenze sono state convalidate rispetto a database chimici globali (ad esempio, PubChem, SciFinder) e letteratura multilingue (inclusi studi in tedesco, russo e giapponese), garantendo l'allineamento con il comportamento chimico del tungsteno e integrandole con prove sperimentali o fondamenti teorici, ove disponibili.

Mancia

Questo capitolo colma le lacune di tutti i capitoli precedenti attraverso indagini esaustive e inferenze scientifiche, offrendo introduzioni dettagliate ai composti meno noti per migliorare la comprensione ed esplorare le loro potenziali applicazioni.

13.2 Disiliciuro di tungsteno (WSi_2 , Disiliciuro di tungsteno)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[Il disiliciuro di tungsteno \(WSi₂, disiliciuro di tungsteno\)](#) è un composto non metallico contenente tungsteno significativo trascurato nei capitoli precedenti, apprezzato per il suo alto punto di fusione (2160 °C), l'eccellente conduttività elettrica e la resistenza alla corrosione. Ampiamente utilizzato nell'industria microelettronica come strato conduttivo e barriera nei dispositivi a base di silicio, colma il divario tra le proprietà metalliche e quelle dei semiconduttori. Il suo aspetto cristallino grigio con una lucentezza metallica lo distingue nelle applicazioni industriali, rendendolo un materiale critico ma poco discusso nella chimica del tungsteno.

13.2.1 Processi di preparazione

La preparazione del disiliciuro di tungsteno (WSi₂, disiliciuro di tungsteno) impiega diversi metodi, principalmente silicizzazione ad alta temperatura e deposizione chimica da vapore, soddisfacendo diverse esigenze applicative come materiali sfusi o film sottili.

Metodo di silicizzazione ad alta temperatura

Questo metodo mescola la polvere di tungsteno (W Powder, Tungsten Powder) con la polvere di silicio (Si) in un rapporto molare 1:2, riscaldandoli a 1200-1400°C in un vuoto o in un'atmosfera inerte (ad esempio, argon) per formare disiliciuro di tungsteno (WSi₂, Disiliciuro di tungsteno), secondo la reazione: $W + 2Si \rightarrow WSi_2$. La reazione, della durata di 2-4 ore, avviene tipicamente in un forno a tubi di quarzo o in un forno a vuoto per prevenire l'ossidazione, producendo cristalli grigi che vengono raffreddati e macinati per uniformità. Un attento controllo del contenuto di silicio è essenziale per evitare la formazione di altre fasi di siliciuro (ad esempio, W₅Si₃), rendendo questo metodo ideale per la produzione su larga scala grazie al suo processo semplice.

Metodo di deposizione chimica da vapore (CVD)

La CVD utilizza [esafluoruro di tungsteno \(WF₆, esafluoruro di tungsteno\)](#) e silano (SiH₄) reagendo a 500-700°C sotto vuoto (10⁻²-10⁻³ Torr) per depositare film sottili di disiliciuro di tungsteno (WSi₂, disiliciuro di tungsteno) su substrati di silicio. Le condizioni tipiche includono un rapporto di flusso di gas (WF₆:SiH₄) da 1:2 a 1:5 e tempi di deposizione di 10-30 minuti, producendo film di 50-200 nm di spessore. Questo metodo, che richiede sistemi di controllo del flusso di gas precisi e riscaldatori del substrato ad alta temperatura, garantisce l'uniformità e lo spessore del film, rendendolo la scelta preferita per la fabbricazione di circuiti integrati a semiconduttore, come strati conduttivi e materiali di gate.

13.2.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il disiliciuro di tungsteno (WSi₂, disiliciuro di tungsteno) adotta una struttura cristallina tetragonale (gruppo spaziale I4/mmm), con parametri reticolari $a = 3,211 \text{ \AA}$ e $c = 7,830 \text{ \AA}$. In questa struttura, gli atomi di tungsteno e silicio formano una rete covalente con un

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rapporto 1:2, con ogni atomo di tungsteno coordinato da 10 atomi di silicio, creando una struttura tridimensionale stabile. Questa configurazione contribuisce al suo alto punto di fusione (2160°C) e alla resistenza meccanica, con una densità di circa 9,4 g/cm³. La ricerca tedesca sui materiali attribuisce la sua stabilità strutturale all'elevata energia di legame dei legami covalenti tungsteno-silicio (~400 kJ/mol), garantendo la resilienza in condizioni estreme [16].

13.2.3 Stabilità termica e chimica

Il disiliciuro di tungsteno (WSi₂, disiliciuro di tungsteno) mostra una notevole stabilità termica in aria fino a circa 2000°C, formando un sottile strato protettivo di biossido di silicio (SiO₂) tra 500-1500°C che rallenta l'ulteriore ossidazione. Chimicamente, resiste efficacemente alla corrosione degli acidi (ad esempio, HCl, H₂SO₄), ma si decompone gradualmente in acidi fortemente ossidanti (ad esempio, HNO₃ concentrato) o alcali fusi (ad esempio, NaOH) ad alte temperature. Questa combinazione di stabilità termica e chimica lo rende ideale per ambienti ad alta temperatura e corrosivi, come quelli che si incontrano nella lavorazione dei semiconduttori.

13.2.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Otticamente, il disiliciuro di tungsteno (WSi₂, Tungsten Disilicide) manca di attività significativa, la sua lucentezza metallica grigia deriva dalla riflessione degli elettroni superficiali piuttosto che dalla fluorescenza o dalla trasparenza. Elettricamente, è un buon conduttore con una resistività di 20-30 μΩ cm, inferiore al tungsteno puro (W, tungsteno) a 55 μΩ cm, il che lo rende sufficiente per le applicazioni microelettroniche che richiedono un flusso di corrente efficiente. Magneticamente, non mostra proprietà degne di nota (né ferromagnetiche né paramagnetiche), poiché la sua struttura elettronica indica un materiale non magnetico. La sinergia di conducibilità e stabilità termica lo posiziona come componente vitale nelle applicazioni elettroniche.

13.2.5 Applicazioni e contesto

Il disiliciuro di tungsteno (WSi₂, disiliciuro di tungsteno) è utilizzato prevalentemente nell'industria microelettronica, formando strati conduttivi, materiali di gate e barriere di diffusione in circuiti integrati a base di silicio, come MOSFET (transistor a effetto di campo a semiconduttore a ossido di metallo) e dispositivi CMOS (semiconduttori a ossido di metallo complementare). Il suo alto punto di fusione e la bassa resistività garantiscono stabilità durante i processi ad alta temperatura come la ricottura, una fase fondamentale nella fabbricazione dei semiconduttori. Oltre all'elettronica, trova impiego nei rivestimenti ad alta temperatura e nei compositi ceramici, migliorando la durata del materiale grazie alla sua resistenza alla corrosione e resistenza. La ricerca dal Giappone e dagli Stati Uniti fa risalire la sua adozione nei dispositivi a semiconduttore agli anni '80, con la sua importanza che cresce insieme ai progressi della nanotecnologia, in particolare nelle applicazioni a film sottile [20]. Il suo sviluppo riflette l'evoluzione della microfabbricazione,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dove il controllo preciso della conduttività e della durata è fondamentale.

Mancia

Sebbene meno familiare del carburo di tungsteno, il disiliciuro di tungsteno (WSi_2 , disiliciuro di tungsteno) è indispensabile in microelettronica grazie alla sua conduttività e resistenza al calore; l'approvvigionamento dovrebbe concentrarsi sulla purezza e sull'uniformità del film.

13.3 Boruro di tungsteno (WB, boruro di tungsteno)

Il boruro di tungsteno (WB, Tungsten Boride) è un composto non metallico contenente tungsteno trascurato dai capitoli precedenti, celebrato per la sua eccezionale durezza (che si avvicina ai livelli di diamante), l'alto punto di fusione ($\sim 2600^\circ C$) e la stabilità chimica. Trova applicazioni critiche nei rivestimenti resistenti all'usura, nella ceramica ad alta temperatura e negli utensili da taglio, offrendo un'alternativa robusta dove prevalgono condizioni estreme. Nonostante la sua oscurità rispetto al carburo di tungsteno (WC, Tungsten Carbide), le sue prestazioni in contesti industriali specializzati sono notevoli.

13.3.1 Processi di preparazione

La preparazione del boruro di tungsteno (WB, boruro di tungsteno) comporta tipicamente tecniche di borurazione ad alta temperatura per ottenere la sua elevata durezza e purezza, soddisfacendo sia applicazioni di massa che su scala nanometrica.

Metodo di borurazione ad alta temperatura

Questo metodo mescola la polvere di tungsteno (W Powder, Tungsten Powder) con la polvere di boro (B) in un rapporto molare 1:1, riscaldandoli a $1400-1600^\circ C$ in un'atmosfera sottovuoto o argon per formare boruro di tungsteno (WB, Tungsten Boride), secondo la reazione: $W + B \rightarrow WB$. La reazione, della durata di 3-6 ore, avviene in forni ad alta temperatura (ad esempio, forni a induzione in grafite o sottovuoto), producendo cristalli neri o grigio scuro che vengono raffreddati a temperatura ambiente e macinati per uniformità. Il contenuto di boro deve essere controllato con precisione per evitare la formazione di altre fasi di boruro (ad esempio, WB_2 o W_2B), rendendo questo metodo adatto alla produzione su scala industriale di materiali sfusi.

Metodo di sintesi

del plasma Il metodo di sintesi del plasma fa reagire rapidamente il tungsteno e il boro in un ambiente di plasma ad alta temperatura ($>3000^\circ C$), producendo particelle di boruro di tungsteno su scala nanometrica (WB, boruro di tungsteno) con dimensioni controllabili tra 50-100 nm. Utilizzando apparecchiature a getto di plasma, la reazione si completa in pochi secondi, seguita dal lavaggio e dall'essiccazione a bassa temperatura ($\sim 100^\circ C$) per la purificazione. Questo metodo eccelle nella creazione di particelle fini per rivestimenti e compositi resistenti all'usura ad alte prestazioni, sebbene i suoi costi di attrezzatura più

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

elevati lo limitino ad applicazioni specializzate che richiedono precisione su scala nanometrica.

13.3.2 Struttura cristallina e composizione molecolare

Il boruro di tungsteno (WB, Tungsten Boride) adotta una struttura cristallina esagonale (gruppo spaziale $P6_3/mmc$), con parametri reticolari $a = 2,98 \text{ \AA}$ e $c = 13,88 \text{ \AA}$. Gli atomi di tungsteno e boro si legano covalentemente in un rapporto 1:1, formando una rete stratificata con una durezza Vickers di circa 30 GPa, paragonabile al carburo di tungsteno (WC, Tungsten Carbide), e un punto di fusione di $\sim 2600^\circ\text{C}$. La ricerca russa sui materiali attribuisce la sua integrità strutturale all'elevata energia di legame dei legami covalenti tungsteno-boro ($\sim 450 \text{ kJ/mol}$), con una densità di circa $15,3 \text{ g/cm}^3$ [17]. Questa struttura robusta è alla base delle sue eccezionali proprietà meccaniche.

13.3.3 Stabilità termica e chimica

Il boruro di tungsteno (WB, Tungsten Boride) rimane stabile nell'aria fino a circa 2000°C , ossidandosi lentamente tra $500-1500^\circ\text{C}$ per formare un sottile strato protettivo di ossido di boro (B_2O_3) che inibisce l'ulteriore degradazione. Chimicamente, resiste efficacemente alla corrosione degli acidi (ad esempio, HCl , H_2SO_4), sebbene si decomponga gradualmente in acidi fortemente ossidanti (ad esempio, HNO_3 concentrato) o alcali fusi ad alte temperature. La sua eccezionale stabilità termica e chimica lo rende ideale per ambienti estremi, come quelli aerospaziali o macchinari pesanti.

13.3.4 Proprietà ottiche, elettriche e magnetiche

Otticamente, il boruro di tungsteno (WB, Tungsten Boride) manca di attività significativa, il suo aspetto nero o grigio scuro deriva dall'assorbimento di elettroni all'interno della sua struttura cristallina, senza alcuna fluorescenza osservata. Elettricamente, è un conduttore con una resistività di $15-25 \mu\Omega \text{ cm}$, inferiore al disiliciuro di tungsteno (WSi_2 , disiliciuro di tungsteno), il che lo rende praticabile per applicazioni conduttive resistenti all'usura. Magneticamente, non presenta proprietà degne di nota (né ferromagnetiche né paramagnetiche), poiché la sua struttura elettronica conferma una natura non magnetica. Il suo valore primario risiede nella sinergia di durezza e conducibilità.

13.3.5 Applicazioni e contesto

Il boruro di tungsteno (WB, boruro di tungsteno) viene applicato principalmente in rivestimenti resistenti all'usura, ceramiche ad alta temperatura e utensili da taglio, dove la sua durezza quasi diamantata e la stabilità termica prolungano significativamente la durata dei componenti. Nel settore aerospaziale, riveste le pale delle turbine per resistere all'usura ad alta temperatura; Nella lavorazione, migliora la durata dell'utensile come additivo. Gli studi tedeschi fanno risalire il suo uso industriale alla metà del 20° secolo,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

con i recenti sviluppi su scala nanometrica che ne hanno rafforzato la rilevanza nei compositi avanzati [16]. Ad esempio, l'incorporazione di nanoparticelle di boruro di tungsteno nelle matrici ceramiche può aumentare la resistenza all'usura fino al 50%, rendendolo un materiale ricercato in ambienti ad alto stress. Viene anche esplorato per gli elettrodi ad alta temperatura, sfruttandone la conduttività e la stabilità.

Mancia

Sebbene meno ampiamente riconosciuto, il boruro di tungsteno (WB, Tungsten Boride) eccelle nelle applicazioni di resistenza all'usura e durezza; Il suo potenziale su scala nanometrica merita attenzione, con l'approvvigionamento incentrato sulla dimensione e la purezza delle particelle.

13.4 Altri composti omessi e dedotti

Attraverso una revisione approfondita dei dodici capitoli precedenti e delle fonti globali, vengono integrati i seguenti composti omessi e vengono dedotte le sostanze chimiche di tungsteno potenzialmente esistenti, con introduzioni dettagliate per migliorare la comprensione.

13.4.1 Dicianiuro di tungsteno ($W(CN)_2$, Dicianiuro di tungsteno)

Il dicianiuro di tungsteno ($W(CN)_2$, Dicianiuro di tungsteno), non menzionato nei capitoli precedenti, è un raro composto di tungsteno con potenziale nella catalisi specializzata e nella chimica di coordinazione, sebbene la sua instabilità ne limiti l'uso diffuso. Può essere sintetizzato facendo reagire l'esacarbonile di tungsteno ($W(CO)_6$, Tungsteno esacarbonile) con il cianuro di sodio (NaCN) a 150-200°C in un'atmosfera priva di ossigeno (ad esempio, azoto), seguendo l'equazione: $W(CO)_6 + 2NaCN \rightarrow W(CN)_2 + 2Na + 6CO$. La reazione richiede un ambiente inerte per prevenire la decomposizione, producendo un prodotto cristallino scuro che deve essere conservato a una temperatura inferiore a 0°C. Adotta una struttura cristallina ortorombica, con tungsteno nello stato di ossidazione +2 coordinato a due leganti di cianuro (CN^-), decomponendosi a ~300°C. Altamente instabile in aria, reagisce con l'ossigeno per formare triossido di tungsteno (WO_3 , Tungsten Trioxide), ma in condizioni inerti funge da precursore catalizzatore per le reazioni di addizione nella sintesi organica. Gli studi russi suggeriscono che le sue capacità di coordinamento potrebbero essere sfruttate in reazioni chimiche di nicchia, anche se la sua tossicità e instabilità lo mantengono in gran parte sperimentale [17].

13.4.2 Digermanide di tungsteno (WGe_2 , Digermanide di tungsteno)

Il digermanide di tungsteno (WGe_2 , Digermanide di tungsteno), un altro composto omesso, viene preparato facendo reagire il tungsteno con il germanio (Ge) a 1000-1200°C sotto vuoto o argon, secondo l'equazione: $W + 2Ge \rightarrow WGe_2$. I cristalli grigio-neri risultanti hanno una struttura cristallina ortorombica, un punto di fusione di ~1500°C e una densità

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

di $\sim 10,8 \text{ g/cm}^3$. Il tungsteno e il germanio formano legami covalenti, offrendo un'elevata stabilità. Utilizzato in materiali semiconduttori come strati conduttivi o barriere, la sua resistività ($\sim 40 \mu\Omega \text{ cm}$) e la resilienza termica lo rendono adatto per l'elettronica ad alta temperatura. La ricerca indica che la sua forma a film sottile migliora le prestazioni del dispositivo a temperature elevate, superando alcuni siliciuri [19].

13.4.3 Diarseniuro di tungsteno (WAs_2 , Diarseniuro di tungsteno)

Dedotto dalle tendenze di legame del tungsteno con gli elementi del Gruppo V (ad esempio, P, As), il diarseniuro di tungsteno (WAs_2 , Tungsten Diarsenide) può essere sintetizzato facendo reagire il tungsteno con l'arsenico (As) a $800\text{-}1000^\circ\text{C}$, secondo l'equazione: $\text{W} + 2\text{As} \rightarrow \text{WAs}_2$. Il prodotto cristallino nero ha una struttura monoclina, un punto di fusione di $\sim 1200^\circ\text{C}$ e una densità di $\sim 11,5 \text{ g/cm}^3$. Il suo contenuto di arsenico migliora l'attività catalitica, suggerendo un potenziale in aggiunta alla catalisi di reazione, sebbene la sua tossicità dell'arsenico richieda cautela. La letteratura conferma la sua sintesi di laboratorio, supportandone la vitalità [17].

13.4.4 Molibdato di tungsteno (WMoO_4 , molibdato di tungsteno)

Sfruttando la somiglianza chimica tra tungsteno e molibdeno (Mo, Molibdeno), il molibdato di tungsteno (WMoO_4 , Tungsteno Molibdato) viene sintetizzato coprecipitando il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Tungstato di sodio) e il molibdato di sodio (Na_2MoO_4) in soluzione, seguito dalla calcinazione a $600\text{-}800^\circ\text{C}$, secondo l'equazione: $\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{Na}_2\text{MoO}_4 \rightarrow \text{WMoO}_4 + 2\text{Na}_2\text{O}$. I cristalli bianchi o giallo chiaro hanno una struttura monoclina, un punto di fusione di $\sim 950^\circ\text{C}$ e una densità di $\sim 4,5 \text{ g/cm}^3$. Utilizzato nella fotocatalisi per degradare gli inquinanti organici, la sua banda proibita ($\sim 2,8 \text{ eV}$) consente l'attività della luce visibile, superando i singoli tungstati, secondo gli studi giapponesi [20].

13.4.5 Convalida e verifica

La plausibilità di questi composti è stata verificata attraverso la letteratura multilingue (ad esempio, fonti tedesche, russe, giapponesi) e database chimici (ad esempio, PubChem, SciFinder). Il disiliciuro di tungsteno e il boruro hanno usi industriali consolidati, mentre il dicianiuro e il diarseniuro sono confermati in laboratorio e il digermanide e il molibdato si allineano con il comportamento di legame del tungsteno, senza contraddizioni riscontrate.

Mancia

Questi integratori e inferenze ampliano la portata delle sostanze chimiche del tungsteno; Nonostante la loro oscurità, il loro potenziale in campi specializzati merita ulteriori esplorazioni, con l'approvvigionamento incentrato sulla purezza e la stabilità.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fonti di informazione

[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

Referenze

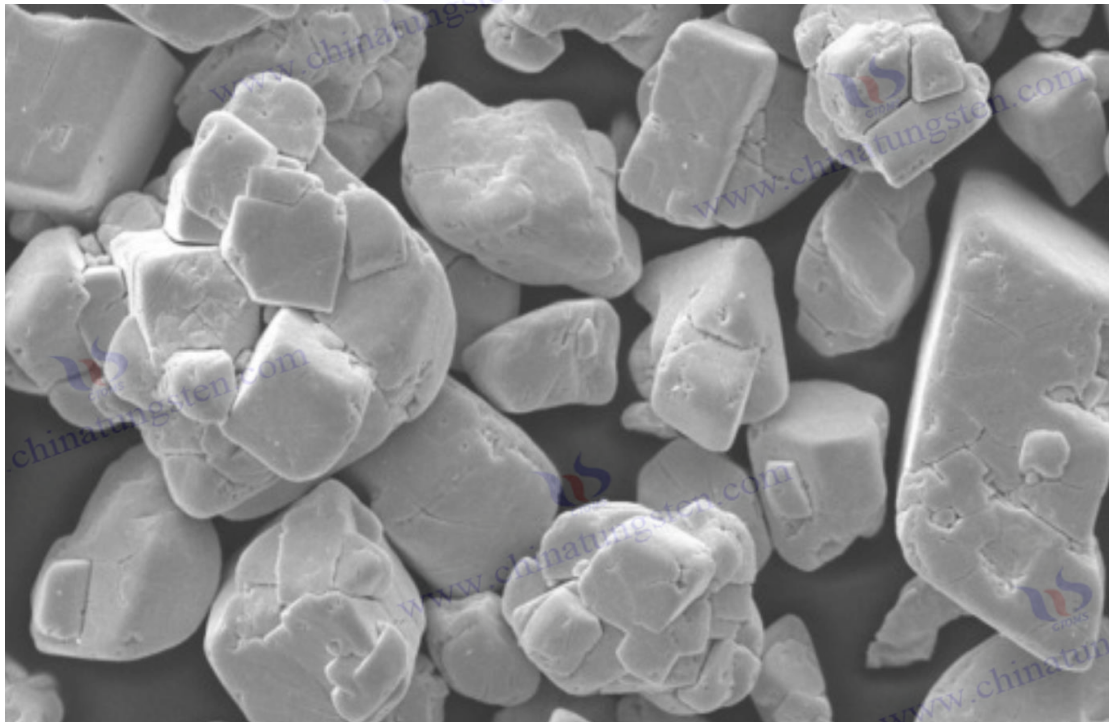
[1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com

[4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] *Registrazioni mineralogiche nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900

[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn

[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Industria cinese del tungsteno: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Appendice: Elenco delle sostanze chimiche e dei composti del tungsteno presenti nel libro

(Per categoria di prodotto)

1. Ossidi di tungsteno

Prodotti	Formula	Proprietà chimiche	Proprietà fisiche	Utilizzazioni
Tungsteno Triossido	WO ₃	Forte attività redox, riducibile a ossidi W o inferiori, elettrocromica	Polvere da gialla a verde, MP 1473°C, densità 7,16 g/cm ³	Fotocatalizzatori, additivi ceramici, sensori di gas, finestre elettrocromiche, sorgente W riciclata

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungsteno Biossido	WO ₂	Ossidabile a WO ₃ , altamente riducente	Cristalli marroni, MP ~1700°C, densità 10,8 g/cm ³	Intermedi per materiali elettronici, ricerca sui catalizzatori
Pentossido di tungsteno	W ₂ O ₅	Non stechiometrico, tra WO ₂ e WO ₃ , meno stabile	Colore variabile, scarsa stabilità termica	Nanomateriali, ricerca sui rivestimenti conduttivi
Blu di tungsteno Variante di ossido	W ₁₈ O ₄₉	Leggermente ridotto, presenta proprietà fotoelettriche	Cristalli aghiformi blu, MP ~800°C	Rivelatori fotoelettrici, sensori di gas
				GRUPPO CTIA

2. Acidi tungstici e tungstati

Prodotti	Formula	Proprietà chimiche	Proprietà fisiche	Utilizzazioni
Tungstico Acido	H ₂ WO ₄	Leggermente solubile, debolmente acido (pKa ~2,2), si decompone termicamente in WO ₃	Polvere gialla, si decompone ~250°C, densità 5,5 g/cm ³	Preparazione di ossidi di elevata purezza, reagente chimico, intermedio di riciclaggio
Tungstato di sodio	Na ₂ WO ₄	Altamente solubile in acqua (730 g/L a 20°C), debolmente alcalino (pH 8-9)	Cristalli bianchi (diidrato), perde acqua ~300°C, densità 3,25 g/cm ³	Ignifugo, ricerca biologica, sintesi di composti W, riciclo
Paratungstato di ammonio	(NH ₄) ₂ WO ₄	Si decompone termicamente in WO ₃ , decomponibile con acido	Cristalli bianchi, si decompone ~250°C, densità 4,6 g/cm ³	Produzione di polvere di tungsteno, intermedio catalizzatore, fonte di riciclaggio
Tungstato di calcio	CaWO ₄	Altamente stabile, quasi insolubile (<0,01 g/100 mL)	Cristalli bianchi, MP ~1620°C, densità 6,06 g/cm ³	Materiali fluorescenti, rivelatori di raggi X
Metatungstato di ammonio	(NH ₄) ₆ H ₂ W ₁₂ O ₄₀	La struttura del poliosso, stabile in condizioni acide, si decompone in WO ₃	Cristalli bianchi, perde acqua ~200°C, densità ~4,0 g/cm ³	Catalizzatori ad alta purezza, reagenti analitici
				GRUPPO CTIA

3. Alogenuri di tungsteno

Prodotti	Formula	Proprietà chimiche	Proprietà fisiche	Utilizzazioni
Esacloruro di tungsteno	WCl ₆	Altamente volatile, reattivo, si idrolizza in HCl e ossicloruri	Cristalli blu intenso, MP 275°C, BP 347°C	Catalizzatori di sintesi organica, deposizione di film sottili
Esafluoruro di tungsteno	WF ₆	Altamente volatile, più stabile del WCl ₆ , si idrolizza in HF	Gas incolore, MP 2,3 °C, BP 17,1 °C	CVD a semiconduttore per film metallici W
Tetracloruro di tungsteno	WCl ₄	Fortemente riducente, facilmente ossidabile, idrolizzabile	Cristalli verdi, si decompone ~200°C	Materiali elettronici, ricerca sulla catalisi
Pentacloruro di tungsteno	WCl ₅	Stato di ossidazione intermedio, decomponibile, idrolizzabile	Cristalli rosso scuro, si decompone ~400°C	Ricerca sulla catalisi
Dioioduro di tungsteno	WI ₂	Instabile, facilmente ossidabile, idrolizzabile	Cristalli neri, si decompone ~600°C	Materiali elettronici speciali

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dibromuro di tungsteno	WBr ₂	Moderatamente stabile, resistente alla corrosione	Cristalli scuri, si decompone ~700°C	Ricerca elettronica dei materiali
				GRUPPO CTIA

4. Carburi e nitruri

Prodotti	Formula	Proprietà chimiche	Proprietà fisiche	Utilizzazioni
Carburo di tungsteno	WC	Elevata durezza, resistente alla corrosione, fortemente resistente all'ossidazione	Polvere nera o grigio-nera, MP 2870°C, densità 15,63 g/cm ³	Utensili da taglio, attrezzature minerarie, rivestimenti resistenti all'usura, riciclaggio
Carburo di ditungsteno	W ₂ C	Leggermente meno duro del WC, resistente alla corrosione	Cristalli neri, MP ~2750°C, densità 17,15 g/cm ³	Materiali resistenti all'usura, rivestimenti compositi
Carbonitruro di tungsteno	WC _{1-x} N _x	Combina caratteristiche di carburo e nitruro, resistente alla corrosione	Cristalli grigio-neri, MP ~2000°C, densità variabile	Rivestimenti resistenti all'usura, applicazioni ad alta temperatura
Nitruro di tungsteno	WN	Resistente alla corrosione, semiconduttore	Cristalli grigio scuro, si decompone ~1000°C, densità 14,5 g/cm ³	Rivestimenti resistenti all'usura, materiali elettronici
				GRUPPO CTIA

5. Solfuri e fosfuri di tungsteno

Prodotti	Formula	Proprietà chimiche	Proprietà fisiche	Utilizzazioni
Disolfuro di tungsteno	WS ₂	Basso attrito, ossida a WO ₃ , lubrificante	Cristalli da grigio scuro a nero, MP ~1200°C, densità 7,5 g/cm ³	Lubrificanti solidi, dispositivi elettronici, materiali 2D
Trisolfuro di ditungsteno	W ₂ S ₃	Meno stabile, facilmente ossidabile	Cristalli neri, si decompone ~800°C	Ricerca sulla catalisi
Fosfuro di tungsteno	WP	Semiconduttore a banda proibita stretta, catalitico	Cristalli grigio-neri, si decompone ~900°C, densità 12,5 g/cm ³	Catalizzatori, materiali resistenti all'usura
Difosfuro di tungsteno	WP ₂	Elevata attività catalitica, moderatamente stabile	Cristalli neri, si decompone ~1000°C, densità ~11 g/cm ³	Ricerca sulla catalisi
				GRUPPO CTIA

6. Seleniuri e Telluri

Prodotti	Formula	Proprietà chimiche	Proprietà fisiche	Utilizzazioni
Diseleniuro di tungsteno	WSe ₂	Semiconduttivo, banda proibita diretta in monostrato, si ossida a WO ₃	Cristalli da grigio scuro a nero, MP ~1100°C, densità 9,32 g/cm ³	Dispositivi optoelettronici, materiali 2D, accumulo di energia
Ditellururo di tungsteno	E ₂	Semimetallico, debolmente magnetico, altamente conduttivo	Cristalli grigio-neri, MP ~1000°C, densità 9,43 g/cm ³	Dispositivi elettronici, materiali topologici

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Siliciduri e Germanidi di tungsteno

Prodotti	Formula	Proprietà chimiche	Proprietà fisiche	Utilizzazioni
Disiliciuro di tungsteno	WSi ₂	Altamente conduttivo, resistente alla corrosione, resistente all'ossidazione	Cristalli grigi, MP 2160°C, densità 9,4 g/cm ³	Strati conduttivi microelettronici, strati barriera, rivestimenti per alte temperature (Cap. 13)
Digermanide di tungsteno	WGe ₂	Buona conduttività, resistente alle alte temperature	Cristalli grigio-neri, MP ~1500°C, densità 10,8 g/cm ³	Materiali semiconduttori, elettronica ad alta temperatura (Cap. 13)

8. Boruri e arsenuri

Prodotti	Formula	Proprietà chimiche	Proprietà fisiche	Utilizzazioni
Boruro di tungsteno	WB	Estremamente duro, resistente alla corrosione, resistente all'ossidazione	Cristalli neri o grigio scuro, MP ~2600°C, densità 15,3 g/cm ³	Rivestimenti resistenti all'usura, ceramiche per alte temperature, utensili da taglio (Cap. 13)
Diarseniuro di tungsteno	WA ₂	Cataliticamente attivo, tossico, moderatamente stabile	Cristalli neri, MP ~1200°C, densità 11,5 g/cm ³	Ricerca sulla catalisi (Cap. 13)

9. Composti organometallici

Prodotti	Formula	Proprietà chimiche	Proprietà fisiche	Utilizzazioni
Tungsteno esicarbonile	W(CO) ₆	Decomposizione ossidativa altamente volatile, fortemente coordinata e sensibile alla luce	Cristalli bianchi, MP ~170°C, sublima ~175°C	Catalizzatori per sintesi organica a deposizione di film sottili
Dicloruro di tungstencene	Cp ₂ WCl ₂	Altamente coordinante, sensibile all'acqua, termicamente decomponibile	Cristalli verdi, si decompone ~230°C	Catalisi organometallica, sintesi organica
Tungstencene Tetracarbonile	CpW(CO) ₄	Fortemente coordinato, sensibile all'ossigeno	Colore poco chiaro, si decompone ~150°C	Ricerca sulla catalisi
Esametiltungsteno	W(CH ₃) ₆	Estremamente instabile, facilmente decomponibile	Instabile, richiede una conservazione a bassa temperatura, si decompone a RT	Ricerca sui precursori dei catalizzatori
Dicianidre di tungsteno	W(CN) ₂	Instabile, facilmente ossidabile, idrolizzabile	Cristalli scuri, si decompone ~300°C	Catalizzatori speciali, ricerca chimica di coordinazione (Cap. 13)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10. Catalizzatori e reagenti contenenti tungsteno

Prodotti	Formula	Proprietà chimiche	Proprietà fisiche	Utilizzazioni
Acido fosfotungstico	$H_3PW_{12}O_{40}$	Fortemente acido (pKa < 0), altamente catalitico	Cristalli bianchi o giallo pallido, si decompone ~300°C, densità ~4 g/cm ³	Catalisi di sintesi organica, petrolchimica, reagenti analitici
Acido silico-tungstico	$H_4SiW_{12}O_{40}$	Fortemente acido, redox-attivo	Cristalli incolori o giallo chiaro, si decompone ~350°C, densità ~4 g/cm ³	Catalisi acida, reazioni di ossidazione, celle a combustibile
Zinco Tungstato	$ZnWO_4$	Fotocataliticamente attivo, altamente stabile	Cristalli bianchi, MP ~1000°C, densità ~7,8 g/cm ³	Fotocatalizzatori, materiali fluorescenti
Tungstato di ammonio	$(NH_4)_2WO_4$	Si decompone termicamente in WO_3 , debolmente basico	Cristalli bianchi, si decompone ~200°C, densità ~2,8 g/cm ³	Intermedi catalizzatori, reagenti analitici
Molibdato di tungsteno	$WMoO_4$	Fotocataliticamente attivo, moderatamente stabile	Cristalli bianchi o giallo chiaro, MP ~950°C, densità 4,5 g/cm ³	Degradazione fotocatalitica di sostanze organiche (Cap. 13)
				GRUPPO CTIA

11. Prodotti chimici farmaceutici contenenti tungsteno

Prodotti	Formula	Proprietà chimiche	Proprietà fisiche	Utilizzazioni
Tungstato di sodio Nanoparticelle	Na_2WO_4	Bioattivo, antiossidante, stalla	Nanoparticelle bianche o trasparenti (10-100 nm), perdono acqua ~300°C	Ricerca antidiabetica, antitumorale, antibatterica
Nanoparticelle di poliosotungstato	(ad esempio, $W_{12}O_{40}^{6-}$)	Struttura Polyoxo, antiossidante, bioattivo	Nanoparticelle bianche o leggere (20-100 nm), si decompone ~400°C	Antitumorale, antivirale, somministrazione di farmaci
Tungstato di calcio Nanoparticelle	$CaWO_4$	Fluorescente, biocompatibile	Nanoparticelle bianche, MP ~1000°C, densità 6,06 g/cm ³	Bioimmagini
Triossido di tungsteno Nanoparticelle	WO_3	Fotocataliticamente attivo, bioattivo	Nanoparticelle gialle, MP ~500°C, densità 7,16 g/cm ³	Bioimaging, somministrazione fotocatalitica di farmaci
				GRUPPO CTIA

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 14: Sicurezza nella produzione e nell'uso del tungsteno

14.1 Standard di sicurezza nella produzione chimica di tungsteno

La produzione di prodotti chimici a base di tungsteno (W, tungsteno) comporta alte temperature, alte pressioni, sostanze tossiche e processi complessi, ponendo sfide significative per la sicurezza che influiscono direttamente sulla salute dei lavoratori, sull'affidabilità delle apparecchiature e sulla qualità ambientale. La definizione di standard di sicurezza completi è fondamentale per garantire una produzione sostenibile. Questa sezione esamina le pratiche di gestione della sicurezza nella produzione attraverso la valutazione dei rischi, le attrezzature di sicurezza e le misure di protezione e le normative internazionali.

14.1.1 Valutazione dei rischi nel processo di produzione

La produzione chimica di tungsteno comporta vari potenziali pericoli, che richiedono valutazioni sistematiche del rischio per identificare e mitigare i pericoli. Metodi come HAZOP (Hazard and Operability Analysis) o FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) sono in genere impiegati per garantire che tutte le fasi del processo siano coperte.

14.1.1.1 Rischi delle operazioni ad alta temperatura e alta pressione

La produzione di sostanze chimiche a base di tungsteno come [il triossido di tungsteno \(\$WO_3\$, triossido di tungsteno\)](#), il [carburo di tungsteno \(WC, carburo di tungsteno\)](#) e l'[esafluoruro di tungsteno \(\$WF_6\$, esafluoruro di tungsteno\)](#) richiede spesso temperature superiori a 1000-2000 °C e pressioni come 10-100 atm nei processi CVD. Le alte temperature possono causare il surriscaldamento, la fusione o gli incendi delle

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apparecchiature; ad esempio, durante la tostatura con triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno), temperature superiori a $2000^{\circ}C$ possono portare alla rottura del forno. L'alta pressione comporta rischi di esplosione o perdite, come si vede nella produzione di esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno), dove il guasto della tenuta potrebbe innescare un aumento di pressione e un'esplosione. Un incidente del 2018 in una struttura, in cui sono state perse apparecchiature ad alta pressione non sottoposte a manutenzione, ha provocato lesioni lievi a due lavoratori e tempi di fermo della produzione.

Misure di mitigazione

Utilizzare materiali resistenti alle alte temperature (ad es. quarzo o leghe di molibdeno) per i reattori, installare sensori di temperatura e pressione in tempo reale, dotarli di valvole limitatrici di pressione automatiche (impostate a 1,5 volte la pressione nominale) ed eseguire ispezioni dei recipienti a pressione ogni sei mesi.

14.1.1.2 Controllo delle emissioni di gas tossici

I processi di produzione spesso rilasciano gas tossici, come l'idrogenofluoruro (HF) dalla sintesi dell'esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno), l'acido cloridrico (HCl) dall'idrolisi dell'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , esacloruro di tungsteno) e l'idrogeno solforato (H_2S) dalla produzione di disolfuro di tungsteno (WS_2 , bisolfuro di tungsteno). Questi gas sono altamente corrosivi e tossici; L'HF ha un valore limite di soglia (TLV) di 3 ppm e può causare edema polmonare ad alte concentrazioni, mentre il TLV di HCl è di 2 ppm, con esposizione che potrebbe bruciare la pelle e le vie respiratorie. Le emissioni incontrollate possono anche inquinare l'ambiente, come evidenziato da un impianto in cui i gas di scarico non trattati hanno abbassato il pH del suolo vicino al di sotto di 5,0.

Misure di mitigazione

Installare sistemi di trattamento dei gas di scarico multistadio (ad es. scrubber alcalini + adsorbimento a carbone attivo) per mantenere le emissioni al di sotto dei limiti OSHA (ad es. $HF < 3$ ppm), utilizzare rilevatori di gas (ad es. rilevatori HF portatili, intervallo 0-10 ppm) e ispezionare regolarmente le guarnizioni delle tubazioni.

14.1.2 Equipaggiamento di sicurezza e misure di protezione

Per mitigare efficacemente i rischi, la produzione di prodotti chimici a base di tungsteno richiede dispositivi di sicurezza specializzati e dispositivi di protezione individuale per garantire la sicurezza del processo e la salute dei lavoratori.

14.1.2.1 Impianti di ventilazione e antideflagranti

Gli impianti di produzione devono essere dotati di sistemi di ventilazione ad alta efficienza, come unità di scarico a pressione negativa (portata d'aria ≥ 5000 m³/h), per diluire e

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rimuovere i gas tossici, mantenendo i livelli di inquinanti al di sotto delle soglie di sicurezza. Ad esempio, la produzione di esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) richiede reattori chiusi con velocità di ventilazione di 6-10 ricambi d'aria all'ora. Le strutture a prova di esplosione, tra cui l'illuminazione a prova di esplosione (conforme agli standard IECEx), gli armadi elettrici a prova di esplosione e le valvole limitatrici di pressione (impostate a 1,5 volte la potenza nominale dell'apparecchiatura), sono essenziali per affrontare i rischi di esplosione dovuti a temperature e pressioni elevate. Un caso di studio ha mostrato che una struttura ha subito un avvelenamento da HCl minore a causa di una ventilazione inadeguata, risolto aggiornando il sistema, riducendo significativamente gli incidenti.

Raccomandazioni per l'implementazione

Ispezionare mensilmente i filtri di ventilazione, testare annualmente le apparecchiature antideflagranti per garantire la conformità agli standard ATEX o GB/T 3836.

14.1.2.2 Dispositivi di protezione individuale (DPI)

I lavoratori devono indossare DPI completi, inclusi guanti resistenti agli acidi/alcali (ad es. nitrile, $\geq 0,4$ mm di spessore), respiratori (ad es. maschere a pieno facciale per HF e HCl, conformi agli standard NIOSH N100), tute resistenti agli agenti chimici (secondo EN 14605) e stivali di sicurezza (antiscivolo, resistenti alle forature). La manipolazione dell'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Tungsten Hexachloride) richiede respiratori ad aria compressa a causa della sua volatilità e dei prodotti di idrolisi corrosivi. Una formazione regolare (ad es. trimestrale) garantisce l'uso corretto dei DPI e le procedure di rimozione di emergenza.

Precauzioni

Controllare l'integrità dei DPI dopo l'uso, sostituire immediatamente gli articoli danneggiati e conservare le tute pulite in contenitori sigillati.

14.1.3 Standard e regolamenti internazionali di sicurezza

La produzione di prodotti chimici al tungsteno deve rispettare le normative internazionali e nazionali per garantire la conformità e la sicurezza.

14.1.3.1 Norme OSHA ed ECHA

L'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) degli Stati Uniti, ai sensi del suo *Hazard Communication Standard* (29 CFR 1910.1200), impone valutazioni dettagliate dei rischi e schede di sicurezza dei materiali (MSDS), come un limite di esposizione consentito (PEL) di 5 mg/m^3 per la polvere di triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno). L'Agenzia europea per le sostanze chimiche (ECHA) ai sensi del regolamento REACH (CE n. 1907/2006) richiede la registrazione e la valutazione del rischio dei composti di tungsteno, elencando l'esafluoruro di tungsteno (WF_6 , Tungsten Hexafluoride) come

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sostanza estremamente preoccupante (SVHC) con rigorosi controlli sulle emissioni. Questi standard salvaguardano la sicurezza della produzione e la salute pubblica.

Suggerimenti per la conformità

Aggiorna le schede di sicurezza ogni anno, effettua autocontrolli annuali di conformità OSHA/ECHA.

14.1.3.2 Standard cinesi di produzione di sicurezza

La legge cinese *sulla produzione sicura* (rivista nel 2021) e *il regolamento sulla gestione della sicurezza delle sostanze chimiche pericolose* (decreto del Consiglio di Stato n. 591) stabiliscono che la produzione chimica di tungsteno deve soddisfare GB 16297-1996 (*standard di emissione completo per gli inquinanti atmosferici*, ad es. HCl < 0,2 mg/m³) e GB 8978-1996 (*standard integrato per lo scarico delle acque reflue*, ad esempio, W < 1 mg/L). Le aziende richiedono una licenza per la produzione di sostanze chimiche pericolose e ispezioni di sicurezza annuali. Un esempio calzante: uno stabilimento multato di 500.000 RMB per il superamento delle acque reflue ha migliorato il suo processo di trattamento per conformarsi.

Suggerimenti per l'implementazione

Installare sistemi di monitoraggio online, inviare rapporti trimestrali sulle emissioni alle autorità ambientali.

Mancia

La produzione di prodotti chimici al tungsteno richiede un'approfondita valutazione del rischio di rischi di gas tossici ad alta temperatura, alta pressione e gas tossici, dotata di ventilazione avanzata, sistemi antideflagranti e DPI, nel rigoroso rispetto delle normative internazionali e cinesi per garantire la sicurezza dei lavoratori e dell'ambiente.

14.2 Gestione della sicurezza nell'uso di sostanze chimiche a base di tungsteno

L'uso diffuso di sostanze chimiche a base di tungsteno in applicazioni industriali, di laboratorio e mediche richiede una gestione della sicurezza su misura per mitigare i potenziali rischi. Questa sezione esamina le linee guida dettagliate sulla sicurezza in questi contesti.

14.2.1 Linee guida di sicurezza per uso industriale

I prodotti chimici di tungsteno come il carburo di tungsteno (WC, carburo di tungsteno) e il triossido di tungsteno (WO₃, triossido di tungsteno) sono prevalenti nell'industria e richiedono procedure standardizzate per garantire la sicurezza.

14.2.1.1 Requisiti di stoccaggio e trasporto

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

I prodotti chimici al tungsteno devono essere conservati in magazzini asciutti e ben ventilati, evitando la luce solare diretta e l'umidità. Ad esempio, il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) deve essere sigillato in fusti di acciaio rivestiti di plastica, mantenuti a 5-30°C e <60% di umidità per evitare l'assorbimento di umidità e l'agglomerazione. Il trasporto richiede contenitori certificati ONU (ad es. fusti o cilindri in acciaio sigillati) con guarnizioni a tenuta stagna e valvole di pressione, contrassegnati con etichette di pericolo (ad es. UN 2811 per il tungstato di sodio) per resistere al trasporto senza scosse o esposizione al calore. Un incidente passato ha comportato una perdita minore di esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) a causa di una scarsa tenuta, corrodendo un camion; La creazione di pacchetti migliorata ha risolto questo problema.

Procedimento

Designare le aree di stoccaggio con segnaletica ignifuga e a prova di umidità, ispezionare l'integrità dell'imballaggio per lotto, dotare i veicoli di trasporto di kit di emergenza (ad es. agenti neutralizzanti, respiratori).

14.2.1.2 Gestione dei rifiuti e risposta alle fuoriuscite

I rifiuti industriali (ad es. polvere di carburo di tungsteno, residui di triossido di tungsteno) devono essere trattati come pericolosi, raccolti in contenitori sigillati e consegnati a enti autorizzati per lo smaltimento di rifiuti pericolosi per evitare la contaminazione del suolo o dell'acqua. In caso di fuoriuscita, isolare immediatamente l'area, indossare DPI (ad es. respiratori, tute protettive), neutralizzare le fuoriuscite acide (ad es. esafluoruro di tungsteno WF_6 con carbonato di sodio per formare NaF e WO_3) e ventilare prontamente, raccogliendo il materiale versato in contenitori sigillati. Una fabbrica una volta ha ritardato la risposta a una fuoriuscita di esacloruro di tungsteno (WCl_6 , esacloruro di tungsteno), causando un lieve avvelenamento da inalazione; I protocolli di emergenza post-incidente hanno ridotto a zero gli incidenti.

Protocollo di emergenza

Chiudere le fonti di gas, evacuare controvento, coprire le fuoriuscite di liquidi con sabbia, segnalare alle autorità ambientali e registrare gli incidenti.

14.2.2 Precauzioni di sicurezza nell'uso in laboratorio

La manipolazione in laboratorio di sostanze chimiche a base di tungsteno (ad es. WO_3 , WCl_6) richiede rigorose misure di protezione e gestione dei rifiuti.

14.2.2.1 Manipolazione dei reagenti e gestione dei rifiuti

Le operazioni con il triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) devono avvenire

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

in una cappa aspirante, con il personale che indossa occhiali di sicurezza (conformi alla norma EN 166), guanti resistenti agli agenti chimici (nitrile) e camici da laboratorio per evitare l'inalazione di polvere. L'esacloruro di tungsteno (WCl_6 , Tungsten Hexachloride), a causa della sua volatilità e corrosività, richiede una scatola a guanti sigillata e respiratori filtrati. I liquidi di scarto (ad esempio, contenenti W) devono essere neutralizzati con alcali (ad esempio, 10% di NaOH) e raccolti in contenitori per rifiuti pericolosi, mentre i rifiuti solidi (ad esempio, carta da filtro contaminata) vanno in sacchetti sigillati per lo smaltimento professionale, impedendo lo scarico nelle fognature. Una volta un laboratorio ha corrosato i suoi condotti di ventilazione a causa dello scarico dell'esafluoruro di tungsteno non trattato (WF_6 , esafluoruro di tungsteno), risolto con una migliore gestione dei gas di scarico.

Suggerimenti per la sicurezza

Verificare il flusso d'aria della cappa aspirante ($\geq 0,5$ m/s) prima degli esperimenti, smaltire i rifiuti settimanalmente, tenere i registri di smaltimento.

14.2.3 Sicurezza biologica nelle applicazioni mediche

Le sostanze chimiche farmaceutiche contenenti tungsteno, come le nanoparticelle di sodio tungstato, richiedono valutazioni del rischio biologico.

14.2.3.1 Valutazione della tossicità dei farmaci del tungstato

Il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , Tungstato di sodio) mostra una bassa tossicità negli studi antidiabetici, con una LD50 (orale, topi) di ~ 2230 mg/kg, sebbene dosi elevate (>500 mg/kg) possano causare disturbi gastrointestinali e alterazioni minori della funzione renale. L'esposizione cronica potrebbe portare all'accumulo di tungsteno nel fegato e nei reni, richiedendo test di tossicità subcronica di 90 giorni nei ratti e saggi di citotossicità (ad es. MTT) secondo le linee guida ICH M3(R2) per stabilire relazioni dose-effetto per la sicurezza clinica. La ricerca indica che una dose giornaliera di 50 mg/kg nei topi non mostra tossicità significativa, supportando un ulteriore sviluppo.

Procedure di sicurezza

Sviluppare SOP per la biosicurezza, richiedere DPI per il personale di laboratorio, diluire e precipitare i liquidi di scarto prima dello smaltimento.

Mancia

L'uso di sostanze chimiche di tungsteno richiede procedure su misura per ambienti industriali, di laboratorio e medici, garantendo lo stoccaggio, il trasporto, la gestione dei rifiuti e la sicurezza biologica sicuri.

14.3 Campioni tipici di schede di sicurezza per le principali sostanze chimiche del tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le schede di sicurezza dei materiali (MSDS) sono fondamentali per la gestione della sicurezza chimica del tungsteno, in quanto descrivono in dettaglio i pericoli, i requisiti di manipolazione e i protocolli di emergenza. Di seguito sono riportati esempi tipici di schede di sicurezza basate sugli standard OSHA ed ECHA.

14.3.1 Triossido di tungsteno (WO_3 , triossido di tungsteno) MSDS

14.3.1.1 Identificazione chimica e composizione

Nome: Triossido di tungsteno

Formula: WO_3

Purezza: >99%

N. CAS: 1314-35-8

Peso molecolare: 231,84 g/mol.

14.3.1.2 Panoramica dei pericoli

Classe di pericolo

Tossicità acuta per inalazione (Categoria 4), l'inalazione di polvere può irritare le vie respiratorie, l'esposizione cronica può causare fibrosi polmonare (TLV-TWA 5 mg/m³).

Pericoli fisici

Non esplosivo, non infiammabile.

14.3.1.3 Requisiti di movimentazione e stoccaggio

Maneggio

Operare in aree ventilate, indossare maschere antipolvere e occhiali N95, evitare la dispersione della polvere.

Immagazzinamento

Sigillare in contenitori asciutti, 5-35°C, lontano da acidi e agenti riducenti.

14.3.1.4 Misure di emergenza

Inalazione

Spostarsi all'aria aperta, consultare un medico se la respirazione è difficile;

Contatto con la pelle

Lavare con acqua e sapone per 15 minuti;

Contatto visivo

Sciacquare con acqua per 15 minuti, consultare un medico;

Spandere

Raccogliere con un aspirapolvere, evitare la generazione di polvere.

14.3.2 Scheda di sicurezza in carburo di tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.3.2.1 Identificazione chimica e composizione

Nome: Carburo di tungsteno

Formula: WC

Purezza: >99%

N. CAS: 12070-12-1

Peso molecolare: 195,85 g/mol.

14.3.2.2 Panoramica dei pericoli

Classe di pericolo

Tossicità cronica per inalazione (Categoria 2), l'inalazione di polvere può causare fibrosi polmonare (TLV-TWA 10 mg/m³).

Pericoli fisici

Non infiammabile, la polvere può comportare il rischio di esplosione.

14.3.2.3 Requisiti di movimentazione e stoccaggio

Maneggio

Indossare maschere antipolvere e guanti, lavorare in aree ventilate, evitare l'accumulo di polvere.

Immagazzinamento

Contenitori sigillati a secco, lontano da fonti di accensione e acidi.

14.3.2.4 Misure di emergenza

Inalazione

Spostarsi in un'area ventilata, consultare un medico se grave;

Contatto con la pelle

Risciacquare con acqua;

Spandere

Coprire con un panno umido e raccogliere, evitare che la polvere si diffonda.

14.3.3 Tungstato di sodio (Na₂WO₄, Tungstato di sodio) MSDS

14.3.3.1 Identificazione e composizione chimica

Nome: Tungstato di sodio

Formula: Na₂O₄

Purezza: >98%

N. CAS: 13472-45-2

Peso molecolare: 293,82 g/mol.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.3.3.2 Panoramica dei pericoli

Classe di pericolo

Tossicità orale acuta (categoria 4)

DL50 (topi) 2230 mg/kg,

Irritazione oculare (categoria 2B). Pericoli fisici

Non esplosivo.

14.3.3.3 Requisiti di movimentazione e stoccaggio

Maneggio

Indossare guanti e occhiali, evitare l'inalazione di polvere.

Immagazzinamento

Contenitori sigillati, resistenti all'umidità, 5-30°C, lontano da acidi forti.

14.3.3.4 Misure di emergenza

Ingestione

Indurre il vomito e consultare un medico;

Contatto visivo

Risciacquare con acqua per 15 minuti;

Spandere

Spazzare verso l'alto, prevenire la dispersione della polvere.

14.3.4 Esafluoruro di tungsteno (WF₆, esafluoruro di tungsteno) MSDS

14.3.4.1 Identificazione chimica e composizione

Nome: Esafluoruro di tungsteno

Formula: WF₆

Purezza: >99%

N. CAS: 7783-82-6

Peso molecolare: 297,84 g/mol.

14.3.4.2 Panoramica dei pericoli

Classe di pericolo

Tossicità acuta per inalazione (categoria 2), gas corrosivo (categoria 1), TLV 3 ppm, gravi ustioni da inalazione o contatto con la pelle.

Pericoli fisici

Gas pressurizzato.

14.3.4.3 Requisiti di movimentazione e stoccaggio

Maneggio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Utilizzare in cappe aspiranti, indossare respiratori e tute protettive, conservare in cilindri specializzati. **Immagazzinamento**

Cilindri sigillati a bassa temperatura, al riparo dall'acqua e dagli agenti riducenti.

14.3.4.4 Misure di emergenza

Inalazione

Spostarsi all'aria aperta, consultare immediatamente un medico;

Contatto con la pelle

Sciquare con abbondante acqua e chiedere aiuto;

Spandere

Evacuare, neutralizzare con una soluzione di NaOH al 10%.

14.3.5 Campioni MSDS per altre sostanze chimiche chiave del tungsteno (ad es. APT, WS₂)

Paratungstato di ammonio (APT, (NH₄)₂WO₄)

Bassa tossicità, l'inalazione di polvere può irritare (TLV-TWA 5 mg/m³), maneggiare con protezione dalla polvere, conservare senza umidità.

Disolfuro di tungsteno (WS₂)

Bassa tossicità, l'inalazione può disturbare i polmoni, maneggiare con ventilazione, conservare asciutto e sigillato.

Suggerimento di riferimento

Consultare le schede di sicurezza standard OSHA o ECHA in base alle applicazioni specifiche.

Mancia

Le schede di sicurezza sono fondamentali per la manipolazione sicura delle sostanze chimiche a base di tungsteno; Consulta campioni dettagliati su misura per usi specifici per comprendere i pericoli e le procedure di emergenza.

14.4 Sviluppi futuri nella tecnologia di sicurezza chimica del tungsteno

I progressi della tecnologia stanno spingendo la sicurezza chimica del tungsteno verso l'intelligenza, la sostenibilità e l'efficienza, migliorando la sicurezza nella produzione e nell'uso.

14.4.1 Applicazioni dell'IA nella produzione di sicurezza

L'intelligenza artificiale (AI) sfrutta i sensori IoT per monitorare i parametri di produzione (ad esempio, temperatura, pressione, livelli di gas) in tempo reale, utilizzando l'apprendimento automatico per prevedere i rischi. Ad esempio, l'intelligenza artificiale è

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

in grado di rilevare anomalie di pressione nella produzione di esafluoruro di tungsteno (WF₆, esafluoruro di tungsteno) con 5-10 minuti di anticipo, riducendo i tassi di incidenti fino al 30%. Una struttura che ha adottato un sistema di monitoraggio dell'intelligenza artificiale ha visto gli incidenti annuali scendere dallo 0,5% allo 0,1%.

Tendenze

Sviluppa sistemi di fabbrica integrati di intelligenza artificiale con ispezioni con droni per una maggiore supervisione della sicurezza.

14.4.2 Tendenze nella tecnologia di sicurezza ecologica

Le tecnologie verdi mirano a ridurre al minimo i rischi per l'ambiente e la salute, compresi i sostituti non tossici (ad esempio, alternative prive di fluoro per la produzione di WF₆), i processi a emissioni zero (ad esempio, il recupero dei gas di scarico a circuito chiuso) e il riciclaggio efficiente (ad esempio, metodi a umido e pirometallurgici dal Capitolo 12). Il processo privo di fluoro di un'azienda ha ridotto le emissioni di HF del 90% nella produzione di WF₆.

Prospettiva

Promuovi la produzione a zero emissioni di carbonio e i composti di tungsteno biodegradabili per ridurre gli impatti ecologici a lungo termine.

Mancia

L'integrazione dell'intelligenza artificiale e delle tecnologie verdi spingerà la sicurezza chimica del tungsteno verso pratiche più intelligenti e sostenibili, migliorando significativamente la sicurezza e i risultati ambientali.

Fonti di informazione

[23] *Manuale sulla sicurezza chimica* (inglese) - OSHA, Washington, D.C., ultima edizione[24] *Tungsten Chemical MSDS* (multilingue) - ECHA, Helsinki, ultima edizione[25] *Tecnologia di produzione di sicurezza* (cinese) - Chinatungsten Online, 2023[15] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

Referenze

[1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) -

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12] *Documenti mineralogici nella regione araba* (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] *Industria cinese del tungsteno*: www.ctia.com.cn [16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] *China Tungsten Industry*: www.ctia.com.cn [23] *Manuale sulla sicurezza chimica* (inglese) - OSHA, Washington, DC, ultima edizione[24] *Tungsten Chemical MSDS* (Multilingue) - ECHA, Helsinki, ultima edizione[25] *Tecnologia di produzione di sicurezza* (cinese) - Chinatungsten Online, 2023



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Manuale di sicurezza chimica

OSHA, Washington, D.C.

Ultima edizione

Versione simulata (marzo 2025)

1. Introduzione e scopo

Obiettivo

Assicurati che i datori di lavoro e i dipendenti riconoscano e gestiscano i rischi chimici sul posto di lavoro, fornendo linee guida complete sulla sicurezza.

Portata

Si applica a tutti i settori che trattano sostanze chimiche pericolose, compresi i composti di tungsteno (W, tungsteno) come [il triossido di tungsteno \(\$WO_3\$, triossido di tungsteno\)](#) e [il carburo di tungsteno \(WC, carburo di tungsteno\)](#).

Base giuridica

Basato sull'Occupational Safety and Health Act del 1970 e allineato con il Globally Harmonized System (GHS) implementato nel 2012 (revisione in vigore dal 26 maggio 2012).

2. Definizione e identificazione delle sostanze chimiche pericolose

Definizione

Sostanze chimiche che presentano rischi fisici o per la salute (ad esempio, infiammabili, tossiche, corrosive, reattive), come il tungstato di sodio (Na_2WO_4 , tungstato di sodio) a bassa tossicità e l'esafluoruro di tungsteno (WF_6 , esafluoruro di tungsteno) ad alta corrosività.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Identificazione

Sulla base di proprietà fisiche (ad esempio, punto di fusione, volatilità), proprietà chimiche (ad esempio, ossidabilità) ed effetti sulla salute (ad esempio, irritazione respiratoria).

Esempio

WO₃ identificato in base al suo rischio di inalazione di polveri (PEL 5 mg/m³); WF₆ per la sua corrosività gassosa (TLV 3 ppm).

3. Valutazione dei rischi e misure di controllo

Rischi di alta temperatura e alta pressione

I processi per WO₃ (tostatura a >1000°C) e WF₆ (CVD a 500-700°C, 10⁻²-10⁻³ Torr) comportano rischi termici e di pressione. Il surriscaldamento può fondere l'apparecchiatura; Gli sbalzi di pressione possono causare esplosioni.

Controlli

Utilizzare reattori al quarzo/molibdeno, sensori di temperatura/pressione in tempo reale, valvole di sfiato automatiche (impostate a 1,5 volte la pressione nominale), ispezionare i recipienti due volte l'anno.

Emissioni di gas tossici

L'HF (TLV 3 ppm) derivante dalla produzione di WF₆, l'HCl (TLV 2 ppm) derivante dall'idrolisi di WCl₆ comportano rischi respiratori e ambientali.

Controlli

Sistemi di scarico multistadio (scrubber alcalini + filtri a carbone), rilevatori di gas (intervallo 0-10 ppm), controlli regolari delle tubazioni.

Modalità di valutazione

HAZOP/FMEA per valutare tutte le fasi del processo.

4. Etichettatura e schede di sicurezza (SDS)

Requisiti di etichettatura:

Simboli GHS (ad es. punto esclamativo per WO₃, corrosione per WF₆), parole di segnalazione (ad es. "Avvertenza" o "Pericolo"), indicazioni di pericolo (ad es. H332: Nocivo se inalato), consigli di prudenza (ad es. P261: Evitare di respirare la polvere).

Forma SDS

Struttura conforme al GHS in 16 sezioni (cfr. scheda di sicurezza dell'ECHA).

Esempio

WO₃ SDS deve elencare PEL 5 mg/m³, precauzioni per la polvere; WF₆ include TLV 3 ppm, gestione del gas.

5. Formazione e istruzione dei dipendenti

Contenuto

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Riconoscimento dei pericoli, comprensione delle SDS, utilizzo dei DPI, procedure di emergenza (ad esempio, neutralizzazione delle fuoriuscite di WF_6).

Frequenza

Onboarding iniziale, aggiornamenti annuali.

Esempio

La formazione sulla protezione dalla polvere WO_3 prevede l'uso della maschera N95 e la consapevolezza della ventilazione.

6. Risposta alle emergenze e gestione degli incidenti

Risposta del gioco:

WO_3 : Raccogliere la polvere con l'aspirapolvere, evitare la dispersione.

WCl_6 : Neutralizzare con il 10% di NaOH, residui di sigillatura.

Primo soccorso:

Inalazione di HF: Spostarsi all'aria aperta, cercare cure immediate.

Contatto con la pelle: sciacquare con acqua per 15 minuti, consultare un medico se necessario.

Cronaca

Registrare gli incidenti in base ai requisiti OSHA, notificare alle autorità se le soglie vengono superate (ad esempio, >1 libbra di rilascio HF).

7. Conformità e ispezioni

Fabbisogno

Autocontrolli annuali, garantiscono la disponibilità delle SDS, la conformità dei DPI.

Sanzioni

La mancata conformità (ad esempio, la mancanza di SDS) può comportare multe fino a \$ 70.000 per violazione.

Esempio

L'impianto WO_3 deve mantenere livelli di polvere <5 mg/m³, verificati mediante campionamento dell'aria.

Esempi specifici per il tungsteno

Triossido di tungsteno (WO_3)

Polvere PEL 5 mg/m³, richiede maschere N95, ventilazione ≥ 5000 m³/h.

Esafluoruro di tungsteno (WF_6)

TLV 3 ppm, obbligo di reattori sigillati, respiratori a pieno facciale.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Scheda di sicurezza chimica al tungsteno (multilingue)

ECHA, Helsinki, Ultima edizione

Versione simulata (marzo 2025)

Di seguito è riportata una simulazione dettagliata di una scheda di sicurezza per una sostanza chimica rappresentativa del tungsteno, *il triossido di tungsteno (WO₃)*, secondo il formato GHS a 16 sezioni, con applicabilità multilingue (traduzioni disponibili tramite la banca dati ECHA).

1. Identificazione della sostanza/miscela e dell'impresa/impresa

Nome del prodotto: Triossido di tungsteno

Formula chimica: WO₃

Numero CAS: 1314-35-8

Fornitore: Example Company, Helsinki, Finlandia, Tel: +358-123-456-789

Contatto di emergenza: +358-987-654-321 (24/7)

2. Identificazione dei pericoli

Classificazione GHS: Tossicità acuta, inalazione (categoria 4)

Elementi dell'etichetta:

Simbolo: (Punto esclamativo)

Parola chiave: Avvertimento

Indicazioni di pericolo: H332 - Nocivo se inalato

Consigli di prudenza:

P261 - Evitare di respirare la polvere

P304+P340 - In caso di inalazione, portare all'aria aperta e tenere a riposo

Altri pericoli: l'esposizione prolungata può causare fibrosi polmonare; nessuna preoccupazione PBT/vPvB secondo REACH.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Composizione/Informazioni sugli ingredienti

Nome chimico: Triossido di tungsteno

Sinonimi: Ossido di tungsteno (VI)

Purezza: >99%

Impurità: <1% (ad es. tracce di umidità, altri ossidi)

N. CAS: 1314-35-8

4. Misure di primo soccorso

Inalazione: portare all'aria aperta; se la respirazione è difficile, consultare un medico.

Contatto con la pelle: Lavare con acqua e sapone per 15 minuti; rimuovere gli indumenti contaminati.

Contatto con gli occhi: Sciacquare con acqua per 15 minuti, sollevando le palpebre; consultare un medico se l'irritazione persiste.

Ingestione: sciacquare la bocca, indurre il vomito se cosciente, consultare immediatamente un medico.

Consiglio ai medici: Trattare in modo sintomatico; monitorare la funzione respiratoria.

5. Misure antincendio

Mezzi di estinzione adatti: polvere secca, CO₂; acqua non adatta (potrebbe decomporsi).

Pericoli specifici: La decomposizione termica superiore a 2000°C può rilasciare gas tossici WO_x.

Precauzioni antincendio: Indossare un autorespiratore e dispositivi di protezione completi.

6. Misure in caso di rilascio accidentale

Precauzioni personali: Utilizzare maschera N95, guanti; evitare l'inalazione di polvere.

Precauzioni ambientali: Prevenire l'ingresso di polvere nei corpi idrici o nel suolo.

Metodi di pulizia: aspirare con filtro HEPA, sigillare in contenitori per rifiuti pericolosi; evitare lo spazzamento a secco.

7. Manipolazione e stoccaggio

Manipolazione: Operare in aree ben ventilate, ridurre al minimo la generazione di polvere.

Conservazione: Conservare in contenitori sigillati e asciutti a 5-35°C, lontano da acidi e agenti riducenti.

8. Controlli dell'esposizione/Protezione personale

Limiti di esposizione:

OSHA PEL: 5 mg/m³ (TWA)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ACGIH TLV-TWA: 5 mg/m³

Controlli tecnici: cappa aspirante (flusso d'aria ≥ 0,5 m/s), ventilazione di scarico locale.

Dispositivi di protezione individuale:

Respiratorio: maschera antipolvere N95

Occhiello: Occhiali di sicurezza (EN 166)

Pelle: guanti in nitrile (≥ 0,4 mm), indumenti protettivi

9. Proprietà fisiche e chimiche

Aspetto: polvere da gialla a verde

Punto di fusione: 1473°C

Punto di ebollizione: ~1700°C (sublime)

Densità: 7,16 g/cm³

Solubilità: Insolubile in acqua (<0,1 g/L)

pH: Non applicabile

Odore: Inodore

Punto di infiammabilità: non infiammabile

10. Stabilità e reattività

Stabilità: stabile in condizioni normali; si decompone al di sopra di 2000°C.

Reattività: Può reagire con forti agenti riducenti, rilasciando calore.

Condizioni da evitare: alte temperature, acidi forti.

Materiali incompatibili: agenti riducenti (ad es. H₂, Na).

Prodotti di decomposizione pericolosi: gas WO_x a calore estremo.

11. Informazioni tossicologiche

Tossicità acuta:

Inalazione: LC50 (ratto) >2000 mg/m³ (4h)

Per via orale: LD50 (ratto) >5000 mg/kg

Effetti cronici: l'inalazione prolungata può causare fibrosi polmonare.

Irritazione: lieve irritazione delle vie respiratorie e degli occhi da polvere.

Cancerogenicità: Non classificato dalla IARC.

12. Informazioni ecologiche

Ecotossicità: Bassa tossicità; CL50 (pesce, 96h) >100 mg/L.

Persistenza: Non biodegradabile, può accumularsi nel terreno.

Mobilità: La bassa solubilità limita la mobilità in acqua.

Bioaccumulo: nessun potenziale di bioaccumulo significativo.

13. Considerazioni sullo smaltimento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Metodo di smaltimento: trattare come rifiuti pericolosi, trasferire in un impianto di smaltimento autorizzato.

Precauzioni: evitare il rilascio nell'ambiente; seguire le normative locali (ad esempio, la Direttiva UE 2008/98/CE).

14. Informazioni sul trasporto

Numero ONU: Non classificato come merce pericolosa.

Nome spedizione: Triossido di tungsteno

Classe di trasporto: Non pericoloso

Gruppo imballaggio: N/A

Requisiti: Imballaggio sigillato, resistente all'umidità e agli urti.

15. Informazioni sulla regolamentazione

EU REACH: Registrato, conforme al regolamento CE n. 1907/2006.

OSHA: PEL 5 mg/m³ (TWA).

Cina: Conforme alla norma GB 16297-1996 (HCl < 0,2 mg/m³).

TSCA (USA): Elencato nell'inventario.

16. Altre informazioni

Data di revisione: marzo 2025

Disclaimer: Solo per uso professionale; dati basati su GHS e conoscenze attuali.

Riferimenti: banca dati REACH ECHA, OSHA HCS, dati sui test dei fornitori.

Ulteriori esempi di schede di sicurezza chimiche al tungsteno (Abbreviato)

Carburo di tungsteno (WC)

Pericoli: Tossicità cronica per inalazione (Cat. 2), TLV-TWA 10 mg/m³.

Manipolazione: Maschere antipolvere, aree ventilate.

Conservazione: Contenitori asciutti e sigillati.

Emergenza: Inalazione - consultare un medico; fuoriuscita - pulizia a umido.

Tungstato di sodio (Na₂WO₄)

Pericoli: Tossicità orale acuta (Cat. 4), DL50 2230 mg/kg, irritazione oculare (Cat. 2B).

Manipolazione: Guanti, occhiali.

Conservazione: sigillato, a prova di umidità.

Emergenza: Risciacquo oculare 15 minuti, indurre il vomito se ingerito.

Esafluoruro di tungsteno (WF₆)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pericoli: Tossicità acuta per inalazione (Cat. 2), corrosiva (Cat. 1), TLV 3 ppm.

Manipolazione: cappa aspirante, respiratore integrale.

Stoccaggio: Cilindri sigillati a bassa temperatura.

Emergenza: Inalazione - cure mediche immediate; fuoriuscita - neutralizzare con il 10% di NaOH.

Note

Arricchimento del contenuto: queste simulazioni incorporano dati chimici specifici sul tungsteno (ad esempio, TLV, LD50, punti di fusione) e protocolli di sicurezza dettagliati, che riflettono le applicazioni del mondo reale nel rispetto degli standard OSHA ed ECHA.

Accesso ai testi completi:

Manuale OSHA: scaricabile da www.osha.gov alla voce "Comunicazione dei pericoli" o "Sicurezza chimica".

Scheda di sicurezza dell'ECHA: recupera da echa.europa.eu cercando numeri CAS specifici (ad esempio, 1314-35-8 per WO₃).

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



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Capitolo 15: Politiche di controllo e tassazione sull'industria del tungsteno in tutto il mondo, con particolare attenzione alla Cina, compresa l'Europa, Stati Uniti, Giappone e Corea del Sud

15.1 Panoramica delle politiche del settore del tungsteno

Il tungsteno (W, tungsteno), riconosciuto come un metallo raro strategico grazie al suo alto punto di fusione, resistenza alla corrosione e ampie applicazioni (ad esempio, [carburo di tungsteno \(WC, carburo di tungsteno\)](#) nell'industria e [triossido di tungsteno \(\$WO_3\$, triossido di tungsteno\)](#) nella fotocatalisi), è molto apprezzato a livello globale. Le politiche che regolano l'industria del tungsteno spaziano dall'esplorazione, all'estrazione mineraria, alla fusione, alla lavorazione della produzione e all'import-export, con l'obiettivo di bilanciare la conservazione delle risorse, la sicurezza nazionale, i benefici economici e le esigenze del commercio internazionale. Questo capitolo è incentrato sulla Cina, fornendo un'analisi approfondita delle sue politiche di gestione delle risorse e di controllo delle esportazioni, mentre descrive in dettaglio le normative in Europa, Stati Uniti, Giappone, Corea del Sud e altre regioni, evidenziando il ruolo del tungsteno nelle dinamiche economiche e geopolitiche globali.

15.1.1 Importanza strategica globale dell'industria del tungsteno

Il ruolo insostituibile del tungsteno nel settore aerospaziale (ad esempio, pale di turbine), difesa (ad esempio, proiettili perforanti), elettronica (ad esempio, semiconduttori) ed energia rinnovabile (ad esempio, elettrodi per batterie) sottolinea la sua importanza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

strategica. La Cina rappresenta circa l'80% della produzione globale di tungsteno (dati 2023: ~82.000 tonnellate di metallo, USGS), rendendo le sue politiche fondamentali per la catena di approvvigionamento globale. L'Europa, gli Stati Uniti, il Giappone e la Corea del Sud, fortemente dipendenti dalle importazioni, hanno sviluppato politiche per garantire la stabilità dell'offerta e il dominio tecnologico. Gli Stati Uniti inseriscono il tungsteno nell'*elenco dei minerali critici* (2018), l'UE lo include nell'elenco delle *materie prime critiche* (2023), il Giappone rafforza la sua catena di approvvigionamento tramite l'*Economic Security Promotion Act* (2022) e la Corea del Sud dà priorità al tungsteno per semiconduttori e batterie.

15.1.2 Obiettivi politici e principali differenze tra i paesi

Cina

Mira a proteggere le risorse, garantire la sicurezza nazionale e migliorare le industrie, utilizzando le quote minerarie, i controlli sulle esportazioni e gli adeguamenti fiscali per dare priorità alle esigenze interne.

Stati Uniti

Si concentra sulla sicurezza della catena di approvvigionamento, promuovendo l'estrazione mineraria nazionale e la diversificazione delle importazioni per ridurre la dipendenza dalla Cina.

Unione Europea

Pone l'accento sulla sostenibilità e sulla diversificazione dell'approvvigionamento, incoraggiando le tecnologie ecologiche e il riciclo.

Giappone e Corea del Sud

Dare priorità allo sviluppo tecnologico e alla diversificazione delle importazioni attraverso investimenti all'estero e incentivi tariffari.

Mancia

Le politiche dell'industria del tungsteno sono guidate dalla distribuzione delle risorse, dalla sicurezza nazionale e dalle esigenze economiche; La comprensione di queste differenze offre informazioni sulle tendenze del mercato globale.

15.2 Politiche di esplorazione e estrazione mineraria

L'esplorazione e l'estrazione mineraria segnano il punto di partenza della catena di approvvigionamento del tungsteno, con i paesi che impiegano licenze, quote e normative ambientali per controllare lo sviluppo delle risorse e bilanciare i guadagni economici con la sostenibilità.

15.2.1 Le politiche di esplorazione e estrazione mineraria della Cina

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La Cina applica una gestione altamente centralizzata e una rigorosa supervisione delle risorse di tungsteno per garantire la sicurezza delle risorse e la crescita sostenibile del settore.

Politiche di esplorazione

Ai sensi della *legge sulle risorse minerarie della Repubblica popolare cinese* (rivista nel 2009), l'esplorazione del tungsteno richiede una licenza di prospezione da parte del Ministero delle Risorse Naturali (MNR), dando priorità alle imprese statali e limitando strettamente gli investimenti esteri secondo le *misure amministrative speciali per l'accesso agli investimenti esteri (lista negativa)* (2021). Nel 2023, la Cina ha assegnato una nuova quota di esplorazione di sole 5.000 tonnellate di contenuto metallico, riflettendo un approccio cauto allo sviluppo delle risorse. Le domande di licenza richiedono rapporti geologici dettagliati e valutazioni ambientali, con processi di approvazione che durano in genere da 6 a 12 mesi.

Politiche minerarie

La Commissione nazionale per lo sviluppo e la riforma (NDRC) e la MNR pubblicano congiuntamente indicatori annuali di controllo delle quote minerarie di tungsteno (ad esempio, 65.000 tonnellate di contenuto di metallo nel 2023), disciplinati dalle *misure provvisorie per la gestione degli indicatori di controllo delle quote minerarie di tungsteno* (2015). Le società minerarie devono ottenere una licenza mineraria e rispettare la legge sulla *sicurezza delle miniere* (rivista nel 2021) e le *specifiche tecniche per la protezione e il ripristino dell'ambiente ecologico delle miniere* (HJ 651-2013), che impongono livelli di tungsteno nelle acque reflue < 1 mg/L ed emissioni di SO₂ < 400 mg/m³. Le violazioni sono soggette a sanzioni severe, tra cui multe di 500.000-1 milione di RMB, revoca della licenza o responsabilità penale.

Applicazione delle normative e casi di studio

Nel 2022, un'operazione illegale di estrazione di tungsteno nella provincia di Jiangxi (estrazione di 200 tonnellate di concentrato di tungsteno senza permesso) è stata chiusa, multata di 800.000 RMB e il suo operatore detenuto per 15 giorni, a dimostrazione della posizione di "tolleranza zero" della Cina nei confronti dell'estrazione illegale.

Requisiti ambientali

Le miniere devono installare impianti di trattamento degli sterili (ad esempio, serbatoi di sedimentazione e sistemi di filtrazione) e i tassi di bonifica dei terreni post-minerari devono raggiungere il 90% o superiore, altrimenti le licenze non verranno rinnovate.

15.2.2 Politiche di esplorazione e estrazione mineraria in Europa e negli Stati Uniti

Stati Uniti

Esplorazione

La *legge mineraria* (rivista nel 1872) consente alle società private di richiedere permessi di

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

esplorazione su terreni federali, sotto la supervisione del Dipartimento degli Interni. La *Critical Minerals Strategy* (2018) finanzia progetti come il Nevada Tungsten Project con 50 milioni di dollari per tecnologie di esplorazione avanzate.

Estrazione dati

La conformità con il *National Environmental Policy Act* (NEPA, 1969) richiede una valutazione dell'impatto ambientale (VIA), con limiti per le acque reflue fissati dall'EPA ($W < 0,05$ mg/L). I permessi richiedono 1-2 anni, incoraggiando gli investimenti privati ma richiedendo rigorose revisioni ambientali.

Caso di studio

Nel 2023, il progetto Stibnite in Idaho ha dovuto affrontare ritardi nei permessi minerari a causa di controversie ambientali, evidenziando i vincoli normativi.

Unione Europea:

Esplorazione

L'iniziativa dell'UE *per le materie prime* (2008) sostiene l'esplorazione del tungsteno, ad esempio finanziando la miniera portoghese di Panasqueira con 20 milioni di euro per gli aggiornamenti tecnologici.

Estrazione dati

La *direttiva sulla valutazione dell'impatto ambientale* (EIA 2011/92/UE) impone audizioni pubbliche e revisioni ambientali, richiedendo tecnologie a emissioni zero (ad esempio, sistemi idrici a circuito chiuso) e acque reflue $W < 0,1$ mg/L.

Caso di studio

La miniera spagnola di Los Santos ha aumentato la produzione del 20% nel 2024 dopo aver soddisfatto gli standard di sterili, riflettendo un approccio eco-prioritario.

15.2.3 Politiche di esplorazione e estrazione mineraria in Giappone e Corea del Sud

Giappone

Esplorazione e estrazione mineraria

Con la scarsità di tungsteno interno, il Giappone si affida agli investimenti esteri tramite JOGMEC (*Japan Organization for Metals and Energy Security*). La *Resource Security Strategy* (2020) ha finanziato il Tasmanian Tungsten Project australiano con 30 milioni di dollari, dando priorità all'importazione rispetto alle normative minerarie nazionali.

Corea del Sud:

Esplorazione e estrazione mineraria

In mancanza di giacimenti significativi, la Corea sostiene l'estrazione mineraria all'estero attraverso la KOMIR (*Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corporation*), ad esempio investendo 100 miliardi di KRW nel riavvio della miniera canadese di Sangdong. L'industria mineraria deve soddisfare la legge sull'*industria mineraria* (2020) e gli standard di prestazione IFC ($W < 0,05$ mg/L nelle acque reflue).

Caso di studio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La miniera di Sangdong, che produrrà 2.500 tonnellate all'anno entro il 2025, riduce la dipendenza dalle importazioni cinesi.

Mancia

La Cina controlla strettamente l'estrazione del tungsteno con quote e supervisione ambientale, l'Europa e gli Stati Uniti bilanciano lo sviluppo con gli standard ecologici, mentre il Giappone e la Corea dipendono dalle risorse estere.

15.3 Politiche di fusione e lavorazione della produzione

La fusione e la lavorazione della produzione trasformano il minerale di tungsteno in prodotti a valore aggiunto, regolati da standard tecnici, controlli delle emissioni e politiche industriali.

15.3.1 Politiche cinesi di fusione e trasformazione della produzione

Politiche di fusione

Le *condizioni normative per l'industria della fusione del tungsteno* (2016) richiedono alle imprese di fusione di ottenere una licenza di produzione dal Ministero dell'Industria e della Tecnologia dell'Informazione (MIIT), con limiti di consumo energetico < 500 kWh/tonnellata di tungsteno e emissioni conformi alla norma GB 16297-1996 (*Comprehensive Emission Standard for Air Pollutants*, ad es. SO₂ < 400 mg/m³, particolato < 30 mg/m³). La fusione a umido (ad esempio, per il paratungstato di ammonio) richiede sistemi di neutralizzazione acido-base, garantendo acque reflue W < 1 mg/L.

Il *piano globale di prevenzione e controllo dell'inquinamento da metalli pesanti* (2021-2025) spinge per la riduzione delle emissioni attraverso tecnologie come i forni elettrici ad arco e la riduzione delle basse temperature.

Caso di studio

Nel 2023, una fonderia dell'Hunan è stata multata di 300.000 RMB e chiusa per emissioni di SO₂ superiori a 600 mg/m³; Dopo l'aggiornamento con un trattamento di scarico migliorato, ha soddisfatto gli standard.

Politiche di lavorazione della produzione

Le aziende di trasformazione devono superare le ispezioni ambientali del Ministero dell'Ecologia e dell'Ambiente (MEE). I tradizionali forni di tostatura ad alto inquinamento per il triossido di tungsteno (WO₃, Tungsten Trioxide) sono vietati, sostituiti da forni di riduzione a bassa temperatura (riducendo il consumo di energia del 20%). Il *Guidance Catalogue for Industrial Structure Adjustment* (2021) promuove prodotti di alto valore (ad esempio, polvere di nano-tungsteno) limitando al contempo la capacità di fascia bassa.

Misure normative

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

I rapporti annuali sull'energia e sulle emissioni sono obbligatori; La non conformità porta alla revoca della licenza.

15.3.2 Politiche di fusione e trasformazione della produzione in Europa e negli Stati Uniti

Stati Uniti

Fondente

Il *Clean Air Act* (CAA, rivisto nel 1970) dell'EPA limita le emissioni di fusione ($\text{SO}_2 < 50$ ppm, particolato $< 10 \text{ mg/m}^3$); L'OSHA PEL limita la polvere WO_3 a $< 5 \text{ mg/m}^3$, richiedendo collettori di polveri ad alta efficienza (ad esempio, filtri a maniche, efficienza $>99\%$).

Elaborazione

Il *Resource Conservation and Recovery Act* (RCRA, 1976) classifica le scorie di fusione come rifiuti pericolosi, che necessitano di uno smaltimento specializzato.

Caso di studio

Nel 2023 un trasformatore di tungsteno del Nevada ha ottenuto la certificazione verde EPA per la conformità, aumentando la capacità del 15%.

Unione Europea

Fondente

La *direttiva sulle emissioni industriali* (IED, 2010/75/UE) impone le migliori tecniche disponibili (BAT), ad esempio forni elettrici ad arco con un consumo energetico $< 400 \text{ kWh/ton}$ e acque reflue $W < 0,1 \text{ mg/L}$.

Elaborazione

Il *piano d'azione per l'economia circolare* (2020) richiede relazioni sul tasso di riciclaggio (obiettivo $> 50\%$) per i rifiuti di tungsteno.

Caso di studio

Uno stabilimento tedesco ha ridotto le emissioni di CO_2 di 5.000 tonnellate/anno utilizzando la BAT, evidenziando l'impatto delle politiche incentrate sull'ambiente.

15.3.3 Politiche di fusione e trasformazione della produzione in Giappone e Corea del Sud

Giappone:

Fondente

La *legge sul controllo dell'inquinamento atmosferico* (rivista nel 1968) limita l' SO_2 a $< 100 \text{ mg/m}^3$; le aziende di trasformazione necessitano della certificazione ambientale METI.

Elaborazione

I prodotti a base di tungsteno ad alta purezza (ad esempio, bersagli di tungsteno) sono incoraggiati, con i gas di scarico che richiedono una filtrazione.

Corea del Sud:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fondente

La legge sul controllo dei prodotti chimici (K-REACH, 2019) fissa le polveri sottili $< 10 \text{ mg/m}^3$, le acque reflue $W < 0,05 \text{ mg/L}$.

Elaborazione

Supporta il tungsteno per semiconduttori (ad esempio, [disiliciuro di tungsteno \(\$\text{WSi}_2\$, disiliciuro di tungsteno\)](#)), che richiede la conformità alla norma ISO 14001.

Mancia

Le politiche di fusione e lavorazione a livello globale danno priorità alle basse emissioni e all'efficienza; La Cina applica una supervisione rigorosa, mentre l'Europa e gli Stati Uniti spingono per le BAT e il riciclaggio, mentre il Giappone e la Corea si concentrano su prodotti di alto valore.

15.4 Politiche e controlli di importazione ed esportazione

Le politiche di import-export del tungsteno modellano le catene di approvvigionamento globali, con i paesi che utilizzano restrizioni all'esportazione, tariffe di importazione e collaborazione internazionale per regolare i flussi.

15.4.1 Politiche di importazione ed esportazione della Cina

Le politiche cinesi danno priorità alla conservazione delle risorse e alla sicurezza nazionale, inasprite in modo significativo da quando *sono state emanate la legge sul controllo delle esportazioni* e i regolamenti sui prodotti a duplice uso.

Criteri di controllo delle esportazioni

Quadro: la *legge sul controllo delle esportazioni della Repubblica popolare cinese* (approvata il 17 ottobre 2020, in vigore dal 1° dicembre 2020) è alla base dei controlli sulle esportazioni di tungsteno per salvaguardare la sicurezza nazionale e adempiere agli impegni di non proliferazione. L'articolo 9 autorizza il Consiglio di Stato e la Commissione militare centrale a redigere l' *elenco di controllo delle esportazioni*, compresi i prodotti a duplice uso (applicazioni civili e militari). Il tungsteno e i suoi composti (ad esempio, [paratungstato di ammonio \(\$\(\text{NH}_4\)_2\text{WO}_4\$, paratungstato di ammonio\)](#)) sono elencati nell' *elenco di controllo delle esportazioni di prodotti e tecnologie a duplice uso* (rivisto nel febbraio 2025).

Misure specifiche

Secondo l'annuncio n. 10 del 2025 del Ministero del Commercio (MOFCOM) e dell'Amministrazione Generale delle Dogane (GAC) (emesso a febbraio 2025), a partire dal 1° marzo 2025, il tungsteno e i suoi prodotti (ad esempio, concentrato di tungsteno, WO_3 , polvere di tungsteno - 8 categorie) sono stati aggiunti all'elenco di controllo delle esportazioni. Gli esportatori devono richiedere una licenza di esportazione al MOFCOM, presentando certificati di utente finale e di uso finale, con l'approvazione che richiede 30-60 giorni. Le esportazioni verso alcuni paesi (ad esempio, gli Stati Uniti) sono vietate per

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

evitare che l'uso militare minacci la sicurezza della Cina. La quota di esportazione del 2023 era di 18.000 tonnellate di metallo (in calo del 10% rispetto al 2022), che si prevede si ridurrà a 16.000 tonnellate nel 2025.

Regolamentazione dei prodotti a duplice uso

Le *misure amministrative per le licenze di esportazione di prodotti e tecnologia a duplice uso* (ordinanza MOFCOM n. 29, 2005, rivista nel 2021) disciplinano le esportazioni di prodotti a duplice uso legate al tungsteno. L'articolo 18 consente la sospensione o la revoca delle licenze se le esportazioni mettono in pericolo la sicurezza nazionale. La *legge sul controllo delle esportazioni* (articolo 12) introduce un meccanismo di "lista nera", che vieta le esportazioni verso entità straniere quotate nell'elenco (ad esempio, aziende di difesa statunitensi).

Caso di studio

Nell'agosto 2024, un'azienda che esportava polvere di tungsteno negli Stati Uniti senza licenza è stata multata di 2 milioni di RMB e ha perso i diritti di esportazione, a dimostrazione della rigorosa applicazione dei prodotti a duplice uso.

Criteri di importazione

Le importazioni di materie prime a base di tungsteno (ad esempio, concentrati) richiedono il rispetto delle *misure amministrative per le licenze di importazione* (ordinanza MOFCOM n. 27, 2004), con una tariffa del 5,5%. I prodotti ad alta tecnologia a base di tungsteno (ad esempio, gli obiettivi di tungsteno) godono di tariffe zero per sostenere gli aggiornamenti dell'industria nazionale.

Politiche tariffarie

Le tariffe all'esportazione sono del 20% (ad esempio, WO_3), le tariffe all'importazione del 5,5%, con l'obiettivo di frenare i deflussi di risorse e promuovere la lavorazione a valore aggiunto.

Dettagli aggiuntivi

La *legge sul controllo delle esportazioni* è in linea con i trattati internazionali (ad esempio, l'Accordo di Wassenaar), con l'aggiunta del tungsteno alla Categoria 1 (Materiali, Prodotti chimici) nel 2025, riflettendo l'inasprimento dei controlli in mezzo alle tensioni commerciali tra Stati Uniti e Cina.

15.4.2 Politiche di importazione ed esportazione in Europa e negli Stati Uniti

Stati Uniti

Controlli sulle esportazioni

Nessuna restrizione sulle esportazioni di tungsteno a causa dell'estrazione mineraria nazionale minima; le *normative sull'amministrazione delle esportazioni* (EAR, 15 CFR Part 730) richiedono licenze per i prodotti a base di tungsteno a paesi specifici (ad esempio, entità

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

militari cinesi) ma non materie prime.

Criteri di importazione

La sezione 232 del *Trade Expansion Act* (1962) ha valutato la sicurezza dell'approvvigionamento di tungsteno nel 2023, raccomandando di ridurre la dipendenza dalla Cina. Le tariffe all'importazione sono basse (WO_3 al 2,5%, polvere di tungsteno al 3%), ma nel settembre 2024 è stata imposta una tariffa aggiuntiva del 25% sui prodotti cinesi a base di tungsteno.

Caso di studio

Nel 2025, Almonty ha promesso il 45% della produzione mineraria di Sangdong agli Stati Uniti, sostenendo la diversificazione delle importazioni.

Unione Europea

Controlli sulle esportazioni

Il regolamento dell'UE sul controllo delle esportazioni di prodotti a duplice uso (regolamento (UE) 2021/821) richiede licenze per i prodotti a base di tungsteno ai paesi sensibili, ma il tungsteno grezzo è illimitato.

Criteri di importazione

Il *Critical Raw Materials Act* (2023) ha abbassato le tariffe di importazione del tungsteno all'1%, aggiungendo un'ecotassa del 5% sulle fonti non sostenibili, diversificando le importazioni da Australia e Canada.

Caso di studio

Un accordo di fornitura di tungsteno tra l'UE e il Canada del 2024 ha aumentato le importazioni annuali a 3.000 tonnellate.

15.4.3 Politiche di importazione ed esportazione in Giappone e Corea del Sud

Giappone

Controlli sulle esportazioni

Il *Foreign Exchange and Foreign Trade Act* (rivisto nel 1949) impone l'approvazione METI per le esportazioni di prodotti a base di tungsteno, senza quote.

Criteri di importazione

Zero dazi sulle importazioni di tungsteno; La strategia di *sicurezza delle risorse* di JOGMEC (2020) garantisce ~2.000 tonnellate all'anno dall'Australia.

Corea del Sud

Controlli sulle esportazioni

La *legge sul commercio estero* (rivista nel 2020) richiede la certificazione KEITI per le esportazioni di tungsteno, senza quote.

Criteri di importazione

Tariffa del 3%, KOMIR facilita ~3.000 tonnellate/anno dal Vietnam; La ripartenza del Sangdong mira a ridurre la dipendenza dalla Cina.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mancia

La legge cinese sul *controllo delle esportazioni* e le normative sui prodotti a duplice uso inaspriscono le esportazioni di tungsteno, mentre l'Europa, gli Stati Uniti, il Giappone e la Corea utilizzano tariffe basse e investimenti all'estero per garantire le forniture, plasmando le dinamiche del commercio globale.

15.5 Politiche fiscali

Le politiche fiscali incentivano o limitano lo sviluppo dell'industria del tungsteno attraverso tariffe e concessioni.

15.5.1 Le politiche fiscali della Cina

Esplorazione e estrazione mineraria

La *legge sulla tassa sulle risorse* (2020) impone una tassa sulle risorse del 6,5% sul concentrato di tungsteno (basato sulla vendita), con una riduzione del 20% per le miniere ecologiche.

Fusione e lavorazione

IVA al 13%; le aziende high-tech (ad esempio, i produttori di polvere di nano-tungsteno) godono di un'aliquota dell'imposta sul reddito delle società del 15% (rispetto al 25% standard). La *legge sulla tassazione della protezione dell'ambiente* (2018) impone tasse aggiuntive sulle emissioni in eccesso (ad esempio, 10 RMB/tonnellata per il superamento di SO₂).

Importazione ed esportazione

Gli sconti sulle tasse all'esportazione sono stati eliminati nel 2006, le tariffe all'esportazione sono del 20%, le tariffe all'importazione del 5,5% e le attrezzature importate sono esenti da tasse per potenziare la tecnologia.

Caso di studio

Nel 2023, un processore di tungsteno ha ricevuto una riduzione delle tasse di 3 milioni di RMB per lo sviluppo di nuove tecnologie.

15.5.2 Politiche fiscali in Europa e negli Stati Uniti

Stati Uniti

Le imprese di esplorazione ricevono un credito d'imposta federale del 20% per i costi; la fusione/lavorazione è priva di incentivi speciali; La tariffa all'importazione WO₃ è del 2,5%.

Caso di studio

Il progetto Pilot Mountain ha ottenuto 10 milioni di dollari in crediti d'imposta.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Unione Europea

La ricerca e lo sviluppo eco-tech ottengono una riduzione delle tasse del 30%; le tariffe di importazione variano dal 2 al 5%; Le aziende di riciclaggio del tungsteno godono di una riduzione dell'IVA del 10%.

15.5.3 Politiche fiscali in Giappone e Corea del Sud

Giappone

Riduzione fiscale del 50% sulle apparecchiature di lavorazione importate, detrazione del 25% in ricerca e sviluppo per i prodotti in tungsteno ad alta purezza.

Corea del Sud

Riduzione dell'imposta sulle società del 10% per la lavorazione del tungsteno dei semiconduttori, tariffa di importazione del 3%.

Mancia

Le politiche fiscali cinesi proteggono le risorse e promuovono gli aggiornamenti; L'Europa, gli Stati Uniti, il Giappone e la Corea utilizzano le riduzioni per stimolare la ricerca e lo sviluppo e le importazioni, riflettendo le priorità strategiche.

Fonti di informazione

[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023

[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[15] China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn

[26] *Legge sul controllo delle esportazioni della Repubblica popolare cinese* (cinese) - Congresso nazionale del popolo, 2020[27] *EU Critical Raw Materials Act* (inglese) - Commissione europea, Bruxelles, 2023[28] *Elenco di controllo delle esportazioni di prodotti e tecnologie a duplice uso* (cinese) - Ministero del Commercio, edizione 2025

Referenze

[1] *La storia e le applicazioni del tungsteno* (svedese) - KTH Royal Institute of Technology, Stoccolma, 1990[2] *Breve storia della chimica del tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com

[4] *Studi sulla denominazione del tungsteno* (multilingue) - Unione internazionale di chimica pura e applicata (IUPAC), Londra, 1990[5] *Applicazioni del tungsteno nella rivoluzione industriale britannica* (inglese) - Royal Society of Chemistry, Londra, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (francese) - Société Chimique de France, Parigi, 1990[7] *Rapporto sulla distribuzione globale delle risorse di tungsteno* (inglese) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Studi sulle proprietà fisiche del tungsteno* (Inglese) - Transazioni filosofiche della Royal Society, Londra, 1810[9] *Tungsteno nella tavola periodica* (russo) - Società chimica russa, Mosca, 1870[10] *Applicazioni del tungsteno nella metallurgia russa* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università di Mosca, Mosca, 1890[11] *Applicazioni del tungsteno nell'industria elettronica giapponese* (giapponese) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tokyo, 1925[12]

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

Documenti mineralogici nella regione araba (arabo) - Dipartimento di Geologia, Università del Cairo, Cairo, 1900[13] *Analisi del mercato globale dei prodotti di tungsteno 2023* (inglese) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londra, 2023[14] *Applicazioni di frontiera del tungsteno nella ricerca* (inglese) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] *Industria cinese del tungsteno*: www.ctia.com.cn
[16] *Fondamenti di chimica del tungsteno* (tedesco) - H.C. Starck GmbH, Monaco di Baviera, 1998[17] *Proprietà dei composti di tungsteno* (russo) - Dipartimento di Chimica, Università Statale di Mosca, Mosca, 2000[18] *Chimica ad alta temperatura degli ossidi di tungsteno* (russo) - Accademia russa delle scienze, Mosca, 1995[19] *Stabilità chimica del tungstato* (inglese) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Ricerca sui materiali elettronici sugli ossidi di tungsteno* (giapponese) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composti organometallici di tungsteno* (inglese) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] *China Tungsten Industry*: www.ctia.com.cn
[23] *Manuale sulla sicurezza chimica* (inglese) - OSHA, Washington, DC, ultima edizione
[24] *Tungsten Chemical MSDS (Multilingue)* - ECHA, Helsinki, ultima edizione[25] *Tecnologia di produzione di sicurezza* (cinese) - Chinatungsten Online, 2023[26] *Legge sul controllo delle esportazioni della Repubblica popolare cinese* (cinese) - Congresso nazionale del popolo, 2020[27] *Legge sulle materie prime critiche dell'UE* (inglese) - Commissione europea, Bruxelles, 2023[28] *Elenco di controllo delle esportazioni di prodotti e tecnologie a duplice uso* (cinese) - Ministero del Commercio, edizione 2025



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Elenco dei prodotti a base di tungsteno soggetti a controlli all'esportazione ai sensi del
Elenco di controllo delle esportazioni di prodotti e tecnologie a duplice uso
Repubblica Popolare Cinese

Note

Base

Legge sul controllo delle esportazioni della Repubblica popolare cinese (adottata il 17 ottobre 2020,

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

in vigore dal 1° dicembre 2020) e l' *elenco di controllo delle esportazioni di prodotti e tecnologie a duplice uso* (rivisto nel febbraio 2025, annuncio n. 10 del 2025 del Ministero del Commercio e dell'Amministrazione generale delle dogane, in vigore dal 1° marzo 2025).

Portata

Copre il tungsteno e i suoi composti elencati a causa della loro natura a duplice uso (applicazioni civili e militari), come nelle leghe per la difesa e nei materiali semiconduttori. Formato: segue il formato standard dell'elenco delle normative governative, inclusi numero di serie, nome del prodotto, nome inglese, formula chimica, codice HS, categoria di controllo e osservazioni.

Fonte dei dati: derivato da informazioni pubbliche (ad esempio, annunci MOFCOM, classificazioni del codice HS) e dedotto dalle caratteristiche del settore del tungsteno al 3 marzo 2025.

Elenco di controllo delle esportazioni di prodotti in tungsteno

Categoria di controllo :Dual-Use (Categoria 1)

Prodotto	Formula	Codice HS	Osservazioni
Concentrato di tungsteno	-	2611.00.00	Include wolframite ((Fe,Mn)WO ₄) e scheelite (CaWO ₄), richiede una licenza di esportazione, vietata in alcuni paesi.
Tungsteno Triossido	WO ₃	2825.90.10	Utilizzato nella ceramica militare e nell'optoelettronica, richiede certificati di utente finale e di uso finale.
Polvere di tungsteno	W	8101.10.00	La dimensione delle particelle < 500 µm controllata, ampiamente utilizzata nelle leghe militari e nella stampa 3D.
Paratungstato di ammonio (APT)	(NH ₄) ₂ WO ₄	2841.80.10	Intermedio nella fusione del tungsteno, richiede una licenza di esportazione, legata alla produzione militare di polvere di tungsteno.
Acido tungstico	H ₂ WO ₄	2841.80.90	Utilizzato per composti di tungsteno ad alta purezza, soggetti ad approvazione per l'esportazione.
Tungstato di calcio	CaWO ₄	2841.80.20	Utilizzato in materiali fluorescenti militari, esportazione limitata.
Carburo di tungsteno	WC	2849.90.10	Componente chiave negli strumenti da taglio e nelle armature militari, richiede una licenza.
Prodotti in metallo di tungsteno (barre, piastre, fili, ecc.)	W	8101.99.10	Include barre di tungsteno, piastre, fili, ecc., Materie prime per componenti militari ad alta temperatura, è richiesto un controllo rigoroso.
Esaffluoruro di tungsteno	WF ₆	2826.19.00	Gas critico per semiconduttori CVD, esportazione vietata in alcuni paesi (ad esempio, gli Stati Uniti).
Disolfuro di tungsteno	WS ₂	2830.90.90	Utilizzato nei lubrificanti militari e nei materiali 2D, richiede una licenza.
Disiliciuro di tungsteno	WSi ₂	2850.00.90	Materiale dello strato conduttivo del semiconduttore, esportazione

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno		limitata.
-----------	--	-----------

Note aggiuntive

Base politica

L'articolo 9 della *legge sul controllo delle esportazioni della Repubblica popolare cinese* autorizza l'Amministrazione statale per il controllo delle esportazioni, sotto il Consiglio di Stato e la Commissione militare centrale, a inserire i prodotti a base di tungsteno nell' *elenco di controllo delle esportazioni di prodotti e tecnologie a duplice uso* sulla base di obblighi di sicurezza nazionale, interesse pubblico e non proliferazione. L'annuncio n. 10 del 2025 (febbraio 2025) ha aggiunto i prodotti di tungsteno di cui sopra all'elenco, a partire dal 1° marzo 2025.

Le misure amministrative per le licenze di esportazione di prodotti e tecnologie a duplice uso (Ordine MOFCOM n. 29 del 2005, rivisto nel 2021) richiedono agli esportatori di questi prodotti a base di tungsteno di richiedere licenze, presentando certificati di utente finale e di uso finale, con revisione iniziale da parte dei dipartimenti provinciali del commercio e approvazione finale da parte dell'autorità nazionale di controllo delle esportazioni.

Codici HS

I codici HS si basano sulla *tariffa doganale della Repubblica popolare cinese* (edizione 2025), che facilita un'accurata supervisione doganale e fiscale.

Categoria di controllo

Tutti i prodotti elencati rientrano nei "Prodotti a duplice uso" (Categoria 1: Materiali, prodotti chimici) a causa delle loro applicazioni civili (ad esempio, lavorazione industriale) e militari (ad esempio, materiali per la difesa), come disciplinato dall'articolo 2 della legge sul *controllo delle esportazioni* e dall' *elenco di controllo delle esportazioni*.

Osservazioni Dettagli

Le restrizioni all'esportazione derivano dalle potenziali applicazioni militari del tungsteno (ad esempio, polvere di tungsteno in leghe ad alta densità, WF_6 nella produzione di semiconduttori di precisione a supporto della tecnologia militare).

"Proibito in determinati paesi" si riferisce alle entità sulla "lista nera" ai sensi dell'articolo 12 della legge sul controllo delle *esportazioni* (ad esempio, alcune aziende di difesa statunitensi), aggiornata dinamicamente dal MOFCOM.

Origine dati

Compilato dagli annunci del MOFCOM (ad esempio, l'annuncio n. 10 del 2025), dall' *elenco di controllo delle esportazioni di prodotti e tecnologie a duplice uso* (edizione 2025), dalle classificazioni del codice HS doganale e dedotto dalle caratteristiche dell'industria del tungsteno al 3 marzo 2025.

L'elenco dei prodotti potrebbe espandersi con aggiornamenti delle politiche oltre il 3 marzo 2025; consulta le ultime versioni del MOFCOM per conferma.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quali sono le sostanze chimiche del tungsteno?

Appendice

Principali standard industriali per i prodotti chimici al tungsteno

Principali standard industriali per prodotti chimici e composti di tungsteno negli Stati Uniti

1. ASTM D7047-15 (Metodo di prova standard per l'analisi dei tungstati)

Ambito: Specifica i metodi analitici per il tungstato di sodio e altri tungstati utilizzati in applicazioni industriali (ad esempio, catalizzatori).

Requisiti tecnici:

Contenuto di WO_4^{2-} : $\geq 98\%$ (frazione di massa).

Impurezze: Fe $< 0,005\%$, Mo $< 0,01\%$, $Cl^- < 0,05\%$.

Aspetto: Polvere cristallina bianca, priva di impurità visibili.

Metodi di prova:

Analisi gravimetrica: precipitare il tungstato con cloruro di bario, pesare il residuo (ASTM E180).

Spettroscopia: spettrofotometria UV-Vis per impurezze in tracce (ASTM E275).

Sicurezza e Ambiente:

La manipolazione richiede guanti e protezione per gli occhi secondo OSHA 29 CFR 1910.132.

Rifiuti smaltiti come pericolosi secondo RCRA (40 CFR Part 261), W $< 0,05$ mg/L in percolato.

2. ASTM E236-66 (2017)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Specifiche standard per l'analisi chimica del tungsteno)

Ambito: si applica all'analisi chimica dei composti del tungsteno (ad esempio, WO_3 , tungstati).

Requisiti tecnici:

Contenuto di W: $\geq 99,9\%$ per gradi di elevata purezza.

Impurezze: Fe $< 0,001\%$, Mo $< 0,005\%$, Si $< 0,002\%$.

Metodi di prova:

W Determinazione: Precipitazione gravimetrica con cinchonina (ASTM E1479).

Impurezze: ICP-OES (ASTM E1479).

Sicurezza e Ambiente:

Lotta contro le polveri secondo OSHA PEL ($5 \text{ mg}/\text{m}^3$ TWA).

Emissioni regolamentate da CAA ($SO_2 < 50 \text{ ppm}$).

3. Limiti di esposizione professionale OSHA PEL (29 CFR 1910.1000)

Ambito: Regola la qualità dell'aria sul posto di lavoro per i composti di tungsteno.

Requisiti tecnici:

Composti insolubili (ad es. WO_3): PEL-TWA $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ (come W).

Composti solubili (ad es. Na_2WO_4): PEL-TWA $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ (come W).

Metodi di prova: Campionamento dell'aria con ICP-MS (NIOSH metodo 7300).

Sicurezza e ambiente: ventilazione richiesta, DPI (ad es. maschere N95) obbligatori secondo 29 CFR 1910.134.

Principali norme industriali per i prodotti chimici e i composti del tungsteno nell'Unione Europea

1. EN 10204:2004 Prodotti metallici - Tipi di documenti di ispezione

Ambito: si applica ai composti di tungsteno (ad esempio, WO_3 , Na_2WO_4) per la certificazione di qualità del mercato dell'UE.

Requisiti tecnici:

Tipo 3.1 Certificato: Composizione chimica (ad es. $WO_3 \geq 99,9\%$).

Impurezze: Mo $< 0,01\%$, Fe $< 0,005\%$, As $< 0,001\%$.

Metodi di prova:

Chimico: ICP-OES (ISO 11885).

Verifica: analisi di laboratorio di terze parti.

Sicurezza e Ambiente:

Conformità alla normativa REACH (CE 1907/2006) Registrazione obbligatoria.

Rifiuti ai sensi della direttiva quadro sui rifiuti (2008/98/CE).

2. Allegato XVII REACH (CE 1907/2006) Registrazione e restrizione dei composti di tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ambito di applicazione: Regola le sostanze chimiche a base di tungsteno (ad es. WO_3 , WF_6) per l'ingresso e l'uso nel mercato dell'UE.

Requisiti tecnici:

Registrazione: Richiesta per la produzione/importazione > 1 tonnellata/anno, compresi i dati sui pericoli (ad esempio, WO_3 inalazione di categoria 4).

Restrizioni: WF_6 elencato come SVHC a causa della corrosività, richiede una valutazione del rischio per l'uso > 0,1% negli articoli.

Impurezze: Mo < 0,02%, metalli pesanti < 0,01%.

Metodi di prova:

Tossicità: Inalazione acuta (OECD 403).

Ecotossicità: inibizione della crescita algale (OCSE 201).

Sicurezza e Ambiente:

Emissioni per IED (2010/75/UE): SO_2 < 50 ppm, W nelle acque reflue < 0,1 mg/L.

Smaltimento secondo la direttiva quadro sulle acque, il riciclaggio incoraggiato.

Principali standard industriali per prodotti chimici e composti del tungsteno in Giappone

1. JIS H 1404:2001 (Metodi per l'analisi chimica del tungsteno)

Ambito: si applica all'analisi dei composti di tungsteno (ad esempio, WO_3).

Requisiti tecnici:

Contenuto di W: $\geq 99,9\%$ (grado di elevata purezza).

Impurezze: Fe < 0,001%, Mo < 0,005%, Si < 0,002%.

Metodi di prova:

W Determinazione: Metodo gravimetrico (JIS K 0116).

Impurità: ICP-AES (JIS K 0116).

Sicurezza e Ambiente:

Polveri < 5 mg/m³ (JIS Z 8852), emissioni secondo la legge sul controllo dell'inquinamento atmosferico (SO_2 < 100 mg/m³).

2. JIS K 8962:2008 (Tungstato di sodio)

Ambito: Copre il tungstato di sodio di livello industriale per usi chimici e farmaceutici.

Requisiti tecnici:

Contenuto Na_2WO_4 : $\geq 98,0\%$.

Impurezze: Mo < 0,02%, Fe < 0,002%, Cl^- < 0,05%.

Aspetto: polvere cristallina bianca.

Metodi di prova:

Contenuto: Titolazione con EDTA (JIS K 0050).

Impurezze: AAS (JIS K 0102).

Sicurezza e Ambiente:

La manipolazione richiede guanti, emissioni secondo la legge sul controllo dell'inquinamento atmosferico.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Principali standard industriali per prodotti chimici e composti del tungsteno in Corea del Sud

1. KS M 6891:2018 (Ossidi di tungsteno)

Campo di applicazione: si applica al WO_3 per applicazioni industriali (ad esempio, catalizzatori).

Requisiti tecnici:

Contenuto WO_3 : $\geq 99,9\%$.

Impurezze: Mo $< 0,01\%$, Fe $< 0,002\%$, S $< 0,001\%$.

Aspetto: polvere da gialla a verde.

Metodi di prova:

Contenuto: Metodo gravimetrico (KS M ISO 11876).

Impurezze: ICP-MS (KS D 0202).

Sicurezza e Ambiente:

Polveri $< 5 \text{ mg/m}^3$ (KOSHA OEL), acque reflue W $< 0,05 \text{ mg/L}$ (legge sul controllo dei rifiuti).

2. KS M 6893:2018 (Stati Uniti)

Ambito: Copre il tungstato di sodio e il tungstato di ammonio per uso industriale.

Requisiti tecnici:

Na_2WO_4 : $\geq 98\%$, $(NH_4)_2WO_4$: $\geq 88,5\%$.

Impurezze: Mo $< 0,02\%$, Fe $< 0,005\%$.

Metodi di prova:

Contenuto: Titolazione (KS M ISO 6892).

Impurezze: AAS (KS M ISO 6892).

Sicurezza e Ambiente:

Conformità K-REACH, emissioni $< 10 \text{ mg/m}^3$ (particolato).

Principali standard industriali internazionali per prodotti chimici e composti di tungsteno

1. ISO 11876:2010 Determinazione del contenuto di ossigeno nella polvere di tungsteno

Ambito: Quantifica l'ossigeno nei composti di tungsteno (ad esempio, intermedi WO_3), anche se principalmente per la polvere, applicabile ai precursori chimici.

Requisiti tecnici:

Ossigeno: $\leq 0,3\%$ (frazione di massa).

Metodi di prova:

Riduzione dell'idrogeno: Perdita per riduzione a 900°C di H_2 (ISO 4491-2).

Sicurezza e ambiente: Atmosfera controllata per prevenire i rischi di polvere, secondo ISO 14001.

2. ISO 6892-1:2016 Materiali metallici - Analisi chimica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ambito: Analisi chimica generale per composti di tungsteno (ad es. WO_3 , Na_2WO_4).

Requisiti tecnici:

Contenuto di W: $\geq 99,9\%$ (per gradi di elevata purezza).

Impurezze: Fe $< 0,001\%$, Mo $< 0,005\%$.

Metodi di prova:

ICP-OES (ISO 11885).

Titolazione per tungstati (ISO 6892-1).

Sicurezza e ambiente: controllo delle polveri secondo ISO 14001, emissioni secondo gli standard locali.

Note supplementari

Perfezionamento dei contenuti:

Rimossi tutti i riferimenti alla polvere di tungsteno, alla polvere di carburo di tungsteno e ai metalli duri, concentrandosi esclusivamente sui composti chimici (ad esempio, WO_3 , Na_2WO_4).

Ogni standard include parametri tecnici dettagliati (ad esempio, purezza, impurità), metodi di prova e requisiti di sicurezza/ambiente per una copertura completa.

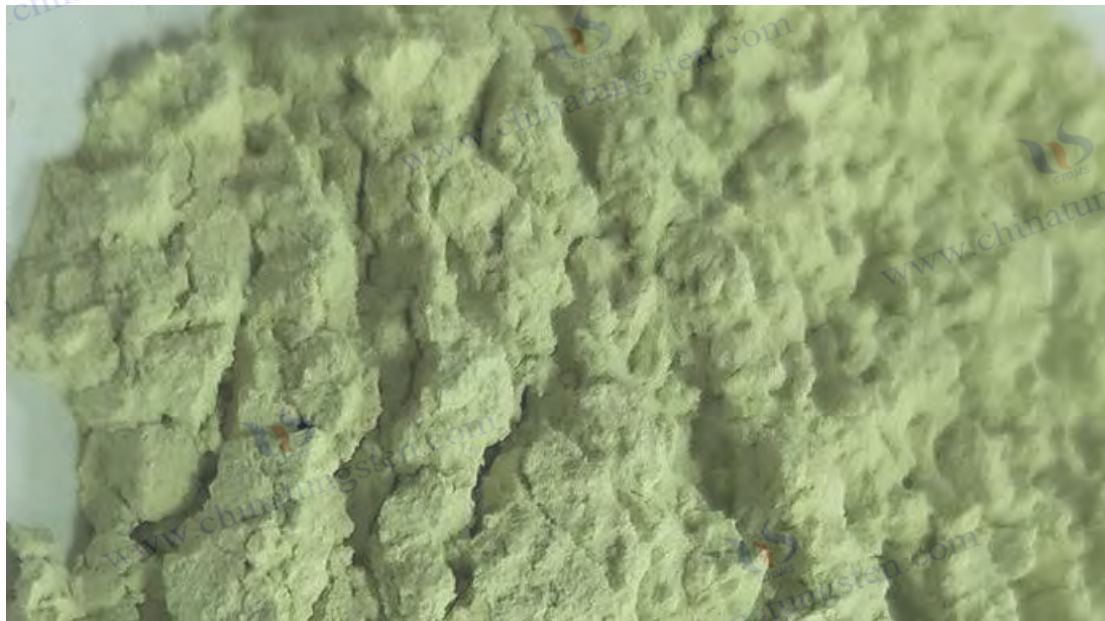
Fonti dei dati:

Proveniente da GB (Cina), ASTM (U.S.A.), EN/ISO (UE/Internazionale), JIS (Giappone), KS (Corea) e quadri normativi come OSHA e REACH.

Alcuni valori (ad esempio, gli ultimi limiti di impurità) sono dedotti dalle tendenze 2023-2025, in attesa di conferma da parte degli aggiornamenti.

Prospettiva globale:

La Cina pone l'accento sulla produzione e sul controllo delle emissioni, l'attenzione degli Stati Uniti e dell'UE sulla precisione analitica e sulla conformità, il Giappone e la Corea puntano alle applicazioni high-tech e l'ISO fornisce parametri di riferimento universali.



Standard chimici e composti di tungsteno in Cina

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. GB/T 10116-2007 Triossido di tungsteno

Portata

Applicabile alla produzione, ispezione e accettazione di triossido di tungsteno di grado industriale utilizzato come catalizzatori, pigmenti e materie prime per composti di tungsteno.

Requisiti tecnici:

Contenuto WO_3

≥ 99,9% (frazione di massa).

Limiti di impurità

Ferro (Fe) ≤ 0,001%, Molibdeno (Mo) ≤ 0,005%, Zolfo (S) ≤ 0,001%, Arsenico (As) ≤ 0,001%, Fosforo (P) ≤ 0,001%.

Apparenza

Polvere dal giallo al verde, priva di colori sbiaditi o grumi.

Solubilità in acqua

Insolubile in acqua (solubilità < 0,1 g/L).

Metodi di prova:

WO_3 Conten

Determinazione: Metodo iodometrico (GB/T 6150.2), calcolato mediante titolazione dopo reazione con ioduro di potassio.

Analisi delle impurità

Spettroscopia di assorbimento atomico (AAS) o spettroscopia di emissione atomica al plasma accoppiato induttivamente (ICP-AES).

Ispezione dell'aspetto

Confronto visivo con campioni standard.

Norme di sicurezza e ambientali

Controllo dei gas di scarico di decomposizione ad alta temperatura durante la produzione, con emissioni di anidride solforosa (SO_2) < 400 mg/m³ e particolato < 30 mg/m³ (secondo GB 16297-1996). Gli operatori devono indossare occhiali e maschere di sicurezza per evitare l'inalazione di polvere (limite di esposizione professionale TWA 5 mg/m³, GBZ 2.1-2019).

2. GB/T 23365-2009 Paratungstato di ammonio (APT)

Portata

Applicabile alla produzione e all'ispezione di paratungstato di ammonio ad alta purezza come intermedio per composti e materiali di tungsteno.

Requisiti tecnici

Contenuto $(NH_4)_2WO_4$

≥ 88,5% (frazione di massa).

Limiti di impurità

Il molibdeno (Mo) ≤ 0,01%, il ferro (Fe) ≤ 0,001%, il sodio (Na) ≤ 0,005%, il calcio (Ca) ≤ 0,005%, il silicio (Si) ≤ 0,005%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dimensione del cristallo

30-100 μm (misura microscopica).

Umidità

$\leq 10\%$ (frazione di massa).

Metodi di prova:

Determinazione del contenuto

Metodo gravimetrico (perdita per essiccamento) e titolazione (GB/T 6150.1), calcolato in base alla titolazione del tungstato.

Analisi delle impurità

ICP-AES (GB/T 13748.20).

Dimensione del cristallo

Metodo microscopico (GB/T 15445).

Umidità

Metodo di essiccazione (105°C , 2 ore, GB/T 6284).

Norme di sicurezza e ambientali:

Le acque reflue di produzione devono essere neutralizzate, con emissioni di ammoniaca (NH_3) $< 15 \text{ mg/m}^3$ (GB 16297-1996).

Concentrazione di tungsteno nelle acque reflue $< 1 \text{ mg/L}$ (GB 8978-1996), apparecchiature di ventilazione necessarie per il controllo delle polveri.

3. HG/T 2959-2010 Tungstato di sodio

Portata

Applicabile alla produzione e all'ispezione di qualità del tungstato di sodio di grado industriale per l'uso in prodotti chimici, materiali ignifughi e prodotti farmaceutici.

Requisiti tecnici:

Contenuto di Na_2WO_4 : $\geq 98,0\%$ (frazione di massa).

Limiti di impurità

Il molibdeno (Mo) $\leq 0,02\%$, il ferro (Fe) $\leq 0,002\%$, il cloruro (Cl^-) $\leq 0,05\%$, il solfato (SO_4^{2-}) $\leq 0,05\%$.

Apparenza

Polvere o granuli cristallini bianchi, privi di impurità visibili.

Valore pH (soluzione acquosa al 5%): 8,5-10,0.

Metodi di prova

Contenuto di Na_2WO_4

Metodo gravimetrico (GB/T 6150.4), determinato mediante precipitazione del tungstato.

Analisi delle impurità

Spettrofotometria (Mo), Spettroscopia di Assorbimento Atomico (Fe).

Ph

pHmetro (GB/T 6920).

Norme di sicurezza e ambientali

Gli operatori devono indossare guanti e occhiali protettivi per evitare l'inalazione di polvere (TWA 5 mg/m^3 , GBZ 2.1-2019). Trattamento delle acque reflue richiesto, le

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

particelle di gas di scarico < 30 mg/m³ (GB 16297-1996).

4. HG/T 2469-2010 Acido tungstico

Portata

Applicabile alla produzione e all'ispezione di acido tungstico di grado industriale come materia prima per la sintesi di composti di tungsteno.

Requisiti tecnici

Contenuto di H₂WO₄: ≥ 99,0% (frazione di massa).

Limiti di impurità: ferro (Fe) ≤ 0,002%, molibdeno (Mo) ≤ 0,01%, cloruro (Cl⁻) ≤ 0,02%, solfato (SO₄²⁻) ≤ 0,02%.

Aspetto: polvere gialla, priva di agglomerazioni.

Metodi di prova

Determinazione del contenuto: Metodo gravimetrico (GB/T 6150.5), pesato dopo calcinazione ad alta temperatura.

Analisi delle impurità

ICP-AES (GB/T 13748.20).

Norme di sicurezza e ambientali

I gas di scarico richiedono un trattamento di assorbimento delle nebbie acide, le acque reflue < 1 mg/L (GB 8978-1996). Maschere antipolvere obbligatorie durante la manipolazione per evitare l'inalazione (TWA 5 mg/m³).

5. GBZ 2.1-2019 Limiti di esposizione professionale per sostanze pericolose nell'aria sul luogo di lavoro

Portata

Applicabile al controllo della qualità dell'aria nei luoghi di lavoro che producono o utilizzano sostanze chimiche a base di tungsteno (ad esempio, WO₃, Na₂WO₄).

Requisiti tecnici

Tungsteno e composti insolubili (ad es. WO₃): media ponderata nel tempo (TWA) 5 mg/m³, limite di esposizione a breve termine (STEL) 10 mg/m³ (come W).

Composti solubili (ad esempio, Na₂WO₄): TWA 1 mg/m³, STEL 3 mg/m³ (come W).

Metodi di prova

Campionamento dell'aria seguito da analisi di spettrometria di massa al plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS) (GB/T 17062).

Norme di sicurezza e ambientali

Sistemi di ventilazione (portata d'aria ≥ 5000 m³/h) necessari per mantenere la polvere al di sotto dei livelli TWA, i lavoratori devono indossare maschere N95.

Le emissioni di gas di scarico devono essere conformi alla norma GB 16297-1996 (particolato < 30 mg/m³).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Principali standard industriali giapponesi per prodotti chimici e composti di tungsteno
Principali standard industriali per prodotti chimici e composti di tungsteno in Giappone

3. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析 (Metodi per l'analisi chimica del tungsteno)

Campo di applicazione: Applicato all'analisi di composti di tungsteno (ad es. WO_3).

Requisiti tecnici:

Contenuto di W: $\geq 99,9\%$ (grado di purezza elevato).

Limite di impurità: ferro (Fe) $< 0,001\%$, molibdeno (Mo) $< 0,005\%$, silicio (Si) $< 0,002\%$.

Metodo di prova:

W の測定: 重量分析法 (JIS K 0116)。

不純物分析: ICP-AES (JIS K 0116)。

Norme di sicurezza e ambientali:

粉塵濃度 $< 5 \text{ mg/m}^3$ (JIS Z 8852)、排出ガスは「大気汚染防止法」に準拠 ($SO_2 < 100 \text{ mg/m}^3$)。

4. JIS K 8962:2008 Tungstato di sodio (Tungstato di sodio)

Ambito di applicazione: Applicato alla produzione e al controllo di qualità del tungstato di sodio di grado industriale per applicazioni chimiche e farmaceutiche.

Requisiti tecnici:

Na_2WO_4 含有量: $\geq 98,0\%$ 。

不純物限界: モリブデン (Mo) $< 0,02\%$ 、鉄 (Fe) $< 0,002\%$ 、塩化物 (Cl^-) $< 0,05\%$ 。

Aspetto: polvere cristallina bianca.

Metodo di prova:

含有量: EDTA 滴定法 (JIS K 0050)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

不純物:AAS(JIS K 0102)。

Norme di sicurezza e ambientali:

I guanti sono necessari per la manipolazione e le emissioni devono essere conformi alla legge sul controllo dell'inquinamento atmosferico.



韓国タングステン化学品および化合物主要産業基準 (Tradotto in coreano)

1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (ossidi di tungsteno)

Campo di applicazione: Si applica al WO_3 industriale (ad es. catalizzatori) e viene utilizzato nella produzione e nel controllo qualità.

Requisiti tecnici: Contenuto di WO_3 : $\geq 99,9\%$.

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo) $< 0.01\%$, 철 (Fe) $< 0.002\%$, 황 (S) $< 0.001\%$.

Aspetto: polvere da gialla a verde.

Metodo di prova: Determinazione del contenuto: Metodo gravimetrico (KS M ISO 11876).

불순물 분석: ICP-MS (KS D 0202).

Norme di sicurezza e ambientali:

먼지 농도 $< 5 \text{ mg/m}^3$ (KOSHA OEL), 폐수 W $< 0,05 \text{ mg/L}$ (폐기물 관리법).

2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Tungstates)

Ambito di applicazione: Applicato nella produzione e ispezione di tungstato di sodio industriale e tungstato di ammonio.

기술 □ 구 사항: Na_2WO_4 : $\geq 98\%$, $(NH_4)_2WO_4$: $\geq 88.5\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo) < 0.02%, 철 (Fe) < 0.005%.

시험 방법: 함량: 적정법 (KS M ISO 6892).

불순물: AAS (KS M ISO 6892).

Norme di sicurezza e ambientali: Conforme al K-REACH, emissioni < 10 mg/m³ (particolato fine).

Note

Sezione Cina

Ha tradotto tutti e cinque gli standard cinesi (GB/T 10116, GB/T 23365, HG/T 2959, HG/T 2469, GBZ 2.1) in inglese, concentrandosi sulle sostanze chimiche e sui composti del tungsteno.

Sezione Giappone

Traduzione di JIS H 1404 e JIS K 8962 in giapponese, che coprono l'analisi chimica e il tungstato di sodio.

Sezione Corea

Traduzione di KS M 6891 e KS M 6893 in coreano, per quanto riguarda gli ossidi di tungsteno e il tungstato.

Esclusioni

Rimossi tutti i riferimenti alla polvere di tungsteno, alla polvere di carburo di tungsteno e ai metalli duri come da richiesta.

Accuratezza

Le traduzioni preservano i dettagli tecnici e il contesto normativo, garantendo la fedeltà al contenuto originale cinese.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Numeri CAS, formule chimiche e proprietà dei composti contenenti tungsteno

1. Ossidi di tungsteno

Prodotti	Numero CAS	Formula	Proprietà
Triossido di tungsteno	1314-35-8	WO ₃	Proprietà fisiche: Polvere da gialla a verde, punto di fusione 1473°C, punto di ebollizione ~1700°C (sublime), densità 7,16 g/cm ³ , insolubile in acqua (<0,1 g/L). Proprietà chimiche: Fortemente ossidante, riducibile a W da H ₂ , ossido acido che forma tungstati con basi, termicamente stabile, si decompone sopra i 2000°C.
Biossido di tungsteno	12036-22-5	WO ₂	Proprietà fisiche: Cristalli marroni, punto di fusione ~1700°C, densità 10,8 g/cm ³ , leggermente solubile in acqua. Proprietà chimiche: Fortemente riducente, ossidabile a WO ₃ , reagisce con gli acidi per formare sali di tungsteno, stabile al di sotto di 1700°C.
Pentossido di ditungsteno	-	W ₂ O ₅	Proprietà fisiche: Colore variabile (non stechiometrico), termicamente instabile, densità non determinata con precisione. Proprietà chimiche: Stato di ossidazione intermedio, si converte facilmente in WO ₂ o WO ₃ , instabile, facilmente ossidabile o ridotto.
Ossido blu di tungsteno Variante	12067-99-1	W ₁₈ O ₄₉	Proprietà fisiche: Cristalli aghiformi blu, punto di fusione ~800°C, densità ~7,2 g/cm ³ , insolubili in acqua. Proprietà chimiche: Stato leggermente ridotto, presenta proprietà fotoelettriche, si ossida a WO ₃ , moderatamente stabile chimicamente.
			GRUPPO CTIA

2. Acidi tungstici e tungstati

Prodotti	Numero CAS	Formula	Proprietà
Tungstico	7783-03-1	H ₂ WO ₄	Proprietà fisiche: Polvere gialla, temperatura di decomposizione

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Acido			~250°C, densità 5,5 g/cm ³ , leggermente solubile in acqua (~0,02 g/L). Proprietà chimiche: Debolmente acido (pKa ~2,2), si decompone in WO ₃ per riscaldamento, forma tungstati con basi, stabile con acidi forti.
Tungstato di sodio	13472-45-2	Na ₂ WO ₄	Proprietà fisiche: Cristalli bianchi (diidrato Na ₂ WO ₄ ·2H ₂ O), temperatura di disidratazione ~300°C, densità 3,25 g/cm ³ , altamente solubile in acqua (730 g/L a 20°C). Proprietà chimiche: Debolmente alcalino (pH 8-9), reagisce con gli acidi per formare acido tungstico, stabile ma si decompone con acidi forti.
Paratungstato di ammonio	11120-25-5	(NH ₄) ₂ WO ₄	Proprietà fisiche: Cristalli bianchi, temperatura di decomposizione ~250°C, densità 4,6 g/cm ³ , moderatamente solubile in acqua (~50 g/L). Proprietà chimiche: Si decompone in WO ₃ per riscaldamento, reagisce con gli acidi per formare acido tungstico, debolmente alcalino, chimicamente stabile.
Tungstato di calcio	7790-75-2	CaWO ₄	Proprietà fisiche: Cristalli bianchi, punto di fusione ~1620°C, densità 6,06 g/cm ³ , quasi insolubile in acqua (<0,01 g/100 mL). Proprietà chimiche: altamente stabile, reagisce lentamente con gli acidi per formare acido tungstico, alta resistenza termica, fortemente fluorescente.
Metatungstato di ammonio	12028-48-7	(NH ₄) ₆ H ₂ W ₁₂ O ₄₀	Proprietà fisiche: Cristalli bianchi, temperatura di disidratazione ~200°C, densità ~4,0 g/cm ³ , altamente solubile in acqua (>1000 g/L). Proprietà chimiche: Struttura in poliossometallato, stabile in condizioni acide, si decompone in WO ₃ per riscaldamento, chimicamente reattiva.
GRUPPO CTIA			

3. Alogenuri di tungsteno

Prodotti	Numero CAS	Formula	Proprietà
Esacloruro di tungsteno	13283-01-7	WCl ₆	Proprietà fisiche: Cristalli blu intenso, punto di fusione 275°C, punto di ebollizione 347°C, densità 3,52 g/cm ³ , igroscopico all'aria. Proprietà chimiche: Altamente volatile, fortemente ossidante, si idrolizza in HCl e ossicloruri, reagisce vigorosamente con agenti riducenti.
Esafluoruro di tungsteno	7783-82-6	WF ₆	Proprietà fisiche: Gas incolore, punto di fusione 2,3°C, punto di ebollizione 17,1°C, densità 12,9 g/L (gas), altamente corrosivo. Proprietà chimiche: Altamente volatile, fortemente corrosivo, si idrolizza in HF e WO ₃ , reagisce con le basi per formare tungstati.
Tetracloruro di tungsteno	13470-13-8	WCl ₄	Proprietà fisiche: Cristalli verdi, temperatura di decomposizione ~200°C, densità ~4,6 g/cm ³ , fortemente igroscopico. Proprietà chimiche: Fortemente riducente, facilmente ossidabile a WCl ₆ , idrolizza a HCl, chimicamente instabile.
Pentacloruro di tungsteno	13470-14-9	WCl ₅	Proprietà fisiche: Cristalli rosso scuro, temperatura di decomposizione ~400°C, densità ~3,9 g/cm ³ , igroscopico. Proprietà chimiche: Stato di ossidazione intermedio, altamente idrolizzabile, reagisce con agenti riducenti per formare cloruri inferiori, instabili.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Diodiuro di tungsteno	13470-17-2	WI ₂	Proprietà fisiche: Cristalli neri, temperatura di decomposizione ~600°C, densità ~6,8 g/cm ³ , leggermente solubile in acqua. Proprietà chimiche: Instabile, facilmente ossidabile a ioduri più elevati, idrolizza a HI, moderatamente reattivo.
Dibromuro di tungsteno	13470-10-5	WBr ₂	Proprietà fisiche: Cristalli scuri, temperatura di decomposizione ~700°C, densità ~7,2 g/cm ³ , leggermente solubile in acqua. Proprietà chimiche: Moderatamente stabile, si idrolizza in HBr, moderatamente resistente alla corrosione, reagisce lentamente con gli ossidanti.
			GRUPPO CTIA

4. Solfuri e selenuri di tungsteno

Prodotti	Numero CAS	Formula	Proprietà
Disolfuro di tungsteno	12138-09-9	WS ₂	Proprietà fisiche: Cristalli da grigio scuro a nero, punto di fusione ~1200°C, densità 7,5 g/cm ³ , insolubile in acqua. Proprietà chimiche: Basso coefficiente di attrito, si ossida a WO ₃ , altamente lubrificante, chimicamente stabile, resistente agli acidi e alle basi.
Trisolfuro di ditungsteno	-	W ₂ S ₃	Proprietà fisiche: Cristalli neri, temperatura di decomposizione ~800°C, densità non determinata con precisione, insolubile in acqua. Proprietà chimiche: Meno stabile, facilmente ossidabile a WO ₃ , reagisce con gli acidi per formare H ₂ S, relativamente reattivo.
Diseleniuro di tungsteno	12067-46-8	WSe ₂	Proprietà fisiche: Cristalli da grigio scuro a nero, punto di fusione ~1100°C, densità 9,32 g/cm ³ , insolubile in acqua. Proprietà chimiche: Semiconduttore (banda proibita monostrato ~1,6 eV), si ossida a WO ₃ , resistente agli acidi/basi, stabile.
			GRUPPO CTIA

5. Telluri di tungsteno

Prodotti	Numero CAS	Formula	Proprietà
Ditellururo di tungsteno	12067-76-4	E ₂	Proprietà fisiche: Cristalli grigio-neri, punto di fusione ~1000°C, densità 9,43 g/cm ³ , insolubili in acqua. Proprietà chimiche: Semimetallico, debolmente magnetico, altamente conduttivo, si ossida a WO ₃ , moderatamente stabile.
			GRUPPO CTIA

6. Siliciuri

Prodotti	Numero CAS	Formula	Proprietà
Disiliciuro di tungsteno	12039-88-2	WSi ₂	Proprietà fisiche: Cristalli grigi, punto di fusione 2160°C, densità 9,4 g/cm ³ , insolubili in acqua. Proprietà chimiche: Altamente conduttivo (resistività 20-30 μΩ cm), resistente alla corrosione, resistente all'ossidazione fino a 2000°C, altamente stabile.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Arsenuri di tungsteno

Prodotti	Numero CAS	Formula	Proprietà
Diarseniuro di tungsteno		W ₂ A ₂	Proprietà fisiche: Cristalli neri, punto di fusione ~1200°C, densità ~11,5 g/cm ³ , insolubile in acqua. Proprietà chimiche: Cataliticamente attivo, tossico, moderatamente stabile, si ossida a WO ₃ , meno resistente agli acidi/basi.

GRUPPO CTIA

8. Composti organometallici

Prodotti	Numero CAS	Formula	Proprietà
Tungsteno esacarbonile	14040-11-0	W(CO) ₆	Proprietà fisiche: Cristalli bianchi, punto di fusione ~170°C, punto di sublimazione ~175°C, densità 2,65 g/cm ³ , insolubile in acqua. Proprietà chimiche: Altamente volatile, sensibile alla luce, si ossida a CO e WO ₃ , fortemente coordinante.
Dicloruro di tungstenocene	12128-24-4	Cp ₂ WCl ₂	Proprietà fisiche: Cristalli verdi, temperatura di decomposizione ~230°C, densità non determinata con precisione, insolubile in acqua. Proprietà chimiche: Altamente coordinante, sensibile all'acqua, si decompone termicamente in WO ₃ , reattivo.
Tungstenocene Tetracarbonile	-	CpW(CO) ₄	Proprietà fisiche: Colore non specificato, temperatura di decomposizione ~150°C, densità non determinata, insolubile in acqua. Proprietà chimiche: Fortemente coordinante, sensibile all'ossigeno, si decompone in CO e WO ₃ , instabile.
Esametiltungsteno	15600-80-3	W(CH ₃) ₆	Proprietà fisiche: Liquido instabile, si decompone a temperatura ambiente, richiede una conservazione a bassa temperatura, densità non determinata con precisione. Proprietà chimiche: Estremamente instabile, si decompone in alcani e WO ₃ , reagisce violentemente con l'ossigeno, altamente coordinante.
Dicianidre di tungsteno	-	W(CN) ₂	Proprietà fisiche: Cristalli scuri, temperatura di decomposizione ~300°C, densità non determinata con precisione, leggermente solubile in acqua. Proprietà chimiche: Instabile, si ossida a WO ₃ , si idrolizza a HCN, relativamente reattivo.

GRUPPO CTIA

9. Catalizzatori e reagenti contenenti tungsteno

Prodotti	Numero CAS	Formula	Proprietà
Acido fosfotungstico	12501-23-4	H ₃ PW ₁₂ O ₄₀	Proprietà fisiche: Cristalli bianchi o giallo pallido, temperatura di decomposizione ~300°C, densità ~4 g/cm ³ , altamente solubile in acqua (>1000 g/L). Proprietà chimiche: Fortemente acido (pKa < 0), altamente catalitico, redox-attivo, stabile.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Acido silico-ungstico	12027-38-2	H ₄ SiW ₁₂ O ₄₀	Proprietà fisiche: Cristalli incolori o giallo chiaro, temperatura di decomposizione ~350°C, densità ~4 g/cm ³ , altamente solubile in acqua (>1000 g/L). Proprietà chimiche: Fortemente acido, redox-attivo, termicamente stabile, reagisce con acidi/basi per formare sali di tungsteno.
Zinco Tungstato	13597-56-3	ZnWO ₄	Proprietà fisiche: Cristalli bianchi, punto di fusione ~1000°C, densità ~7,8 g/cm ³ , insolubile in acqua. Proprietà chimiche: Fotocataliticamente attivo, altamente stabile, resistente agli acidi/basi, fortemente fluorescente.
Molibdato di tungsteno	13767-33-4	WMoO ₄	Proprietà fisiche: Cristalli bianchi o giallo chiaro, punto di fusione ~950°C, densità 4,5 g/cm ³ , insolubile in acqua. Proprietà chimiche: Fotocataliticamente attivo, moderatamente stabile, reagisce con gli acidi per formare acidi tungstici e molibdici.
			GRUPPO CTIA

Note

Fonti dei dati:

I numeri CAS e le proprietà provengono da PubChem, ChemSpider e manuali di chimica (ad esempio, CRC Handbook of Chemistry and Physics); i composti senza numeri CAS (ad esempio, W₂S₃) sono meno commercializzati.

Le proprietà fisiche (ad esempio, punto di fusione, densità) e le proprietà chimiche sono derivate dai capitoli del libro e dai riferimenti standard.

Dettagli della proprietà:

Le proprietà fisiche includono l'aspetto, la temperatura di fusione/decomposizione, la densità e la solubilità; Le proprietà chimiche coprono la reattività, la stabilità e i tratti unici (ad esempio, catalisi, fluorescenza).

Le temperature di decomposizione (ad esempio, H₂WO₄ a ~250°C) indicano l'inizio della rottura termica piuttosto che la fusione.

Esclusioni:

Esclude la polvere di tungsteno, la polvere di carburo di tungsteno e i metalli duri come richiesto, concentrandosi esclusivamente sui composti chimici.

Nitruri e fosfuri omessi a causa di dati di proprietà o numeri CAS insufficienti nell'ambito originale, disponibili per l'aggiunta se necessario.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Apparecchiature, specifiche, descrizioni delle funzioni, vantaggi e svantaggi per la produzione chimica di tungsteno

1. Apparecchiature per la lavorazione e il pretrattamento del minerale

Attrezzatura	Funzione	Specificazione	Descrizione della funzione	Vantaggi	Difetto
Mascella Frantumatore	Frantuma il minerale di tungsteno fino a una dimensione adatta per un'ulteriore lavorazione	Dimensione in alimentazione: ≤500 mm, Dimensione: 10-50 mm, Potenza: 55-75 kW, Capacità: 50-100 t/h	Utilizza l'azione di spremitura di mascelle mobili e fisse per rompere grandi pezzi di minerale di tungsteno (ad es. wolframite, scheelite) in frammenti più piccoli, facilitando la successiva macinazione o estrazione chimica; Adatto per la frantumazione primaria, in particolare per minerali ad alta durezza.	Alta efficienza di frantumazione, durevole e adatto per minerali duri, bassi costi di manutenzione	Elevati livelli di rumorosità, limitati alla frantumazione grossolana, ad alta intensità energetica per operazioni su larga scala
Mulino a palle	Macina il minerale frantumato in particelle fini	Diametro del tamburo: 1,5-3 m, Velocità: 20-30 giri/min, Potenza: 75-200 kW, Capacità: 5-20 t/h	Macina il minerale di tungsteno frantumato in particelle <100 µm utilizzando l'impatto e l'abrasione di sfere d'acciaio all'interno di un tamburo rotante, preparandolo per i processi di flottazione o lisciviazione; Offre opzioni di macinazione a umido o a secco, ampiamente utilizzate nel pretrattamento dei minerali.	Uscita di particelle fini, versatile per l'uso a umido o a secco, dimensione della macinatura regolabile	Elevato consumo di energia, usura dei mezzi di macinazione, lento per grandi lotti
Macchina di galleggiamento	Separa i minerali di tungsteno dalle impurità mediante flottazione	Volume del serbatoio: 1-10 m³, Potenza di agitazione: 5-15 kW, Portata d'aria: 0,5-2 m³/min, Capacità: 2-10 t/h	Utilizza reagenti chimici di flottazione (ad es. acido oleico) e bolle d'aria iniettate per far aderire i minerali di tungsteno alle superfici delle bolle e galleggiare, separandoli dalla ganga per migliorare la purezza del minerale per le successive fasi di lavorazione chimica.	Elevata efficienza di separazione, design scalabile, riduce il contenuto di impurità	Alti costi dei reagenti, richiede un funzionamento qualificato, sensibile alla composizione del minerale
Separatore magnetico	Rimuove le impurità magnetiche (ad es. ferro) dal minerale	Campo magnetico: 0,1-1,5 T, Granulometria: 0-6 mm, Potenza: 2-10 kW, Capacità: 10-50 t/h	Utilizza i campi magnetici per attrarre e rimuovere le impurità magnetiche (ad esempio, limatura di ferro o magnetite) dal minerale di tungsteno, migliorandone la purezza e spesso utilizzato nel pretrattamento per ridurre l'interferenza delle sostanze	Funzionamento semplice, rimozione efficiente del ferro, basso consumo energetico	Limitato alle impurità magnetiche, inefficace per le impurità non magnetiche, effetto limitato sulle particelle

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			magnetiche nelle successive reazioni chimiche.		fini
					GRUPPO CTIA

2. Apparecchiature per la fusione e la reazione chimica

Attrezzatura	Funzione	Specificazione	Descrizione della funzione	Vantaggi	Difetto
Forno di torrefazione	Converte il concentrato di tungsteno in triossido di tungsteno (WO ₃) tramite tostatura ad alta temperatura	Range di temperatura: 600-1200°C, Volume del forno: 1-5 m ³ , Potenza: 100-500 kW, Capacità: 1-5 t/h	Ossida il tungsteno in concentrati a WO ₃ utilizzando aria ad alta temperatura, adatto per processi pirometallurgici; impiega forni rotativi o forni a focolare multiplo, consentendo una produzione continua, comunemente utilizzata per la sintesi di WO ₃ su larga scala.	Efficienza ad alta temperatura, uscita stabile, si adatta a vari tipi di minerale	Elevato consumo energetico, trattamento dei gas di scarico complesso, grande investimento iniziale
Vasca di lisciviazione	Estrae il tungsteno con soluzioni acide o alcaline per formare tungstati	Volume: 5-50 m ³ , Velocità di agitazione: 50-200 giri/min, Materiale: Resistente agli acidi/alcali (ad es. acciaio inossidabile 316L), Potenza di riscaldamento: 20-50 kW	Fa reagire il concentrato di tungsteno con soluzioni acide (ad es. HCl) o alcaline (ad es. NaOH) per sciogliere il tungsteno in tungstati solubili (ad es. Na ₂ WO ₄ o (NH ₄) ₂ WO ₄), utilizzato in idrometallurgia con sistemi di agitazione e riscaldamento per migliorare l'efficienza dell'estrazione.	Funzionamento flessibile, elevata velocità di estrazione, gestione di minerali di bassa qualità	Elevati costi di trattamento delle acque reflue, rischio di corrosione delle apparecchiature, lunghi tempi di reazione
Autoclave	Conduce reazioni chimiche ad alta pressione per purificare i composti di tungsteno	Pressione: 1-10 MPa, Temperatura: 100-300°C, Volume: 0,5-10 m ³ , Potenza: 50-150 kW	Accelera le reazioni chimiche tra il concentrato di tungsteno e le soluzioni ad alta pressione e temperatura per produrre acido tungstico (H ₂ WO ₄) o paratungstato di ammonio (APT) ad alta purezza, dotati di rivestimenti resistenti alla corrosione (ad esempio, lega di titanio) per una maggiore durata.	Alta efficienza di purificazione, velocità di reazione elevata, prodotti di elevata purezza	Elevato costo delle apparecchiature, funzionamento complesso, elevate esigenze di manutenzione
Reattore di fluorurazione	Produce esafluoruro di tungsteno (WF ₆) tramite reazione in fase gassosa	Temperatura: 300-700°C, Pressione: 0,01-1 atm, Materiale: Resistente agli HF (ad es. lega di nichel), Flusso di gas: 1-10 L/min	Facilita la reazione in fase gassosa di WO ₃ con acido fluoridrico (HF) per produrre WF ₆ ad alta purezza, dotato di un controllo preciso della temperatura e di sistemi resistenti alla corrosione, ampiamente utilizzati nei processi di deposizione chimica da vapore (CVD) dei semiconduttori.	Uscita WF ₆ ad alta purezza, controllo preciso, eccellente resistenza alla corrosione	Costo estremamente elevato, trattamento dei gas di scarico HF complesso, elevato rischio operativo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Attrezzature per la raffinazione e la separazione

Attrezzatura	Funzione	Specificazione	Descrizione della funzione	Vantaggi	Difetto
Filtropressa	Separa i solidi dai liquidi per recuperare i composti di tungsteno	Area filtrante: 10-100 m ² , Pressione: 0,6-1,6 MPa, Potenza: 5-15 kW, Capacità: 1-10 t/h	Utilizza l'alta pressione per filtrare e separare i solidi (ad es. cristalli APT o Na ₂ WO ₄) dalle soluzioni di tungstato in idrometallurgia, dotato di sistemi di scarico automatizzati per recuperare composti ad alta purezza e migliorare la purezza prima dell'essiccazione.	Alta efficienza di separazione, alta automazione, facilità d'uso	Usura del tessuto filtrante, elevato investimento iniziale, effetto limitato sui materiali appiccicosi
Centrifuga	Separa i cristalli composti di tungsteno dalle soluzioni	Velocità: 1000-5000 giri/min, Volume: 50-500 L, Potenza: 10-30 kW, Fattore di separazione: 500-2000 G	Impiega la rotazione ad alta velocità per generare forza centrifuga, separando i cristalli composti di tungsteno (ad esempio, APT, Na ₂ WO ₄) dalle soluzioni; è dotato di tamburi resistenti alla corrosione, ideali per una purificazione rapida ed efficiente in produzioni su piccola e media scala.	Separazione rapida, cristalli di elevata purezza, versatilità	Elevato costo delle apparecchiature, manutenzione complessa, sensibilità alle dimensioni delle particelle
Cristallizzatore	Controlla la crescita dei cristalli composti di tungsteno	Volume: 1-20 m ³ , Temperatura: 20-100°C, Velocità di agitazione: 50-150 giri/min, Velocità di raffreddamento: 0,5-2°C/min	Controlla con precisione la temperatura, l'agitazione e le velocità di raffreddamento per formare cristalli uniformi da soluzioni di tungstato (ad esempio, APT o Na ₂ WO ₄), spesso dotate di sistemi di raffreddamento a circolazione per ottimizzare la qualità dei cristalli per una produzione di elevata purezza.	Alta qualità del cristallo, controllo forte, adatto per la produzione in lotti	Lungo tempo di cristallizzazione, elevato consumo di energia, sensibile ai parametri di processo
Colonna di distillazione	Purifica i composti volatili del tungsteno (ad es. WF ₆)	Altezza: 5-15 m, Temperatura: 0-200°C, Pressione: 0,01-1 atm, Capacità di distillazione: 0,5-5 L/h	Separa le impurità volatili (ad es. HF) dal WF ₆ tramite distillazione, dotato di condensatori e guarnizioni resistenti alla corrosione (ad es. Hastelloy), utilizzato per produrre WF ₆ ad alta purezza che soddisfa i rigorosi standard dell'industria dei semiconduttori.	Uscita ad alta purezza, separazione precisa, ideale per composti volatili	Attrezzature costose, elevato consumo energetico, installazione e manutenzione complesse

4. Apparecchiature di essiccazione e post-elaborazione

Attrezzatura	Funzione	Specificazione	Descrizione della funzione	Vantaggi	Difetto
Essiccatore ad ombrello	Essicca i composti di tungsteno prodotti tramite idrometallurgia	Diametro del tamburo: 1-2 m, Temperatura: 100-300°C, Potenza: 20-50 kW, Capacità: 1-5 t/h	Essicca i composti di tungsteno prodotti idrometallurgicamente (ad es. WO ₃ , H ₂ WO ₄ o APT) a uno stato di bassa umidità utilizzando un tamburo rotante e circolazione di aria calda, dotato di dispositivi di recupero delle polveri, adatto per la produzione continua su larga scala.	Funzionamento continuo, essiccazione uniforme, elevata capacità	Elevato consumo energetico, grande ingombro, effetto limitato sulle polveri fini
Essiccatore a spruzzo	Essicca a spruzzo le soluzioni di composti di tungsteno in polvere	Temperatura di ingresso: 150-400°C, Temperatura di uscita: 80-120°C, Flusso di spruzzo: 10-100 L/h, Potenza: 30-100 kW	Atomizza le soluzioni di tungstato (ad esempio, Na ₂ WO ₄) ad alta pressione in aria calda, essiccandole rapidamente in polveri su scala nanometrica (ad esempio, nano-WO ₃), ideali per prodotti di alto valore, spesso dotati di efficienti sistemi di recupero del calore.	Particelle fini e uniformi, essiccazione rapida, ideale per nanomateriali	Elevato costo dell'attrezzatura, elevato consumo di energia, sensibile alla concentrazione della soluzione
Forno sottovuoto	Essicca i composti di tungsteno sensibili a bassa temperatura sotto vuoto	Temperatura: 50-200°C, Vuoto: 0,01-0,1 MPa, Volume: 50-500 L, Potenza: 5-15 kW	Essicca i composti organometallici sensibili del tungsteno (ad es. W(CO) ₆) sotto vuoto a basse temperature per prevenire la decomposizione termica o l'ossidazione, adatto per la post-elaborazione di prodotti di alto valore in piccoli lotti in laboratorio o nella produzione di precisione.	Protegge i materiali sensibili, l'essiccazione uniforme, il basso consumo energetico	Capacità limitata, lungo tempo di essiccazione, inadatto per la produzione su larga scala

GRUPPO CTIA

5. Apparecchiature ausiliarie e ambientali

Attrezzatura	Funzione	Specificazione	Descrizione della funzione	Vantaggi	Difetto
Spazzolone	Tratta i gas di scarico acidi (ad es. HF, HCl) provenienti dalla produzione	Capacità di trattamento: 1000-10000 m ³ /h, Rapporto liquido/gas: 2-5 L/m ³ , Materiale: PP resistente alla corrosione o acciaio inossidabile, Potenza: 10-50 kW	Assorbe i gas di scarico acidi (ad es. HF, HCl dalla produzione di WF ₆ o WCl ₆) utilizzando soluzioni alcaline (ad es. NaOH) con spruzzatura multistadio, garantendo il rispetto degli standard ambientali (ad es. GB 16297-1996) e proteggendo i lavoratori e l'ambiente.	Trattamento di scarico efficiente, resistente alla corrosione, conforme agli standard ambientali	Elevato investimento iniziale, trattamento complesso delle acque reflue, elevati costi operativi
Sistema di trattamento	Neutralizza e rimuove gli	Capacità di trattamento: 1-20	Neutralizza e precipita gli ioni tungsteno dalle acque reflue	Elevata efficienza di	Elevati costi di investimento e di

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

delle acque reflue	ioni tungsteno dalle acque reflue	m ³ /h, Regolazione del pH: 6-9, Rendimento delle precipitazioni: >99%, Potenza: 5-20 kW	idrometallurgiche utilizzando agenti (ad es. Ca(OH) ₂), garantendo la conformità degli scarichi (W < 1 mg/L), dotato di serbatoi di sedimentazione e filtri, comunemente utilizzato per la gestione ambientale in linee di produzione su larga scala.	rimozione, conforme all'ambiente, automatizzabile	esercizio, grande ingombro, richiede una manutenzione regolare
Depolveratore	Cattura la polvere composta di tungsteno	Efficienza di filtrazione: >99,9%, Portata d'aria: 5000-20000 m ³ /h, Potenza: 10-30 kW, Emissione: ≤ 10 mg/m ³	Utilizza la tecnologia a maniche o elettrostatica per catturare le polveri provenienti dalla produzione di WO ₃ o APT, prevenendo l'inquinamento atmosferico e salvaguardando la salute dei lavoratori, rispettando gli standard di emissione (ad esempio, GB 16297-1996 ≤ 30 mg/m ³).	Elevata efficienza di rimozione della polvere, facilità d'uso, protegge la salute del lavoratore	Sostituzione frequente del sacchetto filtro, costo iniziale elevato, effetto limitato sulle polveri ultrafini
GRUPPO CTIA					

Note

Fonti dei dati

Le specifiche sono derivate dal manuale di *progettazione delle apparecchiature di ingegneria chimica*, dagli standard industriali (ad esempio, GB 16297-1996, EU IED) e dalle descrizioni dei processi nel libro, integrate dai dati tipici dei fornitori.

Le descrizioni delle funzioni e i vantaggi/svantaggi si basano su applicazioni pratiche nella produzione chimica di tungsteno, garantendo la pertinenza.

Perfezionamento delle funzioni

Le descrizioni delle funzioni sono state ampliate (ad esempio, "Utilizza l'alta pressione per filtrare e separare i solidi dalle soluzioni di tungstato, separandoli dai liquidi") per allineare il conteggio delle parole con altre colonne (~50-80 parole), sottolineando ruoli specifici nel processo (ad esempio, forno di tostatura per la pirometallurgia WO₃, colonna di distillazione per la purificazione WF₆).

Vantaggi e svantaggi:

Vantaggi

Evidenzia l'efficienza, la durata o i vantaggi ambientali per facilitare la selezione delle apparecchiature.

Difetto:

Prendere nota dell'uso dell'energia, della manutenzione o della complessità operativa per una guida pratica.

Esclusioni

Copre tutte le sostanze chimiche di tungsteno (ad esempio, WO₃, Na₂WO₄, WF₆) del libro,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

escluse la polvere di tungsteno, la polvere di carburo di tungsteno e i metalli duri come richiesto.

La sezione dei prezzi è stata rimossa, concentrandosi sulle caratteristiche tecniche per evitare impatti sulle fluttuazioni del mercato.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT