



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本 (11)證書號數：TW I849318 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 07 月 21 日

(21)申請案號：110124907 (22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 07 月 07 日

(51)Int. Cl. : C22C27/04 (2006.01) C23C10/20 (2006.01)
C23C10/28 (2006.01) B22F3/18 (2006.01)
B22F5/12 (2006.01) C22F1/18 (2006.01)

(30)優先權：2021/01/20 中國大陸 202110077980.5

(71)申請人：大陸商廈門虹鷺鎢鉬工業有限公司 (中國大陸) XIAMEN HONGLU TUNGSTEN MOLYBDENUM INDUSTRY CO., LTD. (CN)
中國大陸

(72)發明人：湯閔楓 (CN)；郭東紅 (CN)；彭福生 (CN)；方毅金 (CN)；呂晟 (CN)；塗啟建 (CN)；姚彤鏘 (CN)；張偉兵 (CN)

(74)代理人：邱珍元

(56)參考文獻：
CN 107322002A CN 110871649A

審查人員：楊淑珍

申請專利範圍項數：17 項 圖式數：1 共 46 頁

(54)名稱
一種合金線材及其製備方法與應用

(57)摘要

一種合金線材，其系由鎢合金製成，該鎢合金包含鎢與鐳的氧化物，其中鐳的氧化物含量為 0.1wt%~2.0wt%。該合金線材的線徑為 100μm 及以下，該合金線材的抗拉強度為 3800MPa 以上。該合金線材的製備方法包括摻雜製粉、壓製、燒結、開坯，其中開坯包括採用多輥軋製的方式對燒結坯條開坯，以使軋製後鎢杆中鐳的氧化物顆粒沿絲材縱向長度與顆粒橫截面粒徑比值>5。通過鐳的氧化物摻雜從而獲得具有超高強度且具備良好韌性的合金線材，藉此，該合金線材可廣泛應用於多種領域。

An alloy wire is made of a tungsten alloy, which contains oxides of tungsten and lanthanum, and the content of lanthanum oxide is 0.1wt% to 2.0wt%. The diameter of the alloy wire is 100 μm or less, and the tensile strength of the alloy wire is 3800 MPa or more. The preparation method of the alloy wire includes doping powder milling, pressing, sintering, and billeting. The billeting includes using a multi-roll rolling method to open the sintered billet to make the lanthanum oxide particles in the tungsten rod after rolling. The ratio between the longitudinal length of the wire and the particle diameter of the particle cross-section is more than 5. The alloy wire with ultra-high strength and good toughness can be obtained by doping with lanthanum oxide. Therefore, the alloy wire can be widely used in various fields.

指定代表圖：

- 符號簡單說明：
- 10: 推拉韌性檢測設備
 - 12: 樣品盤
 - 14: 收絲盤
 - 16: 砝碼
 - 18: 芯線
 - 20: 牽引力
 - 30: 鎢絲

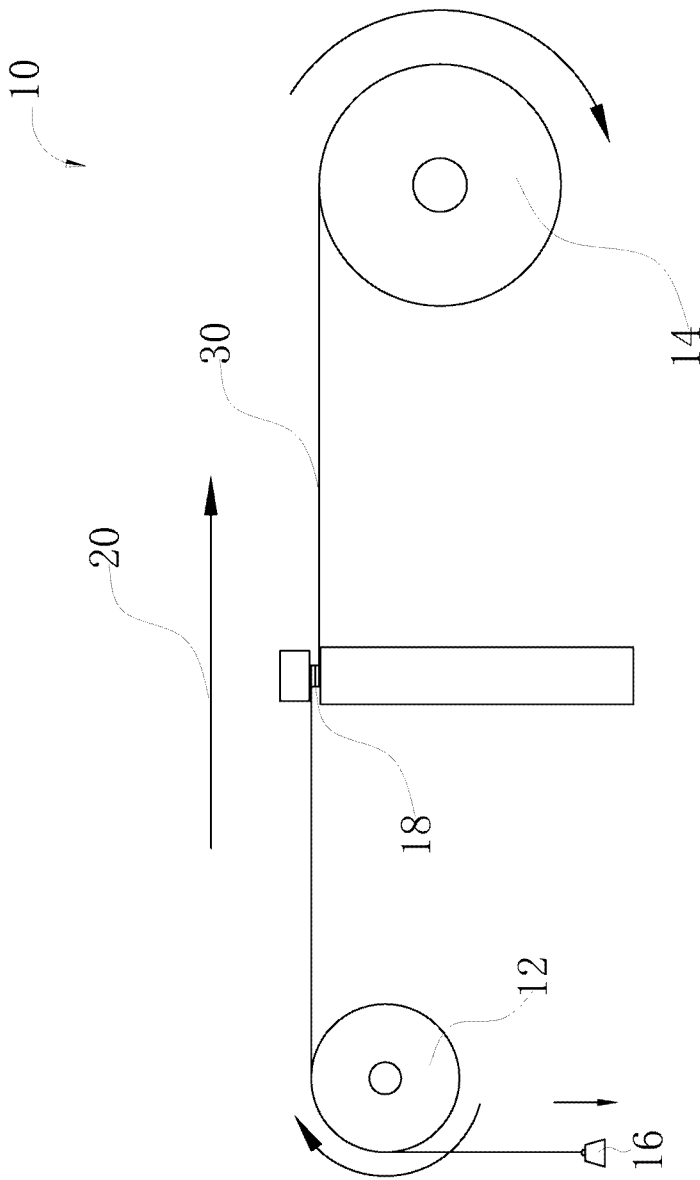


圖1



I849318

【發明摘要】

【中文發明名稱】一種合金線材及其製備方法與應用

【中文】

一種合金線材，其系由鎢合金製成，該鎢合金包含鎢與鐳的氧化物，其中鐳的氧化物含量為0.1wt%~2.0wt%。該合金線材的線徑為100 μ m及以下，該合金線材的抗拉強度為3800MPa以上。該合金線材的製備方法包括摻雜製粉、壓製、燒結、開坯，其中開坯包括採用多輥軋製的方式對燒結坯條開坯，以使軋製後鎢杆中鐳的氧化物顆粒沿絲材縱向長度與顆粒橫截面粒徑比值>5。通過鐳的氧化物摻雜從而獲得具有超高強度且具備良好韌性的合金線材，藉此，該合金線材可廣泛應用於多種領域。

【英文】

An alloy wire is made of a tungsten alloy, which contains oxides of tungsten and lanthanum, and the content of lanthanum oxide is 0.1wt% to 2.0wt%. The diameter of the alloy wire is 100 μ m or less, and the tensile strength of the alloy wire is 3800 MPa or more. The preparation method of the alloy wire includes doping powder milling, pressing, sintering, and billeting. The billeting includes using a multi-roll rolling method to open the sintered billet to make the lanthanum oxide particles in the tungsten rod after rolling. The ratio between the longitudinal length of the wire and the particle diameter of the particle cross-section is more than 5. The alloy wire with ultra-high strength and good toughness can be obtained by doping with lanthanum oxide. Therefore, the alloy wire can be widely used in various fields.

代表圖

本案指定代表圖：圖1。

本代表圖之符號簡單說明：

10:推拉韌性檢測設備

12:樣品盤

14:收絲盤

16:砝碼

18:芯線

20:牽引力

30:鎢絲

【發明說明書】

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【中文發明名稱】 一種合金線材及其製備方法與應用

【英文發明名稱】 AN ALLOY WIRE AND ITS PREPARATION METHOD
AND APPLICATION

【技術領域】

【0001】 本發明係關於鎢合金材料技術領域，特別關於一種合金線材及其製備方法與應用。

【先前技術】

【0002】 現已知具有一定較高強度，硬度材料有高碳鋼線、鎢線等。但現有高碳鋼線的抗拉強度一般在4500MPa以下，然而直徑卻大於50 μ m，且已達到加工極限，無法往更細的直徑進行加工。

【0003】 此外，鎢在小於1毫米的彎曲半徑下具有無與倫比的柔性，而不銹鋼絲繩在同樣的極小彎曲半徑下可能會由於多次迴圈的彎曲應力而失效；相較而言，316不銹鋼在2,500–2,550°F溫度下就會熔化，而鎢在溫度達到6,192°F時才會熔化，可見鎢對在要求具備良好耐溫性和優異抗拉強度的機械絲繩應用中，鎢的表現依然出色。

【0004】 與此同時，憑藉使用壽命長和柔性這兩大主要優點，鎢逐漸成為了製造醫用和工業用微型機械絲繩的更具性能優勢的材料。由於鎢具有強韌、柔性和耐高溫性的特質，其製成的鎢絲繩堅固耐用，在長時間內無需維護或更換。首先，鎢是人類已知的最強韌的材料之一。鑽石的莫氏硬度為10，鎢的莫氏硬度為9，而相比之下，不銹鋼的莫氏硬度約為6。

【0005】 常規鎢絲的抗拉強度一般也在4000MPa以下，然而，其韌性差，生產工藝複雜，加工極其困難，導致難以實現有效的量產。由此，市面上還沒有一種具備適用於量產，並且具備4500MPa以上的高強度高韌性的線材，而在高硬度材料-如半導體材料藍寶石、碳化矽，矽片、磁性材料的切割，高精密器械及高溫爐牽引的線纜或繩索等應用中，亟需一種兼具更高強度、韌性與細度的細絲，使得其在該領域的實際應用中滿足現實的各種需求。

【發明內容】

【0006】 本發明之目的在於提供一種在不同尺寸下具有良好性能的高強度鎢合金線材。

【0007】 為達所述優點至少其中之一或其他優點，本發明的一實施例提出一種合金線材，該合金線材係由鎢合金製成，所述鎢合金包含鎢與鎳的氧化物。所述合金線材的線徑為100 μ m及以下。所述合金線材的抗拉強度為3800MPa以上。

【0008】 在一些實施例中，所述合金線材的鎳的氧化物含量為0.1wt%~2.0wt%。

【0009】 在一些實施例中，所述合金線材的線徑為60 μ m及以下。所述合金線材的推拉芯線直徑為350 μ m以下。所述合金線材的彈性極限強度為2500MPa以上。所述合金線材的抗拉強度為4200MPa以上。

【0010】 在一些實施例中，所述鎢合金可包含有金屬元素M。所述金屬元素M選自鉀、銻、鋁、鐵、鈷或稀土金屬中的至少一種。

【0011】 在一些實施例中，所述鉀的含量小於80ppm。

【0012】 在一些實施例中，所述鎢合金還包含有除鎢的氧化物以外的其他一種或多種稀土氧化物。

【0013】 為達所述優點至少其中之一或其他優點，本發明的一實施例提出一種前述的合金線材的製備方法，包括摻雜製粉、壓製、燒結、開坯。

【0014】 在一些實施例中，所述開坯包括採用多輥軋製的方式對燒結坯條開坯，以使軋製後鎢杆中鎢的氧化物顆粒沿絲材縱向長度與顆粒橫截面粒徑比值 >5 。

【0015】 在一些實施例中，所述摻雜製粉包括以下步驟：固液摻雜、還原、製粉；所述固液摻雜包括對混合後的鎢摻雜溶液進行分階段式烘乾。所述分階段式烘乾至少包括2個溫度階段，所述2個溫度階段以 100°C 為分界線，先在低於 100°C 下加熱烘乾，再在 100°C 以上加熱烘乾。

【0016】 在一些實施例中，所述固液摻雜中的分階段式烘乾包括第一烘乾階段和第二烘乾階段。其中，所述第一烘乾階段的溫度為 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，所述第二烘乾階段的溫度為 $110\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

【0017】 在一些實施例中，所述還原包括將固液摻雜後所製得的物料還原成平均費氏細微性為 $1.0\sim 4.0\mu\text{m}$ 的合金粉。

【0018】 在一些實施例中，所述摻雜製粉包括以下步驟：固固摻雜；所述固固摻雜包括將費氏細微性在 $1.0\mu\text{m}\sim 4.0\mu\text{m}$ 的鎢粉末與細微性分佈 $D_{90}<2.0\mu\text{m}$ 的鎢的氧化物為原料，進行混合以獲得摻雜鎢的氧化物的鎢粉。

【0019】 在一些實施例中，所述燒結坯條的鎢的氧化物粒徑小於 $2.5\mu\text{m}$ 。

【0020】 為達所述優點至少其中之一或其他優點，本發明的一實施例提出一種合金線材在材料切割領域中的應用。其中，所述合金材料採用如前述的合金線材或者如前述的合金線材的製備方法所製成的合金線材。

【0021】 在一些實施例中，所述材料至少可包括硬面材料。所述硬面材料至少可包括矽片、磁性材料、半導體材料。所述半導體材料至少可包括藍寶石、碳化矽。

【0022】 為達所述優點至少其中之一或其他優點，本發明的一實施例提出一種合金線材在線纜/繩索方面的應用。其中，所述合金材料採用如前述的合金線材或者如前述的合金線材的製備方法所製成的合金線材。

【0023】 在一些實施例中，所述線纜/繩索可用於醫療/工業精密器械及高溫爐牽引裝置。

【0024】 為達所述優點至少其中之一或其他優點，本發明的一實施例提出一種合金線材在紡織領域的應用。其中，所述合金材料採用如前述的合金線材或者如前述的合金線材的製備方法所製成的合金線材。

【0025】 在一些實施例中，合金線材在紡織領域的應用可以是將所述合金線材通過紡線或編織的方式製成的手套或防護服。

【0026】 因此，利用本發明所提供一種合金線材及其製備方法與應用，與現有技術相比，具有以下有益效果：

【0027】 1、線徑在100 μm 及以下，抗拉強度達到3800MPa以上。

【0028】 2、該合金線材的線徑為60 μm 及以下，合金線材的推拉芯線直徑為350 μm 以下，合金線材的彈性極限強度為2500MPa以上，合金線材的抗拉強度為4200MPa以上。

【0029】 上述說明僅是本發明技術方案的概述，為了能夠更清楚瞭解本創作的技術手段，而可依照說明書的內容予以實施，並且為了讓本創作的上述和其他目的、特徵和優點能夠更明顯易懂，以下特舉較佳實施例，並配合所附圖式，詳細說明如下。

【圖式簡單說明】

【0030】 所包括的圖式用來提供對本申請實施例的進一步的理解，其構成了說明書的一部分，用於例示本申請的實施方式，並與文字描述一起來闡釋本申請的原理。顯而易見地，下面描述中的圖式僅僅是本申請的一些實施例，並非用於限定本申請的實施方式僅限於此，對於本領域具有通常知識者來講，當然可以根據這些圖式衍生而獲得其他的圖式。所述圖式包括：

〔圖 1〕根據本發明之推拉韌性檢測設備的結構示意圖。

【實施方式】

【0031】 這裏所公開的具體結構和功能細節僅僅是代表性的，並且是用於描述本發明的示例性實施例的目的。但是本發明可以通過許多替換形式來具體實現，並且不應當被解釋成僅僅受限於這裏所闡述的實施例。在本發明的描述中，需要理解的是，術語“中心”、“橫向”、“上”、“下”、“左”、“右”、“垂直”、“水準”、“頂”、“底”、“內”、“外”等指示的方位或位置關係為基於圖式所示的方位或位置關係，僅是為了便於描述本發明和簡化描述，而不是指示或暗示所指的裝置或組件必須具有特定的方位、或以特定的方位構造和操作，因此不能理解為對本發明的限制。此外，術語“第一”、“第二”僅用於描述目的，而不能理解為指示或暗示相對重要性或者隱含指明

所指示的技術特徵的數量。由此，限定有“第一”、“第二”的特徵可以明示或者隱含地包括一個或者更多個該特徵。在本發明的描述中，除非另有說明，“多個”的含義是兩個或兩個以上。另外，術語“包括”及其任何變形皆為“至少包含”的意思。

【0032】 在本發明的描述中，需要說明的是，除非另有明確的規定和限定，術語“安裝”、“相連”、“連接”應做廣義理解，例如，可以是固定連接，也可以是可拆卸的連接，或一體成型的連接；可以是機械連接，也可以是電連接；可以是直接相連，也可以通過中間媒介間接相連，可以是兩個組件內部的連通。對於本領域具有通常知識者而言，可以具體情況理解上述術語在本發明中的具體含義。

【0033】 這裏所使用的術語僅僅是為了描述具體實施例而不意圖限制示例性實施例。除非上下文明確地另有所指，否則這裏所使用的單數形式“一個”、“一項”還意圖包括複數。還應當理解的是，這裏所使用的術語“包括”和/或“包含”規定所陳述的特徵、整數、步驟、操作、單元和/或組件的存在，而不排除存在或添加一個或更多其他特徵、整數、步驟、操作、單元、組件和/或其組合。

【0034】 為達所述優點至少其中之一或其他優點，本發明的一實施例提出一種合金線材，係由鎢合金製成；所述鎢合金包含鎢與鐳的氧化物。其中，所述鎢的含量為90wt%以上，所述鐳的氧化物含量為0.1wt%以上且2.0wt%以下。

【0035】 進一步說明，在一些實施例中，所述鎢合金中鎢的含量可以是95wt%以上。例如，在一些實施樣態中，所述鎢的含量為97.0wt%～

99.9wt%，或者是97.5wt%、98wt%、98.5wt%、99wt%、99.5wt%等等。

【0036】 進一步說明，在一些實施樣態中，所述鎢合金中鐳的氧化物含量可以是0.1wt%~2wt%，或者是0.1wt%~1wt%，亦可以是0.3wt%~0.8wt%，不過不限於此。在另一些實施樣態中，所述鎢合金中鐳的氧化物含量還可以是0.1wt%、0.3wt%、0.5wt%、0.8wt%、1wt%、1.5wt%、2wt%等。

【0037】 所述鐳的氧化物優選為氧化鐳（ La_2O_3 ）。此外，所述鐳的氧化物還可以為鐳-金屬複合氧化物，如LSCO等。在該鎢合金中通過提高鐳的氧化物含量可以提升合金線材的性能；但是，在鐳的氧化物含量大於2wt%的情況下，所述合金線材的細化難度會大大提升。

【0038】 在所述合金線材中，所述鐳的氧化物主要分佈於鎢主相（基體相）晶界處，在基體相晶粒內也有少量分佈，鐳的氧化物可以呈線條狀或顆粒串形態分佈。

【0039】 由鐳的氧化物和鎢構成的合金線材的線徑越小，則拉伸強度相對越強。即，通過利用由鐳的氧化物和鎢構成的鎢合金線材，能夠實現線徑小、並且拉伸強度高的鋸線、線纜等。

【0040】 在一些實施樣態中，所述鎢合金還可以包含有微量的碳化物、其他稀有元素、金屬、非金屬元素。例如，所述碳化物可包括TiC、ZrC。所述其他稀有元素可包括銻等。所述非金屬元素可包括C等。所述金屬元素可包括鉀、鉬、鐵、鈷等。

【0041】 進一步補充說明，所述鎢合金中鉀的含量小於80ppm。適量鉀的添加可以提高合金線材的高溫性能，但是含量過高則會影響鎢合金線

材加工性能，造成裂紋斷絲。

【0042】 所述合金線材的拉伸強度為3800MPa以上。在一些實施樣態中，所述合金線材的拉伸強度可以是4200MPa、4800MPa或5000MPa以上。

【0043】 合金線材的彈性極限強度為2500MPa以上。在一些實施樣態中，所述合金線材的彈性極限強度可以為2700MPa以上，也可以為3000MPa，甚至3200MPa以上。

【0044】 所述合金線材的線徑為100 μm 以下。在一些實施樣態中，合金線材的線徑為100 μm 、80 μm ，甚至60 μm 、40 μm 、25 μm 以及20 μm 和10 μm 等。所述合金線材線徑可以是均勻的，也可是不完全均勻的，還可以根據部位包含例如1%等幾個百分比作用的差。

【0045】 在一實施樣態中，所述合金線材的線徑可以在60 μm 及以下，此種情形下合金線材具有柔軟性，容易充分地使其彎曲，因此，能夠將合金線材容易地捲繞。

【0046】 在一些實施樣態中，所述合金線材的推拉芯線直徑可以達到350 μm 以下，例如230 μm 、200 μm 、180 μm 、160 μm 、130 μm 等。可見，當合金線材的的推拉芯線直徑在350 μm 以下時，所述合金線材還具有極好的推拉韌性。

【0047】 在一些實施樣態中，所述合金線材的線徑為100 μm 及以下；所述合金線材的抗拉強度為3800MPa以上。

【0048】 在一些實施樣態中，所述合金線材的線徑為60 μm 及以下；所述合金線材的抗拉強度為4200MPa以上；所述合金線材的彈性極限強度為

2500MPa以上，所述合金線材的推拉芯線直徑為350 μ m以下，甚至180 μ m以下。

【0049】 在一些實施樣態中，所述合金線材的線徑為40 μ m及以下；所述合金線材的抗拉強度為4800MPa以上；所述合金線材的彈性極限強度為2700MPa以上，所述合金線材的推拉芯線直徑為350 μ m以下，甚至200 μ m以下。

【0050】 在一些實施樣態中，所述合金線材的線徑為25 μ m及以下；所述合金線材的抗拉強度為5000MPa以上；所述合金線材的彈性極限強度為3000MPa以上，所述合金線材的推拉芯線直徑為350 μ m以下，甚至250 μ m以下。

【0051】 為達所述優點至少其中之一或其他優點，本發明的一實施例提出一種合金線材的製備方法，可用於製備前述的合金線材。

【0052】 所述合金線材的製備方法之步驟可包括有摻雜製粉、壓製、燒結、開坯、壓力加工等。其中，所述摻雜製粉根據不同的工藝方法進行劃分可包括固液的方式、液液的方式以及固固的方式等。

【0053】 在一些實施例中，基於固液的方式，所述摻雜製粉可包括以下步驟：固液摻雜、還原、製粉。其中，所述固液摻雜的方法可包括：將適量可溶性鏷的鹽溶液摻雜進鎢粉末中，在充分攪拌後，進行分階段式加熱烘乾，即得所需摻雜鎢粉末。

【0054】 所述分階段式加熱烘乾採用先低溫再高溫的烘乾方式。即在低於100°C下進行烘乾，使鏷的鹽顆粒緩慢析出，形核數多；再在高於100°C的溫度下烘乾，顆粒數較多的鏷的鹽顆粒來不及合併長大，由此可以

大幅細化顆粒粒徑。

【0055】 在一實施樣態中，所述分階段式烘乾至少可包括2個溫度階段。所述2個溫度階段可以以100°C為分界線，先在100°C下加熱烘乾，再在100°C以上加熱烘乾。例如，先在60°C~80°C加熱烘乾2h~6h，再在110°C~150°C下加熱烘乾3h~5h。

【0056】 可以理解的是，在以100°C為分界線劃分的該兩個溫度階段內，各個溫度階段還可以分別進行多個溫度梯度或多個溫度階段的加熱烘乾。例如，先在60°C下烘乾2h，再在80°C下烘乾2h，進而升溫至120°C進行烘乾。需補充說明的是，以上所述實施例僅有限列舉了本發明的幾種實施方式，而對於本領域的普通技術人員來說，在不脫離本發明構思的前提下，還可以做出若干溫度階段的調整和改變，這些都屬於本發明的保護範圍。

【0057】 在一實施樣態中，將適量鏷的硝酸鹽溶液形式均勻摻雜進藍錳粉中，在充分攪拌後，先在60°C~80°C下加熱2h~6h，再在110°C~150°C下加熱3h~5h。

【0058】 在一些實施例中，基於液液的方式，所述摻雜製粉包括以下步驟：液液摻雜、還原、製粉。其中，所述液液摻雜的方法可包括：將錳酸和/或錳酸鹽溶液與可溶性鏷的鹽溶液進行摻雜用以後續獲得摻雜鏷鹽的錳粉末。例如，用偏錳酸銨溶液和鏷的鹽溶液為原料進行液液摻雜來獲得摻雜鏷鹽的藍錳粉。

【0059】 在一些實施例中，基於固固的方式，所述摻雜製粉包括以下步驟：固固摻雜。其中，所述固固摻雜的方法可包括：採用費氏細微性在1.0 μm ~4.0 μm 的錳粉末與細微性分佈D90<2.0 μm 的鏷的氧化物為原料，

進行固固摻雜混合以獲得摻雜鏽的氧化物鎢粉。

【0060】 進一步地，為了保證鏽的氧化物顆粒尺寸，在固固摻雜的步驟中還可包括通過水沉澱方法來去除粗顆粒以獲得鏽的氧化物細顆粒。基於粗顆粒沉澱快、細顆粒沉澱慢特點，通過沉澱時間30-120分鐘的3級沉澱來獲得 $D_{90} < 2\mu\text{m}$ 的鏽的氧化物。

【0061】 此外，上述步驟中諸如還原、製粉等步驟，包括但不限於採用以下的實施方式。在一些實施方式中：

【0062】 還原：將固液和/或液液的方式摻雜後所製得的物料在四溫區還原爐中把摻雜粉末一次還原成合金粉。

【0063】 製粉：將還原後所得的合金粉進行混合，混合後組成平均費氏細微性 $1.0 \sim 4.0\mu\text{m}$ 的合金粉置於混粉機。按 $6 \sim 10$ 轉/分鐘的轉速混粉 $60 \sim 90$ 分鐘。

【0064】 粉末壓製：採用等靜壓方式將平均費氏細微性在 $1.0\mu\text{m} \sim 4.0\mu\text{m}$ 搭配而成的粉末經過 $160\text{MPa} \sim 260\text{MPa}$ 壓力壓製成單重 $1.5\text{kg} \sim 5.0\text{kg}$ 的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行預燒結，所述預燒結的溫度優選為 $1200 \sim 1400^\circ\text{C}$ ，增加壓坯強度。

【0065】 燒結：進行燒結，所述燒結的溫度優選為 $1800 \sim 2400^\circ\text{C}$ ，燒結時間優選為 $5 \sim 15$ 小時，獲得密度 $17.5 \sim 18.5 \text{ g/cm}^3$ 的燒結坯條。

【0066】 開坯：採用多輥軋機在 $1600 \sim 1700^\circ\text{C}$ 加熱溫度下連續軋製把直徑 $15\text{mm} \sim 25\text{mm}$ 燒結坯條開坯成 $8.0\text{mm} \sim 12.0\text{mm}$ 合金杆。其中，採用多輥軋機可保證軋製後鎢杆中鏽的氧化物顆粒沿絲材縱向長度與顆粒橫截面粒徑比值 >5 。氧化鏽顆粒長徑比越大則後續拉拔加工越容易，可以獲得

更加細化更高強度的鎢合金線材。

【0067】 壓力加工：在經由多輥軋機軋製後再採用多道次旋鍛，然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0068】 在完成壓力加工之步驟後，可以對製成的合金線材施以在1000°C以內的低溫去應力退火工序，從而均勻化其應力分佈並提高其直線性。所述退火工序可以在加熱爐內進行或者在其他裝置設備內實施。在一實施樣態中，所述合金線材也可以在氫氣保護下實施低溫去應力退火。

【0069】 在完成去應力退火工序後，可以對拉拔後的線材進行電解拋光、清洗，使得線材表面變光滑。在一實施例中，所述電解拋光工序例如可以是通過在電解液中浸漬所述合金線材和碳棒等對置電極，向合金線材與對置電極之間通電來進行等。

【0070】 本發明與常規的鎢合金線材相比，具有以下特點和優勢：

【0071】 第一、在本發明的摻雜工序中採用固液摻雜時，烘乾採用先低溫（低於100°C）下進行烘乾，再在高溫（高於100°C）下烘乾的分階段式烘乾模式進行烘乾。先使鎢的硝酸鹽顆粒緩慢析出，形核數多；再使顆粒數很多的鎢的硝酸鹽顆粒來不及合併長大，通過這種烘乾方式可以大幅細化顆粒粒徑。通過調整摻雜烘乾溫度控制鎢的硝酸鹽成核和析晶速度，使得摻雜藍鎢顆粒上的鎢的硝酸鹽晶體更加細小。

【0072】 固固摻雜時，通過水沉澱方法來去除粗顆粒，同時利用粗顆粒沉澱快、細顆粒沉澱慢特點，通過沉澱時間30-120分鐘的3級沉澱來獲得D90<2μm的鎢的氧化物。

【0073】 由此，本發明生產的鎢粉顆粒表面的鎢的氧化物粒徑和燒結坯條的鎢的氧化物粒徑都比傳統方法要細小，其鎢的氧化物粒徑小於 $2.5\mu\text{m}$ 並且分佈更均勻，產品性能更穩定。

【0074】 第二、本發明採用多輥軋製方式進行燒結坯條的開坯，通過對合金材料以大於 2.5m/s 的速度、大變形量的深度變形加工，傳統的鎢杆及鎢絲旋鍛開坯，開坯過程中因旋鍛的劇烈徑向加工導致鎢的彌散顆粒的斷裂，迫使彌散粒子的在鎢基體空隙中形成空洞，這種加工方式會導致後續的材料應力集中以及缺陷產生，進而導致後續加工困難。本發明中採用多輥（三輥/四輥）這樣會使合金材料在開坯時基體的纖維組織更發達，縱向變形的速率更快，進而帶動鎢的氧化物彌散顆粒的細化變形更大、顆粒橫截尺寸變得更小軸向尺寸更長，從而保證鎢基體以及彌散粒子在開坯後具備較好的塑性及韌性，在後續採用連續鍛打時彌散粒子可以進一步形成纖維狀態強化組織，從而提高鎢絲的強度及韌性。

【0075】 為了進一步理解、明確本發明的方案及其優點、效果，以下通過列舉本發明部分的實施例和相關的對比例進行闡述、說明。

【0076】 實施例1.1

【0077】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為： La_2O_3 為 $1\text{wt}\%$ ，W為 $99\text{wt}\%$ 。

【0078】 其製備步驟如下所述：

【0079】 步驟1、摻雜：將適量鎢的硝酸鹽溶液均勻摻雜進藍鎢粉中，在充分攪拌後，再先低溫 80°C 烘乾4小時再高溫烘乾 120°C 的模式進行烘乾。

【0080】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料在四溫區還原爐中把摻雜粉末一次還原成合適細微性的合金粉。

【0081】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機。按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0082】 步驟4、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0083】 步驟5、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0084】 步驟6、開坯：採用多輥軋機在1650℃加熱溫度下連續軋製把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0085】 步驟7、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0086】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0087】 實施例1.2

【0088】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為0.15wt%，W為99.85wt%。

【0089】 其製備步驟如下所述：

【0090】 步驟1、摻雜：將適量鎢的硝酸鹽溶液均勻摻雜進藍鎢粉中，在充分攪拌後，再先低溫80℃烘乾4小時再高溫烘乾120℃的模式進行烘乾。

【0091】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料在四溫區還原爐中把摻雜粉末一次還原成合適細微性的合金粉。

【0092】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機。按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0093】 步驟4、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0094】 步驟5、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0095】 步驟6、開坯：採用多輥軋機在1650°C加熱溫度下連續軋製把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0096】 步驟7、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0097】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0098】 實施例1.3

【0099】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為1.5wt%，W為98.5wt%。

【0100】 其製備步驟如下所述：

【0101】 步驟1、摻雜：將適量鎢的硝酸鹽溶液均勻摻雜進藍鎢粉中，在充分攪拌後，再先低溫80°C烘乾4小時再高溫烘乾120°C的模式進行烘乾。

【0102】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料在四溫區還原爐中把摻雜粉末一次還原成合適細微性的合金粉。

【0103】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機。按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0104】 步驟4、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0105】 步驟5、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0106】 步驟6、開坯：採用多輥軋機在1650℃加熱溫度下連續軋製把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0107】 步驟7、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0108】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0109】 實施例1.4

【0110】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為1.8wt%，W為98.2wt%。

【0111】 其製備步驟如下所述：

【0112】 步驟1、摻雜：將適量鎢的硝酸鹽溶液均勻摻雜進藍鎢粉中，在充分攪拌後，再先低溫80℃烘乾4小時再高溫烘乾120℃的模式進行烘乾。

【0113】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料在四溫區還原爐中把摻雜粉末一次還原成合適細微性的合金粉。

【0114】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機。按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0115】 步驟4、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0116】 步驟5、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0117】 步驟6、開坯：採用多輥軋機在1650°C加熱溫度下連續軋製把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0118】 步驟7、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0119】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0120】 實施例1.5

【0121】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為1wt%，K為50ppm，其餘為W。

【0122】 其製備步驟如下所述：

【0123】 步驟1、摻雜：將適量鎢的硝酸鹽溶液均勻摻雜進鉀含量50ppm的摻鉀鎢粉中，在充分攪拌後，再先低溫80°C烘乾4小時再高溫烘乾120°C的模式進行烘乾。

【0124】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料在四溫區還原爐中把摻雜粉末一次還原成合適細微性的合金粉。

【0125】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機。按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0126】 步驟4、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0127】 步驟5、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0128】 步驟6、開坯：採用多輥軋機在1650°C加熱溫度下連續軋製把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0129】 步驟7、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0130】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0131】 實施例1.6

【0132】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為1wt%，Y₂O₃為0.2wt%，W為98.8wt%。

【0133】 其製備步驟如下所述：

【0134】 步驟1、摻雜：將適量鐳的硝酸鹽溶液、釷的硝酸鹽溶液均勻摻雜進藍鎢粉中，在充分攪拌後，再先低溫80°C烘乾4小時再高溫烘乾120°C的模式進行烘乾。

【0135】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料在四溫區還原爐中把摻雜粉末一次還原成合適細微性的合金粉。

【0136】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機。按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0137】 步驟4、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0138】 步驟5、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0139】 步驟6、開坯：採用多輥軋機在1650℃加熱溫度下連續軋製把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0140】 步驟7、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0141】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0142】 對比例1.1

【0143】 本組比較例是按常規工藝生產的鎢合金線材，材料元素組分跟實施例1相同：La₂O₃為1wt%，W為99wt%。

【0144】 其製備如下步驟：

【0145】 步驟1、摻雜：將適量鎢的硝酸鹽溶液均勻摻雜進藍鎢粉中，在充分攪拌後，蒸汽烘乾，溫度120℃，烘乾時間4小時。

【0146】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料在四溫區還原爐中把摻

雜粉末一次還原成合適細微性的合金粉。

【0147】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機。按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0148】 步驟4、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0149】 步驟5、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0150】 步驟6、開坯：採用多道次旋鍛把直徑23mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0151】 步驟7、壓力加工：再通過多道次旋鍛和通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0152】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0153】 對比例1.2

【0154】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為1wt%，W為99wt%。

【0155】 其製備步驟如下所述：

【0156】 步驟1、摻雜：將適量鎢的硝酸鹽溶液均勻摻雜進藍鎢粉中，在充分攪拌後，蒸汽烘乾，溫度120℃，烘乾時間4小時。

【0157】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料在四溫區還原爐中把摻雜粉末一次還原成合適細微性的合金粉。

【0158】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機。按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0159】 步驟4、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0160】 步驟5、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0161】 步驟6、開坯：採用多輥軋機在1650℃加熱溫度下連續軋製把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0162】 步驟7、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0163】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0164】 對比例1.3

【0165】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為1wt%，W為99wt%。

【0166】 其製備步驟如下所述：

【0167】 步驟1、摻雜：將適量鎢的硝酸鹽溶液均勻摻雜進藍鎢粉中，在充分攪拌後，再先低溫80℃烘乾4小時再高溫烘乾120℃的模式進行烘乾。

【0168】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料在四溫區還原爐中把摻雜粉末一次還原成合適細微性的合金粉。

【0169】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機。按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0170】 步驟4、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0171】 步驟5、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0172】 步驟6、開坯：採用多道次旋鍛把直徑23mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0173】 步驟7、壓力加工：再通過多道次旋鍛和通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0174】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0175】 對比例1.4

【0176】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為0.07wt%，W為99.93wt%。

【0177】 其製備步驟如下所述：

【0178】 步驟1、摻雜：將適量鎢的硝酸鹽溶液均勻摻雜進藍鎢粉中，在充分攪拌後，再先低溫80℃烘乾4小時再高溫烘乾120℃的模式進行烘乾。

【0179】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料在四溫區還原爐中把摻雜粉末一次還原成合適細微性的合金粉。

【0180】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機。按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0181】 步驟4、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0182】 步驟5、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0183】 步驟6、開坯：採用多輥軋機在1650℃加熱溫度下連續軋製把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0184】 步驟7、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0185】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0186】 對比例1.5

【0187】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為2.2wt%，W為97.8wt%。

【0188】 其製備步驟如下所述：

【0189】 步驟1、摻雜：將適量鎢的硝酸鹽溶液均勻摻雜進藍鎢粉中，在充分攪拌後，再先低溫80℃烘乾4小時再高溫烘乾120℃的模式進行烘乾。

【0190】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料在四溫區還原爐中把摻雜粉末一次還原成合適細微性的合金粉。

【0191】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機。按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0192】 步驟4、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0193】 步驟5、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0194】 步驟6、開坯：採用多輥軋機在1650℃加熱溫度下連續軋製把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0195】 步驟7、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0196】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0197】 實施例2.1

【0198】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為1wt%，W為99wt%。

【0199】 其製備步驟如下所述：

【0200】 步驟1、固固摻雜：將氧化鎢粉末至於水溶液中，攪拌5分鐘後將上層溶液倒入至二級水槽中再攪拌5分鐘，放置沉澱10分鐘後將上層水溶液倒入至三級水槽中再攪拌5分鐘，放置沉澱30分鐘，將上層溶液倒入4級容器中沉澱24小時後過濾掉溶液加熱至100度烘乾24h獲得D₉₀<2.0μm氧化鎢粉末；採用平均細微性在2.0μm的鎢粉與經過水沉澱處理後D₉₀<2.0μm

的適量氧化鑪粉末通過混粉設備進行60分鐘均勻化混合。

【0201】 步驟2、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0202】 步驟3、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0203】 步驟4、開坯：採用多輥軋機在1650°C加熱溫度下連續軋製把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0204】 步驟5、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0205】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0206】 對比例2.1

【0207】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為1wt%，W為99wt%。

【0208】 其製備步驟如下所述：

【0209】 步驟1、固固摻雜：採用平均細微性在2.0μm的鎢粉與適量的氧化鑪粉末通過混粉設備進行60分鐘均勻化混合。

【0210】 步驟2、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0211】 步驟3、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的

燒結坯條。

【0212】 步驟4、開坯：開坯：採用多道次旋鍛把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0213】 步驟5、壓力加工：再通過多道次旋鍛和通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0214】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0215】 對比例2.2

【0216】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為1wt%，W為99wt%。

【0217】 其製備步驟如下所述：

【0218】 步驟1、固固摻雜：採用平均細微性在2.0μm的鎢粉與適量的氧化鎢粉末通過混粉設備進行60分鐘均勻化混合。

【0219】 步驟2、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0220】 步驟3、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0221】 步驟4、開坯：採用多輥軋機在1650°C加熱溫度下連續軋製把直徑23.0mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0222】 步驟5、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0223】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0224】 對比例2.3

【0225】 本組實施例是按本發明製備一種高強度高韌性鎢合金線材，其材料元素組分為：La₂O₃為1wt%，W為99wt%。

【0226】 其製備步驟如下所述：

【0227】 步驟1、固固摻雜：將適量氧化鎢粉末至於水溶液中，攪拌5分鐘後將上層溶液倒入至二級水槽中再攪拌5分鐘，放置沉澱10分鐘後將上層水溶液倒入至三級水槽中再攪拌5分鐘，放置沉澱30分鐘，將上層溶液倒入4級容器中沉澱24小時後過濾掉溶液加熱至100度烘乾24h獲得D₉₀<2.0μm氧化鎢粉末；採用平均細微性在2.0μm的鎢粉與經過水沉澱處理後D₉₀<2.0μm的適量氧化鎢粉末通過混粉設備進行60分鐘均勻化混合。

【0228】 步驟2、粉末壓製：採用等靜壓方式將不同細微性搭配而成的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氬氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0229】 步驟3、高溫燒結：進行高溫燒結，獲得密度18.10g/cm³的燒結坯條。

【0230】 步驟4、開坯：採用多道次旋鍛把直徑23mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0231】 步驟5、壓力加工：再通過多道次旋鍛和通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0232】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的

殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0233】 對比例3

【0234】 本對比例製備一種銻鎢合金線材，其材料元素組分為Re為1wt%，W為99wt%。其製備如下步驟：

【0235】 步驟1、摻雜：按所述重量百分比稱取鎢粉和銻酸銨，在摻雜鍋內加入適量去離子水和稱取的銻酸銨進行充分溶解，然後加入稱量好的鎢粉，通過固液混合攪拌，最後在120溫度下烘乾4h。

【0236】 步驟2、還原：將步驟1所得的物料置於還原爐中，在四溫區還原爐中，一次還原成鎢銻合金粉，其關鍵組分為：銻1.000 wt%。

【0237】 步驟3、混粉：將步驟2所得的物料按不同細微性組成置於混粉機，按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0238】 步驟4：粉末壓製：採用等靜壓方式將步驟4的粉末經過200MPa壓力壓製成單重3.0kg的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0239】 步驟5、高溫燒結：將步驟4的預燒結坯條進行高溫燒結，獲得密度18.2g/cm³的燒結坯條。

【0240】 步驟6、開坯：採用多輥軋機在1650度加熱溫度下連續軋製把直徑23mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0241】 步驟7、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0242】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0243】 對比例4

【0244】 本組比較例是製備常規純鎢絲。

【0245】 其製備如下步驟：

【0246】 步驟1、還原：將仲鎢酸銨置於還原爐中，在四溫區還原爐中，還原成藍色氧化鎢粉，再經過第二次還原成純鎢粉。

【0247】 步驟2、混粉：將步驟1所得的物料按不同細微性組成置於混粉機，按8轉/分鐘的轉速混粉80分鐘。

【0248】 步驟3、粉末壓製：採用等靜壓方式將步驟2的粉末經過160MPa壓力壓製成單重3.0kg直徑20mm的壓坯，並在氫氣氣氛下對壓坯進行低溫預燒結，增加壓坯強度。

【0249】 步驟4、高溫燒結：將步驟3的預燒結坯條進行高溫燒結，獲得密度17.6 g/cm³直徑17.5mm的燒結坯條。

【0250】 步驟5、開坯：採用三輥軋機在1600度加熱溫度下連續軋製把直徑17.5mm燒結坯條開坯成8.0mm合金杆。

【0251】 步驟6、壓力加工：採用多道次旋鍛。然後通過不同規格拉絲模進行拉拔加工，重複多次拉拔後製成不同規格直徑的合金線材。

【0252】 此外，對鎢絲實施退火處理，消除其因為塑性變形產生的殘餘應力，從而能夠順暢地實施多道拉拔加工。

【0253】 需要說明的是，上述實施例中的具體參數或一些常用試劑，為本發明構思下的具體實施例或優選實施例，而非對其限制；本領域技術人員在本發明構思及保護範圍內，可以進行適應性調整。

【0254】 將實施例1.1、2.1和對比例1.1、2.1獲得的鎢粉和燒結坯條，

通過電子顯微鏡測量鎢粉表面和燒結坯條的La2O3顆粒粒徑進行評價，其測試結果如表1所示。

【0255】 表1 實施例與對比例的鎢粉、坯條的La2O3顆粒粒徑

	粉末	坯條
實施例1.1	70～150nm	300～1800nm
對比例1.1	100～500nm	1000～5000nm
實施例2.1	200～2000nm	400～2500nm
對比例2.1	200～5000nm	800～6000nm

【0256】 根據表1的測試結果可知，本發明提供的加工工藝可以有效細化合金鎢材中的La2O3顆粒粒徑。

【0257】 將實施例1.1與對比例1.1-1.3和對比例2.1-2.3獲得的不同規格產品：坯條、8.0mm、5.0mm、1.0mm、0.4mm棒材及線材，通過電子顯微鏡測量La2O3顆粒粒徑進行評價，其測試結果如表2所示。

【0258】 表2 實施例和對比例的不同規格產品的La2O3顆粒粒徑

	La2O3粒徑nm					氧化物 粒徑比 值
絲材規格 (mm)	坯條	8.0	5.0	1.0	0.4	——
實施例 1.1	300～1800	130～780	60～340	25～140	9～55	5-20
對比例 1.1	1500～5000	1100-3000	770-1700	370-900	210-490	3-8
對比例 1.2	1500～5000	600～1900	370～930	150～520	70～300	5～20
對比例 1.3	300～1800	220～1200	160～750	95～490	58～290	3～8

實施例 2.1	400～2500	190～1200	90～580	35～220	10～80	5～20
對比例 2.1	800～6000	610～4500	390～ 2900	210～ 1500	140～ 910	3～8
對比例 2.2	800～6000	320～3000	180～ 1650	95～780	50～410	5～20
對比例 2.3	400～2500	280～1500	200～950	110～560	70～ 350	3～8

【0259】 根據表1的測試結果可知，採用本發明提供的加工工藝生產的合金坯條及線材，其表面的氧化物顆粒粒徑要遠遠小於對比例1.1-1.3以及對比例2.1-2.3所用工藝生產的合金棒材及線材的氧化物顆粒粒徑。

【0260】 將實施例及對比例獲得的不同規格線材：0.1mm、0.06mm、0.04mm、0.025mm，採用下述方法對線材進行抗拉強度、彈性極限強度及推拉韌性測試。

【0261】 所述抗拉強度測試方法：採用標準拉力機，，取長度200mm的鎢絲夾持，一端進行恒速加載，獲得抗拉強度數據和彈性極限強度。

【0262】 所述抗拉強度由以下公式（1）計算獲得： $\sigma=F/S$ （1）

【0263】 其中，F為拉斷力，N；S為原截面積，mm。

【0264】 請參閱圖1，圖1是本發明之推拉韌性檢測設備的結構示意圖。所述推拉韌性測試方法：將鎢絲30繞一根拉直的芯線18一圈，然後樣品盤12施加反向作用力（8g以上），通過電機控制收絲盤14進行高速收絲。鎢絲30纏繞芯線18運動，芯線18的直徑越小，鎢絲30高速通過不斷絲說明韌性越好。優先100μm鎢絲，反向作用力50g；40μm鎢絲，反向作用力12g；25μm鎢絲，反向作用力8g。所述推拉韌性測檢測設備之試評價結果見表3所示。

【0265】 表3 固液摻雜實施例及現有技術對比例性能測試表

試樣	規格 μm	抗拉強度 Mpa	彈性極限 強度 Mpa	可承受推拉芯 線最小直徑 μm
實施例 1.1	200	3200	/	/
	100	3950	/	/
	60	4480	3005	290
	40	4994	3185	250
	25	5327	3250	220
實施例 1.2	100	3810	/	/
	60	4210	2575	120
	40	4816	2730	90
	25	5008	3032	70
實施例 1.3	100	4138	/	/
	60	4568	3345	320
	40	5280	3551	300
	25	5681	3797	290
實施例 1.4	100	4746	/	/
	60	5284	3567	350
	40	5770	4667	330
	25	6485	4881	320
實施例 1.5	100	4075	/	/
	60	4550	3169	310
	40	5100	3350	280
	25	5440	3640	240

實施例 1.6	100	4170	/	/
	60	4580	3288	340
	40	5190	3440	330
	25	5480	3650	310
對比例 3	100	4100	/	/
	60	4460	2830	600
	40	4933	3001	550
	25	5000	3039	520
對比例 4	100	2680	/	/
	60	3150	2260	120
	40	3440	2378	80
	25	3680	2400	60

【0266】 需要說明的是，表3中，“/”為未進行相關測試。

【0267】 根據表3的測試結果可見：本發明生產的線材各規格抗拉強度、彈性極限強度遠高於常規生產的鎢線材，高於銻鎢合金線材。在同等推拉韌性上，採用本發明提供的加工工藝製得的鎢線材在抗拉強度和推拉韌性的綜合性能遠優於銻鎢合金線材和常規工藝生產的鎢線材。

【0268】 對比例3製得的鎢合金線材在抗拉強度可以達到4500MPa以上，但是其推拉性能很差，表明線材的韌性遠低於本發明線材。因此，採用本發明提供的加工工藝製得的合金線材，由於加入鐳的氧化物等物質和工藝，能夠大批量生產規格更細、強度更高、韌性更好的合金線材。

【0269】 表4 固液摻雜實施例1.1和對比例1.1-1.5性能測試表

試樣	規格/ μm	抗拉強度/Mpa
----	-------------------	----------

實施例1.1	200	3200
	100	3950
	60	4480
	40	4994
	25	5327
對比例1.1	200	2900
	100	\
	60	\
對比例1.2	200	2950
	100	3380
	60	\
對比例1.3	200	2960
	100	3300
	60	\
對比例1.4	200	2580
	100	2810
	60	3350
對比例1.5	200	4120
	100	\
	60	\

【0270】 需要說明的是，表4中，“\”為線材規格無法進一步更細加工。

【0271】 通過表4的測試結果可見：本發明所提供的固液摻雜以及多
輥軋製的開坯方式能夠有效提高合金線材各規格下的抗拉強度、彈性極限

強度以及推拉韌性，同時更有利於生產規格更細、強度更高、韌性更好的合金線材。

【0272】 表5 固液摻雜實施例2.1和對比例2.1-2.3性能測試表

試樣	規格/ μm	抗拉強度/Mpa
實施例2.1	200	3170
	100	3880
	60	4370
	40	4895
	25	5280
對比例2.1	200	2830
	100	\
對比例2.2	200	3020
	100	\
對比例2.3	200	2830
	100	\

【0273】 需要說明的是，表5中，“\”為線材規格無法進一步更細加工。

【0274】 通過表5的測試結果可見：本發明所提供的固固摻雜以及多輥軋製的開坯方式能夠有效提高合金線材各規格下的抗拉強度、彈性極限強度以及推拉韌性，同時更有利於生產規格更細、強度更高、韌性更好的合金線材。

【0275】 因此，採用本發明提供的合金線材，由於加入鐳的氧化物以及其他稀土元素或稀土氧化物等的加入，獲得性能更好的合金線材，而在進一步工藝的優化下，能夠實現大批量生產規格更細、強度更高、韌性

更好的合金線材。

【0276】 由此，本發明提供的合金線材或本發明提供的製備方法所製備的合金線材可以用於常規鎢線材使用的切割加工領域，例如鋸線、通過將線材織造為經線和緯線用以製造金屬網等。

【0277】 其中，所述鋸線可以用於多種材料的切割，例如矽片、磁性材料、半導體材料等硬面材料，而所述半導體材料中包括藍寶石、碳化矽等材料的切割，或者配合相關切削裝置用以切斷，基於其優異的性能在切割線應用方面，能有效改善其切割品質和切割效率，所述金屬網可用於絲網印刷、用於檢查用的探頭、或導管的導線等。

【0278】 需要說明的是，本發明提供的合金線材在切割領域實際應用中，所述合金線材可以作為母線，並於其上電鍍或釐焊金剛石等顆粒，以用於包括矽片、藍寶石、碳化矽等第三代半導體材料、磁性材料等硬面材料的切割加工。

【0279】 基於絲網印刷被廣泛地應用於印刷線路板、厚膜積體電路、太陽能電池、電阻、電容、壓電元件、光敏元件、熱敏元件、液晶顯示元件等等的製造中，而本發明提供的合金線材所形成的金屬網同樣可以用於絲網印刷，用以替代不銹鋼絲予以實施，例如替代小規格18 μ m以下的絲網等。

【0280】 不僅如此，基於本發明提供的合金線材具有高抗拉強度、彈性極限強度以及推拉韌性、良好的導電性能和機械性能，所述合金線材可以適用於合金線材在醫療/工業精密器械線纜繩索領域中的應用，例如在各種機械設備上的線纜/繩索方面的應用中，此類線纜可提供最高的強度和

最長的壽命，諸如在微創手術器械或鉸接系統中，承受高負載和彎曲負荷。

【0281】 在單晶、多晶矽爐提拉系統選用鋼絲繩，隨著單晶、多晶矽爐吊裝重量的增加，單晶矽爐上所用的鋼絲繩的外徑也由1.8mm增大到4.5mm，但是在以鋼線切斷負荷的30%以下為目標的前提下，為了提高單晶矽純度和使用壽命，以及將“有磁場”植入單晶、多晶矽爐內，傳統工藝中採用的是鋼絲繩，但是鋼絲繩無法應用於磁場中，會造成成品單晶棒晶體方向不平行，並且鋼絲繩的富Fe性和高C含量，容易造成單晶矽主要雜質的超標，嚴重影響高純度的要求；且隨著單晶棒品質的不斷增加，單晶、多晶矽爐內1500°C下繩的拉力和壽命要求也越來越高。

【0282】 由此，本發明所提供的合金線材能夠很好的滿足“提拉系統”繩的高強度、高拉力、無磁性、耐高溫，優良的垂直度等技術要求，使其得以應用於熔煉鑄造、單晶爐等冶煉行業中，例如高溫爐牽引繩索等。

【0283】 同時，憑藉其出色的柔韌性和耐磨性以及出色的抗拉強度和抗疲勞性，所述合金線材能夠用於現代手術機器人所用微型機械絲繩的製作材料。

【0284】 此外，可以將上述合金線材來驅動人類手臂、肘部和手腕的運動，由鎢合金線材來驅動外科醫生的骨骼肌肉運動，而不是像以往一樣由醫生自己的身體來驅動，這樣機器人就可以減輕醫生的負擔，讓醫生在施行多臺手術後也不會感到疲乏和勞累。

【0285】 不僅如此，隨著絲繩在醫療機器人和醫療器械的應用中承受的負荷越來越大，其結構也不斷優化改進，以往常用的1×7、7×7、7×19結構已被更精密複雜的絞合絲繩（例如7×37、19×19和19×37）取代，不僅

在前身的基礎上提高了抗拉強度，同時也增加了高模量和出色的柔性，可滿足現今外科器械更嚴苛的應用要求，更值得一提的是，製作直徑半毫米、19×37結構的絲繩需要採用直徑僅0.0005英寸=12.7 μ m的細絲，這種細度幾乎肉眼不可見。

【0286】 此外，基於本發明所提供的合金線材具有的輕薄、高強度、高韌性等特性，還能夠應用於紡織等技術領域，例如耐切割防護手套、防護服等，而將該合金線材用於耐切割安全防護用品上有極大的優勢，目前現有工藝將鎢絲和紗線紡織直接編成手套所使用的常見規格為18.5 μ m，30 μ m，40 μ m，而本發明提供的合金線材還可以加工到更細規格，最細可達3 μ m，使產品具有更加優異的柔軟性，且更加輕薄，在提升防護等級的同時佩戴更加舒適和靈活，適用多種勞動安全保護場合；而高強度細鎢絲的強度是不銹鋼絲的2倍以上，優良的設計可使防切割等級提高至少2個等級以上，使得其等級評估達到美標的A6-A9和歐標的F級的高防護等級。

【0287】 而本發明所提供的合金線材無論是直徑、抗拉強度還是韌性，均能符合相應的要求。

【0288】 藉由以上較佳具體實施例之詳述，係希望能更加清楚描述本發明之特徵與精神，而並非以上述所揭露的較佳具體實施例來對本發明之範疇加以限制。相反地，其目的是希望能涵蓋各種改變及具相等性的安排於本發明所欲申請之專利範圍的範疇內。

【符號說明】

【0289】

10:推拉韌性檢測設備

12:樣品盤

14:收絲盤

16:砝碼

18:芯線

20:牽引力

30:鎢絲

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種合金線材，係由鎢合金製成，其中該合金線材包含鎢與鐳的氧化物，該合金線材的線徑為 $40\mu\text{m}$ 及以下，該合金線材的抗拉強度為 4800Mpa 以上，該合金線材的彈性極限強度為 2700MPa 以上；

其中該合金線材的鐳的氧化物含量為 $0.1\text{wt}\% \sim 2.0\text{wt}\%$ 。

【請求項2】如請求項1所述之合金線材，其中該合金線材的推拉芯線直徑為 $350\mu\text{m}$ 以下。

【請求項3】如請求項1所述之合金線材，其中該鎢合金進一步包含有金屬元素M，該金屬元素M選自鉀、銻、鉬、鐵、鈷及稀土金屬中的至少一種。

【請求項4】如請求項3所述之合金線材，其中該鉀的含量小於 80ppm 。

【請求項5】如請求項1所述之合金線材，其中該鎢合金進一步包含有除鐳的氧化物以外的其他一種或多種稀土氧化物。

【請求項6】一種合金線材的製備方法，包括下列步驟：
摻雜製粉，將鐳的氧化物與鎢粉末以不同的形態方式進行摻雜，在充分攪拌後進行烘乾、還原、製粉，製得合金粉；
壓製，將該合金粉進行壓製以製成壓坯；
燒結，對該壓坯進行高溫燒結以製得燒結坯條；以及
開坯，對該燒結坯條進行軋製，開坯形成合金杆；

遞件申請修正之日期：111 年 10 月 12 日

其中，該開坯步驟中包括採用多輥軋製的方式對燒結坯條開坯，以使軋製後鎢杆中鐳的氧化物顆粒沿絲材縱向長度與顆粒橫截面粒徑比值 >5 。

【請求項7】如請求項6所述之合金線材的製備方法，其中該摻雜製粉步驟進一步包括以下步驟：

固液摻雜，將鐳的氧化物溶液與鎢粉末摻雜，在充分攪拌後進行烘乾；

還原，將摻雜步驟中所製得的物料還原成合金粉；

製粉，將還原步驟中所得的合金粉進行混合以製得所需的粉末；

該固液摻雜步驟中包括對混合後的鎢摻雜溶液進行分階段式烘乾，該分階段式烘乾至少包括2個溫度階段，該2個溫度階段以 100°C 為分界線，先在低於 100°C 下加熱烘乾，再在 100°C 以上加熱烘乾。

【請求項8】如請求項7所述之合金線材的製備方法，其中該固液摻雜中的分階段式烘乾包括第一烘乾階段和第二烘乾階段，該第一烘乾階段的溫度為 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，該第二烘乾階段的溫度為 $110\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

【請求項9】如請求項7所述之合金線材的製備方法，其中該還原步驟中包括將固液摻雜後所製得的物料還原成平均費氏粒度為 $1.0\sim 4.0\ \mu\text{m}$ 的合金粉。

【請求項10】如請求項6所述之合金線材的製備方法，其中該摻雜製粉步驟進一步包括以下步驟：

固固摻雜，採用鎢粉末與粒狀的鐳的氧化物為原料進行固固摻雜混合，以獲得摻雜鐳的氧化物鎢粉；

該固固摻雜步驟中包括將費氏粒度在 $1.0\ \mu\text{m} \sim 4.0\ \mu\text{m}$ 的鎢粉末與粒度分佈 $D_{90} < 2.0\ \mu\text{m}$ 的鐳的氧化物為原料，進行混合以獲得摻雜鐳的氧化物的鎢粉。

【請求項11】如請求項6所述之合金線材的製備方法，其中該燒結坯條的鐳的氧化物粒徑小於 $2.5\ \mu\text{m}$ 。

【請求項12】一種合金線材，應用於切割領域，作為線鋸材料基體材料，該材料可應用於線鋸切割，其中該合金線材採用如請求項1-5任一所述的合金線材或者如請求項6-11任一所述合金線材的製備方法所製備的合金線材。

【請求項13】如請求項12所述之合金線材，其中該材料至少包括硬面材料；該硬面材料至少包括矽片、磁性材料及半導體材料；該半導體材料至少包括藍寶石及碳化矽。

【請求項14】一種合金線材，應用於線纜/繩索領域，其中該合金線材採用如請求項1-5任一所述的合金線材或者如請求項6-11任一所述合金線材的製備方法所製備的合金線材。

【請求項15】如請求項14所述之合金線材，其中該線纜/繩索用於醫療/工業精密器械及高溫爐牽引。

遞件申請修正之日期：111 年 10 月 12 日

【請求項 16】一種合金線材，應用於紡織領域，其中該合金線材採用如請求項 1-5 任一所述的合金線材或者如請求項 6-11 任一所述合金線材的製備方法所製備的合金線材。

【請求項 17】如請求項 16 所述之合金線材，其進一步包括將該合金線材通過紡線或編織的方式製成的手套或防護服。

【發明圖式】

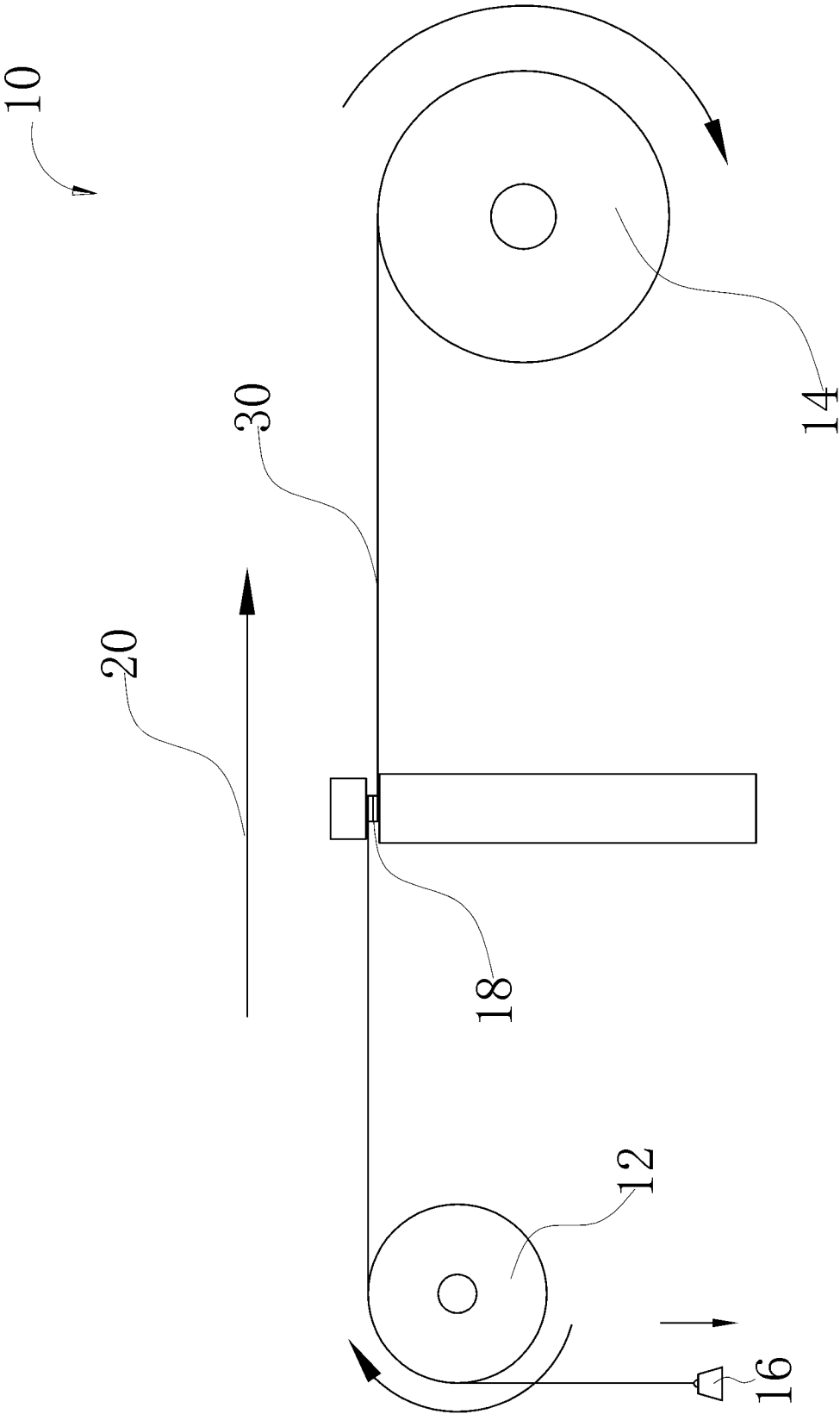


圖 1