



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105772877 A

(43) 申请公布日 2016. 07. 20

(21) 申请号 201511027765. 5

B23H 7/22(2006. 01)

(22) 申请日 2015. 12. 31

B23H 7/24(2006. 01)

(71) 申请人 厦门虹鹭钨钼工业有限公司

地址 361021 福建省厦门市集美北路工业区  
连胜路 339 号

(72) 发明人 彭福生 凌诚育 蔡协勇 兰康升  
宋久鹏 潘小峰 杨天明 林志华  
李凤金 庄骏 张国钦 王平  
张龙水 曾飞

(74) 专利代理机构 厦门市首创君合专利事务所  
有限公司 35204

代理人 张松亭 姜谧

(51) Int. Cl.

B23H 1/06(2006. 01)

B23H 1/04(2006. 01)

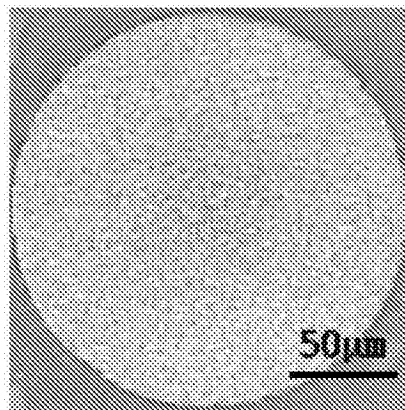
权利要求书1页 说明书10页 附图1页

(54) 发明名称

一种线切割用复合钼丝及制作方法

(57) 摘要

本发明专利公开了线切割用复合钼丝及制作方法，该复合钼丝由掺杂有固溶金属元素和稀土氧化物的钼粉制成，其中，所述固溶金属元素选自 Co、W、Ni、Hf 或 Re 中的至少一种，其重量含量为 0.01%~0.30%，所述稀土氧化物选自 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 或 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中的至少一种，其重量含量为 0.005%~0.20%。其制作方法如下：进行二次固-液掺杂，得到均匀的掺杂钼粉，之后压制成钼坯条，将烧结好的钼坯条轧制成钼盘条，再进行多道热拉和冷拉工艺拉制成线切割用复合钼丝，中间经过多次退火，制得。本发明所制作的线切割用复合钼丝能够大幅地提高耐磨性，切割时寿命更长，切割速度更快，成品率更高。



1. 一种线切割用复合钼丝,其特征在于,所述复合钼丝由掺杂有固溶金属元素和稀土氧化物的钼粉制成,其中,所述固溶金属元素选自Co、W、Ni、Hf或Re中的至少一种,其重量含量为0.01%~0.30%,所述稀土氧化物选自La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>或氧化钷中的至少一种,其重量含量为0.005%~0.20%。

2. 根据权利要求1中所述的一种线切割用复合钼丝,其特征在于:所述固溶金属元素选自Co、W或Ni的至少一种。

3. 根据权利要求1中所述的一种线切割用复合钼丝,其特征在于:所述固溶金属元素的重量含量为0.03%~0.20%,所述稀土氧化物的重量含量为0.02%~0.15%。

4. 根据权利要求1中所述的一种线切割用复合钼丝,其特征在于:所述固溶金属元素和所述稀土氧化物通过固-液掺杂的方式均匀分布在所述钼粉中。

5. 一种线切割用复合钼丝的制作方法,其特征在于,包括如下的步骤:

A. 将固体二氧化钼、和液体式含钷化合物和/或液体式含钷化合物进行固-液掺杂,得到含有La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和/或氧化钷的掺杂二氧化钼,之后,经过氢气还原,得到一次掺杂钼粉,所述一次掺杂钼粉和选自液体式含钷化合物、液体式含钨化合物、液体式含Ni化合物、液体式含Hf化合物或液体式含Re化合物中的至少一种液体式化合物再次进行固-液掺杂后,再次氢气还原,获得二次掺杂钼粉,最后,将所述二次掺杂钼粉进行混粉,使其分布均匀;

b. 将所述二次掺杂钼粉压制钼坯条,再进行烧结;

c. 将烧结后的所述钼坯条经过轧机轧制成钼盘条;

d. 所述钼盘条再进行至少一次的热拉工艺和冷拉工艺,中间经过至少一次的退火,获得产品。

6. 根据权利要求5所述的一种线切割用复合钼丝的制作方法,其特征在于:控制所述二次掺杂钼粉粒度在3.0~4.0 $\mu$ m。

7. 根据权利要求5所述的一种线切割用复合钼丝的制作方法,其特征在于:所述二次掺杂钼粉通过等静压成型压制 $\Phi$ 50mm~ $\Phi$ 75mm的钼坯条,所述钼坯条经过轧机技术轧制成 $\Phi$ 4mm~ $\Phi$ 8mm的钼盘条。

8. 根据权利要求5所述的一种线切割用复合钼丝的制作方法,其特征在于:所述轧机是采用开坯辊径大于 $\Phi$ 450mm的三辊开坯轧机、两辊连续式轧机或45度顶交无扭轧机,轧制温度范围是1400~1500 $^{\circ}$ C,终制速度在20米/秒。

9. 根据权利要求5所述的一种线切割用复合钼丝的制作方法,其特征在于:所述热拉工艺的加工温度在650~1050 $^{\circ}$ C,速度在5~33m/min,热拉道次变形量在13~32%;所述冷拉工艺的加工温度是室温,采用植物油润滑,速度在75~320m/min,冷拉道次变形量在10~20%。

10. 根据权利要求5所述的一种线切割用复合钼丝的制作方法,其特征在于:所述退火的温度在980~1850 $^{\circ}$ C、速度为1.5~9m/min。

## 一种线切割用复合钼丝及制作方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于快走丝和中走丝用的线切割用钼丝,特别是涉及一种掺杂和复合强化的线切割用钼丝及其制作方法。

### 背景技术

[0002] 电火花线切割用电极丝主要是钼丝,钼丝是理想的电火花线切割机床用电极丝,可切割各种钢材和硬质合金,加工形状极其复杂的零件,其放电加工稳定,能有效地提高模具的精度。它以价廉、韧性好、强度高、导电性能好以及伸长率低等优点通常被选作为高速走丝线切割加工较为理想的电极工具。

[0003] 目前,国内市场的线切割钼丝牌号大部分为纯钼金属,在线切割加工中的使用效果参差不齐,纯钼丝强度低,在线切割使用中存在不耐磨、使用寿命短、容易松丝、断丝等问题;有些厂家通过在钼中添加稀土氧化物2500ppm~5000ppm的 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 等,通过加入 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 等达到弥散强化作用,从而能够提高钼丝的强度;为了降低成本,提高生产效率,我司引进了大轧机技术,大轧机变形速率大,将钼坯条从 $\Phi 50\text{mm}$ - $\Phi 75\text{mm}$ 轧制成 $\Phi 4\text{mm}$ - $\Phi 8\text{mm}$ 钼盘条,但随着 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 等稀土氧化物含量的增高超过5000ppm,裂纹率会不断上升,从而导致A料率低下,裂纹率高容易导致线切割钼丝使用过程中出现异常断丝,切割寿命短等现象。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种低稀土氧化物含量的耐磨线切割用复合钼丝。

[0005] 本发明提供的技术方案如下:

[0006] 一种线切割用复合钼丝,其特征在于,所述复合钼丝由掺杂有固溶金属元素和稀土氧化物的钼粉制成,其中,所述固溶金属元素选自Co、W、Ni、Hf或Re中的至少一种,其重量含量为0.01%~0.30%,所述稀土氧化物选自 $\text{La}_2\text{O}_3$ 或 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 中的至少一种,其重量含量为0.005%~0.20%。

[0007] 通过添加一些固溶金属元素,进而提高线切割钼丝的强度,提高线切割钼丝的耐磨性,同时降低 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 等稀土氧化物含量来降低裂纹点数,从而提高线切割钼丝的A料率。这种复合强化来提高钼丝强度的一般机理为: $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ ( $\sigma_0$ 为钼基体强度, $\sigma_1$ 为变形强化强度, $\sigma_2$ 为弥散强化强度, $\sigma_3$ 为固溶强化强度),通过提高固溶强化强度,来达到高强度线切割钼丝,同时提高线切割钼丝的耐磨性,提高线切割钼丝的切割效率,并提高钼丝的A料率,提高成品率。

[0008] 然而,申请人在试验过程中发现,在与固溶金属元素共同使用之时,即使 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 等稀土氧化物的含量在2500ppm~5000ppm的常规使用区间内,也并不能对起到强化叠加的作用,而是会劣化钼丝的切割寿命、切割速度和A料率,但是,在将 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 等稀土氧化物的含量降低到2000ppm以下之时, $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 等稀土氧化物可与上述固溶金属元素共同作用,强化叠加,提升钼丝的切割寿命、切割速度和A料率。

[0009] 本发明中,添加的固溶金属元素主要有W、Co、Ni、Re、Hf等,考虑到Re、Hf等元素价格昂贵,综合考虑下,添加W、Co、Ni等金属元素形成固溶强化来提高线切割钼丝的强度,从而开发出一种线切割用复合钼丝,跟市场上现有的线切割用钼丝形成差异化产品,提高线切割用钼丝的综合性能。

[0010] 在推荐的实施方式中,所述的掺杂金属元素选自Co、W或Ni的至少一种。

[0011] 在推荐的实施方式中,所述固溶金属元素的重量含量为0.03%~0.20%,所述稀土氧化物的重量含量为0.001%~0.200%。

[0012] 在推荐的实施方式中,所述固溶金属元素和所述稀土氧化物通过固-液掺杂的方式均匀分布在所述钼粉中。

[0013] 本发明所制作的复合强化线切割钼丝能够大大的提高钼丝的耐磨性,切割时寿命更长,切割面积更大;通过降低掺杂氧化物 $\text{La}_2\text{O}_3$ 的含量,大幅度降低了线切割钼丝的裂纹率,减少加工过程中的异常断丝现象。复合强化线切割钼丝开发成功后,产品可与市场上现有的线切割钼丝形成差异化产品,并显著提升我国高性能线切割钼丝的技术水平能够进一步提高线切割钼丝的加工能力,提高产品附加值,推动线切割钼丝产品的性能提升。

[0014] 本发明的另一目的在于提供一种耐磨的线切割用复合钼丝的制作方法。

[0015] 一种耐磨的线切割用复合钼丝的制作方法,其特征在于,包括如下的步骤:

[0016] A.将固体二氧化钼、和液体式含镧化合物和/或液体式含钪化合物进行固-液掺杂,以得到含有 $\text{La}_2\text{O}_3$ 和/或氧化钪的掺杂二氧化钼后,经过氢气还原,得到一次掺杂钼粉,所述一次掺杂钼粉和选自液体式含钴化合物、液体式含钨化合物、液体式含Ni化合物、液体式含Re化合物或液体式含Hf化合物中的至少一种液体式化合物再次进行固-液掺杂后,再次氢气还原,获得二次掺杂钼粉,最后,将所述二次掺杂钼粉进行混粉,混合均匀;

[0017] B.将所述二次掺杂钼粉通过等静压成型压制钼坯条,再进行烧结;

[0018] c.将烧结好的所述钼坯条经过轧机技术轧制成钼盘条;

[0019] D.将所述钼盘条再进行至少一次的热拉工艺和冷拉工艺,中间经过至少一次的退火,获得产品。

[0020] 在推荐的实施方式中,所述液体式含镧化合物可以是硝酸镧等,液体式含钪化合物可以是硝酸钪等,液体式含钴化合物可以是硝酸钴等,液体式含钨化合物可以是仲钨酸氨等。

[0021] 在推荐的实施方式中,控制所述二次掺杂钼粉粒度在 $3.0\sim 4.0\mu\text{m}$ 。

[0022] 在推荐的实施方式中,所述二次掺杂钼粉通过等静压成型压制 $\Phi 50\text{mm}-\Phi 75\text{mm}$ 的钼坯条。

[0023] 在推荐的实施方式中,将烧结后的所述钼坯条经过轧机技术轧制成 $\Phi 4\text{mm}-\Phi 8\text{mm}$ 钼盘条。

[0024] 在推荐的实施方式中,所述轧机是采用开坯辊径大于 $\Phi 450\text{mm}$ 的三辊开坯轧机、两辊连续式轧机或45度顶交无扭轧机,轧制温度范围是 $1400\sim 1500^\circ\text{C}$ ,终制速度在20米/秒。

[0025] 在推荐的实施方式中,所述热拉加工温度在 $650\sim 1050^\circ\text{C}$ ,速度在 $5\sim 33\text{m}/\text{min}$ ,热拉道次变形量在 $15\sim 32\%$ ;所述冷拉加工温度是室温,采用植物油润滑,速度在 $75\sim 320\text{m}/\text{min}$ ,冷拉道次变形量在 $12\sim 20\%$ 。

[0026] 在推荐的实施方式中,所述退火的温度在 $980\sim 1850^\circ\text{C}$ 、速度为 $1.5\sim 9\text{m}/\text{min}$ 。

[0027] 本发明所制备的一种线切割用复合钼丝通过添加Co、W、Ni、Re或Hf元素起到固溶强化作用,进而提高线切割用低稀土氧化物钼丝的强度,并能够大幅提高钼丝的耐磨性,可承受高电流冲击,切割时寿命更长,切割效率更高,导电性提高;通过降低稀土氧化物La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>或者Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量,大幅度降低了线切割钼丝的裂纹率,提高线切割钼丝的A料率,减少加工过程中的异常断丝现象,并充分发挥大轧机的优势;通过拥有的大轧机技术将钼坯条从Φ50-Φ75mm拉至成品的大压缩比变形,使得成品组织纤维更加发达,在使用过程中更加耐磨及不易延伸;通过多模冷拉及特定的润滑剂,直径均匀性良好,被切割工件表面更加光滑。

[0028] 通过添加Co、W、Ni、Re或Hf元素、和稀土氧化物La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>或者Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>可细化坯条晶粒,获得均匀的细晶组织,提高导电性,提高加工硬化速度,在相同加工变形程度下得到更高的钼丝强度,加工得到具发达纤维组织线的切割用复合钼丝。

### 附图说明

[0029] 图1为本发明的掺1000ppm Co、1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>线切割用复合钼丝金相微观组织示意图;

[0030] 图2为本发明的掺1000ppm Co、1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>线切割用复合钼丝电镜组织示意图;

[0031] 图3为本发明的掺1200ppm W、1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>线切割用复合钼丝金相微观组织示意图;

[0032] 图4为本发明的掺1200ppm W、1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>线切割用复合钼丝电镜组织示意图;

### 具体实施方式

[0033] 实施例一:在钼粉中掺杂0~3000ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

[0034] 在二氧化钼阶段进行固-液掺杂,掺杂0~3000ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。利用原料钼酸铵在400℃经过煅烧获得三氧化钼,将三氧化钼通过氢还原获得二氧化钼,通过固体二氧化钼和液体式硝酸镧进行固-液掺杂,以得到含有La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的掺杂二氧化钼,将其再经过氢气还原得到含氧化镧的掺杂钼粉,最后,将此掺杂钼粉经过三维混料机进行混粉,混合均匀;控制掺杂钼粉粒度在3.0μm;将掺杂钼粉装入橡胶套中,通过等静压成型压制Φ50mm的钼坯条,成型压力在150MPa、保压时间在120秒,再进行烧结,采用三到五段升温曲线,最高烧结温度在2100℃范围;将烧结好的钼坯条经过轧机技术轧制成Φ4mm钼盘条,轧机是采用开坯辊径大于Φ450mm的三辊开坯轧机,轧制温度范围是1400℃,终制速度在20米/秒;再进行多道热拉和冷拉工艺,热拉加工温度在650℃,速度在5m/min,道次变形量在15%,冷拉加工温度是室温,采用植物油润滑,速度在75m/min,道次变形量在12%,拉制成直径为0.12mm的成品掺杂线切割钼丝;再经过中频感应加热退火以调整组织均匀性及成品强度,退火温度在980℃、速度为1.5m/min。本发明中,通过严格控制拉丝温度(T±20℃)以保证丝材性能均匀性,通过多模冷拉机及特定的润滑剂拉丝拉制成直径为0.12mm的成品掺杂线切割钼丝。需要说明的是,成品线切割钼丝不局限于0.12mm。La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量如附表1的试验方案1、2、3、4,将线切割用复合钼丝成品上到线切割机床进行切割试验,工作条件为电压60V、高电流8A,钼丝评价效果如附表2的试验方案1、2、3、4掺杂试验综合评价表。

[0035] 实施例二:在钼粉中掺杂100ppm~3000ppm的Co和1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

[0036] 在二氧化钼阶段进行固-液掺杂,掺杂100ppm~3000ppm的Co和1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。利用原料钼酸铵经过400℃煅烧获得三氧化钼,将三氧化钼通过氢还原获得二氧化钼,通过固体二氧化钼和液体式硝酸镧进行固-液掺杂,以得到含有La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的掺杂二氧化钼,将其再经过氢气还原得到含氧化镧的掺杂钼粉,利用已掺好氧化镧的固体钼粉和液体式硝酸钴再次进行固-液掺杂以掺入钴,然后,将已掺好氧化镧与钴的钼粉再次氢气还原,获得掺氧化镧及钴的钼粉,最后,将此钼粉经过三维混料机进行混粉得到均匀的含La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及钴的掺杂钼粉;控制钼粉粒度在3.0μm;将掺杂钼粉装入橡胶套中,通过等静压成型压制成Φ50mm的钼坯条,成型压力在150MPa、保压时间在120秒,再进行烧结,采用三到五段升温曲线,最高烧结温度在2100℃范围;将烧结好的钼坯条经过轧机技术轧制成Φ4mm钼盘条,轧机是采用开坯辊径大于Φ450mm的三辊开坯轧机,轧制温度范围是1400℃,终制速度在20米/秒;再进行多道热拉和冷拉工艺,热拉加工温度在650℃,速度在5m/min,道次变形量在15%,冷拉加工温度是室温,采用植物油润滑,速度在75m/min,道次变形量在12%,拉制成直径为0.12mm的成品掺杂线切割钼丝;再经过中频感应加热退火以调整组织均匀性及成品强度,退火温度在980℃、速度为1.5m/min。本发明中,通过严格控制拉丝温度(T±20℃)以保证丝材性能均匀性,通过多模冷拉机及特定的润滑剂拉丝拉制成直径为0.12mm的成品掺杂线切割钼丝。需要说明的是,成品线切割钼丝不局限于0.12mm。La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Co的含量如附表1的试验方案5、6、7、8、9、10,将线切割用复合钼丝成品上到线切割机床进行切割试验,工作条件为电压60V、高电流8A,钼丝评价效果如附表2试验方案5、6、7、8、9、10掺杂试验综合评价表。

[0037] 其中,掺1000ppm Co、1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>线切割用复合钼丝金相微观组织示意图如图1中所示。

[0038] 掺1000ppm Co、1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>线切割用复合钼丝电镜组织示意图如图2中所示。

[0039] 实施例三:在钼粉中掺杂200ppm、800ppm的Co和2000ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

[0040] 实施例三与实施例二的区别在于:掺杂200ppm、800ppm的Co和2000ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,其余步骤相同,以用作对比例。La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Co的含量如附表1的试验方案11、12,钼丝评价效果如附表2试验方案11、12掺杂试验综合评价表。

[0041] 实施例四:在钼粉中掺杂100ppm~3000ppm的W和1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

[0042] 在二氧化钼阶段进行固-液掺杂,掺杂100ppm~3000ppm的W和1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,利用原料钼酸铵经过500℃煅烧获得三氧化钼,将三氧化钼通过氢还原获得二氧化钼,通过固体二氧化钼和液体式硝酸镧进行固-液掺杂,以得到含有La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的掺杂二氧化钼,将其再经过氢气还原得到含氧化镧的掺杂钼粉,利用已掺好氧化镧的固体钼粉和液体式仲钨酸氨再次进行固-液掺杂以掺入钨,然后,将已掺好氧化镧与钨的钼粉再次氢气还原,获得掺氧化镧及钨的钼粉,最后,将此钼粉经过三维混料机进行混粉得到均匀的含La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及钨的掺杂钼粉;控制钼粉粒度在4.0μm;将掺杂粉末装入橡胶套中,掺杂钼粉通过等静压成型压制成Φ75mm的钼坯条,成型压力在200MPa、保压时间在30秒,再进行烧结,采用三到五段升温曲线,最高烧结温度在2300℃范围;将烧结好的钼坯条经过轧机技术轧制成Φ8mm钼盘条,轧机是采用开坯辊径大于Φ450mm的45度顶交无扭轧机,轧制温度范围是1500℃,终制速度在20米/秒;再进行多道热拉和冷拉工艺,热拉加工温度在1050℃,速度在33m/min,道次变形量在30%,冷拉加工温度是室温,采用植物油润滑,速度在320m/min,道次变形量在20%,拉制成直径为0.2mm的成品掺杂线切割钼丝;再经过中频感应加热退火,以调整组织均匀性及成品强

度,退火温度在1850℃、速度为9m/min,通过严格控制拉丝温度( $T \pm 20^{\circ}\text{C}$ )以保证丝材性能均匀性,通过多模冷拉机及特定的润滑剂拉丝拉制成直径为0.2mm的成品掺杂线切割钼丝。需要说明的是,成品线切割钼丝不局限于0.2mm。 $\text{La}_2\text{O}_3$ 和W的含量如附表1的试验方案13、14、15、16、17、18,将成品线切割用复合钼丝上到线切割机床进行切割试验,工作条件为电压60V、高电流8A,钼丝评价效果如附表2试验方案13、14、15、16、17、18掺杂试验综合评价表。

[0043] 其中,掺1200ppm W、1200ppm的 $\text{La}_2\text{O}_3$ 线切割用复合钼丝金相微观组织示意图如图3中所示。

[0044] 掺1200ppm W、1200ppm的 $\text{La}_2\text{O}_3$ 线切割用复合钼丝电镜组织示意图如图4中所示。

[0045] 实施例五:在钼粉中掺杂300ppm、1000ppm的W和2000ppm的 $\text{La}_2\text{O}_3$ 。

[0046] 实施例五与实施例四的区别在于:掺杂300ppm、1000ppm的W和2000ppm的 $\text{La}_2\text{O}_3$ ,其余步骤相同,以用作对比例。 $\text{La}_2\text{O}_3$ 和W的含量如附表1的试验方案19、20,钼丝评价效果如附表2试验方案19、20掺杂试验综合评价表。

[0047] 实施例一、二、三、四、五的实施结果:

[0048] 实施例一、二、三、四、五的掺杂试验方案成分表如表1中所示,

[0049] 表1掺杂试验方案成分表

[0050]

试验方案	Co 含量/ppm	W 含量/ppm	$\text{La}_2\text{O}_3$ 含量/ppm
1	0	0	0
2	0	0	1200
3	0	0	2000
4	0	0	3000
5	100	0	1200
6	300	0	1200
7	800	0	1200
8	1500	0	1200
9	2000	0	1200
10	3000	0	1200

[0051]

---

11	200	0	2000
12	800	0	2000
13	0	100	1200
14	0	300	1200
15	0	1000	1200
16	0	1600	1200
17	0	2000	1200
18	0	3000	1200
19	0	300	2000
20	0	1000	2000

---

[0052] 对复合强化线切割钼丝进行综合评价,其中指标包括体现裂纹率的A料率、切割寿命、切割速度等,通过加权得到最终得分,结果如表2中所示:

[0053] 表2掺杂试验综合评价表

[0054]



试验方案	A 料率/%	切割寿命/h	切割速度/mm <sup>2</sup> /h	综合得分
1	99.6	245	4025	30
2	97.3	291	4603	45
3	75.2	322	4819	48
4	65.9	281	4931	37
5	96.5	335	5241	61
6	95.7	417	6548	92
7	94.2	423	7046	98
8	93.2	408	7028	94
9	91.4	402	7115	93
10	85.2	385	6557	82
11	83.7	372	6213	75
12	80.2	395	6528	82
13	98.6	287	4532	44
14	97.7	352	5360	66
15	97.2	398	6142	84
16	96.5	412	6504	91

[0055]

17	94.4	403	6724	90
18	90.2	387	6718	85
19	86.8	365	5548	68
20	85.1	384	5852	75

[0056] 注:综合得分=30%\*A料率+40%\*100\*(切割寿命-最低值)/(最高值-最低值)+30%\*100\*(切割速度-最低值)/(最高值-最低值)

[0057] 从综合得分结果可以得出通过添加一定量的Co或W等固溶强化元素能够提高线切割钼丝的寿命和切割速度,体现出其耐磨性的优势,同时通过降低掺杂氧化物La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>能够降低线切割钼丝的裂纹率,从而提高了线切割钼丝的A料率。因此可以说明这种复合强化的线切割钼丝对传统线切割钼丝性能有大幅提升。

[0058] 通过试验方案1~4可以对比得出在大轧机工艺技术下,随着掺杂氧化物La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量的增加,裂纹率不断上升,从而导致A料率降低。

[0059] 通过试验方案2、试验方案5~10可以对比得出在掺杂氧化物La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量一定的情况下,随着掺杂固溶强化元素Co含量的增加,切割寿命和切割速度大幅提升;而随着掺杂固溶

强化元素Co含量的继续增加会降低切割寿命、切割速度和A料率,说明固溶强化元素Co含量需要控制一定的量来保证切割寿命、切割速度和A料率,控制成品率。

[0060] 通过试验方案6~7和试验方案11~12分别对比可以得出,在掺杂固溶强化元素Co含量一定的情况下,随着掺杂氧化物La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量的增加,各性能指标有所下降,但并不会产生如试验方案2~3那样的剧烈下降,可见,Co的存在可部分消除掺杂氧化物La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>对各性能指标带来的负面影响。

[0061] 通过试验方案13~18可以对比得出在掺杂氧化物La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量一定的情况下,随着掺杂固溶强化元素W含量的增加,切割寿命和切割速度大幅提升;而随着掺杂固溶强化元素W含量的继续增加会降低切割寿命、切割速度和A料率,说明固溶强化元素W含量需要控制一定的量来保证切割寿命、切割速度和A料率,控制成品率。

[0062] 通过试验方案14~15和试验方案19~20分别对比可以得出,在掺杂固溶强化元素W含量一定的情况下,随着掺杂氧化物La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量的增加,各性能指标有所下降,但并不会产生如试验方案2~3那样的剧烈下降,可见,W的存在可部分消除掺杂氧化物La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>对各性能指标带来的负面影响。。

[0063] 通过以上对比可以得出复合强化线切割钼丝需要控制掺杂金属元素含量和掺杂稀土氧化物含量来达到综合效果最好的线切割用钼丝。

[0064] 实施例六:掺杂100ppm的Co、100ppm的W和1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

[0065] (1)制备掺杂钼原料粉,包括如下步骤:

[0066] a、利用钼酸铵经过500°C煅烧获得三氧化钼,将三氧化钼通过氢还原获得固体二氧化钼;

[0067] b、通过固体二氧化钼和液体式硝酸镧进行固-液掺杂,以得到含有La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的掺杂二氧化钼;

[0068] c、将该掺杂二氧化钼经过氢气还原得到含氧化镧的一次掺杂钼粉;

[0069] d、用一次掺杂钼粉和液体式硝酸钴、液体式仲钨酸铵再次进行固-液掺杂以掺入钴、钨,得二次掺杂钼粉;

[0070] e、将二次掺杂钼粉用氢气还原,再经过三维混料机进行混粉得到均匀的含La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及钨的掺杂钼原料粉,其粒度在4.0μm,其Co含量为100ppm,W含量为100ppm,La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量为1200ppm;

[0071] (2)将步骤(1)制得的掺杂钼原料粉装入橡胶套中,通过等静压成型压制成Φ60mm的坯条,成型压力在1506MPa、保压时间在50s,再进行烧结得钼坯条,该烧结的程序为:于4h匀速升温至800°C,保温30min,于2h匀速升温至1200°C,保温2h,于2.5h匀速升温至1700°C,保温4h,于2h匀速升温至2100°C,保温4h;

[0072] (3)将烧结好的钼坯条经过轧机轧制成直径为8mm的钼盘条,轧机是采用开坯辊径大于Φ450mm的三辊开坯轧机,轧制温度为1400°C,终制速度在20m/s;

[0073] (4)将步骤(3)制得的钼盘条进行多道热拉、冷拉(通过严格控制拉丝温度(T±20°C)以保证丝材性能均匀性)和退火(以调整组织均匀性及成品强度),制成直径为0.2mm的复合掺杂线切割钼丝,热拉温度为800°C,热拉速度为20m/min,热拉道次变形量为20%,冷拉温度为室温,采用植物油润滑剂,冷拉速度为200m/min,冷拉道次变形量在20%,退火为中频感应加热退火,退火温度为1500°C,退火速度为5m/min。

[0074] 本实施例所制备的复合掺杂线切割钼丝的成品A料率为96.8%，将该复合掺杂线切割钼丝上到线切割机床进行切割试验，工作条件为电压60V，高电流8A，切割寿命为287h、切割速度为5041mm<sup>2</sup>/h。

[0075] 实施例七：掺杂500ppm的Co、500ppm的W和1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

[0076] 实施例七与实施例六的区别在于：掺杂500ppm的Co、500ppm的W和1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，其余步骤相同。

[0077] 本实施例所制备的复合掺杂线切割钼丝成品A料率为95.7%，将该复合掺杂线切割钼丝上到线切割机床进行切割试验，工作条件为电压60V，高电流8A，切割寿命为316h、切割速度为5547mm<sup>2</sup>/h。

[0078] 实施例八：掺杂1200ppm的Ni和1500ppm的Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

[0079] (1)制备掺杂钼原料粉，包括如下步骤：

[0080] a、利用钼酸铵经过600℃煅烧获得三氧化钼，将三氧化钼通过氢还原获得固体二氧化钼；

[0081] b、通过固体二氧化钼和液体式硝酸钇进行固-液掺杂，以得到含有Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的掺杂二氧化钼；

[0082] c、将该掺杂二氧化钼经过氢气还原得到含氧化钇的一次掺杂钼粉；

[0083] d、用一次掺杂钼粉和液体式硝酸镍再次进行固-液掺杂以掺入镍，得二次掺杂钼粉；

[0084] e、将二次掺杂钼粉用氢气还原，再经过三维混料机进行混粉得到均匀的含Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及镍的掺杂钼原料粉，其粒度在3.5μm，其Ni含量为1200ppm，Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量为1200ppm；

[0085] (2)将步骤(1)制得的掺杂钼原料粉装入橡胶套中，通过等静压成型压制成Φ60mm的坯条，成型压力在180MPa、保压时间在50s，再进行烧结得钼坯条，该烧结的程序为：于4h匀速升温至800℃，保温30min，于2h匀速升温至1200℃，保温2h，于2.5h匀速升温至1700℃，保温4h，于2h匀速升温至2100℃，保温4h；

[0086] (3)将烧结好的钼坯条经过轧机轧制成直径为7mm的钼盘条，轧机是采用开坯辊径大于Φ450mm的两辊连续式轧机，轧制温度为1400℃，终制速度在20m/s；

[0087] (4)将步骤(3)制得的钼盘条进行多道热拉、冷拉(通过严格控制拉丝温度(T±20℃)以保证丝材性能均匀性)和退火(以调整组织均匀性及成品强度)，制成直径为0.15mm的复合掺杂线切割钼丝，热拉温度为700℃，热拉速度为12m/min，热拉道次变形量为18%，冷拉温度为室温，采用植物油润滑剂，冷拉速度为220m/min，冷拉道次变形量在18%，退火为中频感应加热退火，退火温度为1500℃，退火速度为3m/min。

[0088] 本实施例所制备的复合掺杂线切割钼丝的成品A料率为92%，将该复合掺杂线切割钼丝上到线切割机床进行切割试验，工作条件为电压60V，高电流8A，切割寿命为342h、切割速度为5160mm<sup>2</sup>/h。

[0089] 实施例九：掺杂1200ppm的Ni和100ppm的Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

[0090] 实施例九与实施例八的区别在于：掺杂1200ppm的Ni和100ppm的Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，其余步骤相同。

[0091] 本实施例所制备的复合掺杂线切割钼丝的成品A料率为89%，将该复合掺杂线切割钼丝上到线切割机床进行切割试验，工作条件为电压60V，高电流8A，切割寿命为316h、切

割速度为5324mm<sup>2</sup>/h。

[0092] 实施例十:掺杂1200ppm的Ni和2500ppm的Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

[0093] 实施例九与实施例八的区别在于:掺杂1200ppm的Ni和2500ppm的Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,其余步骤相同。

[0094] 本实施例所制备的复合掺杂线切割钼丝的成品A料率为59%,将该复合掺杂线切割钼丝上到线切割机床进行切割试验,工作条件为电压60V,高电流8A,切割寿命为218h、切割速度为4642mm<sup>2</sup>/h。

[0095] 实施例十:掺杂1200ppm的Ni和200ppm的Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

[0096] 实施例十与实施例八的区别在于:掺杂1200ppm的Ni和200ppm的Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,其余步骤相同。

[0097] 本实施例所制备的复合掺杂线切割钼丝的成品A料率为90%,将该复合掺杂线切割钼丝上到线切割机床进行切割试验,工作条件为电压60V,高电流8A,切割寿命为389h、切割速度为6025mm<sup>2</sup>/h。

[0098] 实施例十一:掺杂1000ppm的Co和3000ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

[0099] 实施例十一与实施例二的区别在于:掺杂1000ppm的Co和3000ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,其余步骤相同,以用作对比例。

[0100] 本实施例所制备的复合掺杂线切割钼丝成品A料率为65.9%,将该复合掺杂线切割钼丝上到线切割机床进行切割试验,工作条件为电压60V,高电流8A,切割寿命为297h、切割速度为6245mm<sup>2</sup>/h。

[0101] 实施例十二:掺杂1000ppm的Co和50ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

[0102] 实施例十二与实施例二的区别在于:掺杂1000ppm的Co和50ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,其余步骤相同,以用作对比例。

[0103] 本实施例所制备的复合掺杂线切割钼丝成品A料率为94.5%,将该复合掺杂线切割钼丝上到线切割机床进行切割试验,工作条件为电压60V,高电流8A,切割寿命为312h、切割速度为5811mm<sup>2</sup>/h。

[0104] 实施例十三:掺杂4000ppm的Co和1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

[0105] 实施例十三与实施例二的区别在于:掺杂4000ppm的Co和1200ppm的La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,其余步骤相同,以用作对比例。

[0106] 本实施例所制备的复合掺杂线切割钼丝成品A料率为73.5%,将该复合掺杂线切割钼丝上到线切割机床进行切割试验,工作条件为电压60V,高电流8A,切割寿命为331h、切割速度为6015mm<sup>2</sup>/h。

[0107] 显然,本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例,而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所述领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或改动,这里无法对所有的实施方式予以穷举,凡是属于本发明的技术方案所引申出的显而易见的变化或改动仍属于本发明的保护范围。

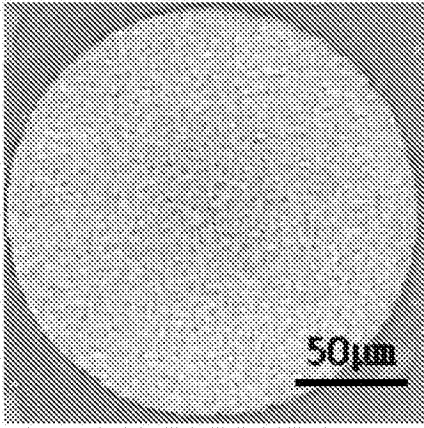


图1

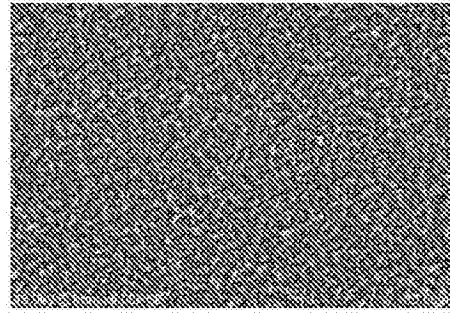


图2

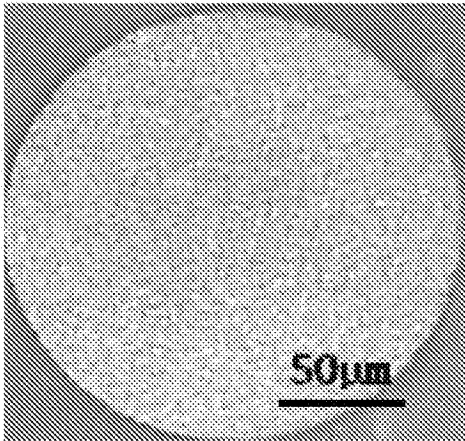


图3

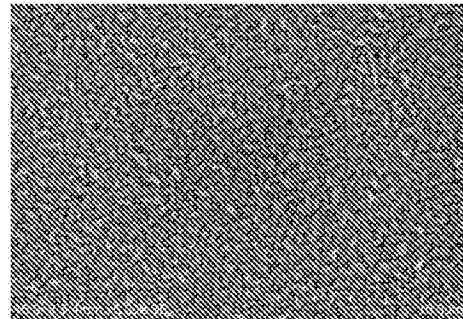


图4