



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109014192 A

(43)申请公布日 2018.12.18

(21)申请号 201810965885.7	G22C 38/56(2006.01)
(22)申请日 2018.08.23	G22C 38/50(2006.01)
(71)申请人 东北大学	G22C 38/48(2006.01)
地址 110819 辽宁省沈阳市和平区文化路3号巷11号	G22C 38/44(2006.01)
	G22C 27/04(2006.01)
	G22C 27/06(2006.01)
(72)发明人 佟伟平 李萍 李笑	G22C 38/38(2006.01)
(74)专利代理机构 沈阳东大知识产权代理有限公司 21109	G22C 38/36(2006.01)
代理人 马海芳	G22C 38/28(2006.01)
	G22C 30/00(2006.01)
(51) Int. Cl.	G22C 32/00(2006.01)
B22F 3/10(2006.01)	G22C 38/46(2006.01)
B22F 1/00(2006.01)	B22C 1/18(2006.01)
G22C 38/14(2006.01)	B22C 9/02(2006.01)
G22C 38/12(2006.01)	B22C 9/22(2006.01)
G22C 38/04(2006.01)	G21D 1/26(2006.01)
G22C 38/02(2006.01)	G21D 1/18(2006.01)
G22C 38/58(2006.01)	G21D 9/00(2006.01)

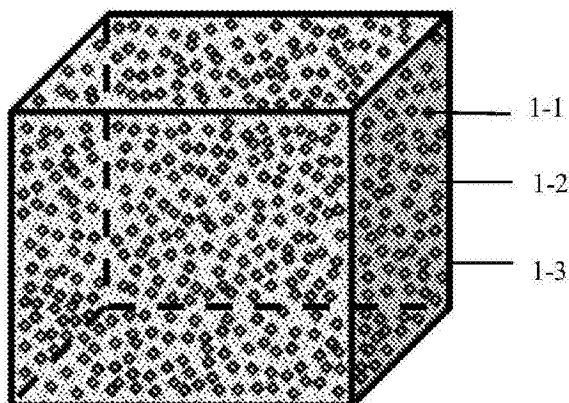
权利要求书3页 说明书15页 附图7页

(54)发明名称

优化粒径陶瓷增强金属基复合材料及其制备方法和应用

(57)摘要

一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料及其制备方法和应用,属于耐磨材料技术领域。该优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,包括金属基体材料和增强相陶瓷颗粒;增强相占优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的体积百分含量为20%~50%;增强相陶瓷颗粒粒径为0.01 μm~0.1 μm,0.1 μm~1mm,1mm~5mm三种区间中的一种区间粒径,或几种区间的混合粒径;采用液相烧结法制备复合材料,该方法工艺简单、成本低廉,复合材料中同时存在位错强化机制、Orowan强化、加工硬化强化、沉淀强化等多种强化机制,且这些由基体微观结构发生变化而产生的强化机制彼此相互作用,整体复合材料表现出优异的机械性能。



1. 一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,其特征在於,该优化粒径陶瓷增强金属基复合材料包括金属基体材料和增强相陶瓷颗粒;其中,增强相占优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的体积百分含量为20%~50%;

所述的增强相陶瓷颗粒粒径为 $0.01\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$, $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$, $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 三种区间中的一种区间粒径,或几种区间的混合粒径;

当增强相陶瓷颗粒粒径为几种区间混合粒径时,粒径区间界定为 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 和 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 范围内,且其粒径之间差值 X 设定为: $0\mu\text{m}\leq X\leq 2.0\text{mm}$;一种颗粒同原位生成颗粒时无约束条件。

2. 如权利要求1所述的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,其特征在於,所述的增强相陶瓷颗粒为氧化物陶瓷颗粒、碳化物陶瓷颗粒或氮化物陶瓷颗粒中的一种或几种混合;

其中,氧化物陶瓷颗粒为:白刚玉颗粒、棕刚玉颗粒或 $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (ZTA) 颗粒中的一种或几种;

碳化物陶瓷颗粒为:WC颗粒、SiC颗粒、TiC颗粒、VC颗粒、 B_4C 颗粒、 Mo_2C 颗粒、ZrC颗粒或 Cr_3C_2 颗粒中的一种或几种;

氮化物陶瓷颗粒为: Si_3N_4 颗粒、BN颗粒、AlN颗粒或TiN颗粒中的一种或几种;

所述的金属基体材料的原料为金属合金粉末;

其中,金属合金粉末的合金成分及各个成分的质量百分比为:C:0~8.0%、Mo:0~50%、Mn:0~40%、Cr:0~50%、V:0~10%、Ti:0~20%、Si:0.1%~4.0%、Ni:0~15%、W:0~15%、Nb:0~5.0%,余量为Fe及不可避免的杂质,其粒径范围为60~400目。

3. 如权利要求1所述的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,其特征在於,优化粒径陶瓷增强金属基复合材料基体硬度 $\geq 900\text{HV}$,金属基体材料和陶瓷颗粒的界面硬度 $\geq 1100\text{HV}$,陶瓷颗粒硬度 $\geq 1400\text{HV}$ 。

4. 如权利要求1-3中任意一项所述的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的制备方法,其特征在於,包括以下步骤:

步骤1:增强相陶瓷颗粒的选取与预处理:

- (1) 根据制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料称量增强相陶瓷颗粒;
- (2) 去除增强相陶瓷颗粒杂质,烘干,得到预处理后的增强相陶瓷颗粒;

步骤2:优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的制备

(1) 按配比,称量原料,将预处理后的增强相陶瓷颗粒和金属基体材料进行混粉,混合均匀,得到混合后的物料;其中,按体积比,预处理后的增强相陶瓷颗粒:金属基体材料=1:(2~5);

(2) 将混合后的物料放入压实模具中,采用200~300MPa压力进行压制,保压10~30s,得到压实的陶瓷增强块体;

(3) 将压实的陶瓷增强块体放入坩埚中,再置于气氛保护炉中,采用程序控温液相烧结法进行预烧结,得到优化粒径陶瓷增强金属基复合材料。

5. 如权利要求4所述的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的制备方法,其特征在於,所述的步骤2(1)中,施加压力过程中,当达到20~50MPa压力时,保压2s~5s。

6. 一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的应用,为应用于制备高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套。

7. 如权利要求6所述的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的应用,其特征在于,所述的高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套,包括优化粒径陶瓷增强金属基复合材料和浇注材料,浇注材料为高耐磨合金钢水,其含有的化学成分及各个化学成分的质量百分比为:C:0.8%~4.0%、Cr:2.0~30%、Mn:0.3~20%、V:0~15%、Ni:0~10%、W:0~25%、Nb:0~3%、Ti:0~10%、Si:0~2%、P:0~0.02%、S:0~0.01%,余量为Fe及不可避免的杂质。

8. 如权利要求6所述的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的应用,其特征在于,高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套,浇铸区的高耐磨合金的硬度 $\geq 850\text{HV}$;

高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套的冲击韧性 $\geq 5.5\text{J}/\text{cm}^2$,剪切强度 $\geq 530\text{MPa}$ 。

9. 一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的应用,其特征在于,采用制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料制备高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套,包括以下步骤:

步骤一:砂型的制备

根据待制备的高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套的形状,将工作区设定为优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,然后根据设定,制备砂型;

步骤二:将优化粒径陶瓷增强金属基复合材料放入砂型中,随同砂型一同进行烘干,得到烘干后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料和砂型;其中,烘干温度为 $100\sim 300^\circ\text{C}$,保温时间为 $10\sim 20\text{h}$,升温速率为 $2\sim 5^\circ\text{C}/\text{min}$;

步骤三:将高耐磨合金进行熔炼,熔炼温度为 $1600\sim 1700^\circ\text{C}$,得到高耐磨合金钢水;其中,所述的高耐磨合金钢水含有的化学成分及各个化学成分的质量百分比为:C:0.8%~4.0%、Cr:2.0~30%、Mn:0.3~20%、V:0~15%、Ni:0~10%、W:0~25%、Nb:0~3%、Ti:0~10%、Si:0~2%、P:0~0.02%、S:0~0.01%,余量为Fe及不可避免的杂质;

步骤四:将高耐磨合金钢水出炉,采用重力铸造浇铸到烘干后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料和砂型中的浇铸区,浇铸温度为 $1500\sim 1600^\circ\text{C}$,浇铸后进行清砂处理,得到高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套。

10. 权利要求1所述的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料、或权利要求6所述的高耐磨粉碎设备衬板、或高耐磨粉碎设备辊套的制备方法,其特征在于,在权利要求4或权利要求9的制备方法后,还包括以下步骤:

步骤I:退火

对优化粒径陶瓷增强金属基复合材料、或对高耐磨粉碎设备衬板、或对高耐磨粉碎设备辊套进行整体高温扩散退火处理,空冷,得到退火后的复合材料、或退火后的高耐磨粉碎设备衬板、或退火后的高耐磨粉碎设备辊套;其中,退火温度为 $1000\sim 1300^\circ\text{C}$,退火时间为 $8\sim 10\text{h}$;

步骤II:淬火

对退火后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料、或退火后的高耐磨粉碎设备衬板、或退火后的高耐磨粉碎设备辊套进行淬火处理,得到淬火后的复合材料、或淬火后的高耐磨粉碎设备衬板、或淬火后的高耐磨粉碎设备辊套;其中,淬火温度为 $850\sim 1100^\circ\text{C}$,保温 $9\sim 12\text{h}$;

步骤III:回火

对淬火后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料、或淬火后的高耐磨粉碎设备衬板、或淬火后的高耐磨粉碎设备辊套进行回火处理,得到热处理后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料、或高耐磨粉碎设备衬板、或高耐磨粉碎设备辊套;其中,回火温度为350~550℃,保温9~12h。

优化粒径陶瓷增强金属基复合材料及其制备方法和应用

技术领域

[0001] 本发明属于耐磨材料技术领域,具体涉及一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料及其制备方法和应用。

背景技术

[0002] 陶瓷颗粒增强的金属基复合材料(MMCs)通常具有比基体材料高的比强度和比刚度,在工业、国防和交通运输等部门表现出广泛的应用前景。随着对颗粒增强金属基复合材料研究的不断深入,可发现颗粒形状、颗粒体积含量、基体特性以及颗粒尺寸对陶瓷颗粒增强铁基合金复合材料的制备有着重要影响。其中,增强颗粒尺寸对非匀质材料系统的微观变形机制、强度、断裂影响显著。一方面,颗粒尺寸对提高材料的屈服强度和改善材料的塑性变形而产生的硬化行为起着重要的影响;另一方面,颗粒的破坏开裂及与基体的复合存在孔洞最终将导致材料的韧性降低。颗粒尺寸在 $0.01\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ 范围内的微粒增强体,由于微粒增强体对基体位错运动的阻碍而产生强化,其强化机理属于弥散强化。此种颗粒增强体在制备过程中多采用原位原应生成,其制备工艺精度要求较高;对于颗粒尺寸在 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 以上的颗粒增强体,目前研究较多,颗粒增强物在此尺寸下加入到金属中起提高耐磨、耐热和弹性模量的作用。但因其粒径较小,容易产生陶瓷颗粒与基体界面结合面小,当基体磨损下凹时,容易整颗脱落;在 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 范围内的陶瓷颗粒现目前研究较少,一方面由于大部分的陶瓷颗粒与金属基体的润湿角偏大,在制备过程中容易出现界面机械咬合、存在孔洞缺陷,在使用过程中出现整体颗粒的脱落;一方面由于大的陶瓷颗粒增强金属基复合材料在制备过程中或在使用过程中容易产生脆性裂纹,导致断裂失效,但因其作为主要的耐磨相,大颗粒的复合使用机制效果更加突出。

发明内容

[0003] 针对现有技术的不足,本发明提出了优化粒径陶瓷增强金属基复合材料及其制备方法和应用。该复合材料采用优化粒径范围或混合粒径的陶瓷颗粒,通过外加法或原位反应法制备而成。该制备技术以其合理的增强相粒径结构设计、是一种简单灵活的制备工艺,制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料可单独做为耐磨部件使用或制备高耐磨粉碎设备衬板及辊套的预制体,其具有优异的耐磨性能、机械韧性和抗冲击能力。

[0004] 本发明采用体积含量不变,优化粒径分布的陶瓷颗粒增强铁基耐磨复合材料,将优化粒径的陶瓷颗粒与金属合金粉末放置于氧化铝刚玉坩埚中,采用液相烧结法制备复合材料,该制备方法工艺简单、成本低廉,复合材料中同时存在位错强化机制、Orowan强化、加工硬化强化、沉淀强化等多种强化机制,且这些由基体微观结构发生变化而产生的强化机制彼此相互作用。此外,金属基体材料与增强相之间的界面连接较好,整体复合材料表现出优异的机械性能。

[0005] 本发明的一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,包括金属基体材料和增强相陶瓷颗粒;其中,增强相占优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的体积百分含量为 $20\%\sim 50\%$;

[0006] 所述的增强相陶瓷颗粒粒径为 $0.01\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$, $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$, $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 三种区间中的一种区间粒径,或几种区间的混合粒径;

[0007] 当增强相陶瓷颗粒粒径为几种区间混合粒径时,粒径区间界定为 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 和 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 范围内,且其粒径之间差值 X 设定为: $0\mu\text{m}\leq X\leq 2.0\text{mm}$,避免在高温液相区时,较大粒径颗粒与液相进行长时间润湿后而消耗掉小粒径的陶瓷颗粒;一种颗粒同原位生成颗粒时无约束条件。

[0008] 所述的增强相陶瓷颗粒为氧化物陶瓷颗粒、碳化物陶瓷颗粒或氮化物陶瓷颗粒中的一种或几种混合;

[0009] 其中,氧化物陶瓷颗粒为:白刚玉颗粒、棕刚玉颗粒或 $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (ZTA) 颗粒中的一种或几种;

[0010] 碳化物陶瓷颗粒为:WC颗粒、SiC颗粒、TiC颗粒、VC颗粒、 B_4C 颗粒、 Mo_2C 颗粒、ZrC颗粒或 Cr_3C_2 颗粒中的一种或几种;

[0011] 氮化物陶瓷颗粒为: Si_3N_4 颗粒、BN颗粒、AlN颗粒或TiN颗粒中的一种或几种。

[0012] 所述的金属基体材料的原料为金属合金粉末;

[0013] 其中,金属合金粉末的合金成分及各个成分的质量百分比为:C:0~8.0%、Mo:0~50%、Mn:0~40%、Cr:0~50%、V:0~10%、Ti:0~20%、Si:0.1%~4.0%、Ni:0~15%、W:0~15%、Nb:0~5.0%,余量为Fe及不可避免的杂质,其粒径范围为60~400目。

[0014] 本发明制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,金属基体材料硬度为900~1100HV,增强相陶瓷颗粒硬度为1400~2400HV,金属基体材料和增强相陶瓷颗粒的界面硬度为1100~1300HV。

[0015] 本发明的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的制备方法,具体包括以下步骤:

[0016] 步骤1:增强相陶瓷颗粒的选取与预处理:

[0017] (1) 根据制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料称量增强相陶瓷颗粒;

[0018] (2) 去除增强相陶瓷颗粒杂质,烘干,得到预处理后的增强相陶瓷颗粒;

[0019] 步骤2:优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的制备

[0020] (1) 按配比,称量原料,将预处理后的增强相陶瓷颗粒和金属基体材料进行混粉,混合均匀,得到混合后的物料;其中,按体积比,预处理后的增强相陶瓷颗粒:金属基体材料=1:(2~5);

[0021] (2) 将混合后的物料放入压实模具中,采用200~300MPa压力进行压制,保压10~30s,得到压实的陶瓷增强块体;

[0022] (3) 将压实的陶瓷增强块体放入坩埚中,再置于气氛保护炉中,采用程序控温液相烧结法进行预烧结,得到优化粒径陶瓷增强金属基复合材料。

[0023] 所述的步骤1(2)中,所述的增强相陶瓷颗粒根据粒径和原料不同,采用不同的清洗方式:

[0024] 1) 当增强相陶瓷颗粒的粒径为 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 时,将其放入丙酮溶液中放置6~12h后,在放入乙醇中清洗,放入超声波振荡30~60min;

[0025] 2) 当增强相陶瓷颗粒的粒径为 $0.01\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ 或 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 时,将其放入乙醇中清洗,放入超声波振荡30~40min后,置于离心机中离心,设置离心机转速为6000~8000r/min,去除固体沉淀大尺寸颗粒,再将离心机转速调整为10000~11500r/min,去除上清液小

尺寸颗粒,得到中间尺寸的陶瓷颗粒;

[0026] 3) 原位合成增强相陶瓷颗粒不用清洗。

[0027] 所述的步骤1 (2) 中,所述的烘干,烘干温度为80~200℃,烘干时间为3~8h。

[0028] 所述的步骤2 (1) 中,混粉时间为1~4h。

[0029] 所述的步骤2 (1) 中,施加压力过程中,当达到20~50MPa压力时,保压2s~5s,能够使混合后的物料中的气体能够排出;达到预定压力后,保压是为了保证混合后的物料粉末能够在压实模具中充分填实。

[0030] 本发明制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的形状优选为圆柱形、六边柱体或四方体中的一种。

[0031] 所述的步骤2 (3) 中,所述的程序控温液相烧结法,具体为:气氛保护炉为无氧气氛保护炉,烧结工艺为:以8~10℃/min速度升温至800~900℃,保温30~60min;以4~6℃/min速度升温至1350~1500℃,保温3~10h;以2~4℃/min速度降温至1100~1260℃后随炉冷却。

[0032] 所述的氩气气氛保护炉为先抽真空,然后通入氮气、氩气、氢气或分解氨中的一种或几种,形成无氧气氛保护。

[0033] 本发明的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的应用,为应用于制备高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套。

[0034] 所述的高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套,包括优化粒径陶瓷增强金属基复合材料和浇注材料,浇注材料为高耐磨合金钢水,其含有的化学成分及各个化学成分的质量百分比为:C:0.8%~4.0%、Cr:2.0~30%、Mn:0.3~20%、V:0~15%、Ni:0~10%、W:0~25%、Nb:0~3%、Ti:0~10%、Si:0~2%、P:0~0.02%、S:0~0.01%,余量为Fe及不可避免的杂质。

[0035] 本发明的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的应用,采用制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料制备高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套,包括以下步骤:

[0036] 步骤一:砂型的制备

[0037] 根据待制备的高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套的形状,将工作区设定为优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,然后根据设定,制备砂型;

[0038] 步骤二:将优化粒径陶瓷增强金属基复合材料放入砂型中,随同砂型一同进行烘干,得到烘干后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料和砂型;其中,烘干温度为100~300℃,保温时间为10~20h,升温速率为2~5℃/min;

[0039] 步骤三:将高耐磨合金进行熔炼,熔炼温度为1600~1700℃,得到高耐磨合金钢水;其中,所述的高耐磨合金钢水含有的化学成分及各个化学成分的质量百分比为:C:0.8%~4.0%、Cr:2.0~30%、Mn:0.3~20%、V:0~15%、Ni:0~10%、W:0~25%、Nb:0~3%、Ti:0~10%、Si:0~2%、P:0~0.02%、S:0~0.01%,余量为Fe及不可避免的杂质;

[0040] 步骤四:将高耐磨合金钢水出炉,采用重力铸造浇铸到烘干后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料和砂型中的浇铸区,浇铸温度为1500~1600℃,浇铸后进行清砂处理,得到高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套。

[0041] 所述的步骤一中,砂型制备工艺为:将砂型原料混合,采用预制木模进行造型,造型完毕后,充二氧化碳气体进行固化,固化后取出木模,并在砂型内表面刷制耐火涂料;

[0042] 所述的砂型包括的原料及各个原料的质量百分比为：粘土：8~14%，水：5%~10%，余量为型砂。型砂为锆英砂、刚玉砂、铬铁矿砂中的一种或几种混合；所述的耐火涂料为铝矾土涂料，涂层厚度为0.1~0.4mm。

[0043] 所述的步骤二中，控制升温速率在于，烘干过程中要避免急剧升温，否则容易引起砂型变形或开裂；烘干优选为阶梯烘干，具体为升温至40~50℃，保温1h，升温至70~80℃保温1h，升温至100~300℃保温8~18h。

[0044] 所述的步骤三中，作为优选，所述的熔炼采用的设备为电弧炉。

[0045] 所述的步骤三中，所述的高耐磨合金钢水，作为高耐磨粉碎设备衬板的衬底材料或高耐磨粉碎设备辊套的辊套内壁材料，同时作为优化粒径陶瓷增强金属基复合材料之间的连接材料。

[0046] 所述的步骤四中，所述的高耐磨合金钢水出炉前，加入精炼变质剂，对高耐磨合金钢水进行变质处理。

[0047] 更为优选的为，对所述的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料进行热处理、或对高耐磨粉碎设备衬板进行热处理、或高耐磨粉碎设备辊套进行热处理，热处理步骤如下：

[0048] 步骤I：退火

[0049] 对优化粒径陶瓷增强金属基复合材料、或对高耐磨粉碎设备衬板、或对高耐磨粉碎设备辊套进行整体高温扩散退火处理，空冷，得到退火后的复合材料、或退火后的高耐磨粉碎设备衬板、或退火后的高耐磨粉碎设备辊套；其中，退火温度为1000~1300℃，退火时间为8~10h；

[0050] 步骤II：淬火

[0051] 对退火后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料、或退火后的高耐磨粉碎设备衬板、或退火后的高耐磨粉碎设备辊套进行淬火处理，得到淬火后的复合材料、或淬火后的高耐磨粉碎设备衬板、或淬火后的高耐磨粉碎设备辊套；其中，淬火温度为850~1100℃，保温9~12h；

[0052] 步骤III：回火

[0053] 对淬火后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料、或淬火后的高耐磨粉碎设备衬板、或淬火后的高耐磨粉碎设备辊套进行回火处理，得到热处理后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料、或高耐磨粉碎设备衬板、或高耐磨粉碎设备辊套；其中，回火温度为350~550℃，保温9~12h。

[0054] 本发明制备的高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套中，浇铸区所含的金属合金成分及各个成分的质量百分比为：C：0.8~4.0%、Cr：2.0~30%、Mn：0.3~20%、V：0~15%、Ni：0~10%、W：0~25%、Nb：0~3%、Ti：0~10%、Si：0~2%、P：0~0.02%、S：0~0.01%，余量为Fe及不可避免的杂质。

[0055] 本发明制备的高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套，浇铸区的高耐磨合金的硬度 $\geq 850\text{HV}$ ，优选为850~1000HV。

[0056] 本发明制备的高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套的冲击韧性 $\geq 5.5\text{J}/\text{cm}^2$ ，优选为5.5~6.2J/cm²，剪切强度 $\geq 530\text{MPa}$ ，优选为530~580MPa。

[0057] 经测试，以上述方法制得的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料基体硬度 $\geq 900\text{HV}$ ，金属基体材料和陶瓷颗粒的界面硬度 $\geq 1100\text{HV}$ ，陶瓷颗粒硬度 $\geq 1400\text{HV}$ 。

[0058] 优化粒径陶瓷增强金属基复合材料中,陶瓷颗粒与金属基体材料界面为明显的冶金结合,整体热处理后未发现裂纹的产生,该高耐磨金属陶瓷复合材料符合耐磨材料领域的使用条件。

[0059] 本发明一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料及其制备方法和应用,和现有技术相比,具有如下特点:

[0060] (1) 本发明制备优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的工艺简单、易于操作、便于工业化大规模生产;

[0061] (2) 本发明制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料中的增强相陶瓷颗粒粒径整体范围为 $0.01\mu\text{m}\sim 5\text{mm}$,其中,粒径为 $0.01\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ 的陶瓷增强相可采用原位生成法,由于微粒增强体对基体位错运动的阻碍而产生强化,其强化机理属于Orowan强化,本发明通过程序控温液相烧结法制备原位反应内生颗粒增强,工艺简单,且为有效复合;粒径为 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 的陶瓷增强相可采用外加法或原位生成法,此尺寸范围内的陶瓷颗粒加入到金属基体中提高整体的耐磨、耐热和弹性模量的作用;粒径为 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 的陶瓷颗粒与基体复合较难,本发明采用基体中添加特定合金元素,同时采用高温、长时间保温的液相烧结工艺,使其界面出现 $50\sim 100\mu\text{m}$ 的扩散复合层,达到了冶金结合的效果;混合粒径的研究目前较少,本发明通过 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 与 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 粒径的陶瓷颗粒混合增强基体, $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 粒径的陶瓷颗粒有效提高了整体的耐磨性, $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 粒径的陶瓷颗粒通过弥散强化基体作用,使基体与耐磨相的耐磨性能相匹配;

[0062] (3) 本发明通过优化粒径的分布来制备高恶劣环境下使用的球磨机衬板、辊套以及高压辊磨机辊套,其耐磨性是传统耐磨材料的2~10倍;

[0063] (4) 本发明通过液相烧结法制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的界面为冶金结合,在整体热处理后,优化粒径陶瓷增强金属基复合材料制备的高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套的机械性能、冲击韧性提升;

[0064] (5) 本发明的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料制备的高耐磨粉碎设备衬板或高耐磨粉碎设备辊套可有效调节其工作区厚度,从而根据不同的使用需求对耐磨工作进行设计。

[0065] (6) 本发明制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料增强相均匀分布,复合材料内部存在多种强化机制对材料本身的性能和服役寿命大幅度提升,给耐磨领域应用带来可观的经济效益。

附图说明

[0066] 图1为本发明实施例1中增强颗粒粒径为 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 与基体粉末的四方体压实的陶瓷增强块体;

[0067] 图2为本发明实施例2中增强颗粒粒径为 $0.01\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ 、 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 和基体粉末的圆柱体压实的陶瓷增强块体;

[0068] 图3为本发明实施例3中增强颗粒粒径为 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 、 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 和基体粉末的六边柱体压实的陶瓷增强块体;

[0069] 图4为本发明实施例4中制备立磨机衬板的结构示意图;其中,(a)为正视剖视图;(b)为俯视图;

[0070] 图5为本发明实施例5中制备立磨机辊套的结构示意图；(c)为侧剖剖视图；(d)为正剖剖视图；

[0071] 图6为本发明实施例3中制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料中增强相陶瓷颗粒与金属基体材料的复合图SEM；

[0072] 图7为本发明实施例1中制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料中增强相陶瓷颗粒与金属基体材料界面的复合材料电子探针图片；

[0073] 图8为本发明实施例2中制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料中增强相陶瓷颗粒与金属基体材料界面的复合材料SEM图；

[0074] 图9为本发明实施例6优化粒径陶瓷增强金属基复合材料及其制备方法和应用的制备工艺流程框图。

[0075] 图10为本发明实施例7优化粒径陶瓷增强金属基复合材料及其制备方法和应用的制备工艺流程框图。

[0076] 图11为本发明实施例8优化粒径陶瓷增强金属基复合材料及其制备方法和应用的制备工艺流程框图。

[0077] 附图中,1-1为 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 陶瓷颗粒,1-2为金属基体粉末,1-3为四方体压实的陶瓷增强块体,2-1为 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 陶瓷颗粒,2-2为 $0.01\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ 陶瓷颗粒与金属基体材料的混合物,2-3为圆柱体压实的陶瓷增强块体,3-1为 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 陶瓷颗粒,3-2为 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 陶瓷颗粒,3-3为金属基体粉末,3-4为六边柱体压实的陶瓷增强块体,4-1为衬板优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,4-2为衬板浇铸区,5-1为辊套优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,5-2为辊套浇铸区,5-3为辊套高耐磨合金与优化粒径陶瓷增强金属基复合材料结合的浇铸区。

具体实施方式

[0078] 下面结合实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0079] 实施例1

[0080] 一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,用于立磨机辊套的工作区,立磨机辊套包括四方体优化粒径陶瓷颗粒增强金属基复合材料和浇铸材料,浇铸材料为高耐磨合金粉末;工作区厚度为整体立磨机辊套高度的 $1/3$;

[0081] 所述的四方体优化的陶瓷颗粒增强金属基复合材料经由四方体压实的陶瓷增强块体经过程序控温液相烧结得到的;

[0082] 所述的四方体压实的陶瓷增强块体包括金属基体材料和增强相陶瓷颗粒;其中,增强相陶瓷颗粒为四方体压实的陶瓷增强块体体积分含量的 40% ;增强相陶瓷颗粒为 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 增强颗粒1-1,金属基体材料为金属基体粉末1-2, $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 增强颗粒1-1和金属基体粉末1-2经过压实得到四方体压实的陶瓷增强块体1-3;

[0083] 所述的金属基体材料为耐磨金属合金粉末,耐磨金属合金粉末含有的成分及各个成分的质量百分比为:C: 0.4% 、Mn: 0.6% 、Ti: 1% 、W: 10% 、Si: 1.5% ,余量为Fe及不可避免的杂质;

[0084] 所述的增强相陶瓷颗粒为SiC颗粒,其具有重量轻、尺寸稳定、硬度高、摩擦系数小、熔点高及弹性模量大,与钢液的润湿性为较好,润湿角小于 36° 。

- [0085] 所述的SiC颗粒的粒径范围在 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$,本实施例中平均粒径为 $750\mu\text{m}$ 。
- [0086] 一种高耐磨立磨机辊套的制备方法,具体包括以下步骤:
- [0087] 步骤1,增强相陶瓷颗粒的选取与预处理:
- [0088] (1) 选取平均粒径为 $750\mu\text{m}$ 的SiC颗粒;
- [0089] (2) 将SiC颗粒放入酒精中清洗后,放入超声波中震荡30min后放入离心机中,离心机转速为 $6000\text{r}/\text{min}$,去除固体沉淀大尺寸颗粒,再将离心机转速调整为 $10000\text{r}/\text{min}$,去除上清液小尺寸颗粒,得到中间尺寸的SiC颗粒;
- [0090] (3) 将清洗后的SiC陶瓷颗粒放入烘干炉中烘干,烘干温度为 80°C ,烘干时间为8h。
- [0091] 步骤2:SiC陶瓷颗粒增强金属基复合材料的制备:
- [0092] (1) 按固定的体积比为SiC陶瓷颗粒:金属合金粉末=1:2,称量陶瓷颗粒与基体的金属合金粉末,将其放入混粉机中混粉,混粉时间为4h,得到混合均匀的物料;
- [0093] (2) 将混合均匀的物料放入圆柱形压实模具中,压力为 200MPa 进行压制,保压10s,得到压实的陶瓷增强块体,其尺寸为 $110\text{mm}\times 70\text{mm}\times 40\text{mm}$ 的四方体,如图1所示;
- [0094] (3) 将压实的陶瓷增强块体放入氧化铝刚玉坩埚中($120\text{mm}\times 80\text{mm}\times 70\text{mm}$),随后将其放入气氛保护炉中,先抽真空,然后通入氩气。以 $9^\circ\text{C}/\text{min}$ 速度升温至 800°C ,保温40min;以 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 速度升温至 1400°C ,保温3h;以 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ 速度降温至 1200°C 后随炉冷却,得到优化粒径陶瓷增强金属基复合材料。
- [0095] 步骤3:高耐磨立磨机辊套的制备:
- [0096] (1) 砂型制备:使用锆英砂、铬铁矿砂、粘土和适量水混合,所包含的原料及各个原料的质量百分比为:粘土9%,水6%,余量为型砂,型砂中,按质量比,锆英砂:铬铁矿砂=1:1。制造砂型,砂型采用预制木模造型完毕后充二氧化碳气体固化,将木模取出,在内表面刷制铝矾土耐火涂料,涂层厚度为 0.1mm 。
- [0097] (2) 将步骤2中制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料放入砂型的指定位置后,将其随同砂型一起放入烘炉中烘干,先升温至 50°C ,保温1h,升温至 80°C 保温1h,进行阶梯式烘干,达到 200°C 保温时间为10h,烘干过程中要避免急剧升温,否则容易引起砂型变形或开裂,升温速度为 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 。
- [0098] (3) 将高耐磨合金在 1600°C 进行熔炼,得到高耐磨合金钢水,出炉浇铸;所述的高耐磨合金钢水含有的化学成分及各个化学成分的质量百分比为:C:0.8%、Cr:4%、Mn:4%、V:1%、Ni:1%、Si:0.5%、P:0.02%、S:0.01%,余量为Fe及不可避免的杂质;
- [0099] (4) 高耐磨合金钢水出炉后,采用重力铸造到烘干后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料和砂型中的浇铸区,浇铸温度为 1500°C ,浇铸后进行清砂处理,得到高耐磨立磨机辊套;
- [0100] 步骤4,高耐磨立磨机辊套的整体热处理:
- [0101] (1) 将冷却后的高耐磨立磨机辊套放入高温炉内进行整体高温扩散退火处理,空冷;其中,退火温度为 1200°C ,退火时间为10h;
- [0102] (2) 将退火后的高耐磨立磨机辊套进行淬火处理;其中淬火温度为 900°C ,保温12h;
- [0103] (3) 将淬火后的高耐磨立磨机辊套进行回火处理;其中,回火温度为 500°C 保温12h。

[0104] 在此工艺下制备的高耐磨立磨机辊套中,钢基表面保留了碳化硅粒子,表面形成了分布比较均匀的SiC粒子复合层。与浇铸的高耐磨合金钢水表面接触的复合层中碳化硅粒子发生分解,过渡区狭窄,同时SiC粒子周围的钢基体中存在石墨,表明SiC粒子部分分解使其周围的钢基体中富集大量的碳,此外,SiC分解的碳还由其附近向液态钢水内部扩散,因此过渡区组织主要为钢基体与石墨,过渡区致密,如图7所示。

[0105] 此工艺制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料中,基体硬度为900HV,硬度为1600HV,基体和SiC颗粒的界面硬度为1200HV;制备的高耐磨立磨机辊套,其浇铸区硬度为850HV,高耐磨立磨机辊套的冲击韧性为 $6.2\text{J}/\text{cm}^2$,剪切强度为530MPa。

[0106] 实施例2

[0107] 一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,用于立磨机衬板的工作区,立磨机衬板包括圆柱体优化的陶瓷颗粒增强金属基复合材料和浇铸材料,浇铸材料为高耐磨合金粉末;工作区厚度为整体立磨机衬板高度的1/2;

[0108] 所述的圆柱体优化的陶瓷颗粒增强金属基复合材料经由圆柱体压实的陶瓷增强块体经过程序控温液相烧结得到的;

[0109] 所述的圆柱体压实的陶瓷增强块体包括金属基体材料和增强相陶瓷颗粒;其中,增强相陶瓷颗粒为圆柱体压实的陶瓷增强块体体积百分含量的40%;增强相陶瓷颗粒为 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 陶瓷颗粒2-1、 $0.01\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ 陶瓷颗粒和金属基体材料;其中, $0.01\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ 陶瓷颗粒与金属基体材料形成混合体,1mm~5mm陶瓷颗粒2-1均匀分别在 $0.01\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ 陶瓷颗粒与金属基体材料的混合体2-2中,形成圆柱体压实的陶瓷增强块体2-3;

[0110] 所述的金属基体材料为耐磨金属合金粉末,耐磨金属合金粉末含有的成分及各个成分的质量百分比为:C:3.5%、Mo:20%、Mn:10%、Cr:10%、Ti:1%、Si:0.1%、Ni:2.0%、Nb:0.8%,余量为Fe及不可避免的杂质;

[0111] 所述的增强相陶瓷颗粒为TiC颗粒+WC颗粒,其TiC颗粒耐腐蚀性好,热力学上具有很高的稳定性,其与铁合金熔体润湿性好,与铁合金在热力学上具有相容性;WC颗粒具有较高的硬度,与铁合金的润湿角为 0° ;

[0112] 所述的TiC颗粒的粒径范围在 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$,本实施例中平均粒径为 $900\mu\text{m}$;WC颗粒为 $1\text{mm}\sim 5\text{mm}$,本实施例中平均粒径为3mm;

[0113] 一种高耐磨立磨机衬板的制备方法,具体包括以下步骤:

[0114] 步骤1,增强相陶瓷颗粒的选取与预处理:

[0115] (1) 选取平均粒径为 $900\mu\text{m}$ 的TiC颗粒和平均粒径为3mm的WC颗粒;

[0116] (2) 将TiC颗粒放入放入酒精中清洗后,放入超声波中震荡40min后放入离心机中,离心机转速为8000r/min,去除固体沉淀大尺寸颗粒,再将离心机转速调整为11000r/min,去除上清液小尺寸颗粒,得到中间尺寸的TiC颗粒;将WC陶瓷颗粒放入丙酮溶液中放置6h,再将陶瓷颗粒放入酒精溶液中清洗后,放入超声波中震荡60min。

[0117] (3) 将清洗后的TiC陶瓷颗粒放入烘干炉中烘干,烘干温度为 100°C ,烘干时间为5.5h;将清洗后的WC陶瓷颗粒放入烘干炉中烘干,烘干温度为 200°C ,烘干时间为6h。

[0118] 步骤2:TiC+WC陶瓷颗粒增强金属基复合材料的制备:

[0119] (1) 按固定的体积比为TiC+WC(各占50wt.%)陶瓷颗粒:金属合金粉末=1:3,称量陶瓷颗粒与基体的金属合金粉末,将其放入混粉机中混粉,混粉时间为4h,得到混合均匀的

物料;

[0120] (2) 将混合均匀的物料放入四方体压实模具中,压力为300MPa进行压制,保压20s,得到压实的陶瓷增强块体,其尺寸为 $\Phi 60\text{mm}\times 80\text{mm}$ 的圆柱体,如图2所示;

[0121] (3) 将压实的陶瓷增强块体放入氧化铝刚玉坩埚中($\Phi 80\text{mm}\times 100\text{mm}$),随后将其放入气氛保护炉中,先抽真空,然后通入氩气。以 $9^\circ\text{C}/\text{min}$ 速度升温至 850°C ,保温30min;以 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 速度升温至 1460°C ,保温4h;以 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ 速度降温至 1260°C 后随炉冷却,得到优化粒径陶瓷增强金属基复合材料。

[0122] 步骤3.高耐磨立磨机衬板的制备:

[0123] (1) 砂型制备:使用锆英砂、刚玉砂、粘土和适量水混合,所包含的原料及各个原料的质量百分比为:粘土14%,水10%,余量为型砂,型砂中,按质量比,锆英砂:刚玉砂=1:1。制造砂型,砂型采用预制木模造型完毕后充二氧化碳气体固化,将木模取出,在内表面刷制铝矾土耐火涂料,涂层厚度为0.2mm。

[0124] (2) 将步骤2中制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料放入砂型的指定位置后,将其随同砂型一起放入烘炉中烘干,先升温至 50°C ,保温1h,升温至 80°C 保温1h,进行阶梯式烘干,达到 300°C 保温时间为10h,烘干过程中要避免急剧升温,否则容易引起砂型变形或开裂,升温速度为 $2^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

[0125] (3) 将高耐磨合金在 1700°C 进行熔炼,得到高耐磨合金钢水,出炉浇铸;所述的高耐磨合金钢水含有的化学成分及各个化学成分的质量百分比为:C:2.0%、Cr:30%、Mn:5%、V:1%、Ni:10%、Nb:1%、Si:2%、P:0.02%、S:0.01%,余量为Fe及不可避免的杂质;

[0126] (4) 高耐磨合金钢水出炉后,采用重力铸造到烘干后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料和砂型中的浇铸区,浇铸温度为 1600°C ,浇铸后进行清砂处理,得到高耐磨立磨机衬板;

[0127] 步骤4,高耐磨立磨机衬板的整体热处理:

[0128] (1) 将冷却后的高耐磨立磨机衬板放入高温炉内进行整体高温扩散退火处理,空冷;其中,退火温度为 1150°C ,退火时间为8h;

[0129] (2) 将退火后的高耐磨立磨机衬板进行淬火处理;其中淬火温度为 850°C ,保温9h;

[0130] (3) 将淬火后的高耐磨立磨机衬板进行回火处理;其中,回火温度为 350°C 保温9h。

[0131] 在此工艺下制备的高耐磨立磨机衬板中由于添加了Mo元素,改善了TiC与Fe熔液的润湿性,而添加的微量稀土元素Nb提高了复合材料的延展性;本实施例中采用程序控温液相烧结法制备,而WC颗粒为毫米量级,制备后较好的保留了其原始硬度,使复合材料的耐磨性能大大提升。整体复合材料界面复合较好,如图8所示。由此工艺制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的基体硬度为950HV,TiC颗粒硬度为1400HV,TiC颗粒与基体界面硬度为1100HV,Wc颗粒硬度为1800HV,Wc颗粒与基体界面硬度为1300HV;制备的高耐磨立磨机衬板,其浇铸区硬度为1000HV,高耐磨立磨机衬板的冲击韧性为 $5.9\text{J}/\text{cm}^2$,剪切强度为580MPa。

[0132] 实施例3

[0133] 一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,用于立磨机辊套的工作区,立磨机辊套包括六边柱体优化粒径陶瓷颗粒增强金属基复合材料和浇铸材料,浇铸材料为高耐磨合金粉末;工作区厚度为整体立磨机辊套高度的1/3;

[0134] 所述的六边柱体优化的陶瓷颗粒增强金属基复合材料经由六边柱体压实的陶瓷增强块体经过程序控温液相烧结得到的；

[0135] 所述的六边柱体压实的陶瓷增强块体包括金属基体材料和增强相陶瓷颗粒；其中，增强相陶瓷颗粒为六边柱体压实的陶瓷增强块体体积百分含量的40%；增强相陶瓷颗粒为0.1 μm ~1mm陶瓷颗粒3-1、1mm~5mm陶瓷颗粒3-2和金属基体粉末3-3，0.1 μm ~1mm陶瓷颗粒3-1、1mm~5mm陶瓷颗粒3-2和金属基体粉末3-3经过混合压实后得到六边柱体压实的陶瓷增强块体3-4；

[0136] 所述的金属基体材料为耐磨金属合金粉末，耐磨金属合金粉末含有的成分及各个成分的质量百分比为：C:3.5%、Mo:4%、Mn:28%、Cr:1%、Ni:15%、Ti:2%、Si:1.5%、Nb:1.0%，余量为Fe及不可避免的杂质；

[0137] 所述的增强相陶瓷颗粒为 $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (ZTA) + Cr_3C_2 颗粒，其 Cr_3C_2 颗粒具有良好的耐磨、耐腐蚀、抗氧化的高熔点材料； $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (ZTA) 颗粒具有较高的断裂韧性，这是因为在 Al_2O_3 中引入纳米级分散的相变物质 ZrO_2 ，利用 ZrO_2 的增韧效应可以使 Al_2O_3 陶瓷强度、断裂韧性得到极大的改善，从而克服了 Al_2O_3 陶瓷的脆性。

[0138] 所述的 Cr_3C_2 颗粒的粒径范围在0.1 μm ~1mm，本实施例中平均粒径为300 μm ； $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (ZTA) 颗粒为1mm~5mm，本实施例中平均粒径为1mm；

[0139] 一种高耐磨立磨辊套的制备方法，具体包括以下步骤：

[0140] 步骤1，增强相陶瓷颗粒的选取与预处理：

[0141] (1) 选取平均粒径为300 μm 的 Cr_3C_2 颗粒和平均粒径为1mm的 $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (ZTA) 颗粒；

[0142] (2) 将 Cr_3C_2 颗粒放入放入酒精中清洗后，放入超声波中震荡30min后放入离心机中，离心机转速为7500r/min，去除固体沉淀大尺寸颗粒，再将离心机转速调整为11500r/min，去除上清液小尺寸颗粒，得到中间尺寸的 Cr_3C_2 颗粒；将 $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (ZTA) 颗粒放入丙酮溶液中放置12h，再将陶瓷颗粒放入酒精溶液中清洗后，放入超声波中震荡60min。

[0143] (3) 将清洗后的 Cr_3C_2 颗粒放入烘干炉中烘干，烘干温度为120 $^\circ\text{C}$ ，烘干时间为6h；将清洗后的 $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (ZTA) 颗粒放入烘干炉中烘干，烘干温度为200 $^\circ\text{C}$ ，烘干时间为3h。

[0144] 步骤2： Cr_3C_2 +ZTA陶瓷颗粒增强金属基复合材料的制备：

[0145] (1) 按固定的体积比为 Cr_3C_2 +ZTA (各占50wt.%) 陶瓷颗粒：金属合金粉末=1:3，称量陶瓷颗粒与基体的金属合金粉末，将其放入混粉机中混粉，混粉时间为3h，得到混合均匀的物料；

[0146] (2) 将混合均匀的物料放入六边柱体压实模具中，压力为300MPa进行压制，保压30s，得到压实的陶瓷增强块体，其尺寸为边长为60mm，高为50mm的六边柱体，如图3所示；

[0147] (3) 将压实的陶瓷增强块体放入氧化铝刚玉坩埚中 (120mm \times 80mm \times 70mm)，随后将其放入气氛保护炉中，先抽真空，然后通入氩气。以9 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 速度升温至900 $^\circ\text{C}$ ，保温40min；以5 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 速度升温至1500 $^\circ\text{C}$ ，保温4h；以3 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 速度降温至1200 $^\circ\text{C}$ 后随炉冷却，得到优化粒径陶瓷增强金属基复合材料。

[0148] 步骤3：高耐磨立磨辊套的制备：

[0149] (1) 砂型制备：使用锆英砂、刚玉砂、粘土和适量水混合，所包含的原料及各个原料的质量百分比为：粘土14%，水10%，余量为型砂，型砂中，按质量比，锆英砂：刚玉砂=1:1。制造砂型，砂型采用预制木模造型完毕后充二氧化碳气体固化，将木模取出，在内表面刷制

铝矾土耐火涂料,涂层厚度为0.3mm。

[0150] (2) 将步骤2中制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料放入砂型的指定位置后,将其随同砂型一起放入烘炉中烘干,先升温至40℃,保温1h,升温至70℃保温1h,进行阶梯式烘干,达到100℃保温时间为10h,烘干过程中要避免急剧升温,否则容易引起砂型变形或开裂,升温速度为5℃/min。

[0151] (3) 将高耐磨合金在1700℃进行熔炼,得到高耐磨合金钢水,出炉浇铸;所述的高耐磨合金钢水含有的化学成分及各个化学成分的质量百分比为:C:4.0%、Cr:2.0%、Mn:0.3%、Ni:1%、Nb:3%、Ti:10%、P:0.02%、S:0.01%,余量为Fe及不可避免的杂质;

[0152] (4) 高耐磨合金出炉后,采用重力铸造到烘干后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料和砂型中的浇铸区,浇铸温度为1600℃,浇铸后进行清砂处理,得到高耐磨立磨辊套;

[0153] 步骤4,高耐磨立磨机辊套的整体热处理:

[0154] (1) 将冷却后的高耐磨立磨机辊套放入高温炉内进行整体高温扩散退火处理,空冷;其中,退火温度为1300℃,退火时间为8h;

[0155] (2) 将退火后的高耐磨立磨机辊套进行淬火处理;其中淬火温度为1100℃,保温12h;

[0156] (3) 将淬火后的高耐磨立磨机辊套进行回火处理;其中,回火温度为550℃保温12h。

[0157] 在此工艺下制备的高耐磨立磨机辊套中,添加了Mn、Ni合金元素,提高了ZTA陶瓷颗粒与基体的润湿性,在长时间的保温过程中,与基体形成了扩散层,基体与陶瓷颗粒呈齿状结合,几乎看不到缝隙,如图6所示。 Cr_3C_2 颗粒弥散分布于基体中,表现出较高的硬度。

[0158] 由此工艺制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料中,基体硬度为1100HV,ZTA颗粒硬度为2400HV,ZTA颗粒与基体界面硬度为1300HV, Cr_3C_2 颗粒硬度为1600HV, Cr_3C_2 颗粒与基体界面硬度为1280HV;高耐磨立磨机辊套中,浇铸区硬度为890HV,高耐磨立磨机辊套的冲击韧性为5.5J/cm²,剪切强度为575MPa。

[0159] 实施例4

[0160] 一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,用于高耐磨立磨机衬板的工作区,高耐磨立磨机衬板包括四方体优化粒径陶瓷颗粒增强金属基复合材料和浇铸材料,浇铸材料为高耐磨合金粉末;工作区厚度为整体高耐磨立磨机衬板高度的1/3;

[0161] 所述的高耐磨立磨机衬板包括:衬板优化粒径陶瓷增强金属基复合材料4-1,衬板浇铸区4-2;

[0162] 所述的衬板优化粒径陶瓷增强金属基复合材料包括金属基体材料和增强相陶瓷颗粒;其中,增强相陶瓷颗粒为优化粒径陶瓷增强金属基复合材料体积百分含量的40%;

[0163] 所述的金属基体材料为耐磨金属合金粉末,耐磨金属合金粉末含有的成分及各个成分的质量百分比为:Mn:40%、Ti:1%、Si:1.5%、Nb:1.0%,余量为Fe及不可避免的杂质;

[0164] 所述的增强相陶瓷颗粒为棕刚玉颗粒,是用矾土、碳素材料、铁屑三种原料在电弧炉中经过融化还原而制得的棕褐色人造刚玉,棕刚玉主要化学成份是 Al_2O_3 ,其含量在95.0%~97.0%,另含有少量的Fe, Si, Ti等。棕刚玉是最基本的磨料,适用范围广,价格便宜。

[0165] 所述的棕刚玉颗粒的粒径范围在1mm~5mm,本实施例中平均粒径为3mm;

[0166] 一种高耐磨立磨机衬板的制备方法,具体包括以下步骤:

[0167] 步骤1,增强相陶瓷颗粒的选取与预处理:

[0168] (1) 选取平均粒径为3mm的棕刚玉颗粒;

[0169] (2) 将棕刚玉颗粒放入丙酮溶液中放置8h,再将陶瓷颗粒放入酒精溶液中清洗后,放入超声波中震荡30min。

[0170] (3) 将清洗后的棕刚玉颗粒放入烘干炉中烘干,烘干温度为200℃,烘干时间为8h。

[0171] 步骤2:棕刚玉颗粒增强金属基复合材料的制备:

[0172] (1) 按固定的体积比为棕刚玉颗粒:基体粉末=4:10,称量陶瓷颗粒与基体粉末,将其放入混粉机中混粉,混粉时间为4h,得到混合均匀的物料;

[0173] (2) 将混合均匀的物料放入四方体压实模具中,压力为300MPa,保压20s,得到压实的陶瓷增强块体,其尺寸为110mm×70mm×40mm的四方体;

[0174] (3) 将压实的陶瓷增强块体放入氧化铝刚玉坩埚中(120mm×80mm×70mm),随后将其放入气氛保护炉中,先抽真空,然后通入氩气。以9℃/min速度升温至850℃,保温60min;以5℃/min速度升温至1350℃,保温10h;以3℃/min速度降温至1100℃后随炉冷却,得到优化粒径陶瓷增强金属基复合材料。

[0175] 步骤3:高耐磨立磨机衬板的制备:

[0176] (1) 砂型制备:使用刚玉砂、铬铁矿砂、粘土和适量水混合,所包含的原料及各个原料的质量百分比为:粘土8%,水5%,余量为型砂,型砂中,按质量比,刚玉砂:铬铁矿砂=1:1。制造砂型,砂型采用预制木模造型完毕后充二氧化碳气体固化,将木模取出,在内表面刷制铝矾土耐火涂料,涂层厚度为0.1mm。

[0177] (2) 将步骤2中制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料放入砂型的指定位置后,将其随同砂型一起放入烘炉中烘干,烘干温度为100~300℃阶梯式烘干,保温时间为11h,烘干过程中要避免急剧升温,否则容易引起砂型变形或开裂,升温速度为4℃/min。

[0178] (3) 将高耐磨合金在1700℃进行熔炼,得到高耐磨合金钢水,出炉浇铸;所述的高耐磨合金钢水含有的化学成分及各个化学成分的质量百分比为:C:1.0%、Cr:2.0%、Mn:0.3%、Ni:10%、P:0.02%、S:0.01%,余量为Fe及不可避免的杂质;

[0179] (4) 高耐磨合金钢水出炉后,采用重力铸造到烘干后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料和砂型中的浇铸区,浇铸温度为1600℃,浇铸后进行清砂处理,得到高耐磨立磨机衬板,所制备的高耐磨立磨机衬板如图4所示;其中,(a)为正视剖视图;(b)为俯视图;从(a)可以看出,工作区厚度占整个高耐磨立磨机衬板厚度的1/3。

[0180] 步骤4,高耐磨立磨机衬板的整体热处理:

[0181] (1) 将冷却后的高耐磨立磨机衬板放入高温炉内进行整体高温扩散退火处理,空冷;其中,退火温度为1150℃,退火时间为10h;

[0182] (2) 将退火后的高耐磨立磨机衬板进行淬火处理;其中淬火温度为1000℃,保温10h;

[0183] (3) 将淬火后的高耐磨立磨机衬板进行回火处理;其中,回火温度为500℃保温10h。

[0184] 在此工艺下制备的高耐磨立磨机衬板中添加了定量的陶瓷微粉颗粒,其与棕刚玉颗粒在高温液相区形成玻璃相界面,有效的提高了棕刚玉颗粒与基体的润湿性,同时,基体

中添加的Mn、Fe等元素进一步提高了高耐磨立磨机衬板的韧性。整体高耐磨立磨机衬板表现出优异的强度与韧性结合。

[0185] 由此工艺制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料中,基体硬度为1000HV,棕刚玉颗粒硬度为1600HV,棕刚玉颗粒与基体界面硬度为1200HV;

[0186] 高耐磨立磨机衬板中,浇铸区硬度为860HV,高耐磨立磨机衬板的冲击韧性为5.5J/cm²,剪切强度为560MPa。

[0187] 实施例5

[0188] 一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,用于高耐磨立磨机辊套的工作区,高耐磨立磨机辊套包括圆柱体陶瓷颗粒增强金属基复合材料和浇铸材料,浇铸材料为高耐磨合金粉末;工作区厚度为整体高耐磨立磨机辊套高度的1/3;

[0189] 所述的高耐磨立磨机辊套包括辊套优化粒径陶瓷增强金属基复合材料5-1,辊套浇铸区5-2,辊套高耐磨合金与优化粒径陶瓷增强金属基复合材料结合的浇铸区5-3;

[0190] 所述的辊套优化粒径陶瓷增强金属基复合材料包括金属基体材料和增强相陶瓷颗粒;,增强相陶瓷颗粒为优化粒径陶瓷增强金属基复合材料的体积百分含量的40%;

[0191] 所述的金属基体材料为耐磨金属合金粉末,耐磨金属合金粉末含有的成分及各个成分的质量百分比为:C:8%、Ti:20%、Si:4.0%、V:10%,余量为Fe及不可避免的杂质;

[0192] 所述的增强相陶瓷颗粒为基体材料中原位生成的TiC、VC颗粒,两种颗粒都具有面心立方结构,均表现出高熔点、高硬度、高脆性的物理化学性能,与铁基体的相容性较好,是较为理想的增强材料。

[0193] 所述的增强颗粒的粒径范围在0.1μm~1mm,本实施例中原位合成增强颗粒的基体粉末平均粒径为50μm;

[0194] 一种高耐磨立磨辊套的制备方法,具体包括以下步骤:

[0195] 步骤1:增强相陶瓷颗粒的选取与预处理:

[0196] (1) 选取平均粒径为50μm的金属基体粉末,在制备过程中,金属基体粉末生成的TiC颗粒和VC颗粒作为增强相陶瓷颗粒;

[0197] (2) 原位合成颗粒,无需清洗。

[0198] 步骤2:(Ti,V)C陶瓷颗粒增强金属基复合材料的制备:

[0199] (1) 按金属基体材料中各个金粉粉末成分的质量百分比,将其放入混粉机中混粉,混粉时间为1h,得到混合均匀的物料;

[0200] (2) 将混合均匀的物料放入圆柱体压实模具中,压力为200MPa进行压制,保压10S,得到压实的陶瓷增强块体,其尺寸为Φ60mm×80mm的圆柱体;

[0201] (3) 将压实的陶瓷增强块体放入氧化铝刚玉坩埚中(Φ80mm×100mm),随后将其放入气氛保护炉中,先抽真空,然后通入氩气。以9℃/min速度升温至850℃,保温60min;以5℃/min速度升温至1400℃,保温3h;以3℃/min速度降温至1200℃后随炉冷却,得到优化粒径陶瓷增强金属基复合材料。

[0202] 步骤3:高耐磨立磨机辊套的制备:

[0203] (1) 砂型制备:使用刚玉砂、铬铁矿砂、粘土和适量水混合,所包含的原料及各个原料的质量百分比为:粘土10%,水8%,余量为型砂,型砂中,按质量比,刚玉砂:铬铁矿砂=1:1。制造砂型,砂型采用预制木模造型完毕后充二氧化碳气体固化,将木模取出,在内表面

刷制铝钒土耐火涂料,涂层厚度为0.4mm。

[0204] (2) 将步骤2中制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料放入砂型的指定位置后,将其随同砂型一起放入烘炉中烘干,烘干温度为100~300℃阶梯式烘干,保温时间为20h,烘干过程中要避免急剧升温,否则容易引起砂型变形或开裂,升温速度为3℃/min。

[0205] (3) 将高耐磨合金在1600℃进行熔炼,得到高耐磨合金钢水,出炉浇铸;所述的高耐磨合金钢水含有的化学成分及各个化学成分的质量百分比为:C:1.5%、Cr:2.0%、Mn:0.5%、Nb:3%、Si:2%、P:0~0.02%、S:0~0.01%,余量为Fe及不可避免的杂质;

[0206] (4) 高耐磨合金钢水出炉后,采用重力铸造,浇铸温度为1500℃,浇铸后进行清砂处理,得到高耐磨立磨机辊套,所制备的高耐磨立磨辊套如图5所示;(c)为侧剖剖视图;(d)为正剖剖视图;

[0207] 步骤4:高耐磨立磨机辊套的整体热处理:

[0208] (1) 将冷却后的高耐磨立磨机辊套放入高温炉内进行整体高温扩散退火处理,空冷;其中,退火温度为1100℃,退火时间为9h;

[0209] (2) 将退火后的高耐磨立磨机辊套进行淬火处理;其中淬火温度为1000℃,保温10h;

[0210] (3) 将淬火后的高耐磨立磨机辊套进行回火处理;其中,回火温度为500℃保温10h。

[0211] 在此工艺下制备的高耐磨立磨机辊套中原位生成的TiC、(Ti,V)C硬质相和基体在烧结过程中存在交互作用。高耐磨立磨机辊套经热处理后,淬硬性提升,其组织为马氏体+残余奥氏体+生成的硬质相,热处理后耐磨性为铸态材料的2~3倍。

[0212] 由此工艺制备的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料中,基体硬度为1100HV,硬质相颗粒硬度为1550HV,硬质相颗粒与基体界面硬度为1250HV;高耐磨立磨机辊套的冲击韧性为6.0J/cm²,剪切强度为570MPa。

[0213] 实施例6

[0214] 一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,其制备过程如图9所示,同实施例5,不同之处在于,白刚玉颗粒作为增强相陶瓷颗粒,压实的陶瓷增强块体形状为圆柱体。

[0215] 所述的增强相陶瓷颗粒粒度范围为1~5mm,本实施例中白刚玉颗粒的平均粒径为2mm。

[0216] 所述压实的陶瓷增强块体的基体材料为耐磨金属合金粉末,耐磨金属合金粉末含有的成分及各个成分的质量百分比为:C:0.5%、V:10.0%、Cr:2%、W:15%、Mo:50%,余量为Fe及不可避免的杂质。

[0217] 将压实的陶瓷增强块体放入氧化铝刚玉坩埚中(Φ80mm×100mm),随后将其放入气氛保护炉中,先抽真空,然后通入氩气。以9℃/min速度升温至850℃,保温50min;以5℃/min速度升温至1450℃,保温2h;以3℃/min速度降温至1150℃后随炉冷却,可得到一种优化粒径陶瓷增强金属基复合材料。

[0218] 实施例7

[0219] 一种热处理后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,其制备过程如图10所示,同实施例6,不同之处在于,B₄C+Mo₂C作为增强相陶瓷颗粒,其中,按体积比,B₄C:Mo₂C=1:1;压实的陶瓷增强块体形状为六边柱体。

[0220] 所述的增强相陶瓷颗粒粒度范围为 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$,本实施例中 B_4C 、 Mo_2C 颗粒的平均粒径为 $600\mu\text{m}$ 。

[0221] 所述压实的陶瓷增强块体的基体材料为耐磨金属合金粉末,耐磨金属合金粉末含有的成分及各个成分的质量百分比为:C:2.0%、Ti:1.0%、Si:1.5%、Mn:4%,余量为Fe及不可避免的杂质。

[0222] 一种热处理后的优化粒径陶瓷增强金属基复合材料,同实施例6,不同之处在于:经烧结后的陶瓷增强金属基复合材料进行热处理,退火温度为 1100°C ,退火时间为9h;淬火温度为 1000°C ,保温10h;回火温度为 500°C 保温10h。

[0223] 实施例8

[0224] 一种高耐磨立磨衬板,同实施例5,其制备过程如图11所示,不同之处在于,白刚玉颗粒+ZrC+TiC作为增强相陶瓷颗粒,按体积比,白刚玉颗粒:ZrC:TiC=1:1:1;压实的陶瓷增强块体形状为圆柱体,工作区厚度为整体的 $1/3$ 。

[0225] 所述的增强相陶瓷颗粒粒度范围为 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 、 $1\sim 5\text{mm}$,本实施例中ZrC、TiC颗粒的平均粒径为 $800\mu\text{m}$,白刚玉颗粒平均粒径为 2mm 。

[0226] 所述压实的陶瓷增强块体的基体材料为耐磨金属合金粉末,耐磨金属合金粉末含有的成分及各个成分的质量百分比为:C:1.5%、Mn:2.0%、Cr:50%、Mo:6%、Ni:1%,余量为Fe及不可避免的杂质。

[0227] 一种高耐磨立磨衬板的制备方法,同实施例5,不同之处在于:浇铸的高耐磨合金钢水含有的化学成分及各个化学成分的质量百分比为:C:2.5%、Cr:3.0%、Nb:20%、Ni:1%,余量为Fe及不可避免的杂质。

[0228] 实施例9

[0229] 一种高耐磨块体制备,同实施例5,不同之处在于, $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{AlN}+\text{BN}$ 颗粒作为增强相陶瓷颗粒,按体积比, $\text{Si}_3\text{N}_4:\text{AlN}:\text{BN}=1:1:1$;压实的陶瓷增强块体形状为六边柱体,工作区厚度为整体的 $1/2$ 。

[0230] 所述的增强相陶瓷颗粒粒度范围为 $0.1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$,实施例9中陶瓷颗粒的平均粒径为 $900\mu\text{m}$ 。

[0231] 所述压实的陶瓷增强块体的基体材料为耐磨金属合金粉末,耐磨金属合金粉末含有的成分及各个成分的质量百分比为:C:1.0%、Cr:10%、Si:1.5%、Ti:2%、Mn:20%,余量为Fe及不可避免的杂质。

[0232] 一种高耐磨块体的制备方法,同实施例5,不同之处在于:浇铸的高耐磨合金钢水含有的化学成分及各个化学成分的质量百分比为:C:1.5%、Cr:2.0%、W:25%、Ti:1%、P:0.02%、S:0.01%,余量为Fe及不可避免的杂质。

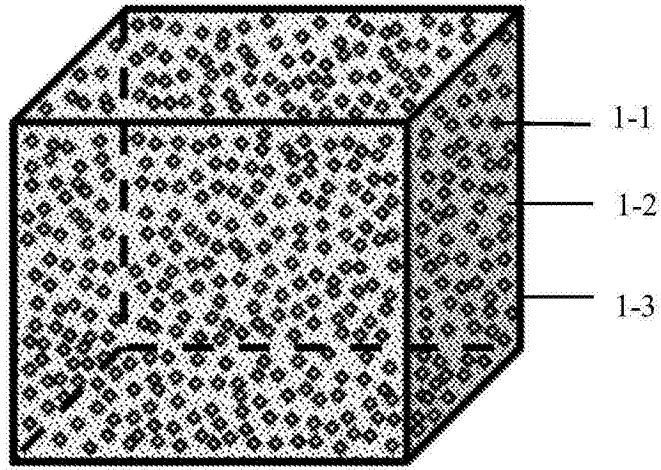


图1

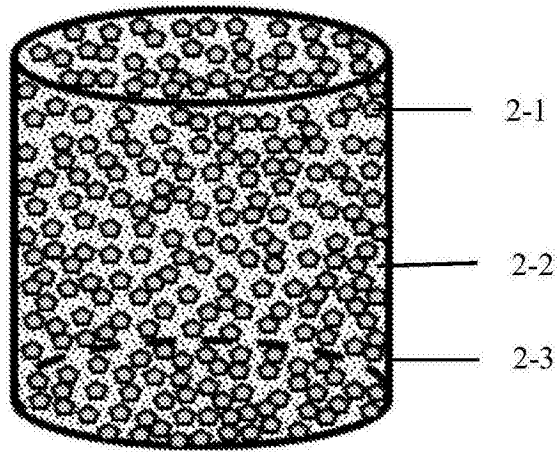


图2

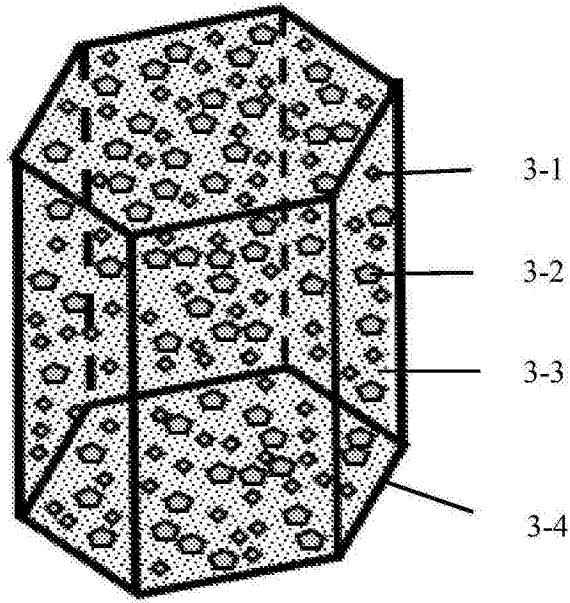


图3

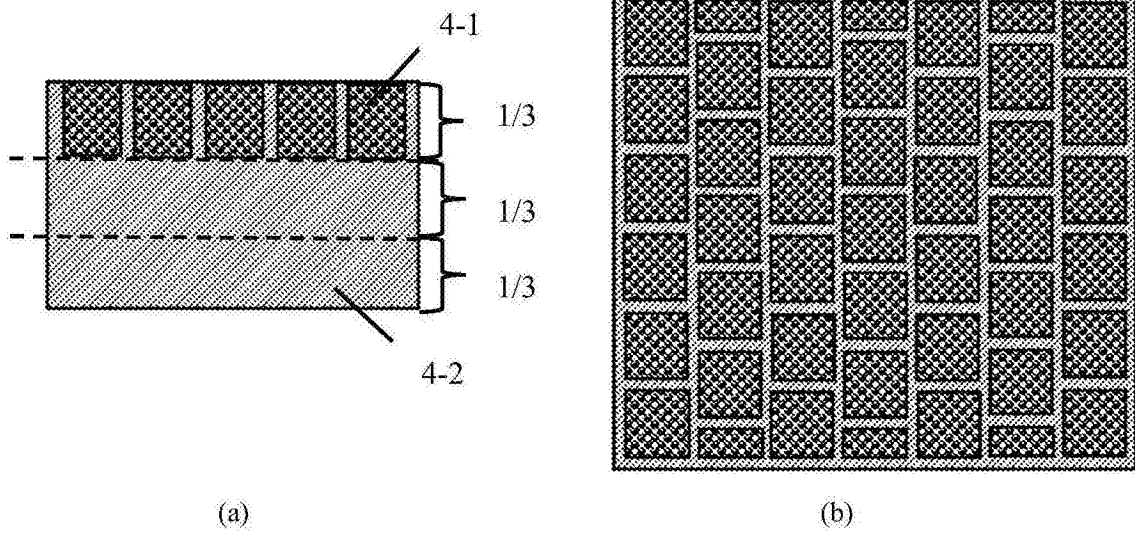


图4

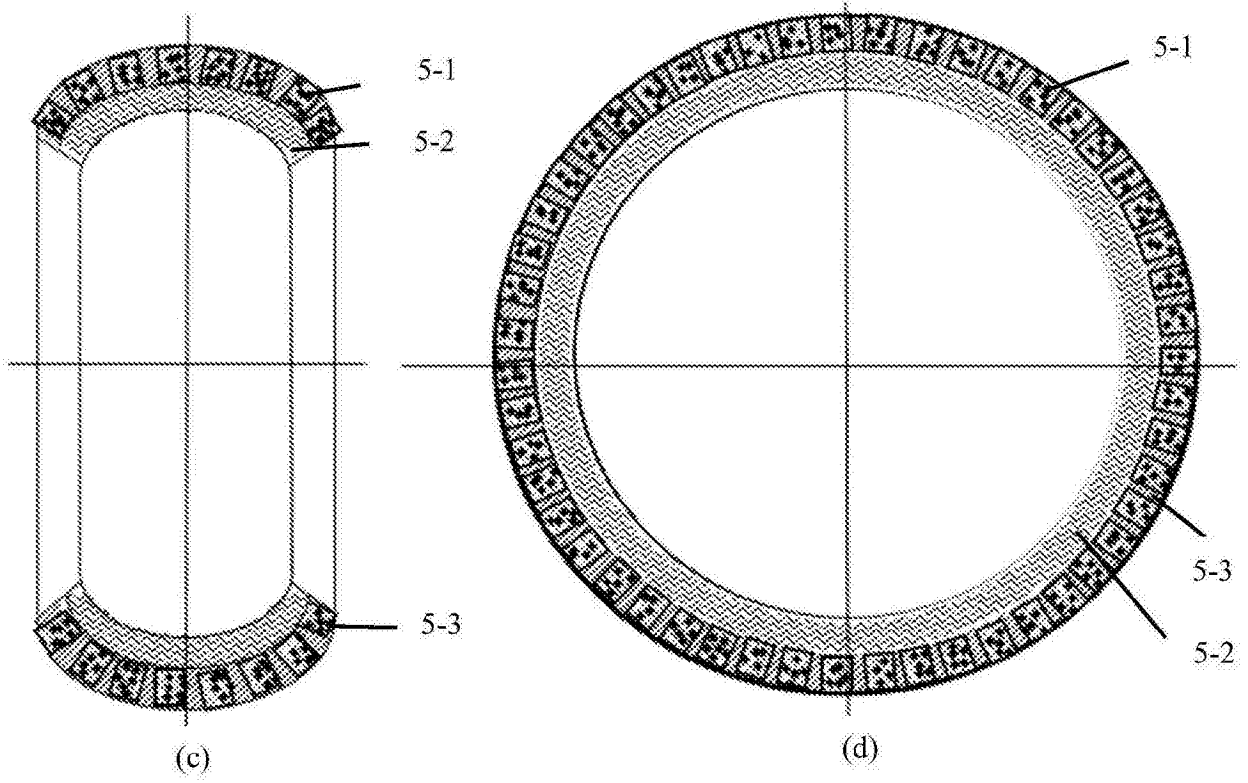


图5

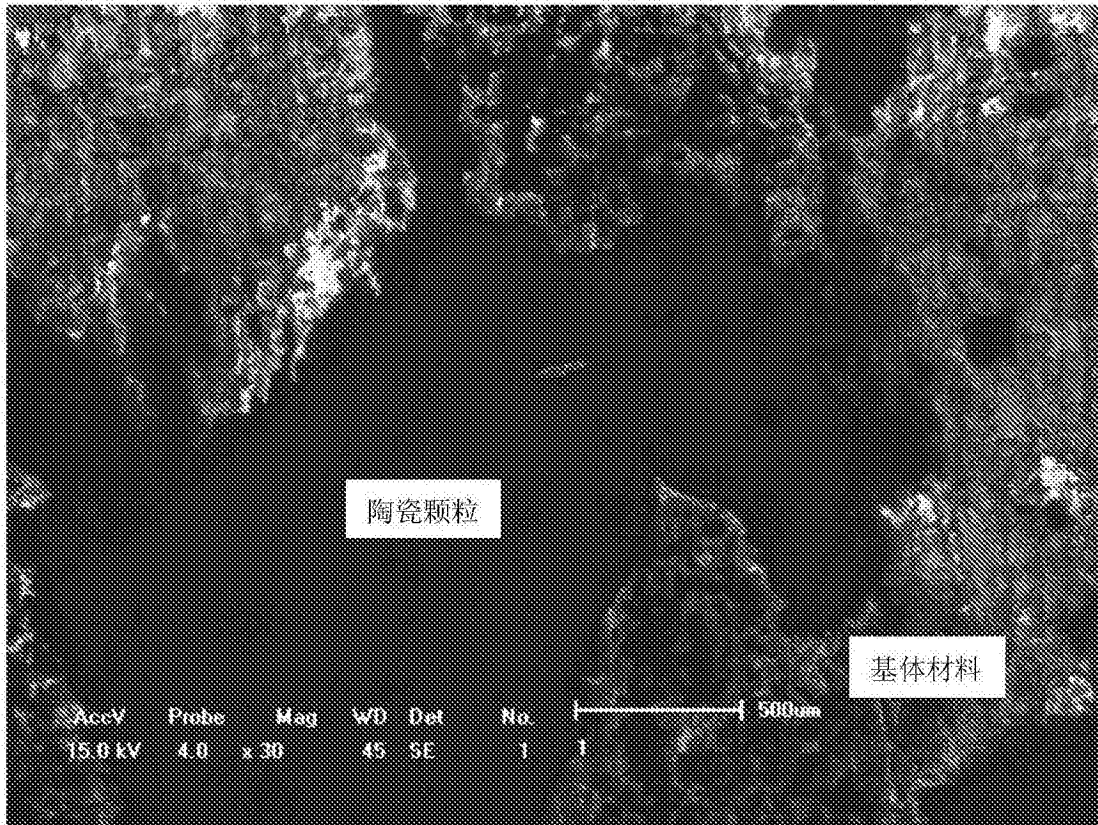


图6

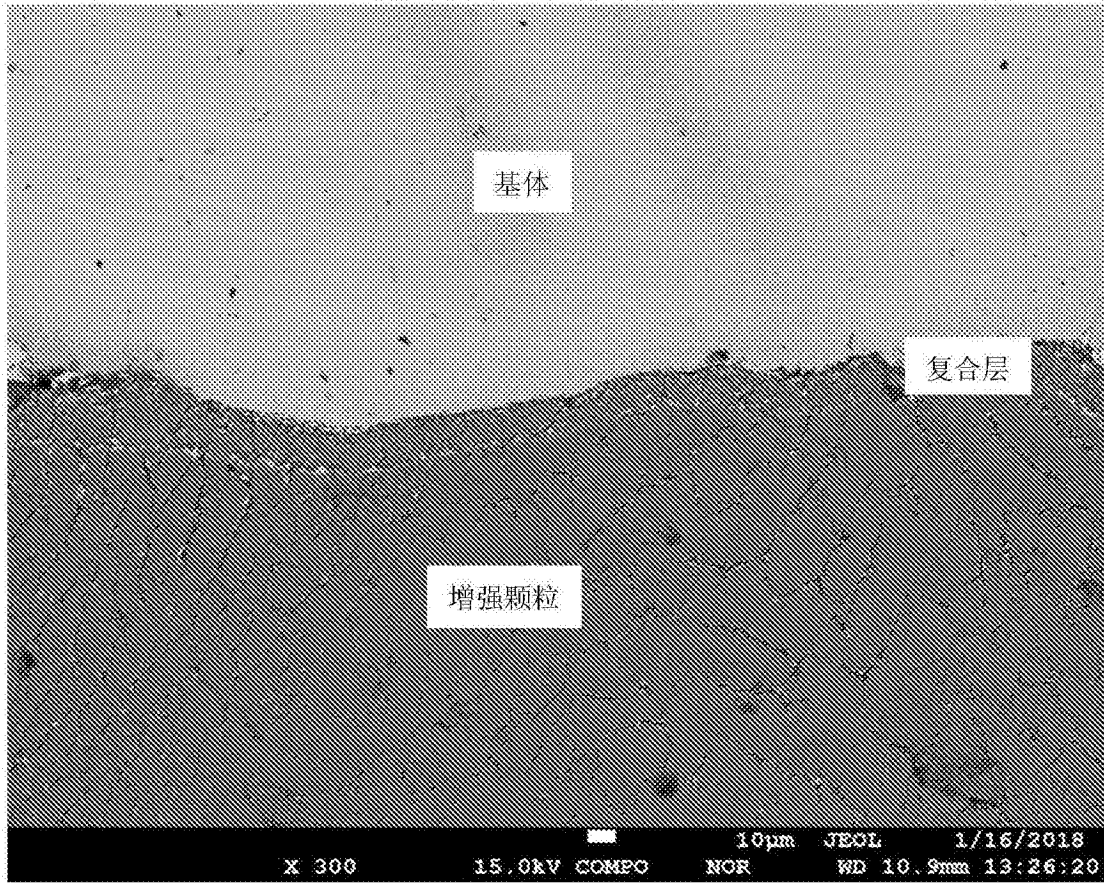


图7

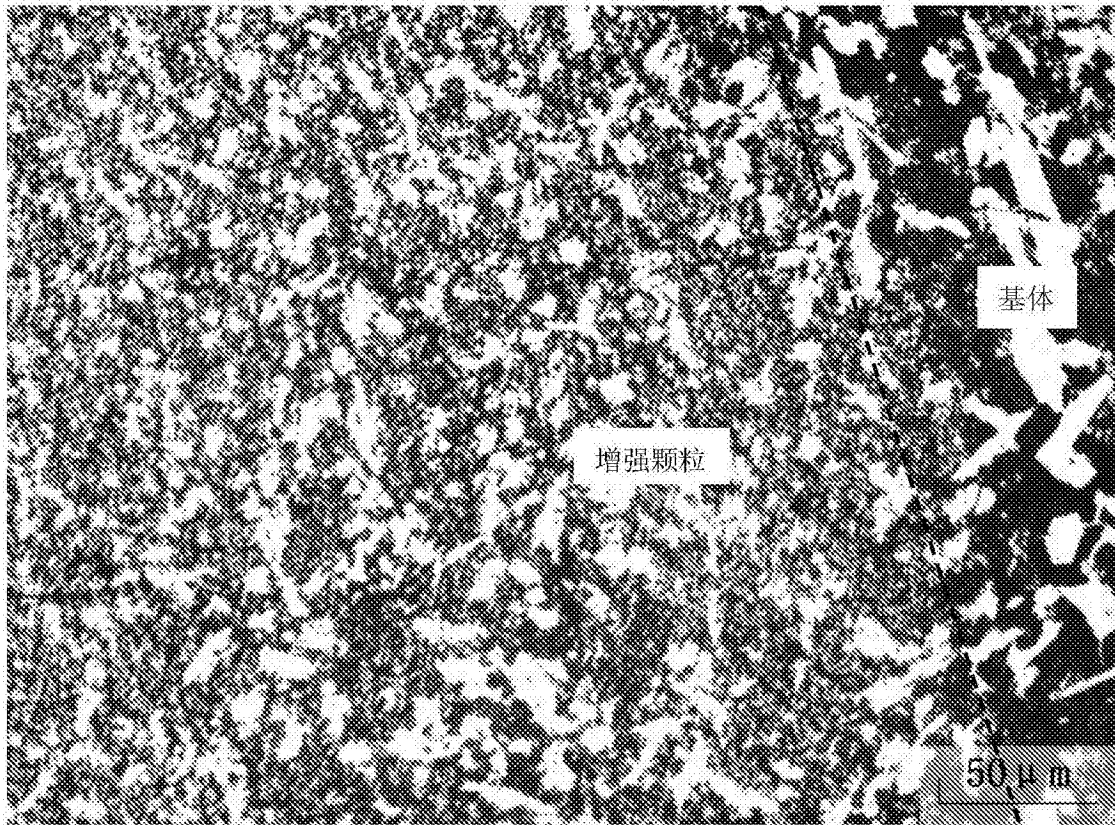


图8

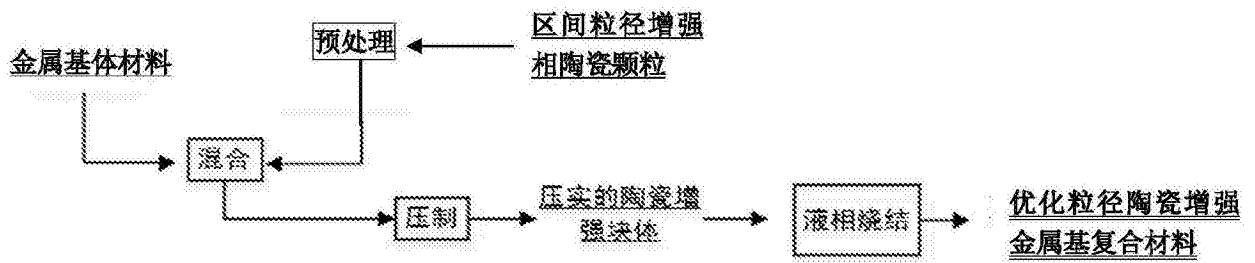


图9

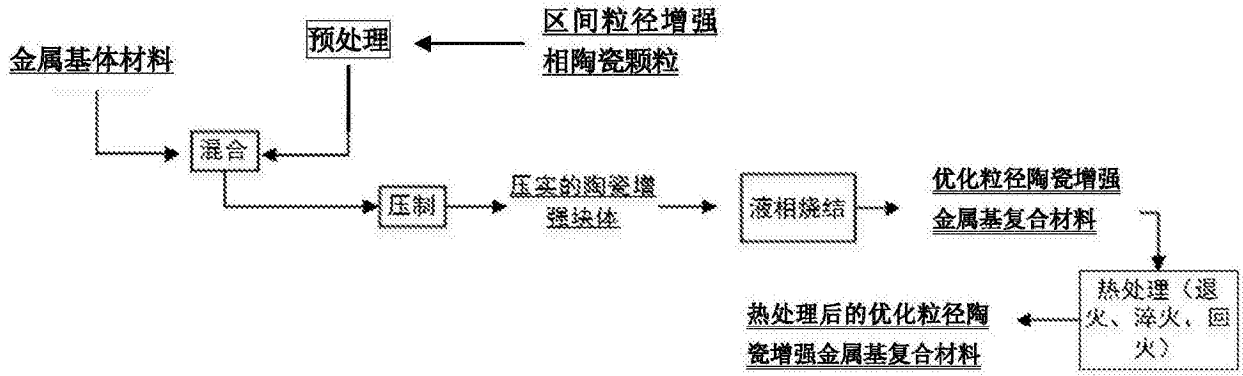


图10

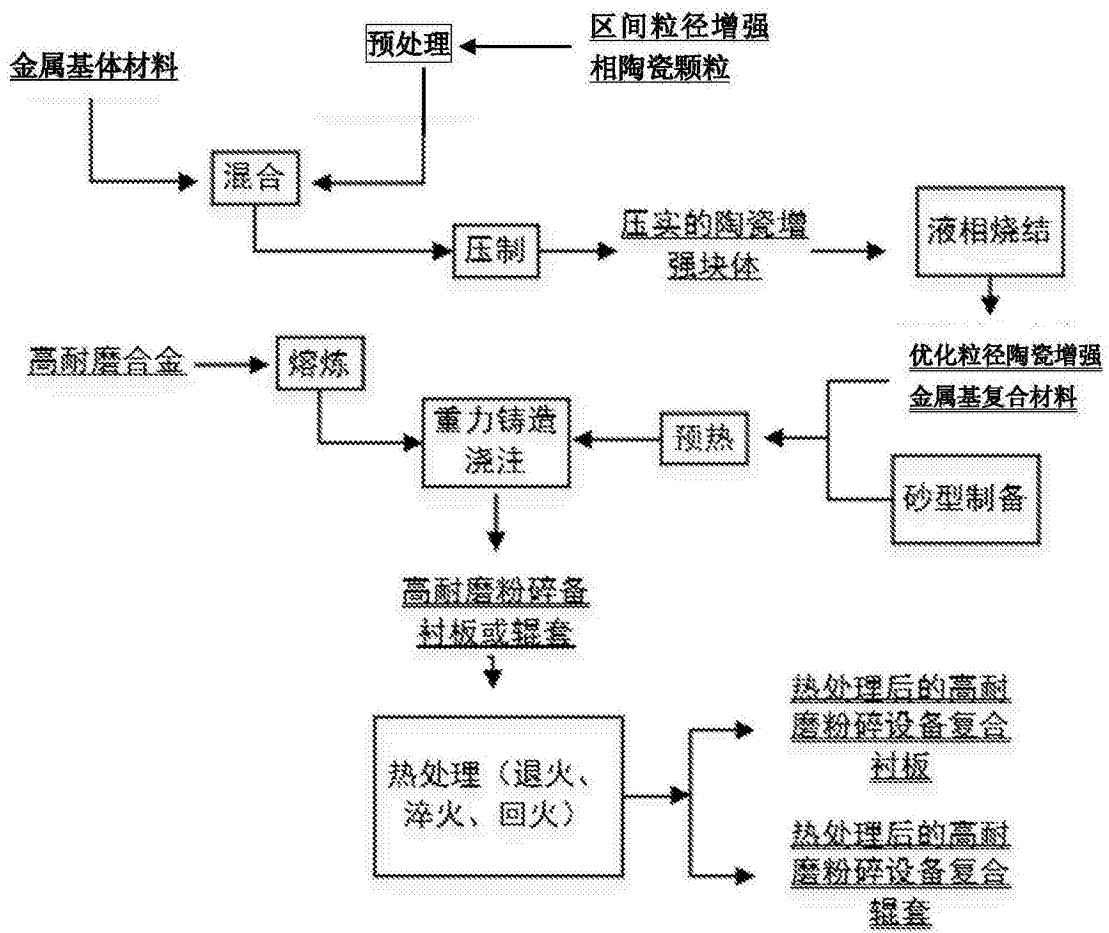


图11