



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110608611 B

(45) 授权公告日 2021.04.06

(21) 申请号 201911052713.1

F27D 19/00 (2006.01)

(22) 申请日 2019.10.31

G04B 35/563 (2006.01)

G04B 35/64 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110608611 A

(56) 对比文件

(43) 申请公布日 2019.12.24

CN 109093112 A, 2018.12.28

CN 103962489 A, 2014.08.06

(73) 专利权人 中南大学

KR 20130077490 A, 2013.07.09

地址 410083 湖南省长沙市麓山南路932号

JP S5424208 A, 1979.02.23

专利权人 中南大学深圳研究院

JP 2012106929 A, 2012.06.07

(72) 发明人 李瑞迪 陈雨 袁铁锤 牛朋达

DE 2852429 A1, 1979.06.13

周志辉 张梅

WO 03061868 A1, 2003.07.31

(74) 专利代理机构 南京禹为知识产权代理事务  
所(特殊普通合伙) 32272

CN 2915483 Y, 2007.06.27

CN 107266075 A, 2017.10.20

代理人 王江南

审查员 谢德娟

(51) Int. Cl.

F27B 17/00 (2006.01)

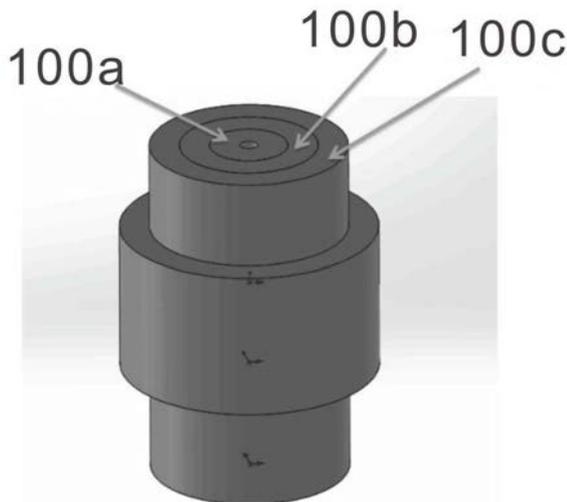
权利要求书1页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法,包括制备烧结模具,所述模具包括模冲和模套,所述模冲从心部至外层分为三层,分别为第一模冲、第二模冲、第三模冲,各模冲之间呈套筒结构;将碳化硼粉末置于所述模具中;沿着模冲的轴向方向分别对所述第一模冲、第二模冲、第三模冲施加不同的压力,烧结。本发明烧结模具结构简单,操作方便,制备出来的碳化硼轴承沿径向的晶粒度呈梯度分布,不仅可以减小轴承内部应力集中现象,而且当梯度层材料分布合理时,能够有效的降低“边缘效应”,提高轴承的承载能力以及使用寿命。



1. 一种具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法,其特征在于:包括,制备烧结模具,所述模具包括模冲和模套,所述模冲从心部至外层分为三层,分别为第一模冲、第二模冲、第三模冲,各模冲之间呈套筒结构;将碳化硼粉末置于所述模具中;沿着模冲的轴向方向分别对所述第一模冲、第二模冲、第三模冲施加不同的压力,烧结。
2. 如权利要求1所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法,其特征在于:所述施加不同的压力,为对所述第一模冲施加25~35MPa的压力、对所述第二模冲施加30~35MPa的压力、对所述第三模冲施加35~40MPa的压力。
3. 如权利要求2所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法,其特征在于:所述模具,其组成部分除保温材料外均为导电石墨或耐高温金属材料。
4. 如权利要求1~3中任一项所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法,其特征在于:所述烧结,温度为1600℃,保温时间5min。
5. 如权利要求1~3中任一项所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法,其特征在于:所述烧结,其中,烧结过程中保护气体为Ar。
6. 如权利要求1~3中任一项所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法,其特征在于:还包括,在所述碳化硼粉末与所述模具之间放置一层保护材料。
7. 如权利要求6所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法,其特征在于:所述保护材料,为石墨纸。
8. 如权利要求2所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法,其特征在于:对所述第一模冲施加30MPa的压力、对所述第二模冲施加35MPa的压力、对所述第三模冲施加40MPa的压力。
9. 如权利要求1~3中任一项所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法,其特征在于:所述具有梯度晶粒的碳化硼轴承,其表面具有高的耐磨性能、高硬度,同时心部具有高温稳定性和抗蠕变性能。

## 一种具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于轴承制备技术领域,具体涉及一种具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法。

### 背景技术

[0002] 碳化硼由碳、硼两种元素组成,其化学计量式为 $B_4C$ ,晶胞呈六棱形多面结构,同时碳化硼具有许多的同素异构体,如具有斜方六面体结构的 $B_{13}C_2$ 、 $B_{12}C_3$ 以及与之相接近的 $B_{13}C_3$ 相,正是由于碳化硼复杂的晶体结构以及多种多样的同素异构体使得碳化硼具备优良的物理性能。

[0003] 碳化硼材料作为一种硬度大、熔点高,耐磨损、耐腐蚀性能好,自润滑及制自抛光性能优良的稳定性材料,被广泛的应用于陶瓷、工业材料、航空航天以及汽车、机械零部件等领域。

[0004] 功能梯度材料作为一种新型的功能材料,在各个领域已经得到了广泛的应用,其不同于一般的复合材料具有分散相分布均匀并且整体性能统一的特征。但在很多情况下,人们往往希望在材料的两侧表现出不同的性能,因此对功能梯度材料的研究一度成为当时的热点。

[0005] 热压烧结是一种典型的快速烧结的方法,近年来被广泛应用于各类粉末冶金材料的制备中,其基本原理是通过施加力和温度场促进粉末收缩,也可以在热力基础上再施加电流,以达到快速致密化。

[0006] 传统方法制备的碳化硼轴承材料内部组织往往是由单晶组成,细晶的碳化硼轴承强度硬度高、耐磨损性能好,但在抗高温蠕变性能方面却存在明显得不足;而晶粒为粗晶时,则存在强度低,耐腐蚀、耐磨损差等缺点。

### 发明内容

[0007] 本部分的目的在于概述本发明的实施例的一些方面以及简要介绍一些较佳实施例。在本部分以及本申请的说明书摘要和发明名称中可能会做些简化或省略以避免使本部分、说明书摘要和发明名称的目的模糊,而这种简化或省略不能用于限制本发明的范围。

[0008] 作为本发明其中一个方面,本发明提供一种具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法。

[0009] 为解决上述技术问题,本发明提供了如下技术方案:一种具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法,其包括,

[0010] 制备烧结模具,所述模具包括模冲和模套,所述模冲从心部至外层分为三层,分别为第一模冲、第二模冲、第三模冲,各模冲之间呈套筒结构;

[0011] 将碳化硼粉末置于所述模具中;

[0012] 沿着模冲的轴向方向分别对所述第一模冲、第二模冲、第三模冲施加不同的压力,烧结。

[0013] 作为本发明所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法的一种优选方案:所述施加不同的压力,为对所述第一模冲施加25~35MPa的压力、对所述第二模冲施加30~35MPa的压力、对所述第三模冲施加35~40MPa的压力。

[0014] 作为本发明所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法的一种优选方案:所述模具,其组成部分除保温材料外均为导电石墨或耐高温金属材料。

[0015] 作为本发明所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法的一种优选方案:所述烧结,温度为1600℃,保温时间5min。

[0016] 作为本发明所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法的一种优选方案:所述烧结,其中,烧结过程中保护气体为Ar。

[0017] 作为本发明所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法的一种优选方案:还包括,在所述碳化硼粉末与所述模具之间放置一层保护材料。

[0018] 作为本发明所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法的一种优选方案:所述保护材料,为石墨纸。

[0019] 作为本发明所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法的一种优选方案:对所述第一模冲施加30MPa的压力、对所述第二模冲施加35MPa的压力、对所述第三模冲施加40MPa的压力。

[0020] 作为本发明所述的具有梯度晶粒的碳化硼轴承的制备方法的一种优选方案:所述具有梯度晶粒的碳化硼轴承,其表面具有高的耐磨性能、高硬度,同时心部具有高温稳定性和抗蠕变性能。

[0021] 本发明的有益效果:本发明的碳化硼梯度轴承烧结模具,由模冲和模套两部分构成,其中模冲由模冲1、模冲2、模冲3三部分构成,各模冲之间呈套筒式结构,该模具的特点是在烧结过程中,可以通过控制各模冲施加压力的大小,使得热压烧结碳化硼轴承的密度与晶粒度呈梯度分布,该种新型模具用于制备表面细晶、心部粗晶的碳化硼轴承材料,从而使碳化硼轴承材料表面具有高的耐磨性能、高硬度,同时也保证了心部良好的高温稳定性和抗蠕变性能,大大的提升了轴承的使用寿命。

## 附图说明

[0022] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。其中:

[0023] 图1是本发明所设计的新型模具的SolidWorks三维模型图。

[0024] 图2是本发明所设计的新型模具的平面结构示意图。

[0025] 图3是图2A-A的剖视图。

[0026] 图4为本发明中的SPS烧结装置工作原理图。

[0027] 图5是经过研磨过后碳化硼粉末SEM图。

[0028] 图6为实施例2烧结所得样品的微观组织形貌对比图,其中的(a)为样品心部的微观组织,(b)为样品表面的微观组织。

[0029] 图7是实施例2烧结所得样品的微观组织梯度分布图,其中的(a)、(b)、(c)分别为

样品心部、中部以及表层的金相组织图。

### 具体实施方式

[0030] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合具体实施例对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0031] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明，但是本发明还可以采用其他不同于在此描述的其它方式来实施，本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似推广，因此本发明不受下面公开的具体实施例的限制。

[0032] 其次，此处所称的“一个实施例”或“实施例”是指可包含于本发明至少一个实现方式中的特定特征、结构或特性。在本说明书中不同地方出现的“在一个实施例中”并非均指同一个实施例，也不是单独的或选择性的与其他实施例互相排斥的实施例。

[0033] 实施例1：

[0034] 图1是本发明所设计的新型模具的SolidWorks三维模型图，图2是本发明所设计的新型模具的平面结构示意图，图3是图2A-A的剖视图，本发明的烧结模具100由模冲和模套100d两部分构成，其中模冲由模冲100a、模冲100b、模冲100c三部分构成，各模冲之间独立并呈套筒式结构，所选模具可烧结最大试样尺寸为80mm，烧结温度最高可达2400℃，保护气体一般选用Ar或N<sub>2</sub>，模冲的最大压力为250KN，本发明模具各组成部分中除保温材料外选用可导电石墨或耐高温的金属作为材料，本实施例以导电石墨为例。

[0035] 选用纯度约为99%的碳化硼粉末(W1.5)，主要烧结设备为放电等离子烧结炉，可烧结样品规格范围为Φ20~80mm，保温阶段的电流密度控制在342.4A/cm<sup>2</sup>。

[0036] 图4为本发明中的SPS烧结装置工作原理图，其中，SPS烧结装置由烧结模具100、模具上压头101、模具下压头102、电源200、数据采集系统300、控制系统400、液压系统500、水冷铜电极600以及石墨圆柱700组成。

[0037] 用电子天平称取研磨过后的碳化硼粉末25g(如图4，B/C比4.33，中位粒径1.06μm)，然后将称量好的粉末装入模具中，并置于SPS装置内进行活化烧结，通过控制烧结机的液压加载系统，在电动机的驱动下通过设定不同模冲下的溢流阀的电液比例，将模冲100a(即第一模冲)、模冲100b(即第二模冲)、模冲100c(即第三模冲)上施加的压力(压力沿着模冲的轴向方向施加)分别调节为20MPa、25MPa、30MPa，烧结温度设置为1600℃，保温时间5min。待烧结完成后，脱去石墨模具，将样品磨去表面的石墨纸以及黑色碳化物层，随后将烧结得到的致密块体用线切割加工成测试所需形状尺寸的试样。经过上述步骤，所得产品是具有梯度结构的碳化硼轴承材料。

[0038] 样品表征：

[0039] 致密度根据阿基米德排水法测量可得；

[0040] 显微硬度采用BUTHLER5104显微硬度计测得；

[0041] 高温抗弯强度采用三点弯曲法在电子拉伸试验机上测定，试验机上需附加高温炉，试验跨距20mm，压头移动速度0.5mm/min，测试温度200℃、400℃、600℃、800℃；

[0042] 摩擦磨损性能采用UMT-3摩擦磨损试验机碳化硼表面进行摩擦磨损测试，摩擦磨损测试所用对偶件为Φ9.5mm的铬(Cr)钢球，硬度为62HRC，测试过程的参数设置为：对偶件的往返速度为180r/min，载荷为5N，测试时间为15min。

[0043] 金相分析先经过4%的硝酸酒精溶液腐蚀,然后采用扫描电子显微镜观测样品腐蚀过后的微观组织形貌;

[0044] 试验结果表明,烧结过后的样品表面的致密度可达到 $2.42\text{g}/\text{cm}^3$ ,显微硬度平均为 $32.84\text{GPa}$ ,同时其心部在 $200^\circ\text{C}$ 、 $400^\circ\text{C}$ 、 $600^\circ\text{C}$ 以及 $800^\circ\text{C}$ 下的高温抗弯强度分别为 $408.95\text{MPa}$ 、 $402.67\text{MPa}$ 、 $382.27\text{MPa}$ 、 $368.04\text{MPa}$ ;样品表面的摩擦系数则保持在0.43左右。

[0045] 实施例2:

[0046] 选用纯度约为99%碳化硼粉末(W1.5),主要烧结设备为放电等离子烧结炉,可烧结样品规格范围为 $\Phi 20\sim 80\text{mm}$ ,保温阶段的电流密度控制在 $342.4\text{A}/\text{cm}^2$ 。

[0047] 制备方法:

[0048] 用电子天平称取碳化硼粉末 $25\text{g}$ (如图4,B/C比4.33,中位粒径 $1.06\mu\text{m}$ ),然后将称量好的粉末装入设计的新型模具中,并置于SPS装置内进行活化烧结,通过控制烧结机的液压加载系统,在电动机的驱动下通过设定不同模冲下的溢流阀的电液比例,将模冲100a(即第一模冲)、模冲100b(即第二模冲)、模冲100c(即第三模冲)上施加的压力分别调节为 $30\text{MPa}$ 、 $35\text{MPa}$ 、 $40\text{MPa}$ 的压力(压力沿着模冲的轴向方向施加),烧结温度设置为 $1600^\circ\text{C}$ ,保温时间 $5\text{min}$ 。待烧结完成后,脱去石墨模具,将样品磨去表面的石墨纸以及黑色碳化物层,随后将烧结得到的致密块体用线切割加工成测试所需形状尺寸的试样。经过上述步骤,所得产品是具有梯度结构的碳化硼轴承材料。

[0049] 样品表征:

[0050] 致密度根据阿基米德排水法测量可得;

[0051] 显微硬度采用BUTHLER5104显微硬度计测得;

[0052] 高温抗弯强度采用三点弯曲法在电子拉伸试验机上测定,试验机上需附加高温炉,试验跨距 $20\text{mm}$ ,压头移动速度 $0.5\text{mm}/\text{min}$ ,测试温度 $200^\circ\text{C}$ 、 $400^\circ\text{C}$ 、 $600^\circ\text{C}$ 、 $800^\circ\text{C}$ ;

[0053] 摩擦磨损性能采用UMT-3摩擦磨损试验机碳化硼表面进行摩擦磨损测试,摩擦磨损测试所用对偶件为 $\Phi 9.5\text{mm}$ 的铬(Cr)钢球,硬度为 $62\text{HRC}$ ,测试过程的参数设置为:对偶件的往返速度为 $180\text{r}/\text{min}$ ,载荷为 $5\text{N}$ ,测试时间为 $15\text{min}$ 。

[0054] 金相分析先经过4%的硝酸酒精溶液腐蚀,然后采用扫描电子显微镜观测样品腐蚀过后的微观组织形貌;

[0055] 试验结果表明,烧结过后的样品表面的致密度 $2.49\text{g}/\text{cm}^3$ ,显微硬度平均为 $38.19\text{GPa}$ ,同时其心部在 $200^\circ\text{C}$ 、 $400^\circ\text{C}$ 、 $600^\circ\text{C}$ 以及 $800^\circ\text{C}$ 下的高温抗弯强度分别为 $425.13\text{MPa}$ 、 $423.04\text{MPa}$ 、 $404.44\text{MPa}$ 、 $395.3\text{MPa}$ ;样品表面的摩擦系数则保持在0.36。

[0056] 如图1所示,本发明中设计的新型烧结模具由模冲,模套两部分构成,其中模冲由模冲100a、模冲100b、模冲100c三部分构成,各模冲之间呈套筒式结构。烧结过程中,将碳化硼粉末注入到模腔中,然后再根据工程所需的碳化硼轴承材料的性能指标,分别对外模冲100a、模冲100b、模冲100c施加不同程度的压力,同时外部施加一定的温度场,使得模腔内部以及外部的粉末出现不同晶粒结晶度的现象,从而得到工程所需的碳化硼梯度轴承材料。本发明用于制备碳化硼梯度材料的烧结模具,由模冲100a、模冲100b、模冲100c,模套三部分构成,所选模具可烧结最大试样尺寸为 $80\text{mm}$ ,烧结温度最高可达 $2400^\circ\text{C}$ ,保护气体选用Ar,模冲的最大压力为 $250\text{KN}$ 。烧结过程中将碳化硼粉末置于模具中,通过控制烧结机的液压加载系统,在电动机的驱动下通过设定不同模冲下的溢流阀的电液比例,从而实现压力

的分层传输,压力可以通过压力传感器检测,并通过压力表记录数据,烧结保温时间5min,整个过程中样品处于保护气氛下,最后通过记录烧结过程中模冲的轴向位移量来计算烧结过程梯度材料各部分的致密化速率。

[0057] 在模具内部,为防止烧结样品与模具内壁之间产生扩散粘结,在样品与石墨模具之间可以增加一层保护材料,保护材料优选为石墨纸。

[0058] 本发明制备出来的碳化硼轴承沿径向的晶粒度呈梯度分布,不仅可以减小轴承内部应力集中现象,而且当梯度层材料分布合理时,可以有效的降低“边缘效应”,提高轴承的承载能力以及使用寿命。

[0059] 对照例1:

[0060] 选用纯度约为99%的碳化硼粉末(W1.5),主要烧结设备为放电等离子烧结炉,可烧结样品规格范围为 $\Phi 20\sim 80\text{mm}$ ,保温阶段的电流密度控制在 $342.4\text{A}/\text{cm}^2$ 。

[0061] 制备方法:

[0062] 用电子天平称取碳化硼粉末25g(如图4,B/C比4.33,中位粒径 $1.06\mu\text{m}$ ),然后将称量好的粉末装入设计的新型模具中,并置于SPS装置内进行活化烧结,通过控制烧结机的液压加载系统,在电动机的驱动下通过设定不同模冲下的溢流阀的电液比例,使得模冲100a、模冲100b、模冲100c上的压力均为25MPa,烧结温度设置为 $1600^\circ\text{C}$ ,保温时间5min。待烧结完成后,脱去石墨模具,将样品磨去表面的石墨纸以及黑色碳化物层,随后将烧结得到的致密块体用线切割加工成测试所需形状尺寸的试样。经过上述步骤,所得产品是具有梯度结构的碳化硼轴承材料。

[0063] 样品表征:

[0064] 致密度根据阿基米德排水法测量可得;

[0065] 显微硬度采用BUTHLER5104显微硬度计测得;

[0066] 高温抗弯强度采用三点弯曲法在电子拉伸试验机上测定,试验机上需附加高温炉,试验跨距20mm,压头移动速度 $0.5\text{mm}/\text{min}$ ,测试温度 $200^\circ\text{C}$ 、 $400^\circ\text{C}$ 、 $600^\circ\text{C}$ 、 $800^\circ\text{C}$ ;

[0067] 摩擦磨损性能采用UMT-3摩擦磨损试验机碳化硼表面进行摩擦磨损测试,摩擦磨损测试所用对偶件为 $\Phi 9.5\text{mm}$ 的铬(Cr)钢球,硬度为62HRC,测试过程的参数设置为:对偶件的往返速度为 $180\text{r}/\text{min}$ ,载荷为5N,测试时间为15min。

[0068] 金相分析先经过4%的硝酸酒精溶液腐蚀,然后采用扫描电子显微镜观测样品腐蚀过后的微观组织形貌;

[0069] 试验结果表明,烧结过后的样品表面的致密度可达到 $2.51\text{g}/\text{cm}^3$ ,显微硬度平均为 $28.17\text{GPa}$ ,同时其心部在 $200^\circ\text{C}$ 、 $400^\circ\text{C}$ 、 $600^\circ\text{C}$ 以及 $800^\circ\text{C}$ 下的高温抗弯强度分别为 $401.23\text{MPa}$ 、 $409.24\text{MPa}$ 、 $364.98\text{MPa}$ 、 $368.09\text{MPa}$ ;样品表面的摩擦系数则保持在0.52左右。

[0070] 如图5所示,通过观察样品的金相组织图发现,烧结过后的碳化硼晶粒组织由内向外呈明显的梯度分布,心部组织晶粒粗大、致密化程度低,反之表层的晶粒细小基本实现完全致密化。实施例2中通过在新型模具上施加不同梯度的压力确实能够使得制备的材料密度呈现梯度分布,而对比例1中未出现此现象。如图6所示,发现样品的表面的晶粒大小明显要大于样品心部的,且表面的致密化程度更高,并且通过对其力学性能比较可知,样品表面的强、硬度要明显大于心部的,而心部的高温力学性能则明显更优。表1为不同制备工艺下的碳化硼梯度材料的性能对比,从表中可以明显看出,采用本发明方法所制备出来的碳化

硼轴承梯度材料,相比于其他制备方法,在表面力学性能以及心部耐高温性能等方面表现出良好的优异性。

[0071] 对照例2:

[0072] 通过等离子喷涂的方法在基材表面制备碳化硼梯度材料,首先将第一百分含量的二氧化硅粉末与第二百分含量的碳化硼粉末混合成第一混合粉末,将第三百分含量的二氧化硅粉末与第四百分含量的碳化硼粉末混合成第二混合粉末,同时选择纯碳化硼粉末备用步骤,使用丙酮和无水乙醇对基材的表面进行清洗步骤,将所述第一混合粉末、第二混合粉末和纯碳化硼粉末通过等离子喷涂设备依次等离子喷涂在基材的表面,制备出碳化硼轴承材料。其中第一混合粉末、第二混合粉末和纯碳化硼粉末的粒度范围为 $5\sim 50\mu\text{m}$ ,等离子喷涂设备使用的离子气体为Ar和 $\text{H}_2$ ,等离子喷涂设备的电弧电压为 $40\sim 90\text{V}$ ,电弧电流为 $600\sim 900\text{A}$ ,送粉速度为 $15\sim 100\text{g}/\text{min}$ ,喷涂距离为 $60\sim 140\text{mm}$ ,送粉角度为 $50\text{度}\sim 90\text{度}$ 。

[0073] 对照例3:

[0074] 通过控制原料中碳化硼粉末粒度大小,从而对间接控制烧结过程中的电流密度分布,以此制备碳化硼梯度材料,其具体步骤:将碳化硼粉末粒度分布分别为高密度层 $D_1\leq 8\mu\text{m}$ 、 $D_2=2\pm 0.5\mu\text{m}$ 、 $D_2>0.3\mu\text{m}$ ,低密度层 $D_3\leq 200\mu\text{m}$ 、 $D_4=106\pm 9\mu\text{m}$ 、 $D_5\geq 45\mu\text{m}$ ,两种粉末碳化硼含量 $\geq 94.5\%$ 、总硼+总碳 $\geq 98\%$ ,采用纤维素为粘结造粒剂添加量为 $2\sim 20\%$ ,通过造粒处理后,制备出造粒料的休止角为 $\leq 39^\circ$ 。造粒方法是陶瓷粉末、钙和镁离子含量低于 $50\text{ppm}$ 的水、分散剂混合,以碳化硼陶瓷棒为磨介,在磨机中混合 $1\sim 5$ 小时,制成颗粒分散良好的料浆;在料浆中再加入造粒剂,继续混合 $1\sim 5$ 小时,制备适合造粒的浆料,通过造粒机对浆料进行造粒,得到粒度分布均匀,颗粒团聚体呈球形,流动性较好的造粒料。然后采用分层布料,分层升温的方法,在不同分层之间的金属粒子内部通过脉冲电流,但由于粒子半径大小的差异,在不同分层之间的电流密度产生不同,从而导致致密化程度出现梯度分布,实现由高密度层到低密度层的分布,装炉时坯体高密度层位于动压头一侧,烧结升温过程中压头预加压力 $\geq 3\text{MPa}$ ,热压烧结温度 $1850\sim 2300^\circ\text{C}$ ,以工业纯氩气为保护性气体,烧结时压头压力 $10\sim 35\text{MPa}$ ,保温保压 $10\sim 60$ 分钟,烧结完毕后,自然降温冷却,获得具有粒度梯度分布的碳化硼轴承材料。

[0075] 表1不同制备方法的碳化硼轴承性能对比

制备方法	致密度	显微硬度	抗弯强度 ( $800^\circ\text{C}$ )	摩擦系数
	$\text{g}/\text{cm}^3$	GPa	MPa	/
[0076] 对照例 2	2.34	22.64	320.3	0.43
对照例 3	2.37	26.64	327.3	0.41
实施例 2	2.49	38.19	395.3	0.36

[0077] 本发明的碳化硼梯度轴承烧结模具,由模冲和模套两部分构成,其中模冲由模冲

100a、模冲100b、模冲100c三部分构成,各模冲之间呈套筒式结构,该模具的特点是在烧结过程中,可以通过控制各模冲施加压力的大小,使得热压烧结碳化硼轴承的密度与晶粒度呈梯度分布,该种新型模具用于制备表面细晶、心部粗晶的碳化硼轴承材料,从而使碳化硼轴承材料表面具有高的耐磨性能、高硬度,同时也保证了心部良好的高温稳定性和抗蠕变性能,大大的提升了轴承的使用寿命。

[0078] 应说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

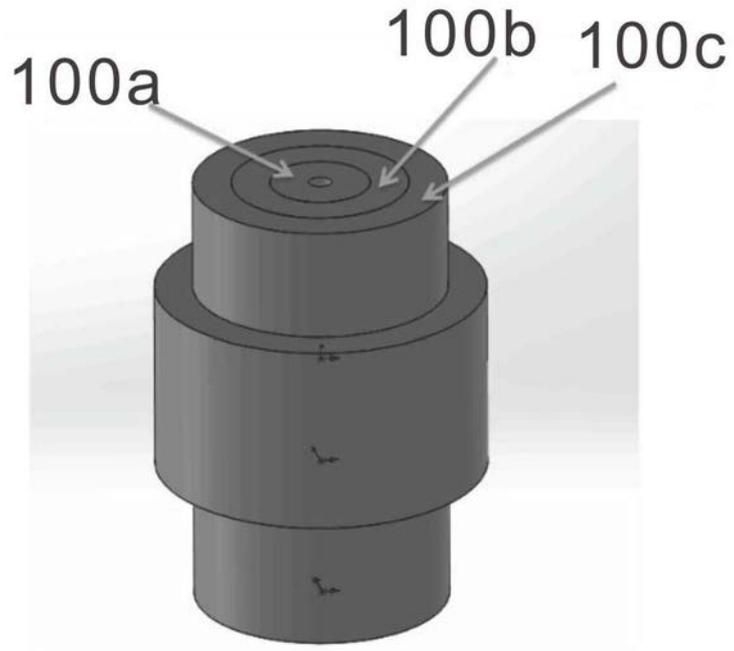


图1

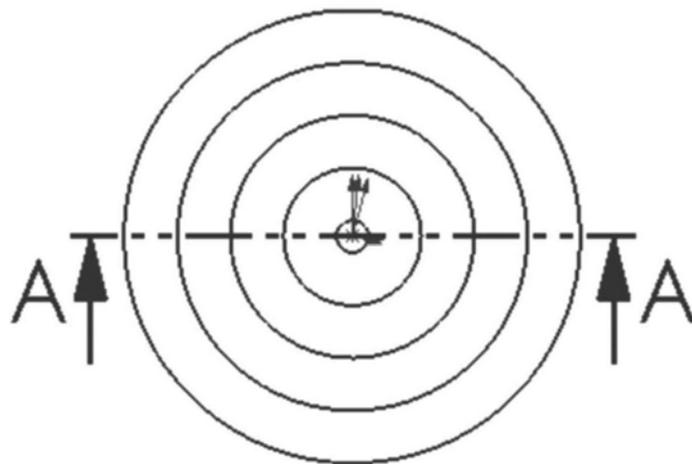


图2

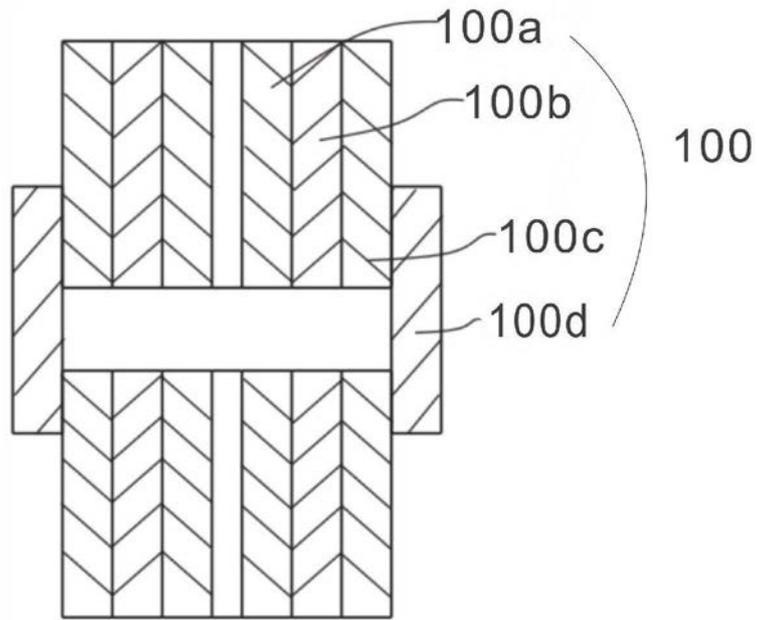


图3

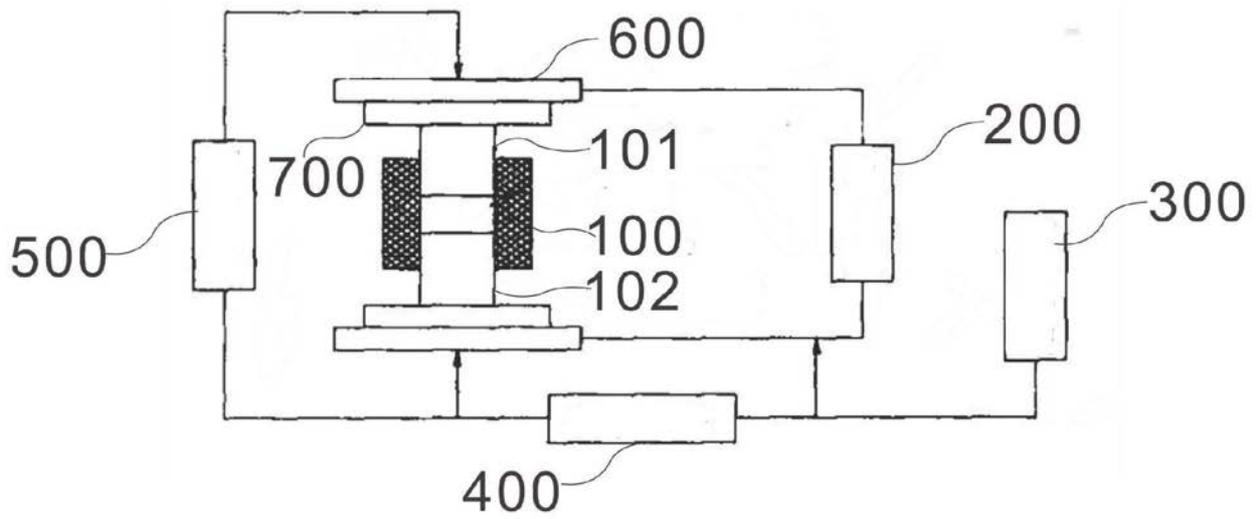


图4

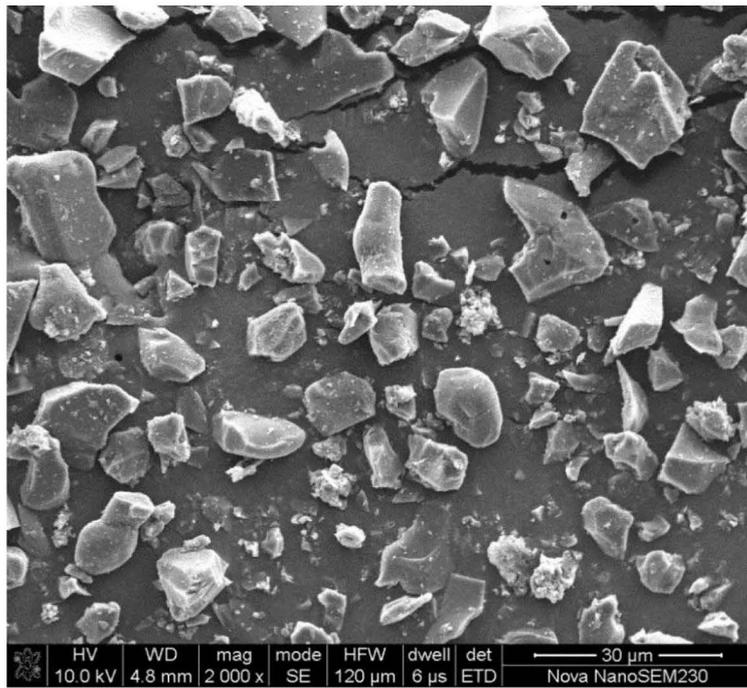


图5

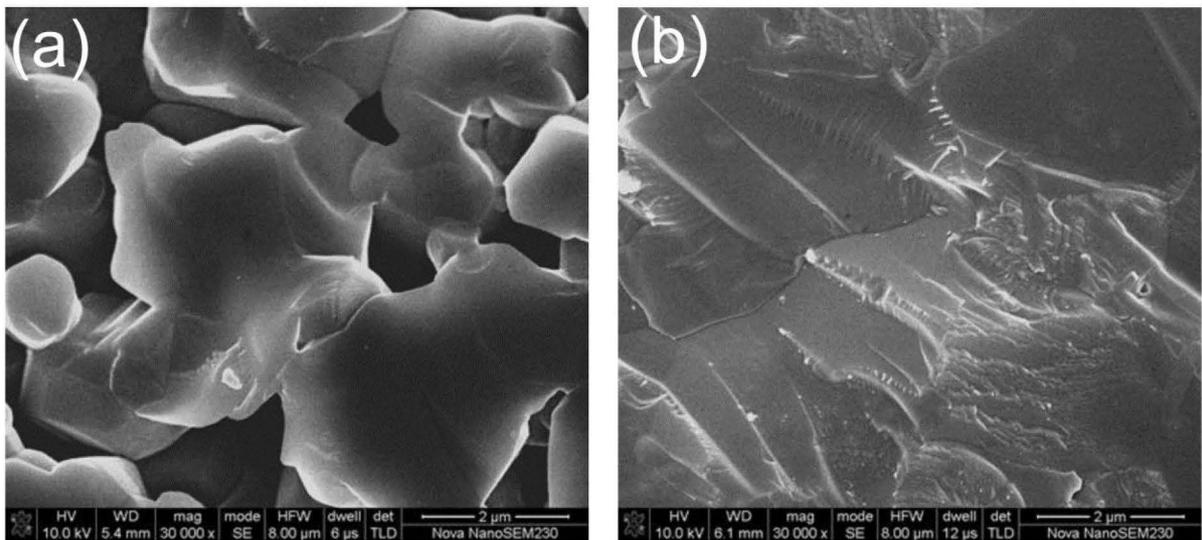


图6

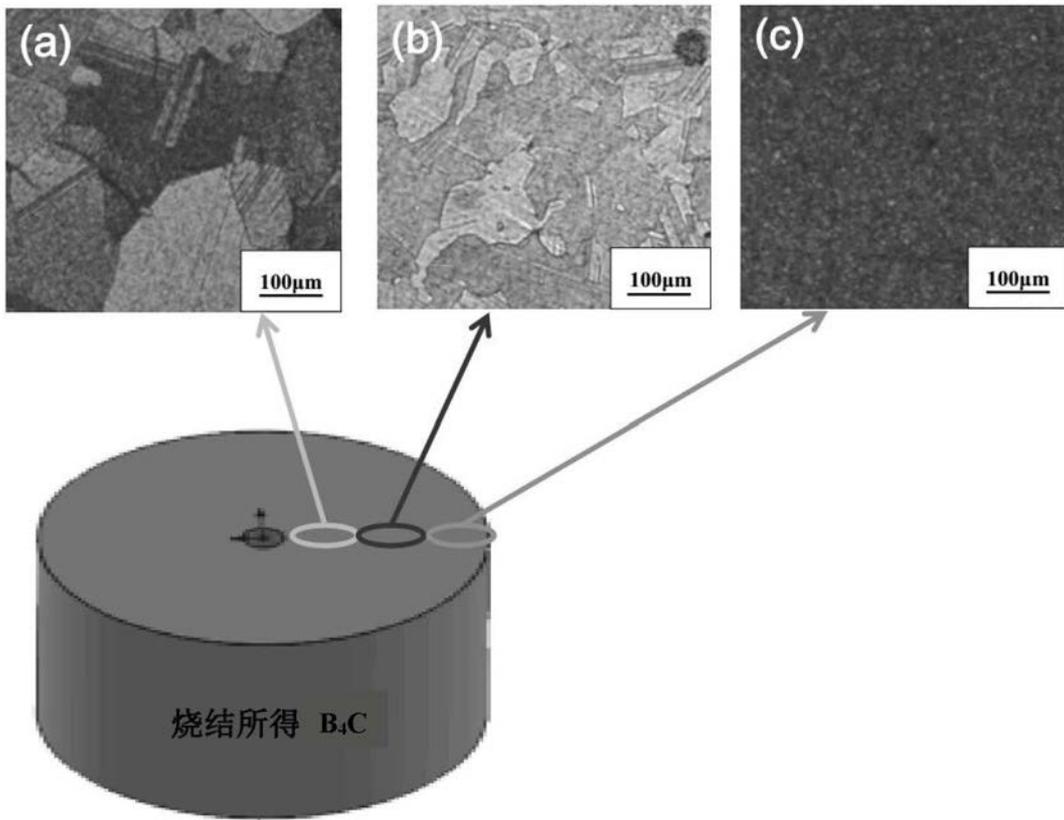


图7