



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112936121 B

(45) 授权公告日 2022. 09. 23

(21) 申请号 202110410474.3

审查员 王颖

(22) 申请日 2021.04.13

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112936121 A

(43) 申请公布日 2021.06.11

(73) 专利权人 苏州科技大学

地址 215009 江苏省苏州市科锐路1号

(72) 发明人 苗情 殷振 戴晨伟 曹自洋

赵彪 丁文锋

(74) 专利代理机构 苏州今迈知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 32524

专利代理师 张佩璇

(51) Int. Cl.

B24D 18/00 (2006.01)

B24D 3/20 (2006.01)

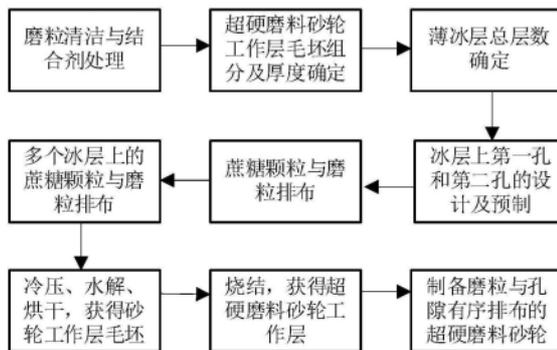
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

超硬磨料砂轮工作层及其制备方法、超硬磨料砂轮

(57) 摘要

本发明公开了一种超硬磨料砂轮工作层及其制备方法、超硬磨料砂轮。所述超硬磨料砂轮工作层包括N个相互叠加的磨料层, N≥2, 任一所述磨料层包括结合剂和阵列分布在所述结合剂中的多个磨粒, 任一所述磨料层的结合剂上阵列分布有多个孔隙, 多个所述磨粒和多个所述孔隙交错分布; 所述方法包括: 水解层层数确定、水解层上激光预制第一孔和第二孔的分布设计、分层布置超硬磨料磨粒和造孔剂、冷压成型及烧结砂轮工作层。本发明通过设计并实现磨粒与孔隙的空间有序分布, 所制得的砂轮工作层兼具高开放孔隙率、高磨粒锋利度等特性, 磨削性能优异。



1. 一种超硬磨料砂轮工作层的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:提供N个用于固定颗粒物的水解层,其中 $N \geq 2$ ,所述水解层上设有多个用于放置磨粒的第一孔和多个用于放置造孔剂的第二孔,多个所述第一孔和多个所述第二孔分别阵列分布;

步骤2:将第一个所述水解层放置于模具中,向第一个所述水解层的多个第一孔中放入磨粒,向第一个所述水解层的多个第二孔中放入造孔剂,随后在第一个所述水解层上放置结合剂以形成结合剂层;

步骤3:在所述结合剂层上放置第二个所述水解层后重复步骤2;

步骤4:重复步骤3,直至第N个所述水解层完成布置;

步骤5:采用挤压机对所述模具中的多个水解层、多个磨粒、多个造孔剂及多个结合剂层进行单向挤压,获得超硬磨料砂轮工作层毛坯;

步骤6:将所述超硬磨料砂轮工作层毛坯放入水中以溶解水解层和造孔剂,随后放入恒温装置中烘干;

步骤7:将步骤6中获得超硬磨料砂轮工作层毛坯放入真空钎焊炉内烧结,获得所述超硬磨料砂轮工作层。

2. 根据权利要求1所述的超硬磨料砂轮工作层的制备方法,其特征在于,所述水解层包括厚度介于 $200 \sim 300 \mu\text{m}$ 之间的冰层。

3. 根据权利要求1所述的超硬磨料砂轮工作层的制备方法,其特征在于,所述造孔剂包括蔗糖颗粒或尿素颗粒中的一种或多种,所述造孔剂粒径介于 $450 \sim 550 \mu\text{m}$ 之间。

4. 根据权利要求1所述的超硬磨料砂轮工作层的制备方法,其特征在于,所述结合剂层包括Cu-Sn-Ti合金,所述Cu-Sn-Ti合金的粒径介于 $15 \sim 30 \mu\text{m}$ 之间。

5. 根据权利要求1所述的超硬磨料砂轮工作层的制备方法,其特征在于,所述第一孔和所述第二孔交错分布。

6. 根据权利要求5所述的超硬磨料砂轮工作层的制备方法,其特征在于,奇数层的所述水解层上的第一孔与偶数层的所述水解层上的第二孔对应,奇数层的所述水解层上的第二孔与偶数层的所述水解层上的第一孔对应。

7. 根据权利要求1所述的超硬磨料砂轮工作层的制备方法,其特征在于,所述水解层上的第一孔和第二孔通过激光打标机制备。

8. 根据权利要求1所述的超硬磨料砂轮工作层的制备方法,其特征在于,所述水解层的层数通过以下数学表达式计算获得:

$$N = \frac{l_w}{1.6d_g}$$

式中, $l_w$ 为所述超硬磨料砂轮工作层的厚度,单位为mm; $d_g$ 为磨粒粒径,单位为 $\mu\text{m}$ 。

9. 一种超硬磨料砂轮工作层,其特征在于,包括N个相互叠加的磨料层,任一所述磨料层包括结合剂和阵列分布在所述结合剂中的多个磨粒,任一所述磨料层的结合剂上阵列分布有多个孔隙,多个所述磨粒和多个所述孔隙交错分布,所述超硬磨料砂轮工作层采用如权利要求1至8中任一项所述的方法制备。

10. 一种超硬磨料砂轮,其特征在于,包括如权利要求9所述的超硬磨料砂轮工作层。

## 超硬磨料砂轮工作层及其制备方法、超硬磨料砂轮

### 技术领域

[0001] 本发明涉及超硬磨料工具制造技术领域,具体的是一种超硬磨料砂轮工作层及其制备方法、超硬磨料砂轮。

### 背景技术

[0002] 镍基高温合金、钛合金等先进金属材料凭借优异的高温综合性能在航空航天、核工业等领域获得广泛应用。然而,这些先进材料给机械加工带来了巨大的困难。现阶段,超硬磨料砂轮(如CBN、金刚石砂轮等)因其优异的磨削性能成为先进金属材料高效精密加工的重要工具。

[0003] 超硬磨料砂轮工作层一般包含磨粒、孔隙、结合剂等组元。研究表明,相较于无序排布的磨粒和孔隙,按照一定规则排布的磨粒和孔隙有助于提升砂轮工作层的容屑空间、砂轮的锋利度等,从而提高砂轮整体的磨削能力、减轻砂轮磨损。经查询,文献[Ding et al.Grindability and surface integrity of cast nickel-based superalloy in creep feed grinding with brazed CBN abrasive wheels,Chinese Journal of Aeronautics,23 (2010) 501-510.]采用磨粒有序排布的单层钎焊CBN砂轮,有效降低了磨削过程中的能耗与磨削温度,但是由于砂轮只有单层磨粒,当因磨损导致磨粒脱落后,后续无法补充,致使砂轮使用寿命较短;发明专利[一种基于二硫化钼和开放孔隙的金属结合剂金刚石砂轮及其制备方法,公开号:CN111251200A]提出采用尿素作为造孔剂,实现多层金属结合剂金刚石砂轮的高孔隙率制造,但是由于金刚石磨粒、尿素均为无序排布,导致高孔隙率金刚石砂轮的磨削效果提升受限;发明专利[磨粒三维有序分布的立方氮化硼砂轮及其制备方法,公开号:CN102729157A]报导了通过将多颗CBN磨粒预先粘结一起,制作成CBN纤维磨粒,从而实现砂轮局部空间内磨粒的有序排布,有助于提升磨削效率,但磨粒的空间排布形式单一,且专利中未见砂轮孔隙的规则排布。

[0004] 以上文献所涉及的砂轮磨粒和孔隙的排布均是分开实施的,并未考虑多层超硬磨料砂轮的磨粒与孔隙的协同有序排布。事实上,只有同时实现多层超硬磨料砂轮的磨粒与孔隙的空间分布设计和控制,才能借助最优的砂轮工作层组元排布,促使多层超硬磨料砂轮在镍基高温合金、钛合金等难加工材料高效磨削中发挥出最大潜能。

### 发明内容

[0005] 为了克服现有技术中的缺陷,本发明实施例提供了一种超硬磨料砂轮工作层及其制备方法、超硬磨料砂轮,其目的在于通过设计和控制多层超硬磨料砂轮的磨粒与孔隙空间分布状态,提升多层超硬磨料砂轮的开放孔隙率、磨粒锋利度等特性,进而提升磨削性能,所得砂轮可以实现镍基高温合金等难加工材料的高效精密加工。

[0006] 本申请实施例公开了:一种超硬磨料砂轮工作层,包括N个相互叠加的磨料层, $N \geq 2$ ,任一所述磨料层包括结合剂和阵列分布在所述结合剂中的多个磨粒,任一所述磨料层的结合剂上阵列分布有多个孔隙,多个所述磨粒和多个所述孔隙交错分布。

[0007] 本申请实施例还公开了：一种多层超硬磨料砂轮工作层的制备方法，包括以下步骤：

[0008] 步骤1：提供N个用于固定颗粒物的水解层，其中 $N \geq 2$ ，所述水解层上设有多个用于放置磨粒的第一孔和多个用于放置造孔剂的第二孔，多个所述第一孔和多个所述第二孔分别阵列分布；

[0009] 步骤2：将第一个所述水解层放置于模具中，向第一个所述水解层的多个第一孔中一一放入磨粒，向第一所述水解层的多个第二孔中一一放入造孔剂，随后在第一个所述水解层上放置结合剂以形成结合剂层；至此，完成一个磨料层坯料的布置；

[0010] 步骤3：在所述结合剂层上放置第二个所述水解层后重复步骤2；

[0011] 步骤4：重复步骤3，直至第N个所述水解层完成布置；

[0012] 步骤5：采用挤压机对所述模具中的多个水解层、多个磨粒、多个造孔剂及多个结合剂层进行单向挤压，获得超硬磨料砂轮工作层毛坯；

[0013] 步骤6：将所述超硬磨料砂轮工作层毛坯放入水中以将水解层和造孔剂溶解，随后放入恒温装置中烘干；

[0014] 步骤7：将步骤6中获得超硬磨料砂轮工作层毛坯放入真空钎焊炉内烧结，获得所述超硬磨料砂轮工作层。

[0015] 具体地，所述磨粒可以是CBN(Cubic Boron Nitride,立方氮化硼)、金刚石等超硬磨粒。

[0016] 具体地，所述水解层采用能够被水溶解的材质制成，所述水解层包括厚度介于200~300 $\mu\text{m}$ 之间的冰层。当采用冰层作为水解层时，步骤1~步骤6需在温度小于0 $^{\circ}\text{C}$ 且温度保持稳定的环境下进行，以免冰层发生融化而无法控形。

[0017] 具体地，所述造孔剂包括蔗糖颗粒或尿素颗粒中的一种或多种，所述造孔剂的粒径介于450~550 $\mu\text{m}$ 之间。

[0018] 具体地，所述结合剂层包括Cu-Sn-Ti合金，所述Cu-Sn-Ti合金的粒径介于15~30 $\mu\text{m}$ 之间。

[0019] 具体地，所述第一孔和所述第二孔交错分布。奇数层的所述水解层上的第一孔与偶数层的所述水解层上的第二孔对应，奇数层的所述水解层上的第二孔与偶数层的所述水解层上的第一孔对应。更具体地来说，任一水解层上的多个第一孔可以呈矩阵分布，多个第二孔也可以呈矩阵分布，也即是，任一水解层上的多个第一孔可以分成多排，多个第二孔分成多排，每一排第一孔和每一排第二孔之间可以呈平行、垂直或者任意角度设置。当每一排第一孔和每一排第二孔呈平行设置时，较佳地，相邻两排第一孔之间可以设有一排第二孔，换句话说，多排第一孔和多排第二孔可以交替设置，奇数层的水解层上的第一孔和偶数层上的第二孔大体上对齐，奇数层上的第二孔和偶数层上的第一孔大体上对齐，如此，有利于提高超硬磨料砂轮工作层结构的稳定性，并实现超硬磨料砂轮工作层中磨粒与孔隙的空间排布。

[0020] 具体地，所述水解层上的第一孔和第二孔通过激光打标机制备。更具体地来说，在水解层表面上预先设定好位置，采用激光打标机进行打孔操作，用于放置磨粒的第一孔孔径可以略大于磨粒粒径，用于放置造孔剂的第二孔孔径略大于造孔剂粒径。较佳地，第一孔和第二孔均为通孔。

[0021] 具体地,所述水解层的层数通过以下数学表达式计算获得:

$$[0022] \quad N = \frac{l_w}{1.6d_g}$$

[0023] 式中, $l_w$ 为所述超硬磨料砂轮工作层的厚度,单位为mm; $d_g$ 为磨粒粒径,单位为 $\mu\text{m}$ 。

[0024] 本申请实施例还公开了:一种超硬磨料砂轮,其包括如本实施例所述的超硬磨料砂轮工作层。

[0025] 本发明至少具有如下有益效果:本发明通过向超硬磨料砂轮工作层添加蔗糖颗粒等造孔剂、采用薄冰层预先设计磨粒与孔隙的分布,实现了多层超硬磨料砂轮中磨粒与孔隙的空间协同布局调控,既改善了砂轮内部孔隙不连通的状况,增强了砂轮透水性,也同时提升了砂轮的锋利度和容屑空间,可为镍基高温合金、钛合金等难加工材料的高效加工提供高性能磨削工具。

[0026] 为了让本发明的上述和其他目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合所附图式,作详细说明如下。

## 附图说明

[0027] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术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的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0028] 图1是本发明实施例中超硬磨料砂轮工作层毛坯的结构示意图;

[0029] 图2是本发明实施例中超硬磨料砂轮工作层的制备流程图;

[0030] 图3-1是本发明实施例中奇数层的水解层上第一孔和第二孔的分布示意图;

[0031] 图3-2是本发明实施例中偶数层的水解层上第一孔和第二孔的分布示意图;

[0032] 图4是本发明实施例中CBN砂轮的结构示意图;

[0033] 图5-1是本发明实施例中CBN砂轮磨料层的扫描电镜图;

[0034] 图5-2是本发明实施例中CBN砂轮磨料层的光学显微镜图。

[0035] 以上附图的附图标记:1、造孔剂;2、磨粒;3、结合剂层;4、水解层;41、第一孔;42、第二孔。

## 具体实施方式

[0036] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0037] 结合图1、图2、图3-1、图3-2所示,本实施例的超硬磨料砂轮工作层的制备方法大体上包括:水解层4层数确定、水解层4上第一孔41和第二孔42的分布设计及激光打标机预制孔、分层布置磨粒2和造孔剂1、冷压成型及烧结超硬磨料砂轮工作层。其中,水解层4采用冰层,磨粒2采用CBN磨粒,造孔剂1采用蔗糖颗粒,结合剂层3采用Cu-Sn-Ti合金制备。按重量百分比计,超硬磨料砂轮工作层毛坯包括:粒径介于450~550 $\mu\text{m}$ 之间的蔗糖颗粒15%、粒

径介于350~415 $\mu\text{m}$ 之间的CBN磨粒25%、粒径介于15~30 $\mu\text{m}$ 之间的Cu-Sn-Ti合金50%、厚度介于200~300 $\mu\text{m}$ 之间的冰层10%，其中，Cu-Sn-Ti合金中，按质量百分比计，Ti含量10%，Cu含量为70%，Sn含量为20%。

[0038] 继续参照图1、图2、图3-1、图3-2所示，本实施例的超硬磨料砂轮工作层的制备方法具体如下：

[0039] 步骤1：磨粒2清洁。采用丙酮超声清洗CBN磨粒5min。

[0040] 步骤2：结合剂处理。采用胶头滴管将适量缩丁醛胶体溶液加入Cu-Sn-Ti合金结合剂中，充分搅拌后放入恒温箱中，在50 $^{\circ}\text{C}$ 条件下保持60min，充分干燥后放置在混料机中球磨粉碎，并过筛。

[0041] 步骤3：冰层数确定。设定砂轮的超硬磨料砂轮工作层厚度 $l_w$ 为20mm，CBN磨粒粒径 $d_g$ 平均为370 $\mu\text{m}$ ，根据如下式(1)确定冰层总数量N约为33个。

$$[0042] \quad N = \frac{l_w}{1.6d_g} \quad \text{式(1)}$$

[0043] 步骤4：冰层微细孔(第一孔41和第二孔42)的分布设计及激光预制。首先在冰层表面预先设定好位置，采用激光打标机进行打孔操作。用于放置蔗糖颗粒的第二孔42直径约为600 $\mu\text{m}$ ；用于放置CBN磨粒的第一孔41直径约为400 $\mu\text{m}$ ；第一孔41和第二孔42分别采用矩阵分布，第一孔41的分布路径与第二孔42的分布路径相互平行，相邻两排第一孔41之间分布有一排第二孔42。奇数层的任一排第一孔41与偶数层相应一排的第二孔42大体上对齐，奇数层的任一排第二孔42与偶数层相应一排的第一孔41大体上对齐。

[0044] 步骤5：蔗糖颗粒和磨粒2的排布。首先，调整实验室恒温装置，使得操作环境温度小于0 $^{\circ}\text{C}$ ，并保持温度稳定；其次，在冷压模具下方预铺一层结合剂层，随后用吸盘将冰层轻放入冷压模具；再次，将蔗糖颗粒放入第二孔42中、将CBN磨粒放入第一孔41中，每孔一颗；然后，将Cu-Sn-Ti合金均匀撒入模具中以形成结合剂层3，完成第一层CBN磨粒和蔗糖颗粒的二维有序排布；随后，采用相同方法完成其他层布置，并将多个冰层相互叠加设置，直到完成步骤3中所有冰层的布置，从而实现CBN磨粒和蔗糖颗粒的三维空间协同有序排布。

[0045] 步骤6：冷压成型及烧结。首先，将冷压模具放入到挤压机下单向挤压，挤压参数设置为：压力120MPa，保持5min后脱模，制成超硬磨料砂轮工作层毛坯；其次，将超硬磨料砂轮工作层毛坯放入水中充分溶解蔗糖和冰层，随后放入恒温箱中烘干，烘干参数设置为：50 $^{\circ}\text{C}$ ，保持120min；然后，将烘干的超硬磨料砂轮工作层毛坯放入真空钎焊炉内烧结，烧结参数设置为：温度850 $^{\circ}\text{C}$ 、升降温速率10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 、烧结保持时间12min；最后，随炉冷却至50 $^{\circ}\text{C}$ ，开炉取出超硬磨料砂轮工作层毛坯，从而制得磨粒与孔隙均有序排布的多层的超硬磨料砂轮工作层，进而制得磨粒与孔隙均有序排布的多层CBN砂轮。

[0046] 结合图4、图5-1、图5-2所示，采用本实施例的方法制备的超硬磨料砂轮工作层，由蔗糖颗粒形成的孔是开放性的连通孔，孔隙率达55%；烧结后的结合剂并未全部包埋烧结后的CBN磨粒，磨粒出露状态较好，且磨粒排布较为有序，砂轮锋利度能得到大幅提升。

[0047] 将采用本实施例的超硬磨料砂轮工作层制备的砂轮和采用普通的磨粒及孔隙均无序排布的CBN砂轮进行磨削对比实验，实验条件及参数为：平面磨削、工件材料为镍基高温合金GH4169、砂轮外径400mm、砂轮线速度80m/s、切深1mm、工件进给速度360mm/min，实验结果如下表1所示。

[0048] 表1本实施例CBN砂轮和磨粒及孔隙无序排布CBN砂轮磨削实验对比

砂轮类型	磨削力 F			磨削温度
	法向磨削力 $F_n$ (N/mm)	切向磨削力 $F_t$ (N/mm)	磨削力比 $F_n/F_t$	T (°C)
[0049] 磨粒及孔隙无序排布 CBN 砂轮	61	9.1	6.7	82
本实施例中 CBN 砂轮	50	8.5	5.8	78

[0050] 由上表1的数据可以看出,尽管在磨削温度方面本实施例多层CBN砂轮与磨粒及空隙无序排布的CBN砂轮表现相当,但更小的磨削力比值表明本实施例多层CBN砂轮拥有更好的砂轮锋利度,因此本实施例多层CBN砂轮降低磨削力的效果显著。证明了本发明涉及的多层超硬磨料砂轮的磨粒与孔隙空间协同分布设计及实现方法的有效性。

[0051] 本发明中应用了具体实施例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

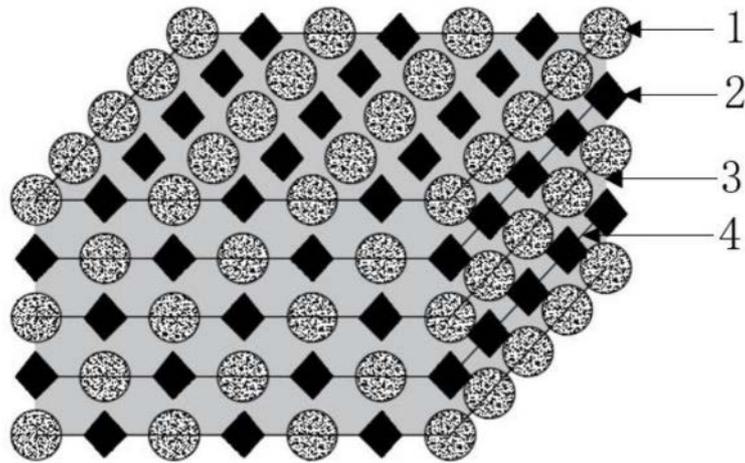


图1

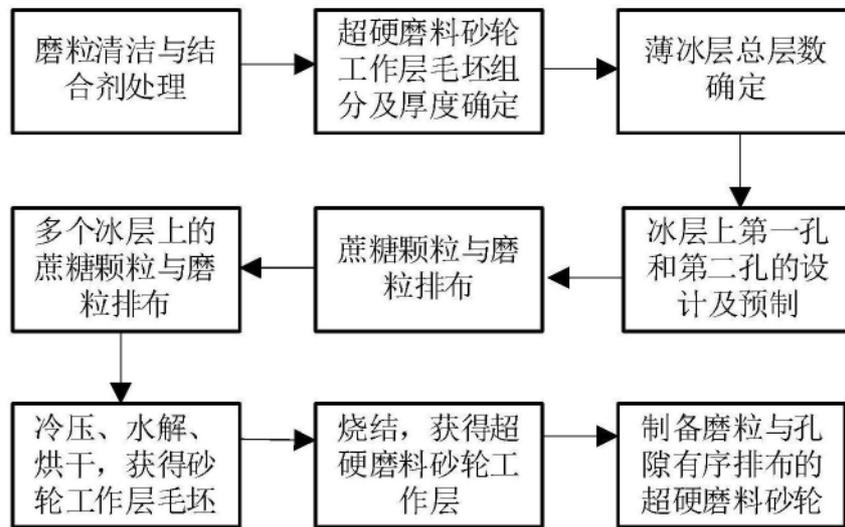


图2

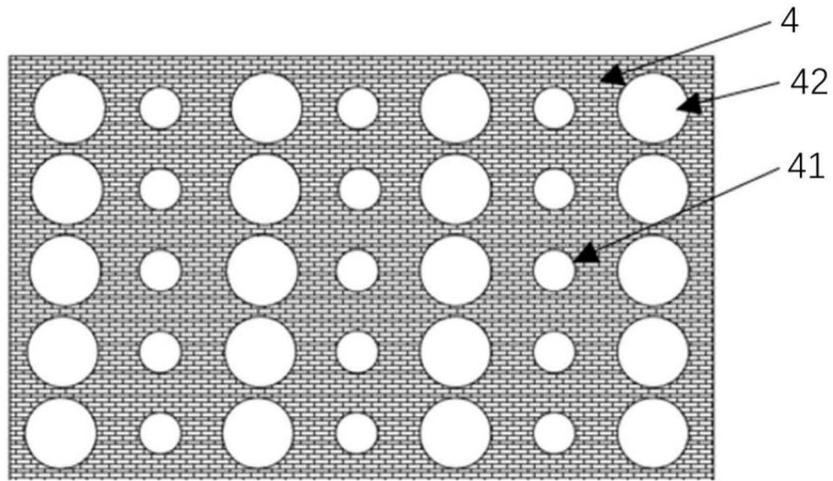


图3-1

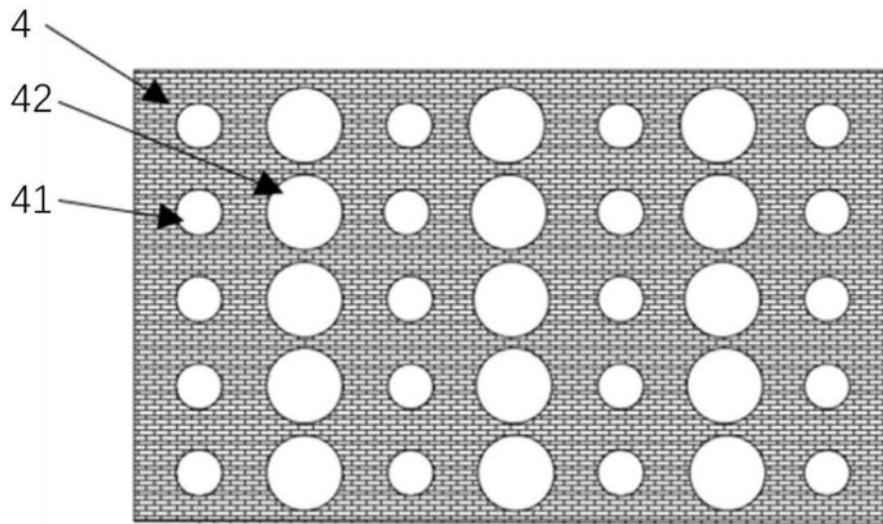


图3-2

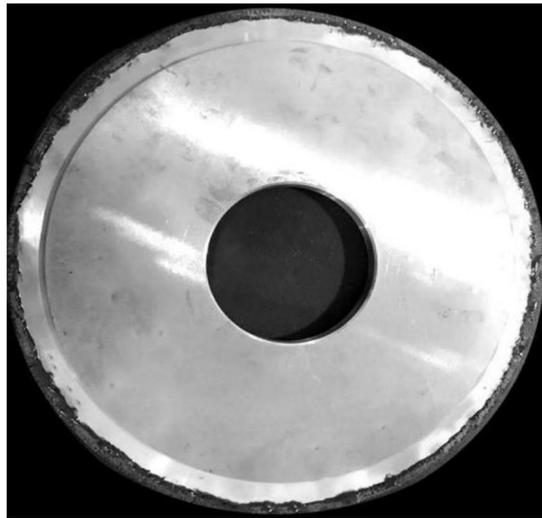


图4

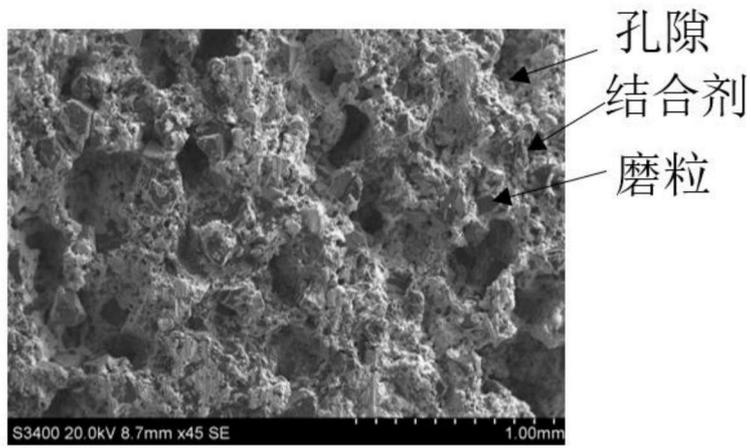


图5-1

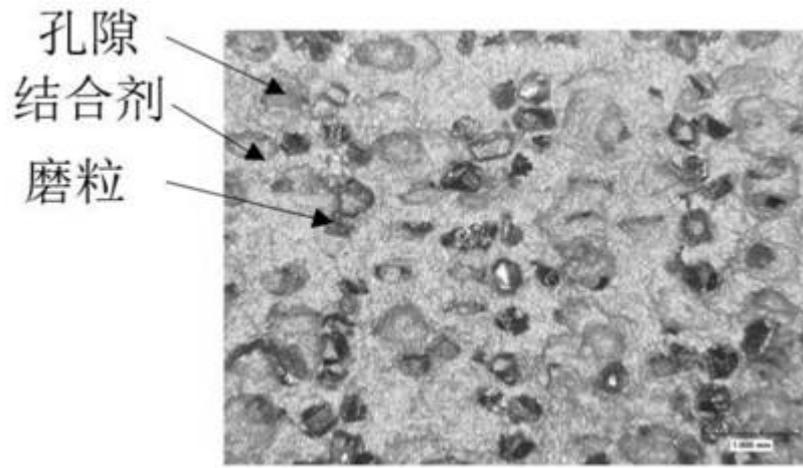


图5-2