



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109648081 A

(43)申请公布日 2019.04.19

(21)申请号 201910034811.6

(22)申请日 2019.01.15

(71)申请人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路
1037号

(72)发明人 宋波 张磊 刘瑞杰 史玉升

(74)专利代理机构 华中科技大学专利中心
42201

代理人 孔娜 曹葆青

(51) Int. Cl.

B22F 3/105(2006.01)

B33Y 10/00(2015.01)

B33Y 70/00(2015.01)

B22F 1/00(2006.01)

权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法

(57)摘要

本发明属于先进制造相关技术领域,其公开了一种原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,该方法包括以下步骤:(1)提供基体粉末材料,并在该基体粉末材料的表面掺杂增强材料以得到预混合材料,进而对该预混合材料进行筛分处理以得到混合材料;(2)对待制造五模材料结构零件的三维模型进行打印方向的设计及分层切片处理,进而依据该三维模型,采用该混合材料进行激光选区熔化加工制造该五模材料结构零件;其中,该基体粉末材料与该增强材料在激光的作用下发生原位反应以生成新化合物,该新化合物以空间均匀分布的形式位于该基体粉末材料的颗粒边界。本发明的工艺简单,提高了五模材料结构零件的机械性能,降低了成本。



1. 一种原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

(1) 提供基体粉末材料,并在所述基体粉末材料的表面掺杂增强材料以得到预混合材料,进而对所述预混合材料进行筛分处理以得到混合材料;

(2) 对待制造五模材料结构零件的三维模型进行打印方向的设计及分层切片处理,进而依据所述三维模型,采用所述混合材料进行激光选区熔化加工制造所述五模材料结构零件;其中,所述基体粉末材料与所述增强材料在激光的作用下发生原位反应以生成新化合物,所述新化合物以空间均匀分布的形式位于所述基体粉末材料的颗粒边界。

2. 如权利要求1所述的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,其特征在于:步骤(2)后还包括采用喷丸处理或者电化学腐蚀的方法去除所述五模材料结构零件上的粘附粉末的步骤。

3. 如权利要求1所述的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,其特征在于:经筛分处理得到的混合材料的粉末粒径为 $20\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ 。

4. 如权利要求1所述的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,其特征在于:步骤(2)中,将所述混合材料放置于激光选区熔化设备中,并对所述激光选区熔化设备的成形基板进行预热处理,同时完成所述设备的加工箱的抽真空后才进行激光选区熔化加工制造。

5. 如权利要求4所述的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,其特征在于:预热处理采用的预热温度为 $0^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

6. 如权利要求5所述的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,其特征在于:所述预热温度为 200°C 。

7. 如权利要求1-6任一项所述的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,其特征在于:所述激光的扫描层厚为 0.05mm ,扫描间距为 0.12mm 。

8. 如权利要求1-6任一项所述的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,其特征在于:所述基体粉末材料为Ti6Al4V,所述增强材料为TiB₂。

9. 如权利要求8所述的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,其特征在于:采用的激光功率为 $280\text{W}\sim 320\text{W}$,扫描速度为 $700\text{mm/s}\sim 900\text{mm/s}$ 。

10. 如权利要求1-6任一项所述的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,其特征在于:所述基体粉末材料为Ti6Al4V,所述增强材料为Ni。

一种原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法

技术领域

[0001] 本发明属于先进制造相关技术领域,更具体地,涉及一种原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法。

背景技术

[0002] 超材料是一类新型的人工合成材料,通常由周期性或者非周期性的人工微结构排列而成,具有天然材料所不具备的奇特物理性质。五模材料(Pentamode Material,PM)是一种新型超材料,其是弹性矩阵仅有一个特征值不为零的材料,是一种退化的弹性介质;只能承受与特征应力成比例的应力状态,在其余应力状态下会像流体一样在剪应力下发生流动,因此五模材料也是一种具有固态性质的复杂流体。利用五模材料与流体力学性能相近的特性,将其制备为潜艇等水下装备的外壳,当主动声呐探测过来时,五模材料外壳结构屏蔽探测声波,能够很好地起到“隐身斗篷”的作用。除“隐身斗篷”外,五模材料还可用于声学黑洞、声学超透镜、高指向性高增益水声换能器、宽频高透声系数导流罩等一系列新型声学设备的制备。开展五模材料的结构设计与制备技术研究,对于开发高性能水声器件、提高我国装备的作战性能具有重要的意义。

[0003] 然而,由于五模材料是由成百上千的周期性或者非周期性的微结构组成,具有结构复杂的特点,采用常规的(铸造、锻造、机加工)方法较难进行复杂结构成形,倘若分块加工容易降低整体零件的力学性能,而且会浪费大量的贵重金属,制造成本高。另外,随着国家和海洋工业对高性能潜艇等水下装备的迫切需求,目前已有的水声装置远不能满足远海战略的需求。相应地,本领域存在着发展一种机械性能较好的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法的技术需求。

发明内容

[0004] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,其基于现有五模材料的制备特点,研究及设计了一种机械性能较好的激光增材制造成形方法。所述成形方法通过激光热作用金属复合材料以发生原位反应而生成增强相以连续均匀分布的形式来增强五模材料的机械性能。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了一种原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,所述成形方法包括以下步骤:

[0006] (1) 提供基体粉末材料,并在所述基体粉末材料的表面掺杂增强材料以得到预混合材料,进而对所述预混合材料进行筛分处理以得到混合材料;

[0007] (2) 对待制造五模材料结构零件的三维模型进行打印方向的设计及分层切片处理,进而依据所述三维模型,采用所述混合材料进行激光选区熔化加工制造所述五模材料结构零件;其中,所述基体粉末材料与所述增强材料在激光的作用下发生原位反应以生成新化合物,所述新化合物以空间均匀分布的形式位于所述基体粉末材料的颗粒边界。

[0008] 进一步地,步骤(2)后还包括采用喷丸处理或者电化学腐蚀的方法去除所述五模

材料结构零件上的粘附粉末的步骤。

[0009] 进一步地,经筛分处理得到的混合材料的粉末粒径为 $20\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ 。

[0010] 进一步地,步骤(2)中,将所述混合材料放置于激光选区熔化设备中,并对所述激光选区熔化设备的成形基板进行预热处理,同时完成所述设备的加工箱的抽真空后才进行激光选区熔化加工制造。

[0011] 进一步地,预热处理采用的预热温度为 $0^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

[0012] 进一步地,所述预热温度为 200°C 。

[0013] 进一步地,所述激光的扫描层厚为 0.05mm ,扫描间距为 0.12mm 。

[0014] 进一步地,所述基体粉末材料为Ti6Al4V,所述增强材料为TiB₂。

[0015] 进一步地,采用的激光功率为 $280\text{W}\sim 320\text{W}$,扫描速度为 $700\text{mm/s}\sim 900\text{mm/s}$ 。

[0016] 进一步地,所述基体粉末材料为Ti6Al4V,所述增强材料为Ni。

[0017] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,本发明提供的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法主要具有以下有益效果:

[0018] 1.激光选区熔化工艺在成型精细复杂的零件方面有很大的技术优势,以五模材料结构模型进行激光选区熔化工艺成形保证了声学隐身功能;采用增强材料掺杂到基体粉末中,在激光选区熔化的激光作用下,增强材料会与基体材料发生原位反应,原位反应后的产物以均匀分布的形式存在于原始基体边界,从而提高五模材料结构的机械性能,降低了成本。

[0019] 2.所述方法可操作性和适用性强,在实际应用过程中,五模材料结构模型可依据水下装备的表面形状进行随形设计,金属复合材料可根据基体材料和机械性能需求来选择不同的增强材料。

[0020] 3.采用所述方法得制造五模材料结构零件,提高了五模材料抗压强度、疲劳极限、耐磨性能、防腐性能等机械性能,尤其适用于制造航海深海类复杂高性能、力学和声学要求的关键零部件外壳。

[0021] 4.所述成形方法的工艺简单,易于实施,适用性较强,灵活性较高。

附图说明

[0022] 图1是本发明提供的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法的流程示意图。

[0023] 图2是图1中的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法的局部流程示意图。

[0024] 图3是本发明第一实施方式提供的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法涉及的混合粉末材料的制备流程示意图。

[0025] 图4是本发明第二实施方式提供的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法涉及的混合粉末材料的制备流程示意图。

[0026] 在所有附图中,相同的附图标记用来表示相同的元件或结构,其中:1-基体粉末材料,2-增强材料,3-粉床,4-激光,5-熔池,6-激光选区熔化成形基板,7-液态金属,8-增强相,9-基体相,13/21-Ti6Al4V粉末,14-TiB₂颗粒,15-球磨密封罐,22-Ni颗粒,23-磁控溅射线。

具体实施方式

[0027] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0028] 请参阅图1及图2,本发明提供的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,所述成形方法根据五模材料结构在实际应用中的增强机械性能要求,在合金粉末表面采用沉积或者机械合金化等方法掺杂增强材料,将处理后的粉末装入激光选区熔化设备的粉床,然后抽真空充入惰性气体以降低氧含量,最后根据预设的结构模型进行激光选区熔化工艺成形五模材料结构零件,在激光选区熔化过程中快速升温 and 冷却过程中,激光热作用使合金粉末与表面的增强材料发生原位反应,由于增强材料在合金粉末表面的均匀分布,所以原位反应后,在原始基体边界出现连续的空间均匀分布的增强相,且原位增强机械性能不改变五模材料结构,其隐身功能不受影响。

[0029] 上述的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法主要包括以下步骤:

[0030] 步骤一,提供基体粉末材料,在所述基体粉末材料的表面掺杂增强材料以得到预混合材料。

[0031] 具体地,提供基体粉末材料1,在所述基体粉末材料1的表面掺杂增强材料2。本实施方式中,所述基体粉末材料1是合金粉末,易进行激光选区熔化成形。所述增强材料2的属性是根据实际增强机械性能需求来选择的,如当基体粉末材料为钛合金时,为了增加其抗压强度可选择 TiB_2 为增强材料,而为了增加耐腐蚀性能可选择Ni为增强材料。

[0032] 掺杂增强材料的多少可以根据粉末颗粒大小与原位反应程度来决定;根据基体粉末材料和增强材料的物理属性和化学性能来选择增强材料的掺杂工艺,可以选用化学沉积、磁控溅射和机械球磨等方法。

[0033] 步骤二,将所述预混合材料进行筛分处理以得到混合材料。具体地,将所述预混合材料进行筛分处理,以获得符合激光选区熔化成形工艺要求的粉末粒径,一般要求约为 $20\mu m \sim 50\mu m$,然后在烘箱中进行干燥处理,以将粉末材料中夹杂的气体和水去除干净。

[0034] 步骤三,采用三维软件构建待制造五模材料结构零件的三维模型。具体地,针对表面形貌复杂的水下航行器,合理地设计五模材料结构非常关键,采用UG、Pro/E等三维造型软件设计,方便,效率,且准确。水下航行器通常具有流线型外形结构,可能有些位置需要五模材料结构具有一定的曲面特征。

[0035] 根据水下航行器模型,设计待成型五模材料结构壳体零件,设计包括壳体形状和支撑结构的选择,通常应选择易加工的曲面、激光选区熔化后易去除的支撑结构。通常设计过程中激光选区熔化成形曲面倾斜度不低于 45° ,且尽可能地减少支撑结构。

[0036] 步骤四,对所述三维模型进行打印方向的设计及分层切片处理。具体地,对处理得到的五模材料结构模型进行打印方向设计和分层切片处理,以获得表面质量优异的五模材料结构零件。

[0037] 步骤五,将所述混合材料放置于激光选区熔化设备中,并对加工基板进行预热处理,同时完成所述设备的加工箱的抽真空。具体地,将所述混合材料放置于激光选区熔化设备中,然后对成形基板6进行预热处理以降低加工过程中热应力集中和粉末粘附效应,并完

成对加工箱的抽真空。本实施方式中,所述成形基板6预热时所采用的预热温度为 $0^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$,优选为 200°C ;所述激光选区熔化设备内部氧气含量为500ppm以下。

[0038] 步骤六,依据所述三维模型,采用所述混合材料进行激光选区熔化加工制造所述五模材料结构零件,其中,所述基体粉末材料与所述增强材料在激光的作用下发生原位反应以生成新化合物,所述新化合物以空间均匀分布的形式位于所述基体粉末材料的颗粒边界。

[0039] 具体地,对所述混合材料进行激光选区熔化加工,在激光4的快速升温和快速冷却作用下,所述基体粉末材料1与所述增强材料2发生强烈的物理化学反应,并原位生成具有增强机械性能的新化合物,并且所述新化合物以空间均匀分布的形式存在于所述基体粉末材料的颗粒边界。其中,所形成的液态金属7中形成有增强相8及基体相9,所述增强相8及所述基体相9均匀分布于所述液态金属7内。

[0040] 根据所述基体粉末材料选择合适的加工工艺窗口,通常以调节激光功率和扫描速度为主,扫描层厚一般为 0.05mm ,扫描间距为 0.12mm ,如以Ti6Al4V为成形基体材料,TiB₂为增强材料为例,采用的激光功率工艺参数选为 $280\sim 320\text{W}$ 之间,扫描速度工艺参数选为 $700\sim 900\text{mm/s}$ 之间,在激光选区熔化过程中Ti6Al4V表面的TiB₂在激光作用下与粉末基体发生物理化学反应,并在原始基体边界原位反应生成TiB陶瓷相;以Ni718为成形基体材料,Ti为增强材料,其激光功率工艺参数可选为 $300\sim 500\text{W}$,扫描速度工艺参数选为 $200\sim 400\text{mm/s}$,在激光选区熔化过程中原粉末的Ti会与基体粉末发生反应,并在原始基体边界反应生成TiNi、Ti₂Ni金属间化合物。

[0041] 步骤七,采用喷丸处理或者电化学腐蚀的方法去除五模材料结构零件上的粘附粉末,最终得到表面质量优异的五模材料结构零件。具体地,采用喷丸处理对打印件的外表面进行处理,以降低其表面粗糙度,进而提高精度;打印件的内表面采用电化学腐蚀方法来实现粗糙度和精度的调控。

[0042] 实施例1

[0043] 本发明第一实施方式以制造增强Ti6Al4V基五模材料结构零件为例来对原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法进行说明。Ti6Al4V为近 α 钛合金,由于其超高的比强度和优异的抗腐蚀性被广泛应用于航海深海等领域;五模材料为声学超材料,在声学隐身上具有宽频适应性、结构的可设计性,但用钛合金制备的五模材料结构的抗压性能和耐磨性能还不足以在水下航行器上应用。为了进一步提高Ti6Al4V基体材料的抗压性能和耐磨性能,本实例选用TiB₂作为增强材料,在激光选区熔化过程中,Ti与B会发生原位反应生成TiB与TiB₂,TiB能增强基体的机械强度;TiB₂属于陶瓷材料,具有较高的硬度,从而提高了基体材料的耐磨性能。

[0044] 请参阅图3,本发明第一实施方式提供的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法主要包括以下步骤:

[0045] (1) 选用平均粒度为 $50\mu\text{m}$ 的Ti6Al4V粉末13,采用机械球磨的方法在其表面均匀的嵌入TiB₂颗粒14(平均粒度为 $5\mu\text{m}$);采用不锈钢磨球,球料比为5:1,此过程在充满高纯氩气的球磨密封罐15中进行。

[0046] (2) 将制得的混合粉末材料进行270目筛网筛分处理,以获得符合激光选区熔化成形工艺要求的粉末粒径,一般要求约为 $20\sim 50\mu\text{m}$,然后在 80°C 的烘箱内进行干燥处理,以将

粉末材料中夹杂的气体和水分除去干净。

[0047] (3) 根据水下航行器外形结构来确定五模材料结构零件的微单胞数量和排列方式,本实施例中单胞数量选用 4×3 ,无曲面特征要求;五模材料关键结构尺寸分别为节点圆半径 r ,蜂窝壁厚度 b ,杆长度为 a 。

[0048] (4) Ti6Al4V基五模材料结构零件主要由蜂窝状结构构成,模型结构复杂程度决定了成形方向,选用垂直蜂窝六边形的方向为成形方向。

[0049] (5) 将上述原粉末材料置于激光选区熔化设备中,然后对加工基板在 200°C 下进行预热处理以降低加工过程中热应力集中和粉末粘附效应,进而完成加工箱的抽真空,以便进行打印工作。

[0050] (6) 对原粉末材料进行激光选区熔化加工,在激光的快速升温 and 快速冷却作用下基体材料与增强材料发生强烈的物理化学反应,原位生成具有增强效果的新化合物TiB与TiB₂,并且该化合物以空间均匀分布的形式存在于原始基体($\alpha+\beta$)边界。

[0051] (7) 采用喷丸处理对打印件的外表面进行处理,以降低打印件的表面粗糙度,进而提高精度;所述打印件的内表面采用电化学腐蚀方法来实现粗糙度和精度的调控。

[0052] 实施例2

[0053] 本发明第二实施方式以制造增强耐腐蚀性能和硬度的Ti6Al4V基五模材料结构零件为例对原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法进行说明,用五模材料结构作为水下航行器外壳为典型的工程应用,以此来实现水下航行器的隐身功能和良好的机械性能。此类结构部件,通常工作环境为深海,海水腐蚀和可能发生的礁石碰撞,对钛合金材料提出了更高耐腐蚀性能和硬度上的要求,针对以上问题,本发明以Ti6Al4V为基体粉末材料,以Ni为增强材料,在激光选区熔化成形下,基体中的Ti会与Ni原子发生原位反应生成TiNi及TiNi₂,其中TiNi具有较强的耐腐蚀性能,TiNi₂具有很高的硬度,二者同时弥散地分布在基体粉末材料之中,即提升了基体粉末材料的耐腐蚀性能,也提高了硬度。

[0054] 请参阅图4,本发明第二实施方式提供的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法主要包括以下步骤:

[0055] (1) 选用平均粒度为 $50\mu\text{m}$ 的Ti6Al4V合金粉末21,采用磁控溅射的方法在所述Ti6Al4V合金粉末21的表面均匀的嵌入Ni颗粒22(平均粒度为 $3\sim 5\mu\text{m}$)。其中,磁控溅射线23垂直作用于所述Ti6Al4V合金粉末21的表面。

[0056] (2) 将制得的混合粉末材料进行270目筛网筛分处理,以获得符合激光选区熔化成形工艺要求的粉末粒径,一般要求约为 $20\sim 50\mu\text{m}$,然后在 80°C 的烘箱内进行干燥处理,以将粉末材料中夹杂的气体和水分除去干净。

[0057] (3) 根据水下航行器的曲面外形结构来确定五模材料结构零件的排列方式;曲面五模材料关键结构尺寸分别为节点圆半径为 r_i ,蜂窝壁厚度为 b_i ,杆长度为 a_i ,蜂窝状结构倾斜杆角度为 θ_i 。

[0058] (4) 选用垂直蜂窝六边形的方向为成形方向。

[0059] (5) 将上述原粉末材料置于激光选区熔化设备中,然后对加工基板在 200°C 下进行预热处理以降低加工过程中热应力集中和粉末粘附效应。

[0060] (6) 对原粉末材料进行激光选区熔化加工,在激光的快速升温 and 快速冷却作用下基体材料与增强材料发生强烈的物理化学反应,并原位反应生成具有增强效果的新化合物

TiNi与TiNi₂,并且该化合物以空间均匀分布的形式存在于原始基体($\alpha+\beta$)边界。

[0061] (7)采用喷丸处理对打印件的外表面进行处理,以降低其表面粗糙度,进而提高精度,所述打印件的内表面采用电化学腐蚀方法来实现粗糙度和精度的调控。

[0062] 本发明提供的原位增强五模材料机械性能的激光增材制造成形方法,所述成形方法先在基体粉末材料中掺杂增强材料,然后根据五模材料结构模型进行激光选区熔化工艺打印成型,在打印过程中基体粉末材料与增强材料发生原位反应,以生成具有增强机械性能效果的新化合物,并且该化合物以空间连续均匀分布的形式存在于原始基体边界,在保证五模材料结构隐身功能的前提下,以整体提高五模材料的机械性能,工艺简单,易于实施,适用性较强,灵活性较高。

[0063] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

提供基体粉末材料，并在所述基体粉末材料的表面掺杂增强材料以得到预混合材料，进而对所述预混合材料进行筛分处理以得到混合材料

对待制造五模材料结构零件的三维模型进行打印方向的设计及分层切片处理，进而依据所述三维模型，采用所述混合材料进行激光选区熔化加工制造所述五模材料结构零件；其中，所述基体粉末材料与所述增强材料在激光的作用下发生原位反应以生成新化合物，所述新化合物以空间均匀分布的形式位于所述基体粉末材料的颗粒边界

图1

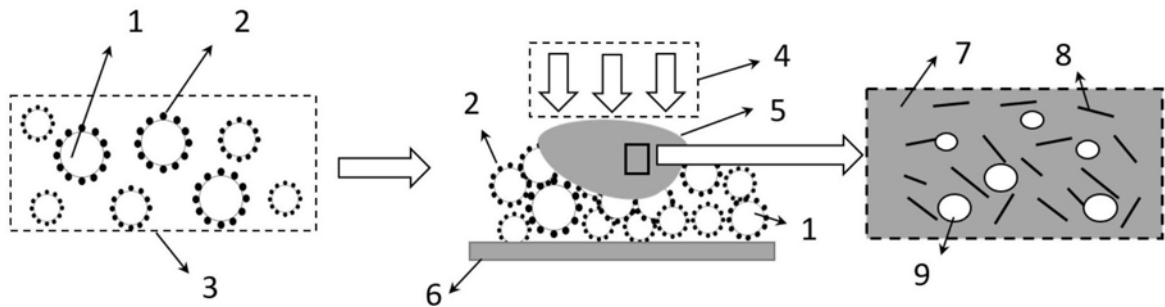


图2

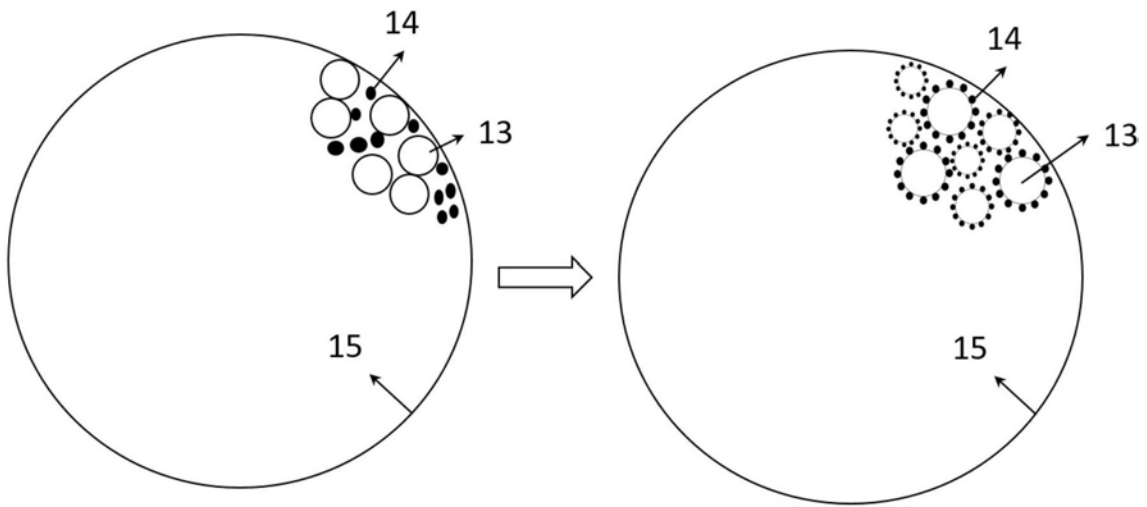


图3

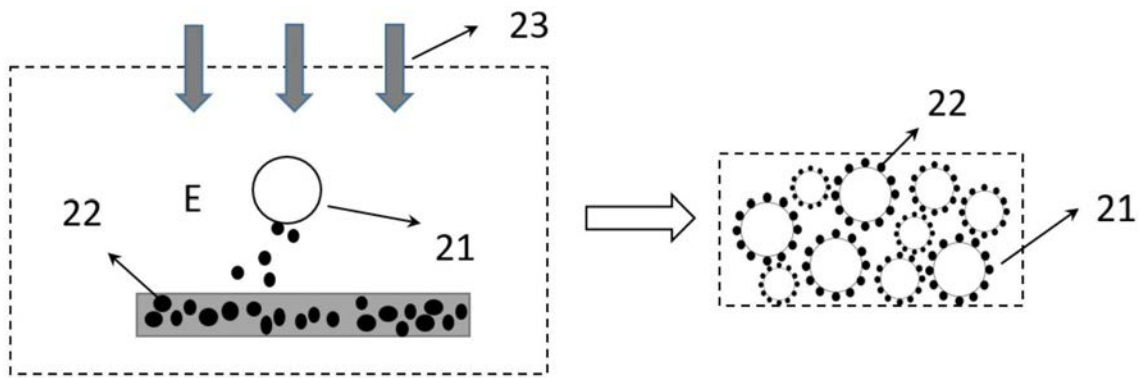


图4