

证书号第 5359986 号



发明专利证书

发明名称：一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法

发明人：陈小明;王春江;忻超杰;徐超凡;邵金友;宋启航;李祥明

专利号：ZL 2021 1 0562340.3

专利申请日：2021 年 05 月 24 日

专利权人：西安交通大学

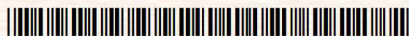
地址：710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路 28 号

授权公告日：2022 年 08 月 05 日

授权公告号：CN 113351827 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨



第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见续页

证书号 第 5359986 号

专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 05 月 24 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

申请日时本专利记载的申请人、发明人信息如下：

申请人：

西安交通大学

发明人：

忻超杰; 陈小明; 徐超凡; 王春江; 邵金友; 宋启航; 李祥明



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113351827 B

(45) 授权公告日 2022.08.05

(21) 申请号 202110562340.3
(22) 申请日 2021.05.24
(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113351827 A
(43) 申请公布日 2021.09.07

(73) 专利权人 西安交通大学
地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号
(72) 发明人 陈小明 王春江 忻超杰 徐超凡
邵金友 宋启航 李祥明
(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务所 61215
专利代理师 弋才富

(51) Int. Cl.
B22C 9/04 (2006.01)
B22C 7/02 (2006.01)
B22C 23/02 (2006.01)
B33Y 10/00 (2015.01)

C08F 220/54 (2006.01)
C08F 220/14 (2006.01)
C08F 220/06 (2006.01)
C23C 14/20 (2006.01)
C23C 14/24 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 112268092 A, 2021.01.26
CN 110138263 A, 2019.08.16
CN 109365787 A, 2019.02.22
CN 111302811 A, 2020.06.19
EP 2067594 A1, 2009.06.10
KR 20060025250 A, 2006.03.21
CN 107353008 A, 2017.11.17
CN 110143819 A, 2019.08.20
CN 112778447 A, 2021.05.11
CN 110923689 A, 2020.03.27
JP 2018023982 A, 2018.02.15
US 2021087341 A1, 2021.03.25

审查员 梅鹏程

权利要求书1页 说明书6页 附图3页

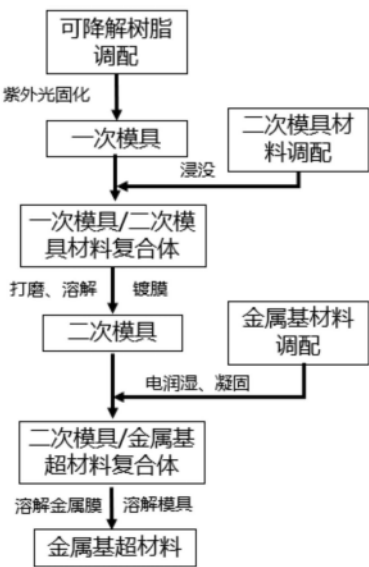
(54) 发明名称

一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法

(57) 摘要

一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法,包括以下步骤:将树脂一次模具浸没于熔融状态的二次模具材料中,使二次模具材料凝固并将树脂一次模具完全包覆,打磨凝固的二次模具材料使树脂一次模具上表面完全露出,并将露出的树脂一次模具通过去除树脂一次模具工艺去除,再置于蒸镀机中均匀包覆一层金属膜,得到二次模具;将液态金属基材料用电润湿法灌注于二次模具中并使其凝固;除去二次模具任意一个面上包覆的金属膜,使其包覆的二次模具材料裸露,置于二次模具溶剂中以去除二次模具,随后将其置于金属膜溶剂中去除金属膜,即得所需金属基超材料;本发明可以成型低中高

熔点、复杂结构的金属基超材料。



1. 一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 利用3D打印技术,制备所需三维结构的碱溶性树脂一次模具;

(2) 将碱溶性树脂一次模具浸没于熔融状态的二次模具材料中,使二次模具材料凝固并将碱溶性树脂一次模具完全包覆,打磨凝固的二次模具材料使碱溶性树脂一次模具上表面完全露出,并将露出的碱溶性树脂一次模具通过去除碱溶性树脂一次模具工艺去除,再置于蒸镀机中均匀包覆一层金属膜,得到二次模具;

(3) 制备所需的液态金属基材料,将液态金属基材料用电润湿法灌注于二次模具中并使其凝固;

(4) 除去二次模具任意一个面上包覆的金属膜,使其包覆的二次模具材料裸露,置于二次模具溶解剂中以去除二次模具,随后将其置于金属膜溶解剂中去除金属膜,即得所需金属基超材料;

所述的包覆的金属膜采用铜或镍,其作用为阻止成型后的金属基超材料与二次模具溶解剂直接接触而导致成型后的金属基超材料的溶解;

所述的二次模具材料包括以下之一:石蜡、熔融石蜡与 SiO_2 纳米颗粒的混合液,熔融石蜡占总质量的25-50%;

所述的二次模具溶解剂以能充分溶解二次模具材料且不与金属膜发生反应为条件,当二次模具材料为石蜡时,二次模具溶解剂包括以下之一:甲苯、二甲苯、 CCl_4 ;当二次模具材料为熔融石蜡与 SiO_2 的混合液时,二次模具溶解剂为30-50wt%氢氟酸液体;

所述的金属膜溶解剂以能充分溶解所镀金属膜且不与金属基超材料发生反应为条件,包括以下之一:10-20wt%三氯化铁溶液、通入氧气的25-28wt%浓氨水。

2. 根据权利要求1所述的一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法,其特征在于,所述的碱溶性树脂,其制备方法为:按重量分数计:选择共聚单体N,N-二甲基丙烯酰胺40-60份、甲基丙烯酸甲酯40-60份、交联裂解剂甲基丙烯酸酐40-50份,在40-60℃的油浴加热下混合,然后分别加入填充物聚乙烯吡咯烷酮10-20份和光引发剂芳酰基膦氧化物或双苯甲酰基苯基氧化膦10-20份,分散均匀。

3. 根据权利要求1所述的一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法,其特征在于,所述的液态金属基材料包括以下之一:镓、铟、锡、铋锡银合金、金属基复合材料。

4. 根据权利要求1所述的一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法,其特征在于,所述的去除碱溶性树脂一次模具工艺为:当二次模具材料为石蜡时,置于氢氧化钠的水溶液或其他碱性溶液中,以去除碱溶性树脂一次模具;当二次模具材料为熔融石蜡与 SiO_2 的混合液时,放入箱式加热炉中,以300-350度高温灼烧1-1.5小时以去除碱溶性树脂一次模具。

5. 根据权利要求1所述的一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法,其特征在于,所述的电润湿法为:在所需灌注的模具上、下两个面添加电极板,且上面的电极板与金属基材料接触,并施加150V-200V电压,从而改变液滴在模具表面上的润湿性,改善灌注效果。

一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法

技术领域

[0001] 本发明适用于微纳制造技术领域,特别适用于一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法,具体适用于不同熔点的液态金属及其金属基复合材料进行三维结构化的成型工艺。

背景技术

[0002] 超材料是一种人工制造的、三维的、具有周期性结构的复合材料,其基本结构单元为人工结构,具有与自然材料不同的超常物理性质。超材料表现出的超常物理特性广泛涉及声、光、热、力和电磁学等领域,在工业、军事等领域具有十分广阔的应用前景。近年来,以液态金属基复合材料作为物理载体的超材料以其卓越的电磁特性广泛应用于航空航天“隐身斗篷”、新型无源电子器件、多频率防震机构等战略前沿技术领域,其具备可吸波电磁波、力学性能优异、功能材料性质可控等优势。

[0003] 从液态金属基复合材料的力学性能和功能属性等综合调控的角度出发,制造该类复合材料通常由具有相对较低的熔点的镓(Ga)、铟(In)、锡(Sn)及其液态金属合金组成,并夹杂在软聚合物结构中实现显著的增韧效果,以此为代表的液态金属增强增韧聚合物以类似于天然材料的设计方式得到可设计的优良特性。例如,Kazem等人通过机械混合制备了一种新的复合材料(EGaIn),该复合材料具有嵌入在软弹性体中的微米级液态金属超材料,因其高度易变形的液态金属可消散复合材料受破坏后裂纹尖端中产生的应力,从而具备较高的韧性;Cooper等人已通过高刚度的固体Ga芯对软质苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯的中空弹性体纤维进行了增韧,韧性是由较高模量的Ga芯的反复断裂而产生的,防止了复合型芯的灾难性断裂,增强了超材料的刚度。另外,由于液态金属基复合材料在制备过程中的低熔点特性,金属基复合超材料也体现出热修复和形状记忆的综合能力。

[0004] 尽管液态金属基复合材料具有优越的机械性能,但这些受生物学启发而制造出的液态金属-聚合物复合结构仍仅限于薄膜或纤维,结构设计性和空间取向性仍然受制造工艺和复合材料功能属性的制约,相应三维结构液态金属基复合材料的成型仍具有一定的挑战,且报道较少。随着3D打印技术的快速发展,使之成为制造三维结构液态金属基复合材料的有效策略。一方面,就直接打印工艺而言,液态金属因其高表面能、熔点低、挤出稀化能力差、不受光敏交联成型等特点加大了打印成型的难度,使之不能适用于典型3D打印的工艺方法;另一方面,就间接成型工艺而言,聚合物模具和液态金属的界面相容性差、异质界面的填充率低、复合材料流动性差,使得液态金属基复合材料的间接打印成型困难,制造效率低。

[0005] Zhang等提出了真空填充来填充3D打印的空心格子支架,与传统的注射器注射相比,该方法效率高,缺陷少。由于镓(Ga)在相对较低的温度范围内具有力学性能和功能属性可调节的特性,Lu等通过投影微立体光刻3D打印和真空填充镓制成了新型液态金属填充聚合物微晶格的超材料,具有 $0.8\text{MJ}/\text{m}^3$ 的高断裂韧性,同时其表现出形状记忆效果,在严重断裂时甚至可以基本恢复其原始形状。已经证明,当施加的压力超过临界压力时,液态金属基

复合材料可以填充浸入聚合物通道,但其临界压力与通道尺寸成反比关系,并且在目前的研究方法中,间接成型后得到的不是纯金属基复合材料的超材料,由于金属基复合材料的熔点、成型精度、成型范围、力学设计目标和材料固化属性的制约,使其功能特性受到了限制。

发明内容

[0006] 为了克服上述现有技术的缺陷,本发明的目的在于提供一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法,从表面能调控、异质界面填充及脱模成型等三方面实现可调控成型温度的金属基超材料间接打印成型,该方法可以成型低中高熔点、复杂结构的金属基超材料。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供的具体技术方案为:

[0008] 一种基于间接增材制造的金属基超材料制备方法,包括以下步骤:

[0009] (1) 利用3D打印技术,制备所需三维结构的碱溶性树脂一次模具;

[0010] (2) 将碱溶性树脂一次模具浸没于熔融状态的二次模具材料中,使二次模具材料凝固并将树脂一次模具完全包覆,打磨凝固的二次模具材料,使树脂一次模具上表面完全露出,并将露出的树脂一次模具通过去除树脂一次模具工艺去除,再置于蒸镀机中均匀包覆一层金属膜,得到二次模具;

[0011] (3) 制备所需的液态金属基材料,将液态金属基材料用电润湿法灌注于二次模具中并使其凝固;

[0012] (4) 除去二次模具任意一个面上包覆的金属膜,使其包覆的二次模具材料裸露,置于二次模具溶解剂中以去除二次模具,随后将其置于金属膜溶解剂中去除金属膜,即得所需金属基超材料。

[0013] 所述的碱溶性树脂,其制备方法为:按重量分数计:选择共聚单体N,N-二甲基丙烯酰胺40-60份、甲基丙烯酸甲酯40-60份、交联裂解剂甲基丙烯酸酐40-50份,在40-60℃的油浴加热下混合,然后分别加入填充物聚乙烯吡咯烷酮10-20份和光引发剂芳酰基膦氧化物或双苯甲酰基苯基氧化膦10-20份,分散均匀。

[0014] 所述的包覆的金属膜采用铜或镍,其作用为阻止成型后的金属基超材料与二次模具溶解剂直接接触而导致成型后的金属基超材料的溶解。

[0015] 所述的液态金属基材料包括但不限于以下之一:镓、铟、锡、铋锡银合金、金属基复合材料;金属基复合材料包括金属电子油墨与碳纤维粉末的复合材料。

[0016] 所述的二次模具材料包括但不限于以下之一:石蜡、或熔融石蜡与 S_iO_2 纳米颗粒的混合液,熔融石蜡占总质量的25-50%。

[0017] 所述的去除树脂一次模具工艺为:当二次模具材料为石蜡时,置于氢氧化钠的水溶液或其他碱性溶液中以去除树脂一次模具;当二次模具材料为熔融石蜡与 SiO_2 的混合液时,放入箱式加热炉中以300-350度高温灼烧1-1.5小时以去除树脂一次模具。

[0018] 所述的电润湿工艺为:在所需灌注的模具上、下两个面添加电极板,且上面的电极板与金属基材料接触,并施加150V-200V电压,从而改变液滴在模具表面上的润湿性,改善灌注效果。

[0019] 所述的凝固工艺为:将所得的模具/金属材料复合体静置于该金属熔点温度以下

的环境中使其凝固。

[0020] 所述的二次模具溶解剂以能充分溶解二次模具材料且不与金属膜发生反应为条件,当二次模具材料为石蜡时,二次模具溶解剂包括但不限于甲苯、二甲苯、 CCl_4 ;当二次模具材料为熔融石蜡与 SiO_2 的混合液时,二次模具溶解剂为30-50wt%氢氟酸液体。

[0021] 所述的金属膜溶解剂以能充分溶解所镀金属膜且不与金属基超材料发生反应为条件,包括但不限于10-20wt%三氯化铁溶液、或通入氧气的25-28wt%浓氨水。

[0022] 本发明的有益效果:

[0023] (1) 成型效果好。基于本发明提出的间接增材制造工艺,能够克服原有直接3D打印所存在的表面能高、不受光敏交联成型、固化难度大等缺陷,实现较高精度的微观结构成型。

[0024] (2) 适用范围广。以本发明所述的翻模工艺,能够一定程度上实现多种类金属及其复合材料的成型要求。通过动态调整二次翻模过程中模具的材料构成,解决了不同金属材料熔点不同的限制,实现了宽熔点范围内的金属基超材料成型。

[0025] (3) 工艺简单、制备效率高。相较传统金属基超材料的成型工艺,本发明所提出的通过3D打印与翻模制备模具,液体金属灌注与成型的工艺,极大简化了制备流程。工序简便,制备效率高,适应工业化生产需求。

附图说明

[0026] 图1是本发明所提供的基于间接增材制造的金属基超材料制备方法技术路线图。

[0027] 图2是本发明所述二次模具制备示意图,包含碱溶性树脂一次模具1及液态二次模具材料2。

[0028] 图3是本发明所述的碱溶性树脂模具溶解示意图,包含石蜡树脂复合体3及氢氧化钠水溶液4。

[0029] 图4是本发明的二次模具示意图,包含正视剖面结构5及三维线框图结构6。

[0030] 图5是本发明所述的电润湿法示意图,包含液体金属材料7。

[0031] 图6是本发明所提供的金属基超材料脱模示意图,包含二次模具溶解剂8。

[0032] 图7是本发明所提供的金属基超材料的实物图,从左至右为:图7(a)是镓超材料、图7(b)是镓与碳纤维复合超材料、图7(c)是锡与陶瓷复合超材料。

具体实施方式

[0033] 下面结合本发明优选的实施例,对本发明进行进一步详细说明。

[0034] 应当补充的是,此处所描述的具体实施例仅用于解释本发明所涉及的制备方法,并不用于限定本发明及其实施方式。

[0035] 实施例1

[0036] 本实施案例在于实现金属基超材料镓的三维结构化成型,具体制备工艺,参照图1,包括以下步骤:

[0037] (1) 利用3D打印技术,制备所需三维结构的碱溶性树脂一次模具;

[0038] 具体为:使用电子天平称量40g共聚单体N,N-二甲基丙烯酰胺与60g共聚单体甲基丙烯酸甲酯,将两者倒入烧杯中混合均匀。随后称量40g交联裂解剂甲基丙烯酸酐,倒入烧

杯混合充分。将混合溶液置于磁力搅拌水浴锅中50℃油浴搅拌40分钟后,依次加入10g填充剂聚乙烯吡咯烷酮和20g光敏剂芳酰基膦氧化物。保持温度继续搅拌3小时,即可得到碱性光敏树脂。利用3D打印机打印出树脂模具。用酒精洗去光敏树脂模具表面未固化的光敏树脂,并放入UV固化箱中后固化处理15min以提高光敏树脂交联程度。

[0039] (2) 将树脂一次模具浸没于熔融状态的二次模具材料中,使二次模具材料凝固并将树脂一次模具完全包覆,打磨凝固的二次模具材料使树脂一次模具上表面完全露出,并将露出的树脂一次模具通过去除树脂一次模具工艺去除,再置于蒸镀机中均匀包覆一层金属膜,得到二次模具;

[0040] 具体为:取50g石蜡于烧杯中,置于60℃水浴加热锅中,搅拌至完全融化。参照图2,将碱性树脂一次模具1完全浸没于二次模具材料2—石蜡中1小时后取出,降温使石蜡凝固。打磨模具表面石蜡,使树脂一次模具的上表面完全露出。参照图3,将树脂石蜡复合体3置于质量分数为5%的氢氧化钠溶液4中静置2h至碱性树脂完全溶解,取出,用去离子水洗净,干燥,参照图4,即得所需石蜡二次模具,包含正视剖面结构5及三维线框图结构6,将其置于铜膜蒸镀机中1分钟,得到表面包覆一层铜膜的铜/石蜡复合材料。

[0041] (3) 制备所需的液态金属基材料,将液态金属基材料用电润湿法灌注于二次模具中并使其凝固;

[0042] 具体为:取50g99%纯度的镓于烧杯中预热至40℃使其充分融化。参照图5,用电润湿法,在石蜡模具上下表面添加电极板,于150V电压下将液体金属材料7—液态金属镓灌注于模具中,使其充满模具腔体,随后将其置于0℃环境下1小时使液态金属完全凝固。

[0043] (4) 除去二次模具任意一个面上包覆的金属膜,使其包覆的二次模具材料裸露,置于二次模具溶解剂中以去除二次模具,随后将其置于金属膜溶解剂中去除金属膜,即得所需金属基超材料:

[0044] 具体为:此步骤将保持在20℃环境下进行。用砂纸磨去石蜡模具一侧外表面的金属膜,使其内部的石蜡裸露。参照图6,将其完全浸没于二次模具溶解剂8—甲苯液体中静置,直至石蜡完全溶解,取出。用无水乙醇和去离子水依次洗涤并干燥后,将其置于100ml质量分数为20%的三氯化铁溶液中使铜膜完全溶解,在此期间外加冰块保持溶液温度在20℃以下。取出去除了铜膜的镓,用去离子水洗涤、干燥,参照图7,即得所需结构化的金属基超材料镓。

[0045] 实施例2

[0046] 本实施案例在于实现中高熔点合金金属基超材料铋锡银合金的三维结构化成型,具体制备工艺,包括以下步骤:

[0047] (1) 利用3D打印技术,制备所需三维结构的碱性树脂一次模具;

[0048] 具体为:使用电子天平称量60g共聚单体N,N-二甲基丙烯酰胺与40g共聚单体甲基丙烯酸甲酯,将两者倒入烧杯中混合均匀。随后称量50g交联裂解剂甲基丙烯酸酐,倒入烧杯混合充分。将混合溶液置于磁力搅拌水浴锅中50℃油浴搅拌40分钟后,依次加入20g填充剂聚乙烯吡咯烷酮和10g光敏剂芳酰基膦氧化物。保持温度继续搅拌3小时,即可得到碱性光敏树脂。利用3D打印机打印出树脂模具。用酒精洗去光敏树脂模具表面未固化的光敏树脂,并放入UV固化箱中后固化处理15min以提高光敏树脂交联程度。

[0049] (2) 将树脂一次模具浸没于熔融状态的二次模具材料中,使二次模具材料凝固并

将树脂一次模具完全包覆,打磨凝固的二次模具材料使树脂一次模具上表面完全露出,并将露出的树脂一次模具通过去除树脂一次模具工艺去除,再置于蒸镀机中均匀包覆一层金属膜,得到二次模具;

[0050] 具体为:将50g石蜡置于烧杯放入到烘箱中,温度设置为60℃,加热1h使石蜡完全熔化,随后称量100gSiO₂纳米颗粒,将其加入到溶化后的石蜡之中,再将玻璃容器放入到烘箱中,混合均匀得到SiO₂/石蜡混合浆料,然后后取出。将第一步中打印的光敏树脂模具完全浸没于SiO₂/石蜡混合体系,静置1h,待SiO₂/石蜡混合浆料完全凝固后,用手术刀取出灌注了SiO₂/石蜡的光敏树脂模具,将该模具放入到箱式加热炉之中,设置加热温度为300℃,1h后树脂与石蜡完全去除,即可得到SiO₂模具。将其置于铜膜蒸镀机中1分钟,得到表面包覆一层铜膜的铜/SiO₂复合材料。

[0051] (3) 制备所需的液态金属基材料,将液态金属基材料用电润湿法灌注于二次模具中并使其凝固;

[0052] 具体为:取100g铋锡银合金于烧杯中预热至150℃使其充分融化。用电润湿法,在SiO₂模具上下表面添加电极板,于150V电压下将液态铋锡银合金灌注于模具中,使其充满模具腔体,随后将其置于0℃环境下1小时使液态合金完全凝固。

[0053] (4) 除去二次模具任意一个面上包覆的金属膜,使其包覆的二次模具材料裸露,置于二次模具溶解剂中以去除二次模具,随后将其置于金属膜溶解剂中去除金属膜,即得所需金属基超材料;

[0054] 具体为:用砂纸磨去SiO₂模具一侧外表面的金属膜,使其内部的SiO₂裸露。将其完全浸没于40wt%氢氟酸液体中静置,直至SiO₂完全溶解,取出。用无水乙醇和去离子水依次洗涤并干燥后,将其置于通入氧气的25-28wt%浓氨水中使铜膜完全溶解,用去离子水洗涤、干燥,即得所需结构化的合金金属基超材料铋锡银。

[0055] 实施例3

[0056] 本实施案例在于实现金属电子油墨复合材料的三维结构化成型,具体制备工艺,包括以下步骤:

[0057] (1) 利用3D打印技术,制备所需三维结构的碱溶性树脂一次模具;

[0058] 具体为:使用电子天平称量50g共聚单体N,N-二甲基丙烯酰胺与50g共聚单体甲基丙烯酸甲酯,将两者倒入烧杯中混合均匀。随后称量45g交联裂解剂甲基丙烯酸酐,倒入烧杯混合充分。将混合溶液置于磁力搅拌水浴锅中50℃油浴搅拌40分钟后,依次加入15g填充剂聚乙烯吡咯烷酮和15g光敏剂芳酰基膦氧化物。保持温度继续搅拌3小时,即可得到碱溶性光敏树脂。利用3D打印机打印出树脂模具。

[0059] (2) 将树脂一次模具浸没于熔融状态的二次模具材料中,使二次模具材料凝固并将树脂一次模具完全包覆,打磨凝固的二次模具材料使树脂一次模具上表面完全露出,并将露出的树脂一次模具通过去除树脂一次模具工艺去除,再置于蒸镀机中均匀包覆一层金属膜,得到二次模具;

[0060] 具体为:将所得的碱溶性光敏树脂模具用去离子水洗净,干燥。取100g石蜡于烧杯中,置于60℃水浴加热锅中,搅拌至完全融化。将树脂模具完全浸没于石蜡中1小时后取出,降温使石蜡凝固。打磨模具表面石蜡使树脂一次模具的上表面完全露出,并将其置于质量分数为5%的氢氧化钠溶液中静置2h至碱溶性树脂完全溶解,取出,用去离子水洗净,干燥,

即得所需石蜡二次模具。将其置于铜膜蒸镀机中1分钟,得到表面包覆一层铜膜的铜/石蜡复合材料。

[0061] (3) 制备所需的金属电子油墨复合材料,将金属电子油墨复合材料用电润湿法灌注于二次模具中并使其凝固;

[0062] 具体为:取50ml液态金属电子油墨(ZXYT YM-02)于烧杯中,加入5g短切碳纤维粉末,置于磁力搅拌机搅拌2小时至碳纤维均匀分散于液态金属电子油墨中。用电润湿法,在石蜡模具上下表面添加电极板,于150V电压下将金属电子油墨复合材料灌注于模具中,使其充满模具腔体,随后将其置于0℃环境下1小时使金属电子油墨复合材料完全凝固。

[0063] (4) 除去二次模具任意一个面上包覆的金属膜,使其包覆的二次模具材料裸露,置于二次模具溶解剂中以去除二次模具,随后将其置于金属膜溶解剂中去除金属膜,即得所需金属基超材料;

[0064] 具体为:此步骤将保持在20℃环境下进行。用砂纸磨去石蜡模具一侧外表面的金属膜,使其内部的石蜡裸露。将其完全浸没于四氯化碳 CCl_4 液体中静置,直至石蜡完全溶解,取出。用无水乙醇和去离子水依次洗涤并干燥后,将其置于100ml质量分数为20%的三氯化铁溶液中使铜膜完全溶解,在此期间外加冰块保持溶液温度在20℃以下。取出去除了铜膜的金属电子油墨复合材料,用低温去离子水洗涤、干燥,即得所需结构化的金属电子油墨复合材料。

[0065] 本发明包括但不限于以上所述实施例,凡在本发明精神原则保护之下所进行的任何等同替换或局部改进,都被视为在本发明所保护的范围之内。

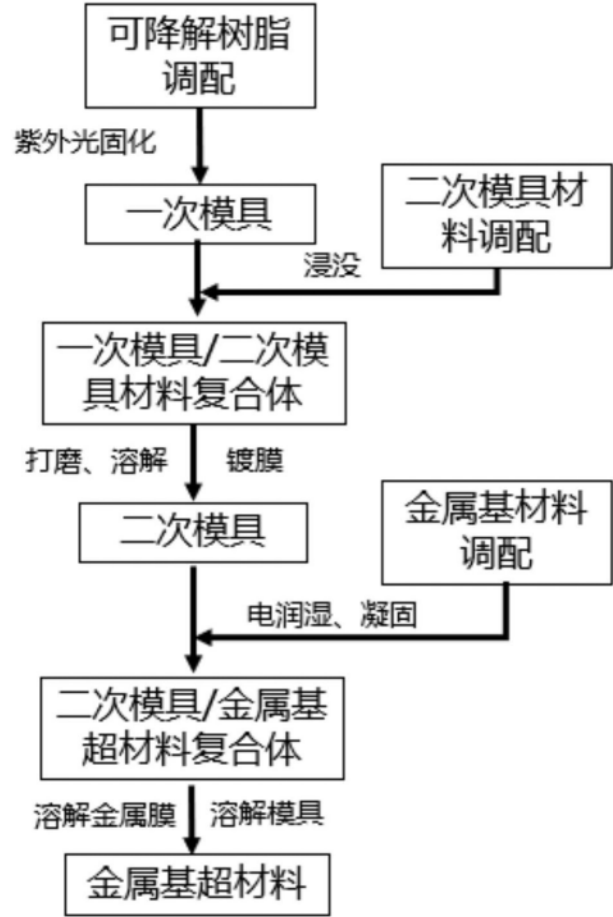


图1

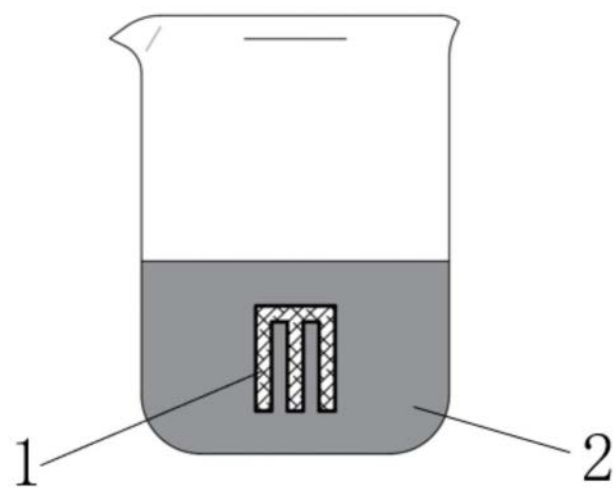


图2

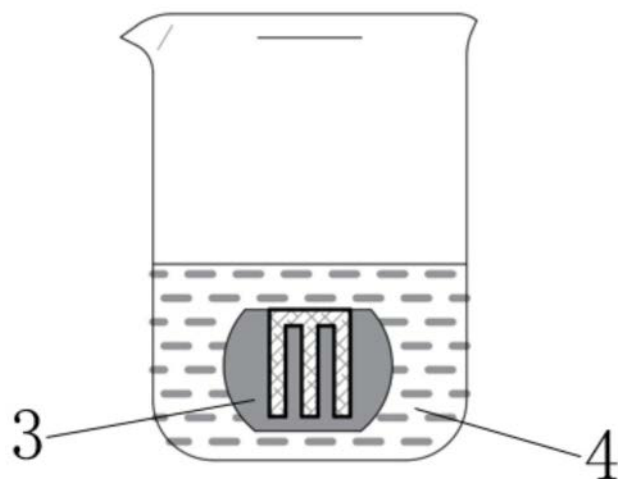


图3

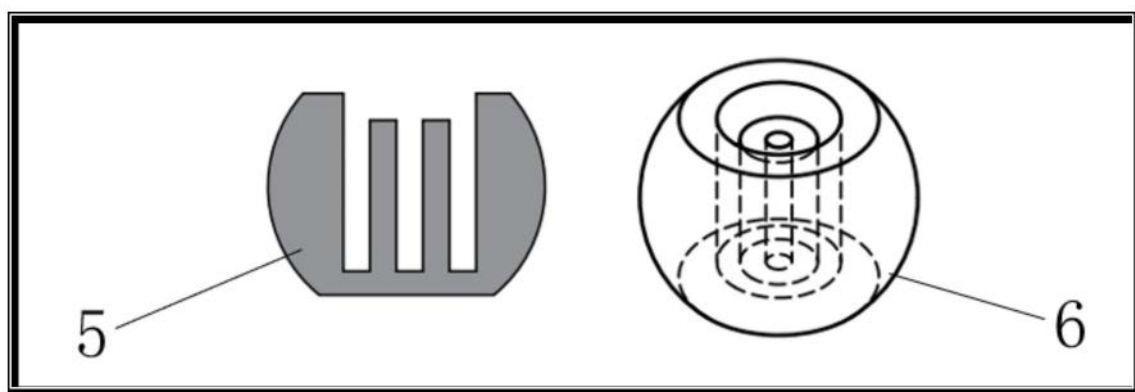


图4

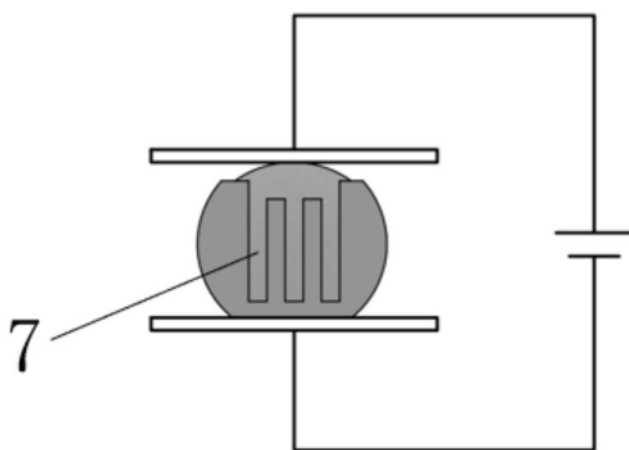


图5

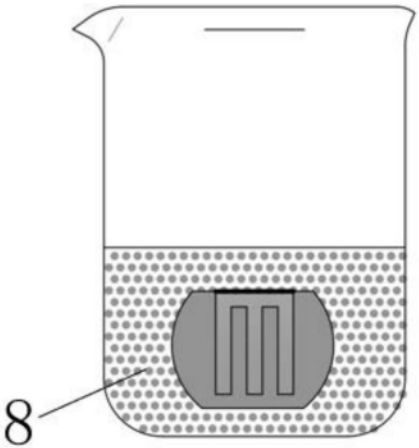


图6

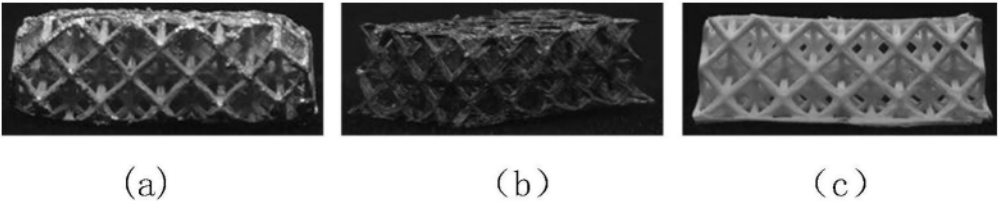


图7