



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105033188 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 11

(21) 申请号 201510267339. 2

(22) 申请日 2015. 05. 22

(71) 申请人 中国科学院固体物理研究所

地址 230031 安徽省合肥市科学岛

(72) 发明人 韩福生 黄英杰 王新福 李振东

(74) 专利代理机构 安徽合肥华信知识产权代理

有限公司 34112

代理人 余成俊

(51) Int. Cl.

B22C 9/22(2006. 01)

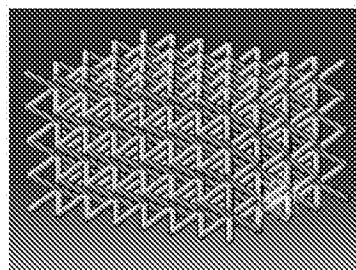
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料。该点阵材料基体为工业纯铝或任何铝合金, 单胞构型及其周期性结构采用 CATIA 软件进行建模和设计, 采用高分子材料和 3D 打印技术制作模型, 采用可溶石膏制作熔模铸造壳型, 采用气压渗流工艺制备铝基点阵材料。本发明所获铝基点阵材料单胞构型为金字塔型、Kagome 型及格栅型, 以及由上述点阵材料与致密面板组成的夹芯板复合结构。单胞杆单元直径 0.5 ~ 5.0mm, 长度 0.5 ~ 15.0mm, 杆单元与投影面夹角 30 ~ 70°, 致密面板为工业纯铝、铝合金、铁合金或高分子材料。以工业纯铝为基体的点阵材料, 比抗压强度可达到 5MPa/g · cm<sup>3</sup> 以上。



1. 一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料,其特征在于:  
所述点阵材料基体为工业纯铝或任何铝合金。
2. 根据权利要求 1 所述的一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料,其特征在于:所述点阵材料单胞构型为金字塔型、Kagome 型及格栅型。
3. 根据权利要求 2 所述的一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料,其特征在于:其单胞杆单元直径 0.5 ~ 5.0mm,长度 0.5 ~ 15.0mm,杆单元与投影面夹角 30 ~ 70°。
4. 根据权利要求 1 所述的一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料,其特征在于:所述点阵材料由一层或一层以上金字塔型、Kagome 型及格栅型单胞周期性排列而成。
5. 根据权利要求 1 所述的一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料,其特征在于:所述点阵材料包括一层或一层以上周期性排列的金字塔型、Kagome 型及格栅型单胞与致密面板组成的夹芯板复合结构,致密面板为工业纯铝、铝合金、铁合金或高分子材料。
6. 一种如权利要求 1 所述的铝基点阵材料制备方法,其特征在于包括以下步骤:
  - (1) 构型设计:采用 CATIA 软件对点阵材料单胞进行几何建模和构型设计;
  - (2) 3D 打印:采用高分子粉末材料为原料,在 3D 打印机上用激光选区熔化法打印高分子点阵模型;
  - (3) 壳型制备:以 3D 打印的聚合物点阵模型为牺牲模,将石膏基涂料填充点阵模型的孔隙并将点阵模型完全包覆,然后将涂料烘干、固化并将牺牲模烧除,得到内腔形状与聚合物点阵模型完全一致的石膏壳型;
  - (4) 铝液渗流:将上述壳型置于专用模具内,将液态铝在气压作用下渗入、充满壳型内腔,待金属液凝固后将壳型分离便得到铝基点阵材料。
7. 根据权利要求 6 所述的铝基点阵材料制备方法,其特征在于:所述的采用 CATIA 软件对点阵材料单胞进行几何建模和构型设计,包括杆单元直径、长度、夹角、截面形状、每层单胞个数和点阵层数,以及以周期性排列单胞为芯板、以致密板为面板的夹心结构设计。

## 一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料设计与制备方法。通过计算机设计,获得一定的单胞构型及其拓扑结构,然后利用 3D 打印技术制备出聚合物点阵模型,再通过石膏浆料制壳和气压渗流方法,获得与聚合物点阵模型结构完全一致的铝基(纯铝或铝合金)点阵材料。

### 背景技术

[0002] 点阵材料是一种由节点及连接杆单元组成的空间网架类有序多孔材料。与传统的金属泡沫和金属蜂窝材料相比,以轻金属为基体的点阵材料具有更高的比强度、比刚度和单位质量吸能性,尤其是当相对密度较低时,点阵材料具有尤为突出的质量效率和性能优势,是目前国际上公认的最有前景的超强韧轻质结构材料之一。除了优异的力学性能以外,点阵材料还可以通过基体调整、构型变化或孔隙填充进行功能化设计,使之具备透波、缓冲、减振、隔热、防辐射和电磁屏蔽等功能特性。

[0003] 目前,制备三维多层金属点阵材料的方法主要有熔模铸造法、焊接法、挤压法、冲压折叠法和编织法等。前者因基体材料灵活、单胞构型多元化以及单胞参数更小等优点,被认为是最有发展前景的一种方法。但是,这种方法工艺流程较繁琐,须首先用喷射成型技术制备单层聚合物点阵模型,然后通过拼装和焊接的方法构成空间点阵结构,再通过熔模铸造工艺形成多层金属点阵材料。另外,由于单胞和杆单元均比较小,要求液态金属的流动性必须好,这就给基体材料选择以及材料性能设计带来了极大困难。

[0004] 总体上看,现有制备方法所能获得的金属点阵材料单胞尺度仍然偏大( $\geq 10\text{mm}$ 量级),且构型单一、层级较少,很难满足众多行业特别是航空航天、国防等高新技术领域的多样化需求。因此,研究新型制备方法,突破单胞小型化、多元化成形的技术瓶颈,在整体强韧性进一步提高的同时实现某种或多种功能性的改善,使之表现出真正的结构-功能一体化特性,是本领域的主要发展趋势之一。

[0005] 如上所述,熔模铸造法是最适宜制备小型单胞、复杂构型三维多层金属点阵材料的方法之一。该方法之所以过程繁琐、技术难度大,是因为制备聚合物模型所用喷射成型技术和熔模铸造工艺的限制。近年来,3D 打印技术取得了迅猛的发展,已经突破了传统成形方法在复杂结构、不同材料和工艺流程上的诸多技术障碍,可一次性打印出包括金属材料在内的多种材料组成的复杂结构,成为高效制备精细、复杂、多元结构的最先进的技术之一。但是,对于基体材料为易氧化的 Al、Mg 等轻金属来说,直接通过 3D 打印成形容易造成基体内残留氧化夹杂和缝隙等缺陷,导致其力学性能下降。为克服这一困难,本发明利用 3D 打印技术先获得低熔点非金属点阵模型,再通过熔模制壳、压力渗流制备出金属点阵材料。由于金属液体在压力下流动、充型和凝固,故可获得致密、纯净、结合牢固的基体组织,为保证点阵材料的强韧性提供了重要保障。

### 发明内容

- [0006] 本发明目的在于提供一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料设计与制备方法。
- [0007] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案如下:
- [0008] 一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料,其特征在于:
- [0009] 所述点阵材料基体为工业纯铝或任何铝合金。
- [0010] 所述的一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料,其特征在于:
- [0011] 所述点阵材料单胞构型为金字塔型、Kagome 型及格栅型。
- [0012] 所述的一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料,其特征在于:
- [0013] 其单胞杆单元直径 0.5 ~ 5.0mm,长度 0.5 ~ 15.0mm,杆单元与投影面夹角 30 ~ 70°。
- [0014] 所述的一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料,其特征在于:
- [0015] 所述点阵材料由一层或一层以上金字塔型、Kagome 型及格栅型单胞周期性排列而成。
- [0016] 所述的一种基于 3D 打印技术的铝基点阵材料,其特征在于:
- [0017] 所述点阵材料包括一层或一层以上周期性排列的金字塔型、Kagome 型及格栅型单胞与致密面板组成的夹芯板复合结构,致密面板为工业纯铝、铝合金、铁合金或高分子材料。
- [0018] 所述的铝基点阵材料制备方法,其特征在于包括以下步骤:
- [0019] (1) 构型设计:采用 CATIA 软件对点阵材料单胞进行几何建模和构型设计;
- [0020] (2) 3D 打印:采用高分子粉末材料为原料,在 3D 打印机上用激光选区熔化法打印高分子点阵模型;
- [0021] (3) 壳型制备:以 3D 打印的聚合物点阵模型为牺牲模,将石膏基涂料填充点阵模型的孔隙并将点阵模型完全包覆,然后将涂料烘干、固化并将牺牲模烧除,得到内腔形状与聚合物点阵模型完全一致的石膏壳型;
- [0022] (4) 铝液渗流:将上述壳型置于专用模具内,将液态铝在气压作用下渗入、充满壳型内腔,待金属液凝固后将壳型分离便得到铝基点阵材料。
- [0023] 所述的铝基点阵材料制备方法,其特征在于:所述的采用 CATIA 软件对点阵材料单胞进行几何建模和构型设计,包括杆单元直径、长度、夹角、截面形状、每层单胞个数和点阵层数,以及以周期性排列单胞为芯板、以致密板为面板的夹心结构设计。
- [0024] 本发明基于 3D 打印技术的铝基点阵材料的制备方法,包括以下步骤:
- [0025] (1) 构型设计:采用 CATIA 软件对点阵材料单胞进行几何建模和构型设计,包括杆单元直径、长度、夹角、截面形状、每层单胞个数和点阵层数,以及由周期性排列单胞为芯板、致密板为面板的夹心板设计。
- [0026] (2) 3D 打印:采用高分子粉末材料为原料,在 3D 打印机上用激光选区熔化法打印出高分子点阵模型。
- [0027] (3) 壳型制备:以 3D 打印的聚合物点阵模型为牺牲模,将石膏基涂料填充点阵模型的孔隙,然后将涂料在 70 ~ 650℃ 范围内烘干、固化并将牺牲模烧除,得到内腔形状与聚合物点阵模型完全一致的石膏壳型。
- [0028] (4) 铝液渗流:将上述壳型置于专用模具内,同时将铝在 700 ~ 750℃ 温度下熔化,然后浇入壳型。将装有壳型的模具密封,通入压缩空气使铝液在气压作用下渗入壳型内腔,

待金属液凝固后将壳型分离便得到铝基点阵材料。

[0029] 本发明的有益效果：

[0030] 本发明提供的铝基点阵材料设计和模型制作方法,通过综合利用计算机设计和 3D 打印技术,可实现点阵材料构型多样化、单胞小型化、组织精细化、结构大型化,为点阵材料整体力学性能和功能特性的可设计性创造了条件。本发明提供的铝基点阵材料气压渗流制备方法,则克服了易氧化轻金属基复杂点阵材料直接 3D 打印的难题,实现了小单胞、细杆元、多层次点阵结构的一次性整体成形,为金属基点阵材料高效制备、性能优化奠定了重要基础。本发明获得的铝基点阵材料具有多样化结构及宽范围可调的结构参数和力学性能,其单胞构型可以是金字塔、Kagome 及格栅,单胞杆单元直径 0.5 ~ 5.0mm,长度 0.5 ~ 15.0mm,杆单元与投影面夹角 30 ~ 70°,比强度  $\geq 5\text{MPa}/\text{g} \cdot \text{cm}^3$ 。

[0031] 附图及附表说明

[0032] 图 1 为本发明所获铝基点阵材料典型单胞构型；

[0033] 图 2 为不同点阵材料的压缩应力应变曲线:(a) 金字塔型与 Kagome 型对比;(b) 杆长的影响;(c) 夹角的影响;(d) 孔隙率的影响；

[0034] 图 3- 图 12 为本发明所获铝基点阵材料典型周期性结构,详细描述见表 1、表 2。

## 具体实施方式

[0035] 基于 3D 打印技术的铝基点阵材料:基体:L3 工业纯铝;单胞:金字塔型;杆径:1.7mm;杆长:6mm;杆/投影面夹角:45°;杆截面形状:圆形;单胞层数:4 层;每层单胞个数:60。

[0036] 制备方法如下:

[0037] (1) 采用 CATIA 软件设计单胞结构,包括金字塔构型、杆单元直径、长度、杆/投影面夹角、杆截面形状、每层单胞个数和点阵层数等,然后通过镜像得到相应的拓扑结构。

[0038] (2) 采用聚丙烯 (PP) 塑料粉末为原材料,以激光选区熔化法打印出点阵模型。

[0039] (3) 将石膏粉及辅料加水调制成粘度适当的浆料,灌入聚丙烯点阵模型。在 50°C 干燥 24 小时后,升温至 450 ~ 650°C 保温 4 小时进行固化并在 650°C 保温,形成石膏壳型。

[0040] (4) 将工业纯铝锭在井式坩埚炉内、700°C 下熔化,然后浇入石膏壳型。

[0041] (5) 待铝液凝固并冷却到室温后用水冲洗石膏壳型,使之从铝基点阵材料中溶除。

[0042] (6) 将铝基点阵材料加工成 29.3×29.3×30.2mm(每层 7×7 = 49 个单胞,2 层)的矩形试样。

[0043] (7) 在材料试验机上进行压缩试验,压缩速率为 3mm/min,测得材料的压缩应力应变曲线。

[0044] 经测量,试样抗压强度为 5MPa,压缩平台长度(致密化应变)为 0.45。

[0045] 表 1 金字塔点阵材料基本参数及典型结构

[0046]

杆长 (mm): 6、 8、10	夹角		
	30°	45°	60°
	见图 3	见图 4	见图 5
杆径 (mm): 1.7	设计图		
	见图 6	见图 7	见图 8
	实际样品照片 (杆长 8mm)		

[0047] 表 2Kagome 点阵材料基本参数及典型结构

[0048]

杆长 (mm): 6、 8、10	夹角		
	45°	52.5°	60°
	见图 9	见图 10	见图 11
杆径 (mm): 1.7	设计图		
		见图 12	
	实际样品照片 (杆长 8mm, 面板厚度 1mm)		

[0049]

实际样品照片 (杆长 8mm, 面板厚度 1mm)		

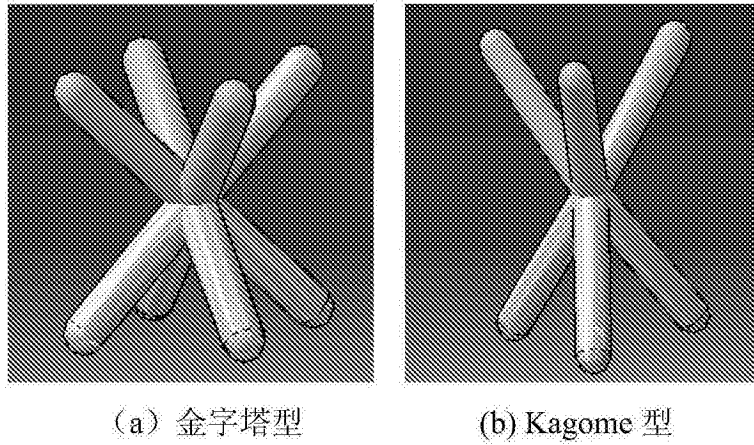


图 1

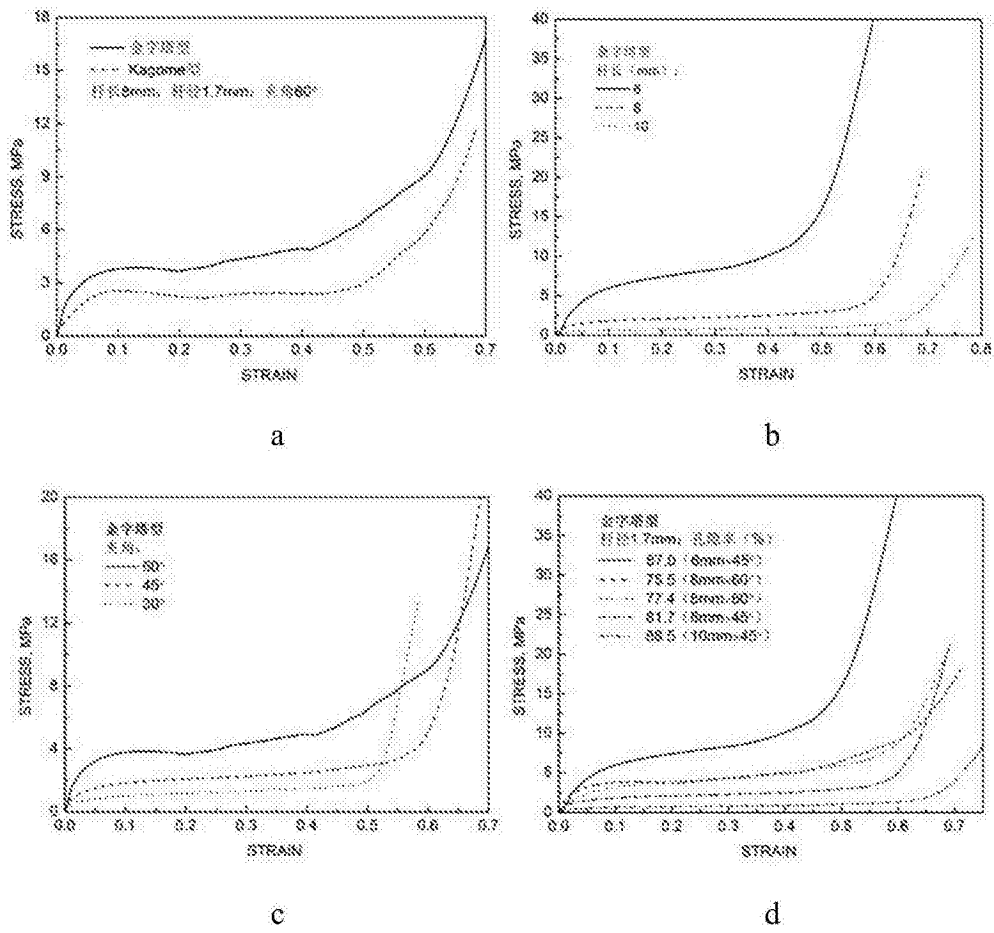


图 2

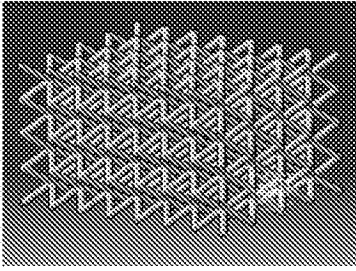


图 3

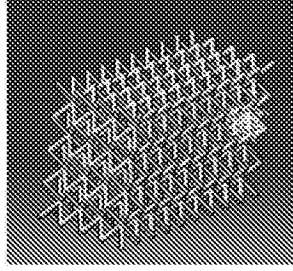


图 4

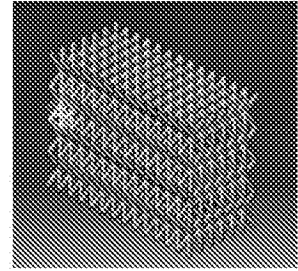


图 5

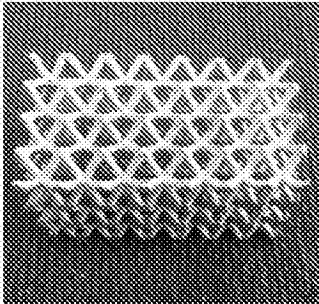


图 6

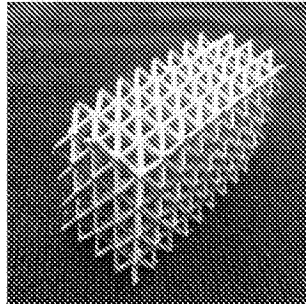


图 7

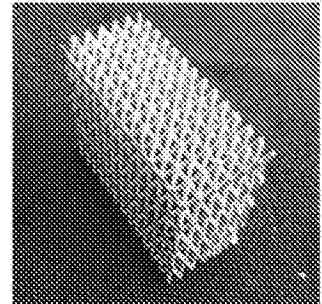


图 8

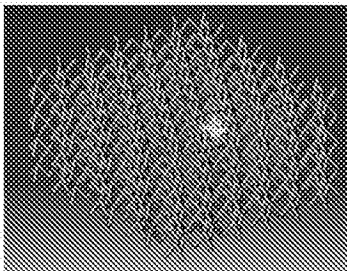


图 9

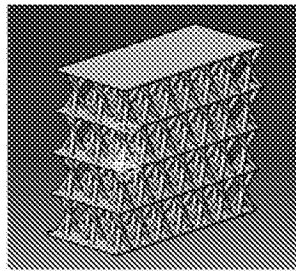


图 10

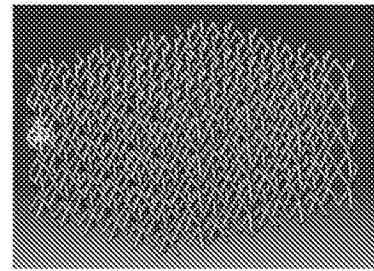


图 11

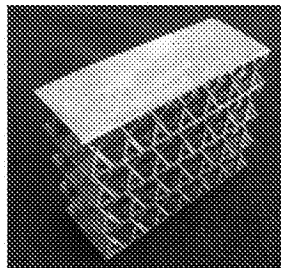


图 12