



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111536796 B

(45) 授权公告日 2021.09.14

(21) 申请号 202010543621.X

F27B 14/08 (2006.01)

(22) 申请日 2020.06.15

F27B 14/14 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

F27D 27/00 (2010.01)

申请公布号 CN 111536796 A

G22C 1/02 (2006.01)

G22C 18/00 (2006.01)

(43) 申请公布日 2020.08.14

(56) 对比文件

(73) 专利权人 贵州省鑫泰增材制造有限公司

CN 102288028 A, 2011.12.21

地址 550000 贵州省贵阳市贵阳国家高新

CN 106834845 A, 2017.06.13

技术产业开发区金阳科技产业园标准

CN 107388823 A, 2017.11.24

厂房辅助用房B608室

CN 110819832 A, 2020.02.21

(72) 发明人 于云峰 吴健 李英 梁寅

CN 201837265 U, 2011.05.18

吴泽宏 孙茂银

KR 101910868 B1, 2018.10.23

(74) 专利代理机构 贵阳春秋知识产权代理事务
所(普通合伙) 52109

薛涛. 压铸锌合金应用研究进展.《特种铸造及有色合金》.2016,第36卷(第3期),第260至264页.

代理人 李万强

审查员 李平

(51) Int.Cl.

F27B 14/02 (2006.01)

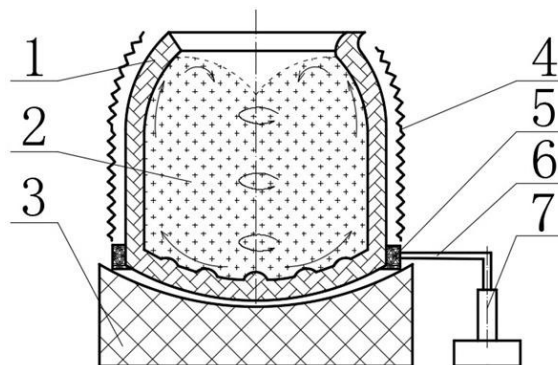
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

一种锌合金的熔炼设备及其生产工艺

(57) 摘要

本发明公开了一种锌合金的熔炼设备及其生产工艺,该熔炼设备在使用过程中具体由三个系统组成,分别是加热熔炼系统、电磁感应搅拌系统和液压振动系统;其中加热熔炼系统由加热装置和壶形石墨坩埚组成,石墨坩埚的底部弧形结构上还设置有13个弧形凸起;石墨坩埚内盛装由锌合金熔化后构成的熔池及镍基软磁合金屑;电磁感应搅拌系统设置在加热熔炼系统正下方,由电磁感应装置和搅拌介质构成;液压振动系统由液压装置驱动,动力通过支撑臂传播至承托着石墨坩埚底部的固锁装置上。本发明适用于高端锌合金冶炼、电磁搅拌、高效除气、组织均匀稳定、维修维护方便。



1. 一种锌合金的熔炼设备的生产工艺,其特征包括以下步骤:

S1: 石墨坩埚(1)的加工成型

①准备结晶质天然石墨、粘土和碳化硅骨架熟料;

②将步骤①准备的原料混料均匀后加工成类壶形结构,具体为:整体呈弧形,底部下凹部分高度占总高度 $1/8-1/6$,呈现为总弧度 $\pi/12-\pi/10$ 的凹弧形底,凹弧形底以弧形底的圆心为基准由中心向外周依次设置有1个大型、4个中型、8个小型共计13个弧形凸起,1个大型弧形凸起的直径为 $5\text{cm}-8\text{cm}$ 、中心凸起高度 $15\text{mm}-20\text{mm}$ 、圆心设置在弧形底的圆心,4个中型弧形凸起的直径均为 $3\text{cm}-4\text{cm}$ 、中心凸起高度 $8\text{mm}-12\text{mm}$ 、圆心设置在弧形底的半径靠近圆心的 $1/3$ 处、4个圆心所在半径呈 90° 夹角均布,8个小型弧形凸起的直径均为 $2\text{cm}-2.5\text{cm}$ 、中心凸起高度 $5\text{mm}-8\text{mm}$ 、圆心设置在弧形底的半径远离圆心的 $2/3$ 处、8个圆心所在半径呈 45° 夹角均布;顶部高度占总高度 $1/3-1/4$ 的区域为弧形倾斜收口且倾角随高度增加增大,顶端收口圆弧切线与轴线呈单边收口倾角 $15^\circ-20^\circ$,在顶部的一侧开口占圆周 $\pi/18-\pi/12$ 弧度的区域设置有鹤嘴形外凸口,用于冶炼完后出料;除却底部和顶部外的其余区域为中部,中部呈圆柱形;

③将步骤②获得的类壶形结构原料烧结成型,即获得所需石墨坩埚(1);

S2: 加热熔炼系统组装

①采用电阻丝加热装置(4),将其设置在石墨坩埚(1)侧面且与石墨坩埚(1)的侧面外形相适应,获得加热熔炼系统;

S3: 熔炼设备组装

①在石墨坩埚(1)底部设置与石墨坩埚(1)底部弧形相适应的电磁感应搅拌装置;

②在石墨坩埚(1)底部的侧面设置圆环状固锁装置(5),然后设置承托着固锁装置(5)的液压装置,固锁装置(5)和液压装置共同构成液压振动系统,所述液压振动系统由固锁装置(5)、支撑臂(6)和液压装置(7)组成,液压振动系统由液压装置(7)驱动,动力通过支撑臂(6)传播至承托着石墨坩埚(1)底部的固锁装置(5)上,所述液压振动系统通过固锁装置(5)控制石墨坩埚(1)作上下往复运动;

③调校加热熔炼系统、液压振动系统和电磁感应搅拌装置的配合间隙使其满足设计需求,获得所需锌合金的熔炼设备。

2. 一种锌合金的熔炼设备,其特征是:该熔炼设备在使用时具体由三个系统组成,分别是加热熔炼系统、电磁感应搅拌系统和液压振动系统;

其中加热熔炼系统由加热装置(4)和石墨坩埚(1)组成;加热装置(4)设置在石墨坩埚(1)侧面且与石墨坩埚(1)的侧面外形相适应,石墨坩埚(1)的整体形状为壶形结构,具体为:底部高度占总高度 $1/8-1/6$,呈现为总弧度 $\pi/12-\pi/10$ 的凹弧形底,凹弧形底以弧形底的圆心为基准由中心向外周依次设置有1个大型、4个中型、8个小型共计13个弧形凸起,1个大型弧形凸起的直径为 $5\text{cm}-8\text{cm}$ 、中心凸起高度 $15\text{mm}-20\text{mm}$ 、圆心设置在弧形底的圆心,4个中型弧形凸起的直径均为 $3\text{cm}-4\text{cm}$ 、中心凸起高度 $8\text{mm}-12\text{mm}$ 、圆心设置在弧形底的半径靠近圆心的 $1/3$ 处、4个圆心所在半径呈 90° 夹角均布,8个小型弧形凸起的直径均为 $2\text{cm}-2.5\text{cm}$ 、中心凸起高度 $5\text{mm}-8\text{mm}$ 、圆心设置在弧形底的半径远离圆心的 $2/3$ 处、8个圆心所在半径呈 45° 夹角均布;顶部高度占总高度 $1/3-1/4$ 的区域为弧形倾斜收口且倾角随高度增加增大,顶端收口圆弧切线与轴线呈单边收口倾角 $15^\circ-20^\circ$,在顶部的一侧开口占圆周 $\pi/18-\pi/12$ 弧度的

区域设置有鹤嘴形外凸口,用于冶炼完后出料;除却底部和顶部外的其余区域为中部,中部呈圆柱形;石墨坩埚(1)内盛装由锌合金熔化后构成的熔池(2)及沉降在熔池(2)底部的镍基软磁合金屑;

电磁感应搅拌系统设置在加热熔炼系统正下方,由电磁感应装置(3)和搅拌介质构成,其中电磁感应装置(3)的电磁感应面与石墨坩埚(1)的弧形底部形状相适应,搅拌介质即为前述的沉降在熔池(2)底部的镍基软磁合金屑;

液压振动系统由固锁装置(5)、支撑臂(6)和液压装置(7)组成,液压振动系统由液压装置(7)驱动,动力通过支撑臂(6)传播至承托着石墨坩埚(1)底部的固锁装置(5)上,所述液压振动系统通过固锁装置(5)控制石墨坩埚(1)作上下往复运动。

3. 根据权利要求2所述的一种锌合金的熔炼设备,其特征在于:所述镍基软磁合金屑具体为工业加工中回收的镍基软磁合金废屑。

4. 根据权利要求3所述的一种锌合金的熔炼设备,其特征在于:所述回收的镍基软磁合金废屑具体为1J76镍基软磁合金废屑。

5. 根据权利要求2所述的一种锌合金的熔炼设备,其特征在于:所述液压振动系统通过固锁装置(5)控制石墨坩埚(1)作上下往复运动,其中上下往复运动的运动高度范围为0.8cm-2cm。

一种锌合金的熔炼设备及其生产工艺

技术领域

[0001] 本发明涉及锌合金冶炼技术领域,尤其涉及一种锌合金的熔炼设备及其生产工艺。

背景技术

[0002] 锌合金,即为以锌为基体加入其他元素而构成的有色合金。主要合金元素有铝、铜、镁等。锌合金熔点低、流动性好,易于进行塑性加工和焊接,并且耐大气腐蚀。按制造工艺分为铸造锌合金和变形锌合金。常用的铸造锌合金是锌铝铜镁系合金,其铸造工艺性能好,冷却速度对力学性能影响较小,多用于制造机械零件、玩具、装饰品、家用器具等。常用的变形锌合金有锌铝合金和锌铜合金。前者含铝4%~15%,为了提高合金的强度和硬度,还加有少量的铜、镁等合金元素。其强度较高,易成型,可代替部分黄铜或硬铝制造精密锻件。后者含铜0.7%~1.5%,铜可增加合金强度和冲击韧性,并降低塑性。锌铜合金适于制作日用五金制品或代替部分黄铜使用。此外,还有锌钛系、锌铅镉铁系变形锌合金。变形锌合金的供货状态有线材、板材、锻件或挤压件等。

[0003] 以锌基合金而言,多元合金的工艺比三元合金要复杂许多;三元合金是可以通过一次熔炼产生,也采用二次熔炼工艺。由于二次熔炼的成本比一次熔炼的高,许多企业愿意采用一次熔炼工艺生产三元合金。多元合金是在三元合金的基础上多加了一种或几种合金成份,熔炼技术自然就要复杂许多,一般的熔炼技术水平想随意多加一种或几种元素,其实都是很有难度加入进去的,因此现有技术中的多元锌其合金通常是通过复杂的工艺和精密的控制多次熔炼而成。

[0004] 锌合金压铸件最常见的缺陷是表面起泡,主要表征为铸件表面有突起小泡。现有技术中解决气孔缺陷的方法主要是在模具的改进上:主要研究方向为如何减少混入铸件内的气体量,通过改进模具尽量获取理想的液流,液流经过分流锥和浇道进入型腔,形成顺滑及方向一致的金属流,之所以一般采用锥形流道设计,是为了使浇流可以不断由浇口向内截面逐渐变小,液流受挤压自然排出部分气体,可达到一定的技术目的。进入模具后,混入的气体主要是由于湍流与金属液相混合而形成气孔,从金属液由浇铸系统进入型腔的模拟压铸过程的研究中,明显看出浇道中尖锐的转变位和递增的浇道截面积,都会使金属液流出现湍流而卷气,平稳的金属液才有利于气体从浇道和型腔进入溢流槽和排气槽,排出模外。

[0005] 因此,市面上急需一种适用于高端锌合金冶炼、电磁搅拌、高效除气、组织均匀稳定、维修维护方便的锌合金的熔炼设备及其生产工艺。

发明内容

[0006] 本发明旨在提供一种适用于高端锌合金冶炼、电磁搅拌、高效除气、组织均匀稳定、维修维护方便的锌合金的熔炼设备及其生产工艺。

[0007] 为了实现上述目的,本发明采用以下技术方案:一种锌合金的熔炼设备的生产工

艺,包括以下步骤:

[0008] S1:石墨坩埚的加工成型

[0009] ①准备结晶质天然石墨、粘土和碳化硅骨架熟料;

[0010] ②将步骤①准备的原料混料均匀后加工成类壶形结构,具体为:整体呈弧形,底部下凹部分高度占总高度 $1/8-1/6$,呈现为总弧度 $\pi/12-\pi/10$ 的凹弧形底,凹弧形底以弧形底的圆心为基准由中心向外周依次设置有1个大型、4个中型、8个小型共计13个弧形凸起,1个大型弧形凸起的直径为5cm-8cm、中心凸起高度15mm-20mm、圆心设置在弧形底的圆心,4个中型弧形凸起的直径均为3cm-4cm、中心凸起高度8mm-12mm、圆心设置在弧形底的半径靠近圆心的 $1/3$ 处、4个圆心所在半径呈 90° 夹角均布,8个小型弧形凸起的直径均为2cm-2.5cm、中心凸起高度5mm-8mm、圆心设置在弧形底的半径远离圆心的 $2/3$ 处、8个圆心所在半径呈 45° 夹角均布;顶部高度占总高度 $1/3-1/4$ 的区域为弧形倾斜收口且倾角随高度增加增大,顶端收口圆弧切线与轴线呈单边收口倾角 $15^\circ-20^\circ$,在顶部的一侧开口占圆周 $\pi/18-\pi/12$ 弧度的区域设置有鹤嘴形外凸口,用于冶炼完后出料;除却底部和顶部外的其余区域为中部,中部呈圆柱形;

[0011] ③将步骤②获得的类壶形结构原料烧结成型,即获得所需石墨坩埚;

[0012] S2:加热熔炼系统组装

[0013] ①采用电阻丝加热装置,将其设置在石墨坩埚侧面且与石墨坩埚的侧面外形相适应,获得加热熔炼系统;

[0014] S3:熔炼设备组装

[0015] ①在石墨坩埚底部设置与石墨坩埚底部弧形相适应的电磁感应搅拌装置;

[0016] ②在石墨坩埚底部的侧面设置圆环状固锁装置,然后设置承托着固锁装置的液压装置,固锁装置和液压装置共同构成液压振动系统,所述液压振动系统由固锁装置、支撑臂和液压装置组成,液压振动系统由液压装置驱动,动力通过支撑臂传播至承托着石墨坩埚底部的固锁装置上,所述液压振动系统通过固锁装置控制石墨坩埚作上下往复运动;

[0017] ③调校加热熔炼系统、液压振动系统和电磁感应搅拌装置的配合间隙使其满足设计需求,获得所需锌合金的熔炼设备。

[0018] 一种锌合金的熔炼设备,该熔炼设备在使用时具体由三个系统组成,分别是加热熔炼系统、电磁感应搅拌系统和液压振动系统;

[0019] 其中加热熔炼系统由加热装置和石墨坩埚组成;加热装置设置在石墨坩埚侧面且与石墨坩埚的侧面外形相适应,石墨坩埚的整体形状为壶形结构,具体为:底部高度占总高度 $1/8-1/6$,呈现为总弧度 $\pi/12-\pi/10$ 的凹弧形底,凹弧形底以弧形底的圆心为基准由中心向外周依次设置有1个大型、4个中型、8个小型共计13个弧形凸起,1个大型弧形凸起的直径为5cm-8cm、中心凸起高度15mm-20mm、圆心设置在弧形底的圆心,4个中型弧形凸起的直径均为3cm-4cm、中心凸起高度8mm-12mm、圆心设置在弧形底的半径靠近圆心的 $1/3$ 处、4个圆心所在半径呈 90° 夹角均布,8个小型弧形凸起的直径均为2cm-2.5cm、中心凸起高度5mm-8mm、圆心设置在弧形底的半径远离圆心的 $2/3$ 处、8个圆心所在半径呈 45° 夹角均布;顶部高度占总高度 $1/3-1/4$ 的区域为弧形倾斜收口且倾角随高度增加增大,顶端收口圆弧切线与轴线呈单边收口倾角 $15^\circ-20^\circ$,在顶部的一侧开口占圆周 $\pi/18-\pi/12$ 弧度的区域设置有鹤嘴形外凸口,用于冶炼完后出料;除却底部和顶部外的其余区域为中部,中部呈圆柱形;石墨

坩埚内盛装由锌合金熔化后构成的熔池及沉降在熔池底部的镍基软磁合金屑；

[0020] 电磁感应搅拌系统设置在加热熔炼系统正下方，由电磁感应装置和搅拌介质构成，其中电磁感应装置的电磁感应面与石墨坩埚的弧形底部形状相适应，搅拌介质即为前述的沉降在熔池底部的镍基软磁合金屑；

[0021] 液压振动系统由固锁装置、支撑臂和液压装置组成，液压振动系统由液压装置驱动、动力通过支撑臂传播至承托着石墨坩埚底部的固锁装置上。

[0022] 上述的一种锌合金的熔炼设备及其生产工艺中，所述镍基软磁合金屑具体为工业加工中回收的镍基软磁合金废屑。

[0023] 上述的一种锌合金的熔炼设备及其生产工艺中，所述回收的镍基软磁合金废屑具体为1J76镍基软磁合金废屑。

[0024] 上述的一种锌合金的熔炼设备及其生产工艺中，所述液压振动系统通过固锁装置控制石墨坩埚作上下往复运动，运动高度范围为0.8cm-2cm。

[0025] 与现有技术相比较，本发明具有以下优点：(1) 采用本发明的熔炼设备熔炼锌合金尤其是多元复杂锌合金时，无需添加任何除渣剂、精炼剂或除气剂，因此能明显提升合金的纯净度，同时本发明选用的镍基软磁合金废屑其在锌基体中固溶度低于铁、熔点远高于锌合金熔点、密度明显大于锌合金（密度 $8.8\text{g}/\text{cm}^3$ - $9.0\text{g}/\text{cm}^3$ ，明显大于锌合金 $6.6\text{g}/\text{cm}^3$ - $6.8\text{g}/\text{cm}^3$ ），因此基本可以忽略作为镍基软磁合金的搅拌介质作为杂质嵌入或固溶到锌合金里，同时能起到直接且高强度的搅拌效果，获得均匀性更好，原始晶粒度更细的锌合金。(2) 锌合金，其优点是铸造成本低、铸造成型尺寸精密性好、常温机械性能优良、耐大气腐蚀性能及表面耐磨性较好，本应具有较好的市场应用价值，但就目前来看，其应用的广度和研究的深度上远远比不上铁、铝、铜、镁等金属基合金，其现在冶炼设备、冶炼工艺和冶炼理念都相对原始，因此现有技术中其在生产中主要反映的问题就集中在组织均匀性难以控制和气孔率难以控制两个方面，同时，也正是由于这些限制，复杂锌合金的一次冶炼成型技术到现在都并没有出现质的突破，本发明通过采用现有锌合金未采用的多种先进工艺深度、复杂、有机地揉合，结合锌合金熔池自身的流动特性及除气规律，设计并在实践上逐步完善了一型三位一体的熔炼设备，其最突出的贡献是使部分复杂锌合金可以一次冶炼成型且组织均匀、除气较彻底，能适用于民用航空用精密锌合金的加工制造。(3) 本发明的机械结构简单且所有部件均可外露，所有材料及配件除了石墨坩埚外均为成熟外置构件，因此维修维护方便，同时作为搅拌介质的镍基软磁合金屑熔点远高于锌合金、密度（ $8.8\text{g}/\text{cm}^3$ - $9.0\text{g}/\text{cm}^3$ ）明显大于锌合金（ $6.6\text{g}/\text{cm}^3$ - $6.8\text{g}/\text{cm}^3$ ），因此其长期沉降在熔池底部，可以与本发明特制的底部结构形成更全面、立体的紊流导流结构且易于与锌合金熔融液分离从而实现反复循环利用。优选的直接收购1J76合金在加工中产生的废屑来作为本发明的搅拌介质，既实现了运行低成本的经济目的，又实现了搅拌料尺寸不均带来的搅拌效果更全面（不同尺寸和形状的合金屑在受磁场及熔融液阻力双重影响时其运动方向全更加不可控，带来搅拌效果更优秀的技术效果）的技术目的。(4) 本发明是专门针对锌合金冶炼特性深入研究获得的成果，适用于大部分高端锌合金冶炼，专业性强、质量可控性好。(5) 本发明的组织均匀性靠的是特殊的坩埚整体结构、坩埚底部构造、磁感应搅拌介质三重机制保障的，具体为：坩埚整体结构使得本发明脱离了常规的使液流主体单纯沿周向运动的机械搅拌机制获得了在底部向上的升力和在顶部向中心集中的挤压力，磁感应搅拌介质利用外设的磁感应装置在

底部沿成大体有序、局部有差异的规律快速扰动形成底部不平静的液流旋涡,坩埚底部的凸起构造利用液流在旋转中产生的离心力造成紊流,三者结合实现了全立体的均匀化搅拌动作。(6)本发明的除气效果是通过上述的全立体的均匀化搅拌动作结合液压振动系统托举石墨坩埚进行上下往复运动相结合保障的,具体原理类似于电镀技术领域常用的超声波脱气/消泡,通过内部的高速运动复合外部的强制振动,可以更快速、彻底地将密度明显低于合金液的气体脱出。因此,本发明具有适用于高端锌合金冶炼、电磁搅拌、高效除气、组织均匀稳定、维修维护方便的特性。

附图说明

- [0026] 图1为本发明的整体结构及搅拌状态下熔融液大体流动方向示意图;
- [0027] 图2为本发明石墨坩埚底部浮凸结构分布图;
- [0028] 图3为经典重力铸造技术获得的ZnAl4合金铸锭的铸态组织;
- [0029] 图4为采用本发明冶炼获得的ZnAl4合金铸锭的铸态组织;
- [0030] 图5为无浇道修正设计的经典重力铸造技术获得的ZnAl4合金厚壁部分截面目视效果图;
- [0031] 图6为无浇道修正设计的本发明熔炼液浇铸获得的ZnAl4合金厚壁部分截面目视效果图;
- [0032] 图7为有浇道修正设计的经典重力铸造技术获得的ZnAl4合金试件缺陷分布仿真效果图;
- [0033] 图8为无浇道修正设计的本发明熔炼液浇铸获得的ZnAl4合金试件缺陷分布仿真效果图;
- [0034] 图9为有浇道修正设计的经典重力铸造技术获得的ZnAl4合金试件浇铸充型完成时的温度场分布模拟效果图;
- [0035] 图10为无浇道修正设计的本发明熔炼液浇铸获得的ZnAl4合金试件浇铸充型完成时的温度场分布模拟效果图;
- [0036] 图中:石墨坩埚1、熔池2、电磁感应装置3、加热装置4、固锁装置5、支撑臂6、液压装置7。

具体实施方式

- [0037] 实施例1:
- [0038] 一种如图1、图2所示的锌合金的熔炼设备,该熔炼设备在使用过程中由三个系统组成,分别是加热熔炼系统、电磁感应搅拌系统和液压振动系统;
- [0039] 其中加热熔炼系统由加热装置4和石墨坩埚1组成;石墨坩埚1具体为以结晶质天然石墨、粘土和碳化硅骨架熟料为原料烧结而成的类壶形结构,具体为:底部高度占总高度 $1/8-1/6$,呈现为总弧度 $\pi/12-\pi/10$ 的凹弧形底,凹弧形底以弧形底的圆心为基准由中心向外周依次设置有1个大型、4个中型、8个小型共计13个弧形凸起,1个大型弧形凸起的直径为5cm-8cm、中心凸起高度15mm-20mm、圆心设置在弧形底的圆心,4个中型弧形凸起的直径均为3cm-4cm、中心凸起高度8mm-12mm、圆心设置在弧形底的半径靠近圆心的 $1/3$ 处、4个圆心所在半径呈 90° 夹角均布,8个小型弧形凸起的直径均为2cm-2.5cm、中心凸起高度5mm-8mm、

圆心设置在弧形底的半径远离圆心的2/3处、8个圆心所在半径呈45°夹角均布；顶部高度占总高度1/3-1/4的区域为弧形倾斜收口且倾角随高度增加增大，顶端收口圆弧切线与轴线呈单边收口倾角15°-20°，在顶部的一侧开口占圆周 $\pi/18$ - $\pi/12$ 弧度的区域设置有鹤嘴形外凸口，用于冶炼完后出料；除却底部和顶部外的其余区域为中部，中部呈圆柱形；石墨坩埚1内盛装由锌合金熔化后构成的熔池2及沉降在熔池2底部的1J76镍基软磁合金废屑；

[0040] 电磁感应搅拌系统设置在加热熔炼系统正下方，由电磁感应装置3和搅拌介质构成，其中电磁感应装置3的电磁感应面与石墨坩埚1的弧形底部形状相适应，搅拌介质即为前述的沉降在熔池2底部的1J76镍基软磁合金废屑；

[0041] 液压振动系统由固锁装置5、支撑臂6和液压装置7组成，液压振动系统由液压装置7驱动，动力通过支撑臂6传播至承托着石墨坩埚1底部的固锁装置5上，液压振动系统通过固锁装置5控制石墨坩埚1作上下往复运动，其中上下往复运动的运动高度范围为0.8cm-2cm。

[0042] 如图4、图6、图8、图10与图3、图5、图7、图9的对比可知，本发明在改善组织均匀性、提升充型温度场分布均匀性、细化晶粒、减少气孔四个方面都有明显优于现有成熟常规技术的表现；在图10中对应充型难点区域的远端A测温点和左翼B1、右翼B2测温点与图9中同样位置的温度场对比，明显可以看出本实施例在无浇道修正的情况下温度均匀性仍优于有浇道修正的传统熔炼方法；同样以ZnAl4铸造件为例，本实施例所获铸锭其密度为6.72g/cm³-6.74g/cm³，明显优于作为阴性对照的常规重力铸造的6.60g/cm³-6.64g/cm³。

[0043] 实施例2：

[0044] 整体与实施例1一致，差异之处在于：

[0045] 搅拌介质为粒径3mm-5mm的1J85C坡莫合金粒。

[0046] 相较于实施例1而言，主要是作为搅拌介质的采购成本有所上升，但技术效果基本相当，差异无统计学意义。

[0047] 实施例3：

[0048] 整体与实施例1一致，差异之处在于：

[0049] 液压振动系统通过固锁装置5控制石墨坩埚1作上下往复运动，其中上下往复运动的运动高度范围为3cm-5cm。

[0050] 根据本实施例生产的铸锭，其晶粒度相较实施例1降低1-2级，以ZnAl4为例，其密度从实施例1的6.72g/cm³-6.74g/cm³降至6.68g/cm³-6.70g/cm³。

[0051] 对所公开的实施例的上述说明，仅为了使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的，本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。因此，本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例，而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

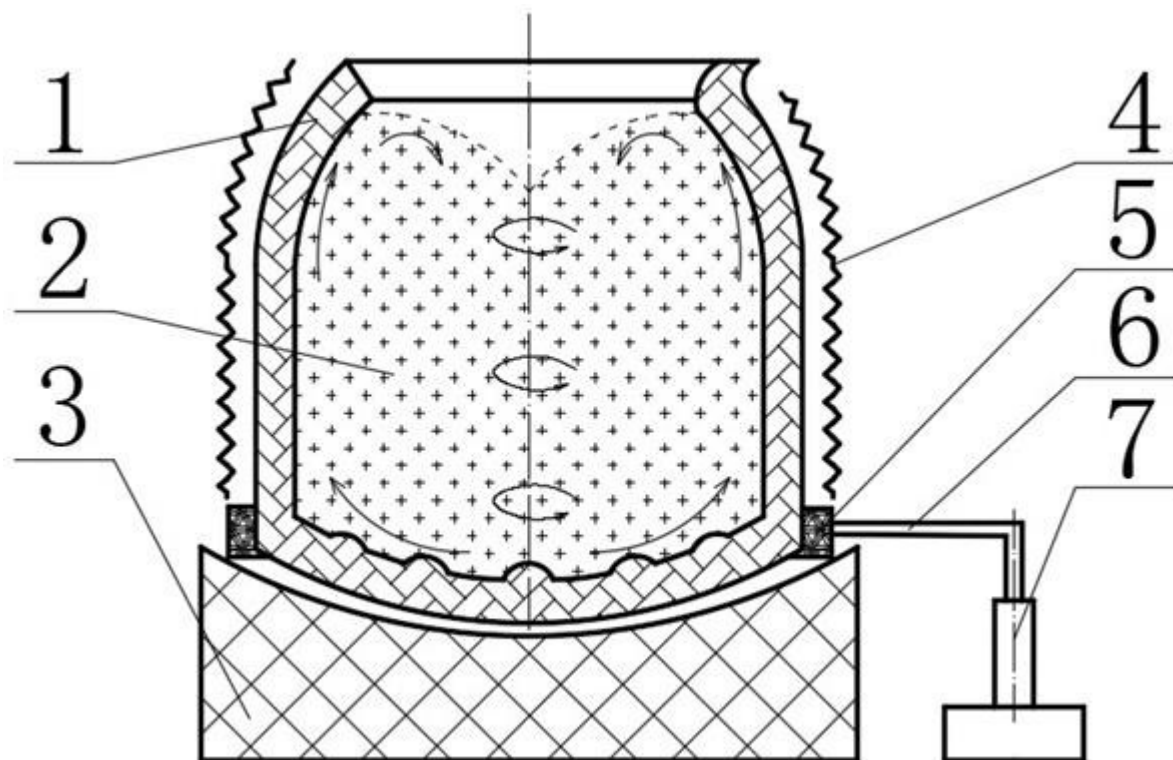


图1

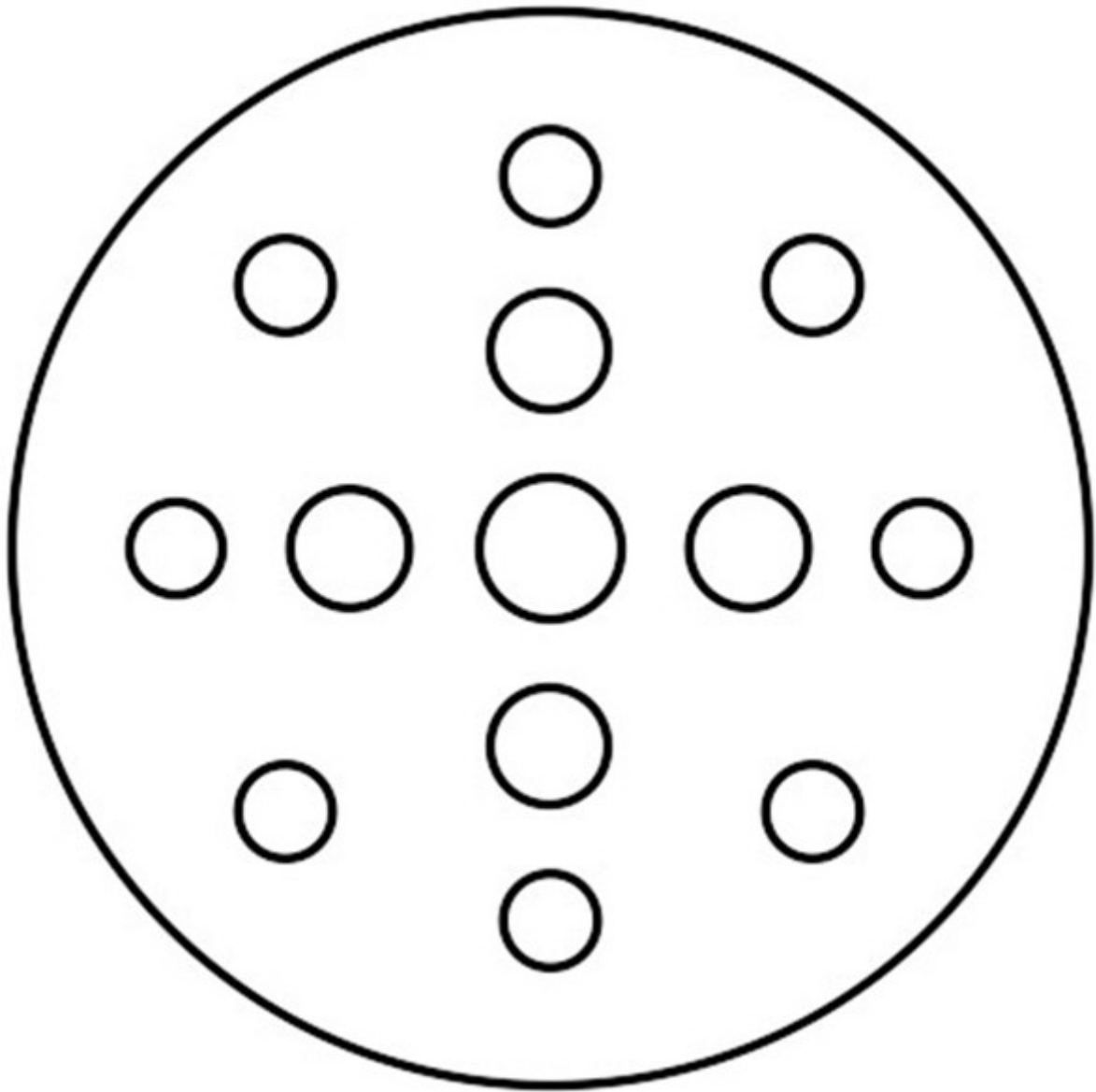


图2

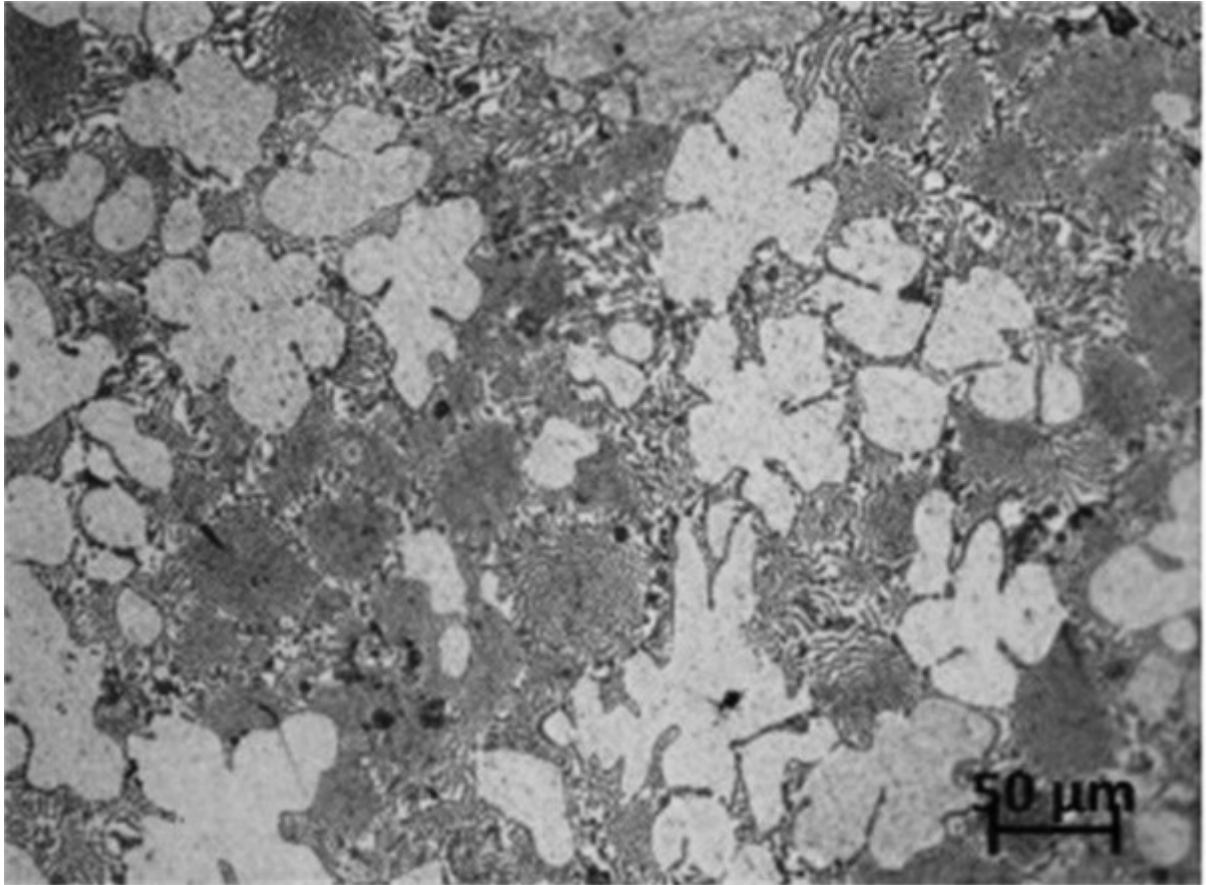


图3

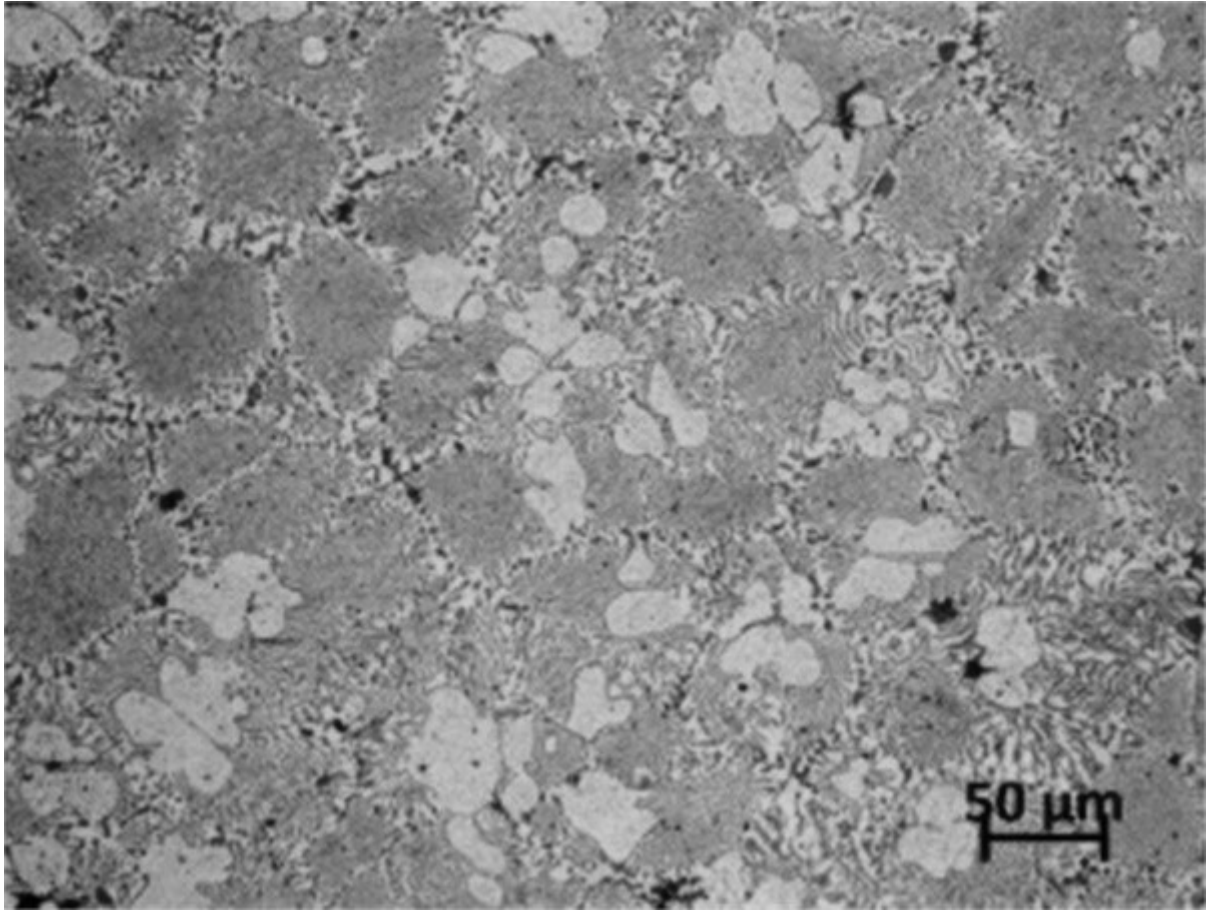


图4



图5



图6



图7

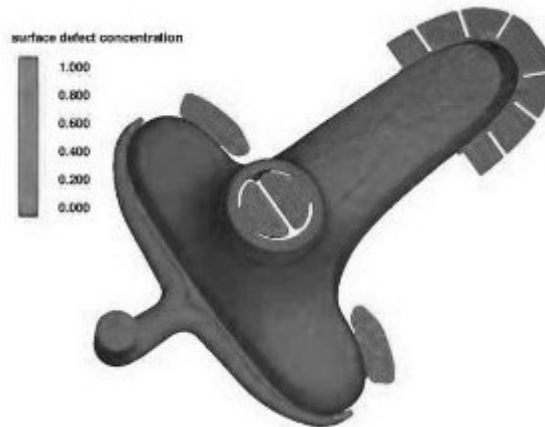


图8

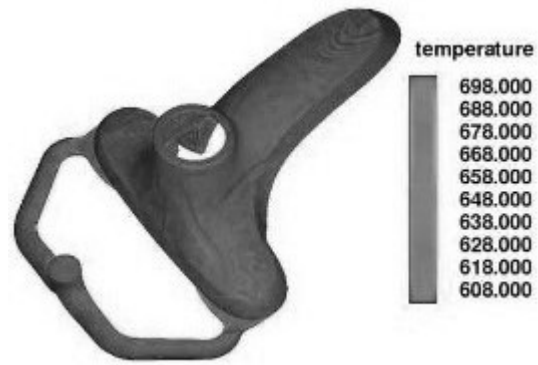


图9

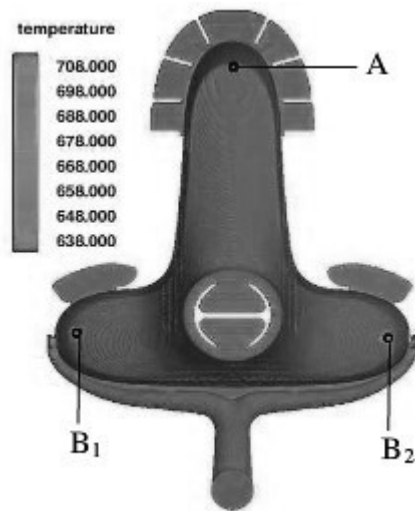


图10