



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105057628 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 18

(21) 申请号 201510420463. 8

(22) 申请日 2015. 07. 16

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

(72) 发明人 李正阳 陈光南 王红才 彭青  
罗耕星 张坤 肖京华

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

B22D 17/00(2006. 01)

B33Y 10/00(2015. 01)

B33Y 40/00(2015. 01)

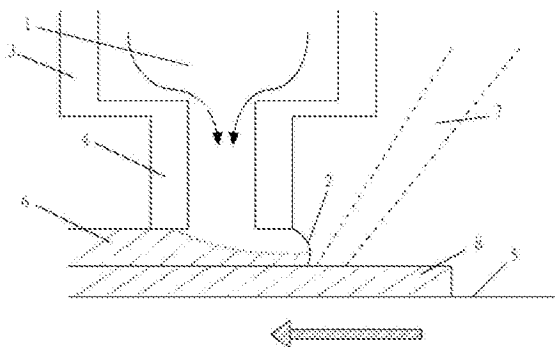
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法

(57) 摘要

本发明涉及一种激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,包括:(1) 将激光器瞄准熔体即将覆盖的运动前沿区域,在控制软件中,设定激光器开启和关闭的时间与基板开始运动和停止运动的时间同步,打开激光器电源,调节激光器参数,做好出光准备;(2) 打开运动开关,熔体在压力下从坩埚中压出并落在坩埚出口下方的基板上,激光同时照射基板上的熔体运动的前沿区域;(3) 成型结束,关闭运动开关,停止向坩埚中的熔体加压,熔体停止流动,同时激光停止照射。通过该方法铸轧成型的金属,其晶粒细化程度高,致密程度接近或达到轧制或者锻造的水平,同时层间界面能够很好地实现冶金结合,成型产品品质高。



1. 激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,其特征在於,包括以下步骤:

(1) 准备阶段:将激光器瞄准熔体即将覆盖的运动前沿区域,在控制软件中,设定激光器开启和关闭的时间与基板开始运动和停止运动的时间同步,打开激光器电源,调节激光器参数,做好出光准备;

(2) 实施阶段:打开运动开关,熔体在压力下从坩埚中压出并落在坩埚出口下方的基板上,激光同时照射基板上的熔体运动的前沿区域,激光光斑后沿与熔体前沿之间的距离不大于光斑尺寸的十分之一,当运动轨迹折转时,激光照射区域快速切换,在整个成型过程中,激光照射区域始终保持在前沿区域;

(3) 成型结束:成型过程结束,关闭运动开关,停止向坩埚中的熔体加压,熔体停止流动,同时激光停止照射。

2. 根据权利要求1所述的激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,其特征在於,步骤(1)中,所述激光的输出功率设置在被照射区域能够被熔化,但不至于发生流淌的功率范围内。

3. 根据权利要求1所述的激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,其特征在於,步骤(2)所述激光的光强度分布为高斯分布、均匀分布或常用激光器的常规分布。

4. 根据权利要求1所述的激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,其特征在於,步骤(2)中,所述激光光斑的尺寸与熔体运动轨迹的宽度相差 $\pm 5\%$ 。

5. 根据权利要求1-4任一项所述的激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,其特征在於,

步骤(1)中,所述激光器为连续激光器或脉冲激光器,即能够达到准直、瞄准和加热效果的激光器,波长范围在 $500\text{nm} \sim 11000\text{nm}$ 。

6. 根据权利要求1所述的激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,其特征在於,步骤(2)中,所述坩埚出口的底端与所述基板或者前一凝固层之间的距离 $\leq 1\text{mm}$ 。

7. 根据权利要求6所述的激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,其特征在於,步骤(2)中,所述坩埚中还设有用于搅拌熔体的叶轮,其转速为 $100 \sim 2000\text{rpm}$ 。

8. 根据权利要求1所述的激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,其特征在於,步骤(1)中,所述基板的运动处在三维空间内。

9. 根据权利要求1所述的激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,其特征在於,步骤(2)中,所述基板与所述熔体为同种材料。

## 激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于增材制造领域,具体而言,涉及一种激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法。

### 背景技术

[0002] 增材制造(即 Additive Manufacturing,简称 AM)是通过逐层增加材料、基于三维 CAD 模型数据的直接制造方式,是与相应数学模型完全一致的三维物理实体模型的制造方法。

[0003] 中国专利 CN201310139419,公开了一种金属构件移动微压铸成型方法,该方法以满足成分要求的熔体为原料,通过逐点逐层同步铸轧的制造方式无模成型金属构件。

[0004] 其具体工作原理是:对金属构件的三维图形进行分层和运行轨迹设计,并编制逐点加工控制程序;在坩埚底部出口与可水平运动的基板或前一凝固层之间设置一个厚度为百微米、而四周开放的、对注入熔体实施同步铸轧的扁平空间。该空间厚度的设计原则是,熔体可以流入,但受其表面张力的约束不会溢出。熔体自坩埚压入该区域时,率先与基板或前一凝固层接触的部分快速凝固,同时随基板水平移动,由此在凝固组织与相邻的熔体之间形成剪切力,抑制初凝组织前沿晶粒的生长,细化晶粒,并改善成型件的力学性能。

[0005] 用该方法成型之金属构件能否工程实用的关键在于两点:一、凝固组织的细化和致密程度能否达到或接近轧制或者锻造的水平?二、层间界面能否实现冶金结合?

[0006] 对于前一问题,可以通过该方法提出的同步铸轧和快速冷却措施解决。解决后一问题的难点在于:金属是热的良导体,仅依靠后续熔体携带的热量使前一层凝固表层重熔的工艺窗口不大,而且这一工艺窗口还会随着金属热导率的提高而变窄。

[0007] 此外,提高后续熔体的温度还会带来一些负面效应。譬如,降低熔体的表面张力,为此不得不减小同步铸轧空间的厚度,以防止熔体溢出,从而影响加工效率。又譬如,使已凝固组织因过热而长大,从而降低成型件的细晶强化效果。

### 发明内容

[0008] 本发明的目的在于提供一种激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,通过该方法铸轧成型的金属,其晶粒细化程度高,致密程度接近或达到轧制或者锻造的水平,同时层间界面能够很好地实现冶金结合,成型产品品质高。

[0009] 为了达到本发明的目的,具体方案如下:

[0010] 激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法,包括以下步骤:

[0011] (1) 准备阶段:将激光器瞄准熔体即将覆盖的运动前沿区域,在控制软件中,设定激光器开启和关闭的时间与基板开始运动和停止运动的时间同步,打开激光器电源,调节激光器参数,做好出光准备;

[0012] (2) 实施阶段:打开运动开关,熔体在压力下从坩埚中压出并落在坩埚出口下方的基板上,激光同时照射基板上的熔体运动的前沿区域,激光光斑后沿与熔体前沿之间的

距离不大于光斑尺寸的十分之一,当熔体运动轨迹折转时,激光照射区域快速切换,在整个成型过程中,激光照射区域始终保持在熔体前沿区域;

[0013] 其中,坩埚及其出口的温度会略高于金属的熔点,随不同的金属、合金的成分而变化。

[0014] (3) 成型结束:成型过程结束,关闭运动开关,熔体停止流动,同时激光停止照射。

[0015] 本发明提供的激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法中,在熔体运动的前沿,用一束激光加热已凝固的前一堆积层,激光束照射的位置始终在熔体运动的前沿和前一凝固层上,并且激光光斑后沿与熔体的运动前沿之间的距离不大于光斑尺寸的十分之一,使温度相对较低、粘度较高的熔体也能与前一凝固层形成冶金结合。

[0016] 同时,熔体自坩埚压出后,率先与基板或前一凝固层接触的部分快速凝固,同时随基板移动,由此在凝固组织与相邻的熔体之间形成剪切力,抑制初凝组织前沿晶粒的生长,细化了晶粒。

[0017] 因此,通过本发明提供的方法,能够使铸轧成型的金属达到晶粒细化程度高,致密程度能接近或达到轧制或者锻造的水平,同时,层间界面间能够很好地实现冶金结合,避免凝固组织因过热而晶粒长大的弊端。

[0018] 熔体表面的张力,进一步地,步骤(1)中,所述激光的输出功率设置在被照射区域能够被熔化,但不至于发生流淌的功率范围内。以增强堆积层之间的结合力。

[0019] 进一步地,步骤(2)所述激光的光强度分布为高斯分布、均匀分布或常用激光器的常规分布。

[0020] 其中,激光的光斑可以是圆形、矩形或者其它外部轮廓规则的任意形状。

[0021] 进一步地,步骤(2)中,所述激光光斑的尺寸与熔体运动轨迹的宽度相差 $\pm 5\%$ 。

[0022] 进一步地,步骤(1)中,所述激光器为连续激光器或脉冲激光器,即能够达到准直、瞄准和加热效果的激光器,波长范围在 $500\text{nm} \sim 11000\text{nm}$ 。

[0023] 进一步地,步骤(2)中,所述坩埚出口的底端与所述基板或者前一凝固层之间的距离 $\leq 1\text{mm}$ 。

[0024] 进一步地,步骤(2)中,所述坩埚中还设有用于搅拌熔体的叶轮,其转速为 $100 \sim 2000\text{rpm}$ 。

[0025] 其中的叶轮的叶片形状可以为连续的螺旋形,或若干螺旋浆叶片,叶片数量为 $3 \sim 10$ 片,无特定的形状要求,叶轮的直径不大于坩埚内径。

[0026] 对坩埚内熔体的搅拌可以是机械搅拌,比如使用叶轮,也可以利用电磁搅拌。

[0027] 进一步地,步骤(1)中,所述基板的运动处在三维空间内。

[0028] 进一步地,步骤(2)中,所述基板与所述熔体为同种材料。

[0029] 与现有技术相比,本发明的特点在于:

[0030] 1. 将激光照射与铸轧无模成形相结合,很好地解决了现有技术中晶粒细化、层间界面实现良好冶金结合的双重技术问题。

[0031] 2. 激光光斑后沿与熔体前沿之间的距离不大于光斑尺寸的十分之一,确保处在熔体运动前沿的已凝固区域发生微熔,使层面间能够及时良好地结合,同时又不会导致已凝晶粒过热长大。

[0032] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

- [0033] 1. 改善了铸轧成型构件的层间结合力。
- [0034] 2. 通过激光提供的附加能量使已凝固组织重熔,减少了熔体使已凝固组织重熔的时间,可加快基板运动速度,提高了加工效率。
- [0035] 3. 解决了以往方法中因为熔体过热而流淌或使已凝固晶粒长大的弊端。

### 附图说明

[0036] 图 1 为本发明提供的激光辅助液态金属同步铸轧无模成型方法中,使用的装置的简易结构图;

[0037] 图 2 为熔体运行并排搭接的路径时,熔体前沿区域的结构示意图;

[0038] 图 3 为熔体的运动轨迹折转时,激光束快速切换,使激光照射区域始终保持在熔体前沿的示意图;

[0039] 图 4 为在扫描电镜下观察的锡铅合金结合界面图;

[0040] 1. 熔体,2. 熔体前沿,3. 坩埚,4. 坩埚出口,5. 基板,6. 新凝固层,7. 激光束,8. 前一凝固层,9. 激光照射区域。

### 具体实施方式

[0041] 下面通过具体的实施例子对本发明做进一步的详细描述。

[0042] 实施例:如图 1-3 所示,

[0043] (1) 将精炼的锡铅合金 (Sn-15Pb) 倒入保温在 230℃ 的坩埚 3,坩埚 3 中设有可旋转的叶轮,设置其转速为 800rpm,搅拌锡铅合金熔体,坩埚 3 底部有一个内径 1mm 的出口,坩埚出口 4 下方是一个可三维运动的基板 5,基板 5 与坩埚出口 4 底端的距离不大于 1mm;

[0044] (2) 用 YAG 激光器瞄准锡铅合金熔体即将覆盖的运动前沿区域 9;

[0045] (3) 在控制软件中设定,激光出光时间、关闭时间与基板 5 开始运动的时间、停止运动的时间同步,打开激光器电源,调节激光器参数,做好出光准备;

[0046] (4) 打开运动开关,锡铅合金熔体在压力下被压出坩埚 3,激光同时照射处于锡铅合金熔体运动前沿 2 的前一凝固层 8 的区域,锡铅合金熔体在铸轧区内边凝固,边随基板 5 运动,在三维成形软件支持下,随着基板 5 的逐层水平运动和垂向的等间距运动,锡铅合金熔体有规律地流出,堆积成形,并形成新凝固层 6 与前一凝固层 8 实现很好地冶金结合。

[0047] 其中,熔体运动前沿 2 是熔体 1 的不断前进的外表面,如图 1 所示。

[0048] 从图 2 可以看出,当熔体运行并排搭接的路径时,熔体的运动前沿区域不仅指处于底面的前一凝固层 8 的水平面,也包括处于侧面的前一凝固层 8 的垂直面,也就是,激光照射区域 9 包括近似成 90° 的平面和侧面。

[0049] 从图 3 可以看出,当熔体的运动轨迹折转时,激光束 7 快速切换,使激光照射区域 9 始终保持在熔体前沿。

[0050] 图 4 是扫描电镜下观察到的锡铅合金界面,白色虚线之间的部分,可以看出界面结合良好,无孔隙,无裂纹。

[0051] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

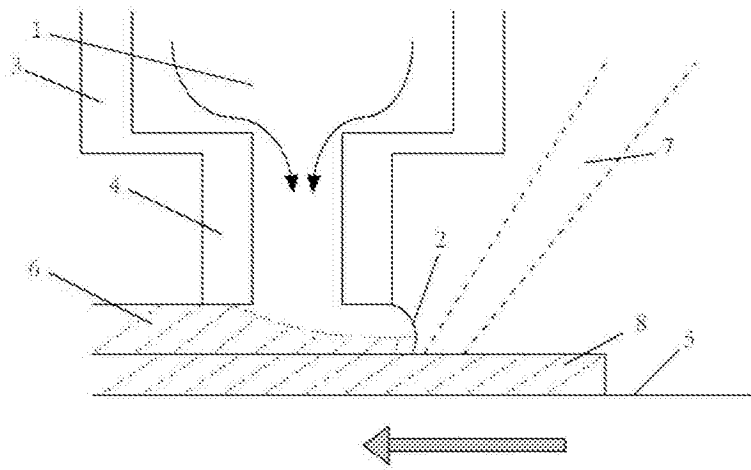


图 1

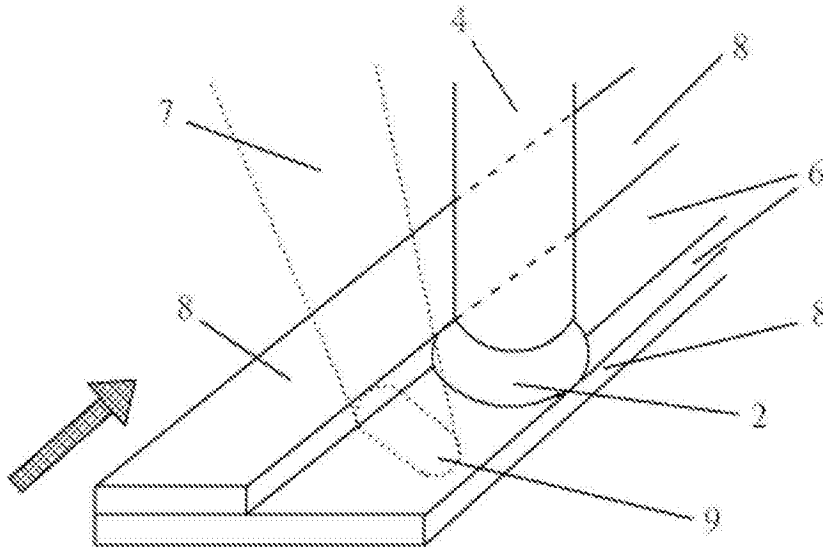


图 2

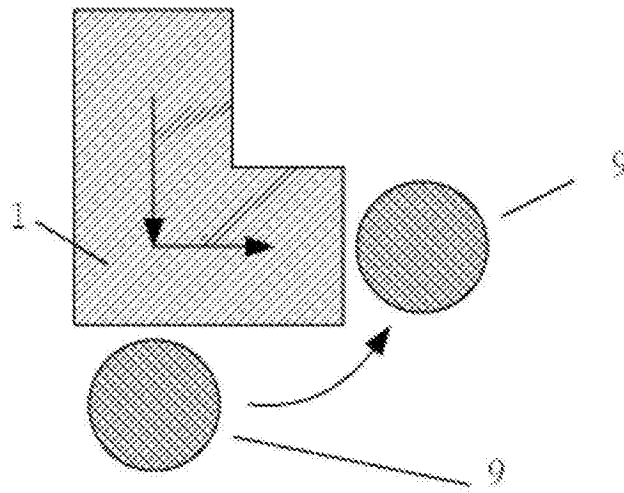


图 3

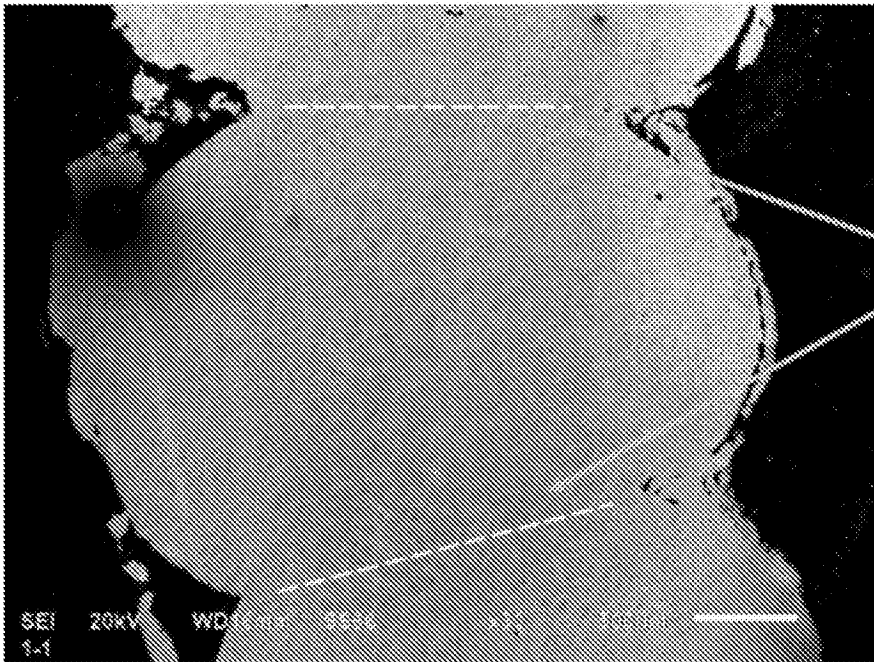


图 4