



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109047763 A

(43)申请公布日 2018.12.21

(21)申请号 201811038951.2

(22)申请日 2018.09.06

(71)申请人 北京航星机器制造有限公司  
地址 100013 北京市东城区和平里东街1号

(72)发明人 孙少波 任金欣 李保永 李宏伟  
王志敏

(74)专利代理机构 中国航天科技专利中心  
11009

代理人 王卫军

(51) Int. Cl.

B22F 3/105(2006.01)

B33Y 10/00(2015.01)

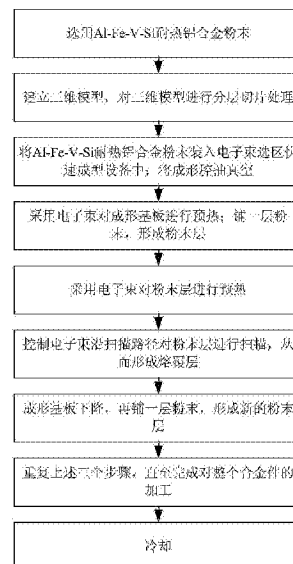
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

一种利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法

(57)摘要

一种利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,属于电子束焊接技术领域。本发明方法制备过程无需准备坩埚、模具或粉末包套等,同时省去热挤压、锻造等中间热加工工序,制备工艺简单,成本低于喷射沉积、粉末冶金等传统制备手段,生产效率高,可大大降低合金产品的研制周期;且可以制备具有任意形状复杂的金属构件,构件的外形、内部结构完全可控,可根据实际需求进行个性化定制。合金件加工完成后,无需或仅需很少的机加工和后处理,节省人力物力,未加工、多余的合金粉末可以回收重复利用,材料利用率高。



1. 一种利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,其特征在于,包括:

步骤一、根据待加工的Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的形状,利用三维制图软件建立三维模型,利用分层软件对所述三维模型在高度方向上进行分层切片处理,得到包含横截面轮廓信息和扫描路径的切片文件;

步骤二、将电子束选区熔化系统的成形腔抽真空;

步骤三、采用电子束对设置于所述成形腔内的成形基板进行预热;预热完成后,在所述成形基板上均匀铺一层厚度与所述切片厚度相同的Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末,从而形成粉末层;所述Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末为采用氩气雾化法制备的预合金化Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末,粉末呈球形或近球形;

步骤四、采用电子束对所述成形基板上的粉末层进行预热,直至该粉末层的温度与所述成形基板的温度一致;

步骤五、控制电子束依据与该层粉末对应的切片文件中的扫描路径对该粉末层进行扫描,使经过扫描的粉末发生熔化并凝固形成一熔覆层;

步骤六、在已形成的熔覆层上均匀铺一层Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末,以形成新的粉末层;

步骤七、重复步骤四至步骤六,直至完成对Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的加工。

2. 如权利要求1所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,其特征在于,所述步骤三中,采用电子束对所述成形基板预热的工作参数为:电子束扫描速度为8000-10000mm/s,电子束流为15mA,扫描间距0.15-0.2mm;预热温度在200-250℃之间。

3. 如权利要求2所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,其特征在于,所述步骤四中,采用电子束对粉末进行预热的工作参数为:预热6-10次,电子束扫描速度为6000-8000mm/s,电子束流为5-8mA,扫描间距0.15-0.2mm。

4. 如权利要求2或3所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,其特征在于,所述成形基板采用纯Al成形基板,厚度为15-20mm。

5. 如权利要求2或3所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,其特征在于,所述步骤二中,所述成形腔的真空度在 $1 \times 10^{-3}$ Pa- $2 \times 10^{-2}$ Pa之间。

6. 如权利要求2或3所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,其特征在于,所述步骤五中,扫描时,粉末熔化1次,电子束扫描速度为2000-3000mm/s,熔化电流为8-12mA,扫描间距0.05-0.2mm;电子束的加速电压为60kV。

7. 如权利要求2或3所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,其特征在于,所述步骤七中,加工完成后,向所述成形腔内通入氩气,对加工成形的Al-Fe-V-Si耐热铝合金件进行冷却,待温度降低至100℃以下,从所述成形腔内取出加工成形的Al-Fe-V-Si耐热铝合金件,冷却至室温。

8. 如权利要求2或3所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,其特征在于,所述步骤三中,所述成形基板可升降地设置于所述成形腔内。

9. 如权利要求2或3所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,其特征在于,所述步骤六中,完成一个熔覆层的加工后,所述成形基板先下降与粉末

层的层厚相等的距离,再在已形成的熔覆层上均匀铺新的粉末层的厚度为0.05-0.15mm;所述粉末的直径在45-160 $\mu\text{m}$ 之间。

10.如权利要求1所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,其特征在于,所述切片的厚度为0.05-0.15mm。

## 一种利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法

### 技术领域

[0001] 一种利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,涉及一种利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,属于电子束焊接技术领域。

### 背景技术

[0002] Al-Fe-V-Si系耐热铝合金是1986年美国联合信号(Allied-Signal)公司的Skinner等人利用平流铸造技术开发出来的一种新型高温合金。由于在合金基体中形成了高体积分数的 $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe,V)<sub>3</sub>Si热稳定弥散颗粒,Al-Fe-V-Si合金具有密度小、室温强度高、热稳定性好、延性和断裂韧性高等一系列优异的综合性能,这使得合金的有效使用温度扩展到了300℃以上,因而极有希望取代传统上在300~400℃耐热合金中占统治地位的钛合金,成为航空航天、军工领域结构材料的首选合金。

[0003] 目前,Al-Fe-V-Si系合金的主要采用平流铸造,快速凝固/粉末冶金和喷射沉积等传统快速凝固方法。喷射沉积和粉末冶金过程中冷却速度相对较低,合金组织中除了形成球状 $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe,V)<sub>3</sub>Si耐热强化相外,还形成了一些高温不稳定第二相。随温度升高,这些高温不稳定相将发生聚集、长大和多边形化等,甚至转变为对合金有害的相,导致合金性能下降。不仅如此,采用这上述工艺制备难以直接制备形状复杂的结构件(复杂曲面、冷却通道或内孔结构),一般需要后续热压、热挤压、热等静压或锻造处理,零件制备的周期较长、生产成本低、生产效率低。另一方面,后续热加工工序容易造成合金基体晶粒长大和弥散强化相的粗化,从而降低合金的力学性能。上述传统方法的不足限制了Al-Fe-V-Si系耐热铝合金的进一步广泛应用。因此,十分有必要开发一种更加高效、高质量的制备Al-Fe-V-Si合金的方法。

### 发明内容

[0004] 本发明的技术解决问题是:克服现有技术的不足之处,给出了一种利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,所制备得到的Al-Fe-V-Si耐热铝合金件外形轮廓清晰,没有明显的成形缺陷,尺寸精度与表面成形质量良好,具备优异的力学性能。

[0005] 本发明的技术解决方案是:

[0006] 一种利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,包括:

[0007] 步骤一、根据待加工的Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的形状,利用三维制图软件建立三维模型,利用分层软件对所述三维模型在高度方向上进行分层切片处理,得到包含横截面轮廓信息和扫描路径的切片文件;

[0008] 步骤二、将电子束选区熔化系统的成形腔抽真空;

[0009] 步骤三、采用电子束对设置于所述成形腔内的成形基板进行预热;预热完成后,在所述成形基板上均匀铺一层厚度与所述切片厚度相同的Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末,从而

形成粉末层;所述Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末为采用氩气雾化法制备的预合金化Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末,粉末呈球形或近球形;

[0010] 步骤四、采用电子束对所述成形基板上的粉末层进行预热,直至该粉末层的温度与所述成形基板的温度一致;

[0011] 步骤五、控制电子束依据与该层粉末对应的切片文件中的扫描路径对该粉末层进行扫描,使经过扫描的粉末发生熔化并凝固形成一熔覆层;

[0012] 步骤六、在已形成的熔覆层上均匀铺一层Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末,以形成新的粉末层;

[0013] 步骤七、重复步骤四至步骤六,直至完成对Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的加工。

[0014] 优选地,所述步骤三中,采用电子束对所述成形基板预热的工作参数为:电子束扫描速度为8000-10000mm/s,电子束流为15mA,扫描间距0.15-0.2mm;预热温度在200-250℃之间。

[0015] 进一步地,所述步骤四中,采用电子束对粉末进行预热的工作参数为:预热6-10次,电子束扫描速度为6000-8000mm/s,电子束流为5-8mA,扫描间距0.15-0.2mm。

[0016] 进一步地,所述成形基板采用纯Al成形基板,厚度为15-20mm。

[0017] 进一步地,所述步骤二中,所述成形腔的真空度在 $1 \times 10^{-3}$ Pa- $2 \times 10^{-2}$ Pa之间。

[0018] 进一步地,所述步骤五中,扫描时,粉末熔化1次,电子束扫描速度为2000-3000mm/s,熔化电流为8-12mA,扫描间距0.05-0.2mm;电子束的加速电压为60kV。

[0019] 进一步地,所述步骤七中,加工完成后,向所述成形腔内通入氩气,对加工成形的Al-Fe-V-Si耐热铝合金件进行冷却,待温度降低至100℃以下,从所述成形腔内取出加工成形的Al-Fe-V-Si耐热铝合金件,冷却至室温。

[0020] 进一步地,所述步骤三中,所述成形基板可升降地设置于所述成形腔内。

[0021] 进一步地,所述步骤六中,完成一个熔覆层的加工后,所述成形基板先下降与粉末层的层厚相等的距离,再在已形成的熔覆层上均匀铺新的粉末层的厚度为0.05-0.15mm;所述粉末的直径在45-160 $\mu$ m之间。

[0022] 优选地,所述切片的厚度为0.05-0.15mm。

[0023] 本发明与现有技术相比具有如下优点:

[0024] (1) 本发明方法采用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件,制备过程无需准备坩埚、模具或粉末包套等,同时省去热挤压、锻造等中间热加工工序,制备工艺简单,成本低于喷射沉积、粉末冶金等传统制备手段,生产效率高,可大大降低合金产品的研制周期。

[0025] (2) 本发明方法采用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件,可以制备具有任意形状复杂的金属构件,构件的外形、内部结构完全可控,可根据实际需求进行个性化定制。合金件加工完成后,无需或仅需很少的机加工和后处理,节省人力物力。未加工、多余的合金粉末可以回收重复利用,材料利用率高。

[0026] (3) 本发明方法在真空环境下利用电子束对粉末进行熔化成形,对高温状态的Al-Fe-V-Si合金具有更好的保护效果,能有效避免合金件的氧化。

[0027] (4) 制备过程中,合金件已成形的部分的温度维持在200-250℃,这相当于热处理过程,可降低合金内部的残余应力,防止合金件发生变形和开裂,有利于实现合金件强度与

塑性的良好匹配。

[0028] (5) 本发明方法成形过程熔池尺寸小,凝固时间极短,因此合金粉末的凝固冷却速度极高( $10^4$ - $10^6$ K/s),为高度非平衡凝固,这大大提高了Fe、V、Si元素在Al基体中的过饱和固溶度,促使基体上形成大量弥散分布、热稳定性良好的第二相粒子,细小、结构稳定的强化相能有效定扎基体晶界,抑制基体晶粒的再结晶并阻碍位错一定,使Al-Fe-V-Si合金件具有良好的室温和高温性能。

[0029] (6) 本发明所制备的Al-Fe-V-Si耐热铝合金零件致密度高(>98%);合金组织主要由Al固溶体和 $Al_{12}(Fe,V)_3Si$ 强化相组成, $Al_{12}(Fe,V)_3Si$ 呈均匀弥散分布,尺寸细小(30-100nm);合金的极限拉伸强度、屈服强度和延伸率分别可以达到525MPa、500MPa和7.5%以上;适用于制备复杂叶轮等合金构件,外形轮廓清晰,没有明显的成形缺陷,尺寸精度与表面成形质量良好,成形粗糙度 $R_a$ 约为25-30 $\mu$ m。

### 附图说明

[0030] 图1为一个实施例中利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法的流程图;

[0031] 图2为实施例1中Al-Fe-V-Si耐热合金件的XRD图谱;

[0032] 图3为实施例1中Al-Fe-V-Si耐热合金件的扫描电镜图片;

[0033] 图4为实施例1中Al-Fe-V-Si耐热合金件的透射电镜组织形貌;

[0034] 图5为实施例1中Al-Fe-V-Si耐热合金件的叶轮构件的外形轮廓照片。

### 具体实施方式

[0035] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0036] 本发明提供了一种利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法,包括:

[0037] 步骤一、根据待加工的Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的形状,利用三维制图软件建立三维模型,利用分层软件对所述模型在高度方向上进行分层切片处理,得到包含横截面轮廓信息和扫描路径的切片文件,切片厚度为0.05-0.15mm。

[0038] 步骤二、将电子束选区熔化系统的成形腔抽真空。

[0039] 步骤三、采用电子束对设置于所述成形腔内的成形基板进行预热,预热温度在200-250 $^{\circ}$ C之间;预热完成后,在所述成形基板上均匀铺一层厚度与所述切片厚度相同的Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末,从而形成粉末层;所述Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末为采用氩气雾化法制备的预合金化Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末,粉末呈球形或近球形,直径在45-160 $\mu$ m之间。

[0040] 步骤四、采用电子束对所述成形基板上的粉末层进行预热,直至该粉末层的温度与所述成形基板的温度一致。

[0041] 步骤五、控制电子束依据与该层粉末对应的切片文件中的扫描路径对该粉末层进行扫描,使经过扫描的粉末发生熔化并凝固形成一熔覆层,扫描时,粉末熔化1次,电子束扫描速度为2000-3000mm/s,熔化电流为8-12mA,扫描间距0.05-0.2mm。

[0042] 步骤六、在已形成的熔覆层上均匀铺一层厚度为0.05-0.15mm的Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末,以形成新的粉末层。

[0043] 步骤七、重复步骤四至步骤六,直至完成对Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的加工。

[0044] 本发明利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件,该方法首先利用计算机设计成形件的三维CAD实体模型,然后利用分层软件在三维模型的高度方向进行分层切片,并将三维轮廓信息转化为二维轮廓信息,并基于该二维轮廓信息生成扫描路径。在对一个粉末层进行加工时,电子枪发射的高能电子束根据指定的扫描路径,逐层熔化沉积预置的金属或合金粉末,层层堆积形成三维合金件。本发明特别适合中小型、具有复杂结构和形状的难加工、高熔点金属和合金结构件(比如机匣、叶轮、网格结构和叶片)的快速成形制备。制备过程无需准备坩埚、模具或粉末包套等,同时省去热挤压、锻造等中间热加工工序,制备工艺简单,成本低于喷射沉积、粉末冶金等传统制备手段,生产效率高,可大大降低合金产品的研制周期。

[0045] 本发明是在高真空环境下进行的,这有效避免了合金在熔化和凝固时的氧化行为,有利于提高合金件的力学性能。

[0046] 本发明将切片厚度设定为0.05-0.15mm,即粉末层的厚度与切片厚度一致,也为0.05-0.15mm。当粉末粒度在45-160 $\mu\text{m}$ 之间,切片厚度不能低于0.05mm,否则单层铺粉时粉末容易被刮走,导致铺不上,成形效率低;但切片厚度也不能超过0.15mm,粉末层太厚的话会导致熔化不完全,层间结合不良,出现空隙。

[0047] 本发明中,Al-Fe-V-Si耐热铝合金制备过程包括基板预热、粉末预热和粉末熔化过程。铝合金导热速率比较快,成形过程中构件内部温度场很不均匀,因此容易产生热应力和残余内应力。预热基板主要是为了减少这种不均匀的温度场作用,降低温度梯度,从而降低热应力。试验发现,温度越高,热应力和内应力越小,但是不能超过250度,否则材料在高温的作用下发生粗化等问题,因此选择为200-250 $^{\circ}\text{C}$ ;低于200度,成形过程构件容易开裂。粉末预热是促进粉末预烧结,防止粉末飞溅,同时使熔覆层维持在一个较高的温度,减少成形过程中产生的内应力。对基板预热和粉末预热可以将基板上已成形的构件部分的温度维持在200-250 $^{\circ}\text{C}$ ,这相当于热处理过程,可降低合金内部的残余应力,防止合金件发生变形和开裂,有利于实现合金件强度与塑性的良好匹配。

[0048] 控制电子束依据扫描路径对粉末层进行扫描时,粉末熔化次数、电子束扫描速度、熔化电流以及扫描间距等参数会影响电子束的热输入量。在本申请所给定的范围下,能保证合金致密度较高。具体地,速度太小,能量输入过大,会导致表面过熔,形成焊瘤;速度太大,则能量输入过低,粉末熔化不完全,致密度下降。电流的影响规律和速度一样。扫描间距太小,相邻两个扫描道距离太近,表面重熔量较多,导致表面不平整,间距太大会导致相邻两个扫描道搭接不上,熔合不良,出现气孔和空隙。

[0049] 本实施例所采用氩气雾化法制备的预合金化Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末,粉末呈球形或近球形,直径应在45-160 $\mu\text{m}$ 之间。设定合理的电子束成形参数(电子束扫描速度、电子束束流、扫描间距、基板预热温度和铺粉厚度),利用电子束选区熔化技术对Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末进行快速成形制备。在利用高能电子束对Al-Fe-V-Si耐热铝合金粉末进行熔化的过程中,成形过程熔池尺寸小,凝固时间极短,因此合金粉末的凝固冷却速度极高( $10^4$ - $10^6\text{K/s}$ ),为高度非平衡凝固,这大大提高了Fe、V、Si元素在Al基体中的过饱和固溶度,

促使基体上形成大量弥散分布、热稳定性良好的第二相粒子,细小、结构稳定的强化相能有效定扎基体晶界,抑制基体晶粒的再结晶并阻碍位错一定,可以制备得到细小、均匀、稳定的快速凝固合金组织,使Al-Fe-V-Si合金件具有良好的室温和高温性能。

[0050] 本发明所制备的Al-Fe-V-Si耐热铝合金零件致密度高(>98%);合金组织主要由Al固溶体和 $Al_{12}(Fe,V)_3Si$ 强化相组成, $Al_{12}(Fe,V)_3Si$ 呈均匀弥散分布,尺寸细小(30-100nm);合金的极限拉伸强度、屈服强度和延伸率分别为532MPa、510MPa和8.2%;适用于制备复杂叶轮等合金构件,外形轮廓清晰,没有明显的成形缺陷,尺寸精度与表面成形质量好,成形粗糙度为 $R_a$ 约为30 $\mu m$ 。

[0051] 优选地,所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法中,所述步骤三中,采用电子束对所述成形基板预热的工作参数为:电子束扫描速度为8000-10000mm/s,电子束流为15mA,扫描间距0.15-0.2mm。

[0052] 通过试验确定,在上述参数范围下预热过程中成形基板温度上升比较平缓,容易控制住200-250 $^{\circ}C$ 之内。电子束流不能太大,否则成形基板温度上升变化太快。

[0053] 优选地,所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法中,所述步骤四中,采用电子束对粉末进行预热的工作参数为:预热6-10次,电子束扫描速度为6000-8000mm/s,电子束流为5-8mA,扫描间距0.15-0.2mm。相比于成形基板的厚度,粉末层厚度是非常小的,因此在对粉末层进行预热时,采用更小的电子束流扫描6-10次,即可保证粉末的预热温度达到200-250 $^{\circ}C$ 之间。

[0054] 优选地,所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法中,所述成形基板采用纯Al成形基板,厚度为15-20mm。成形基板低于15mm时,成形过程由于频繁受热会发生变形。因此,为保证成形基板的刚度,将其厚度设定在15mm以上。但是成形基板也不须太厚,太厚不易于加工,也不方便安装在设备上。

[0055] 优选地,所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法中,所述步骤二中,所述成形腔的真空度在 $1 \times 10^{-3} Pa$ - $2 \times 10^{-2} Pa$ 之间。粉末熔化是依靠电子束中加速状态的大量电子的动能转化成热能实现的。真空度在上述范围内,成形腔内空气等气体分子含量会很少,与电子束中的电子碰撞少,动能损失少。

[0056] 优选地,所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法中,所述步骤五中,电子束的加速电压为60kV。

[0057] 优选地,所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法中,所述步骤七中,加工完成后,向所述成形腔内通入氩气,对加工成形的Al-Fe-V-Si耐热铝合金件进行冷却,待温度降低至100 $^{\circ}C$ 以下,从所述成形腔内取出加工成形的Al-Fe-V-Si耐热铝合金件,冷却至室温。

[0058] 优选地,所述的利用电子束选区熔化技术制备Al-Fe-V-Si耐热铝合金件的方法中,所述步骤三中,所述成形基板可升降地设置于所述成形腔内;所述步骤六中,完成一个熔覆层的加工后,所述成形基板先下降与粉末层的层厚相等的距离,再在已形成的熔覆层上均匀铺新的粉末层。

[0059] 实施例1

[0060] 本实施例采用瑞典Arcam AB公司的A2XX型电子束选区熔化系统制备Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si(wt.%,重量百分比)耐热铝合金件。制备过程如图1所示,包括:



[0061] (1). 选用氩气雾化法制备的Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si预合金化粉末, 粉末成球形或近球形, 直径在45-160 $\mu\text{m}$ 之间;

[0062] (2). 首先利用三维制图软件 (Magics) 建立合金零件的三维CAD模型, 并保存为STL文件; 然后利用分层软件 (EBM assembler) 对STL文件在高度方向上进行分层切片处理, 分割成厚度均匀 (0.1mm) 的切片, 切片包含合金样品的横截面轮廓信息; 利用分层软件将切片保存为ABF文件, 并导入电子束选区快速成形设备 (EBM) 中;

[0063] (3). 将Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si预合金粉末装入成型腔中, 将厚度为15mm的纯Al成形基板放在成型腔内可升降的平台上, 成型腔抽真空至 $8 \times 10^{-3}$ Paa;

[0064] (4). 电子束对纯Al进行预热, 预热温度至200 $^{\circ}\text{C}$ ; 基板预热参数: 电子束扫描速度为10000mm/s, 电子束流为15mA, 扫描间距0.20mm; 基板预热完成后, 刮粉装置在基板上均匀铺一层厚度为0.1mm的合金粉末;

[0065] (5). 电子束对基板上的所有粉末进行预热, 直至粉末温度达到200 $^{\circ}\text{C}$ ; 粉末预热参数为: 预热6次, 电子束扫描速度为7000mm/s, 电子束流为7mA, 扫描间距0.20mm;

[0066] (6). 粉末预热结束后, 电子束根据预先设定的扫描路径, 选择性的对基板上的粉末进行扫描, 粉末熔化并凝固, 形成熔覆层; 粉末熔化参数: 熔化1次, 电子束扫描速度为2000mm/s, 熔化电流为9mA, 扫描间距0.10mm; 电子束的加速电压为60kV;

[0067] (7). 完成一个层面的加工后, 成形基板下降一个层厚的距离 (0.1mm), 刮粉装置在先熔覆层上再均匀铺上一层厚度为0.1mm的合金粉末;

[0068] (8). 重复上述步骤 (5)、(6)、(7), 直至Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si合金制备完成;

[0069] (9). 加工结束后, 向成型腔冲入高纯氩气, 加快成形件的冷却, 至成形件的温度降至100 $^{\circ}\text{C}$ 以下时, 取出并冷却至室温。

[0070] 由附图2可以看出, EBM成形的Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si合金致密度高, 达到98%, 无明显气孔和微裂纹。如图2所示, 菱形标记代表 $\alpha$ -Al固溶体, 心形标记代表 $\text{Al}_{12}(\text{Fe}, \text{V})_3\text{Si}$ 强化相。

[0071] 由图3和附图4可以看出, EBM成形Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si合金主要由Al固溶体和 $\text{Al}_{12}(\text{Fe}, \text{V})_3\text{Si}$ 强化相组成。 $\text{Al}_{12}(\text{Fe}, \text{V})_3\text{Si}$ 均匀弥散分布, 相尺寸极其细小 (30-100nm)。经力学测试, 合金的极限拉伸强度、屈服强度和延伸率分别为532MPa、510MPa和8.2%。

[0072] 图5为Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si合金复杂叶轮构件, 可以看出构件外形轮廓清晰, 没有明显的成形缺陷, 尺寸精度与表面成形质量良好, 成形粗糙度 $R_a$ 约为30 $\mu\text{m}$ 。

#### [0073] 实施例2

[0074] 本实施例采用瑞典Arcam AB公司的A2XX型电子束选区熔化系统制备Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si (wt.%, 重量百分比) 耐热铝合金件。制备过程如图1所示, 包括:

[0075] (1). 选用氩气雾化法制备的Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si预合金化粉末, 粉末成球形或近球形, 直径在45-160 $\mu\text{m}$ 之间;

[0076] (2). 首先利用三维制图软件 (Magics) 建立合金零件的三维CAD模型, 并保存为STL文件; 然后利用分层软件 (EBM assembler) 对STL文件在高度方向上进行分层切片处理, 分割成厚度均匀 (0.05mm) 的切片, 切片包含合金样品的横截面轮廓信息; 利用分层软件将切片保存为ABF文件, 并导入电子束选区快速成形设备 (EBM) 中;

[0077] (3). 将Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si预合金粉末装入成型腔中, 将厚度为20mm的纯Al成

形基板放在成形腔内可升降的平台上,成形腔抽真空至 $2 \times 10^{-2}$ Pa;

[0078] (4).电子束对纯Al进行预热,预热温度至 $250^{\circ}\text{C}$ ;基板预热参数:电子束扫描速度为 $8000\text{mm/s}$ ,电子束流为 $15\text{mA}$ ,扫描间距 $0.15\text{mm}$ ;基板预热完成后,刮粉装置在基板上均匀铺一层厚度为 $0.1\text{mm}$ 的合金粉末;

[0079] (5).电子束对基板上的所有粉末进行预热,直至粉末温度达到 $200^{\circ}\text{C}$ ;粉末预热参数为:预热10次,电子束扫描速度为 $6000\text{mm/s}$ ,电子束流为 $5\text{mA}$ ,扫描间距 $0.15\text{mm}$ ;

[0080] (6).粉末预热结束后,电子束根据预先设定的扫描路径,选择性的对基板上的粉末进行扫描,粉末熔化并凝固,形成熔覆层;粉末熔化参数:熔化1次,电子束扫描速度为 $3000\text{mm/s}$ ,熔化电流为 $8\text{mA}$ ,扫描间距 $0.05\text{mm}$ ;电子束的加速电压为 $60\text{kV}$ ;

[0081] (7).完成一个层面的加工后,成形基板下降一个层厚的距离,刮粉装置在先熔覆层上再均匀铺上一层合金粉末;

[0082] (8).重复上述步骤(5)、(6)、(7),直至Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si合金制备完成;

[0083] (9).加工结束后,向成形腔冲入高纯氩气,加快成形件的冷却,至成形件的温度降至 $100^{\circ}\text{C}$ 以下时,取出并冷却至室温。

[0084] EBM成形的Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si合金致密度高,达到 $98.2\%$ ,无明显气孔和微裂纹。

[0085] EBM成形Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si合金主要由Al固溶体和 $\text{Al}_{12}(\text{Fe},\text{V})_3\text{Si}$ 强化相组成。 $\text{Al}_{12}(\text{Fe},\text{V})_3\text{Si}$ 均匀弥散分布,相尺寸极其细小( $30\text{-}100\text{nm}$ )。经力学测试,合金的极限拉伸强度、屈服强度和延伸率分别为 $528\text{MPa}$ 、 $505\text{MPa}$ 和 $7.9\%$ 。

[0086] 构件外形轮廓清晰,没有明显的成形缺陷,尺寸精度与表面成形质量良好,成形粗糙度 $R_a$ 约为 $25\mu\text{m}$ 。

[0087] 实施例3

[0088] 本实施例采用瑞典Arcam AB公司的A2XX型电子束选区熔化系统制备Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si(wt.%,重量百分比)耐热铝合金件。制备过程如图1所示,包括:

[0089] (1).选用氩气雾化法制备的Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si预合金化粉末,粉末成球形或近球形,直径在 $45\text{-}160\mu\text{m}$ 之间;

[0090] (2).首先利用三维制图软件(Magics)建立合金零件的三维CAD模型,并保存为STL文件;然后利用分层软件(EBM assembler)对STL文件在高度方向上进行分层切片处理,分割成厚度均匀( $0.15\text{mm}$ )的切片,切片包含合金样品的横截面轮廓信息;利用分层软件将切片保存为ABF文件,并导入电子束选区快速成形设备(EBM)中;

[0091] (3).将Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si预合金粉末装入成型腔中,将厚度为 $20\text{mm}$ 的纯Al成形基板放在成形腔内可升降的平台上,成形腔抽真空至 $1 \times 10^{-3}$ Pa;

[0092] (4).电子束对纯Al进行预热,预热温度至 $250^{\circ}\text{C}$ ;基板预热参数:电子束扫描速度为 $8000\text{mm/s}$ ,电子束流为 $15\text{mA}$ ,扫描间距 $0.15\text{mm}$ ;基板预热完成后,刮粉装置在基板上均匀铺一层厚度为 $0.1\text{mm}$ 的合金粉末;

[0093] (5).电子束对基板上的所有粉末进行预热,直至粉末温度达到 $200^{\circ}\text{C}$ ;粉末预热参数为:预热10次,电子束扫描速度为 $6000\text{mm/s}$ ,电子束流为 $8\text{mA}$ ,扫描间距 $0.15\text{mm}$ ;

[0094] (6).粉末预热结束后,电子束根据预先设定的扫描路径,选择性的对基板上的粉末进行扫描,粉末熔化并凝固,形成熔覆层;粉末熔化参数:熔化1次,电子束扫描速度为

3000mm/s, 熔化电流为12mA, 扫描间距0.2mm; 电子束的加速电压为60kV;

[0095] (7). 完成一个层面的加工后, 成形基板下降一个层厚的距离, 刮粉装置在先熔覆层上再均匀铺上一层合金粉末;

[0096] (8). 重复上述步骤(5)、(6)、(7), 直至Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si合金制备完成;

[0097] (9). 加工结束后, 向成形腔冲入高纯氩气, 加快成形件的冷却, 至成形件的温度降至100℃以下时, 取出并冷却至室温。

[0098] EBM成形的Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si合金致密度高, 达到98.6%, 无明显气孔和微裂纹。

[0099] EBM成形Al-11.5Fe-1.4V-2.3Si合金主要由Al固溶体和Al<sub>12</sub>(Fe, V)<sub>3</sub>Si强化相组成。Al<sub>12</sub>(Fe, V)<sub>3</sub>Si均匀弥散分布, 相尺寸极其细小(30-100nm)。经力学测试, 合金的极限拉伸强度、屈服强度和延伸率分别为525MPa、500MPa和7.5%。

[0100] 构件外形轮廓清晰, 没有明显的成形缺陷, 尺寸精度与表面成形质量良好, 成形粗糙度R<sub>a</sub>约为27μm。

[0101] 本发明虽然以较佳实施例公开如上, 但其并不是用来限定本发明, 任何本领域技术人员在不脱离本发明的精神和范围内, 都可以做出可能的变动和修改, 因此, 本发明的保护范围应当以本发明权利要求所界定的范围为准。

[0102] 本发明说明书中未作详细描述的内容属本领域技术人员的公知技术。

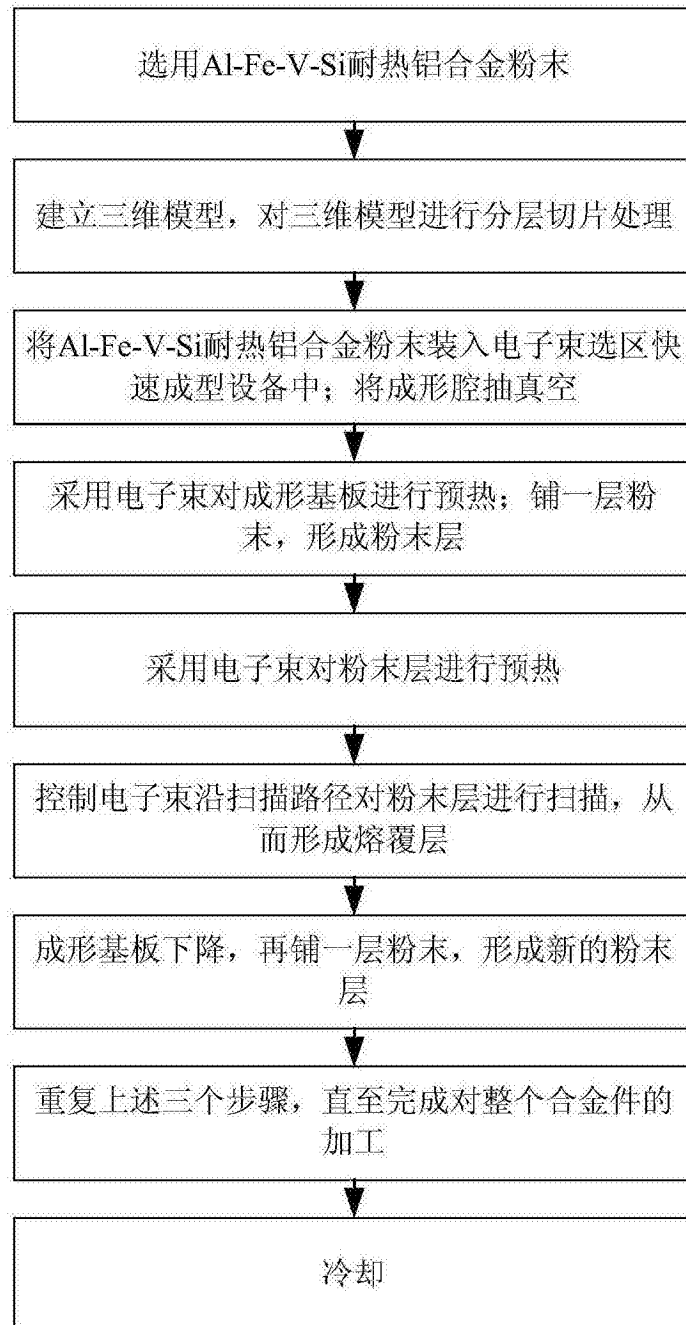


图1

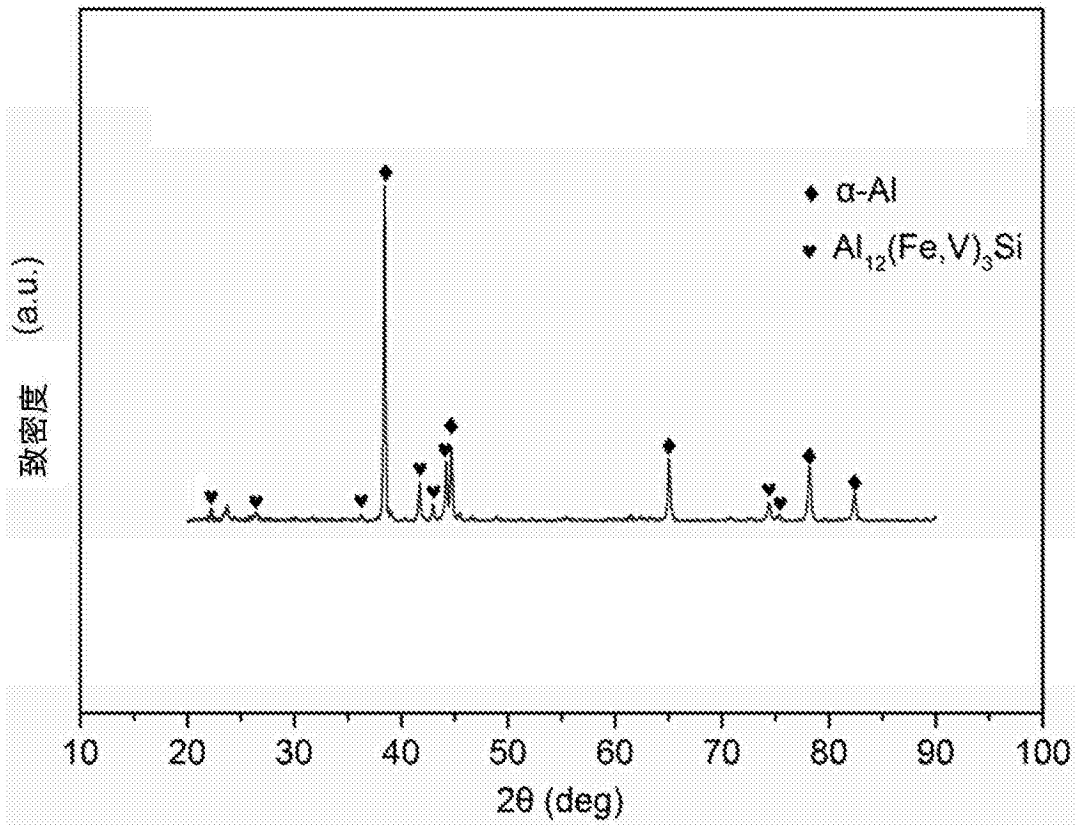


图2

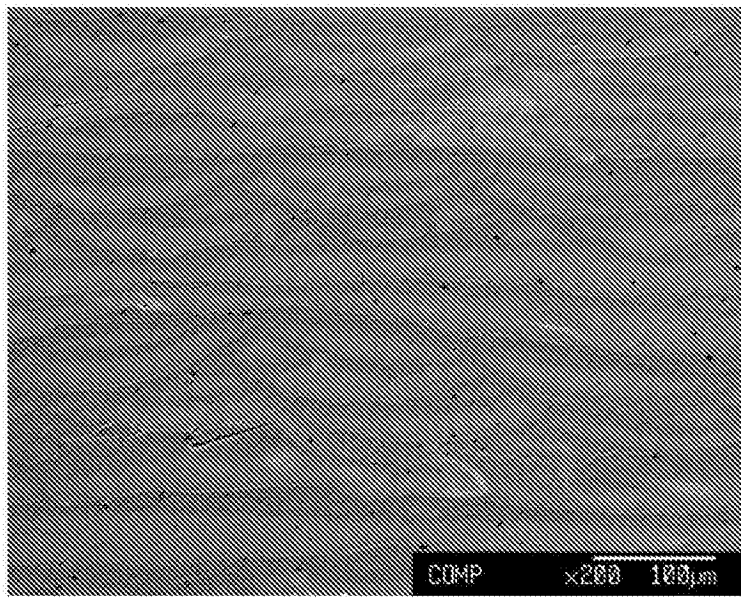


图3

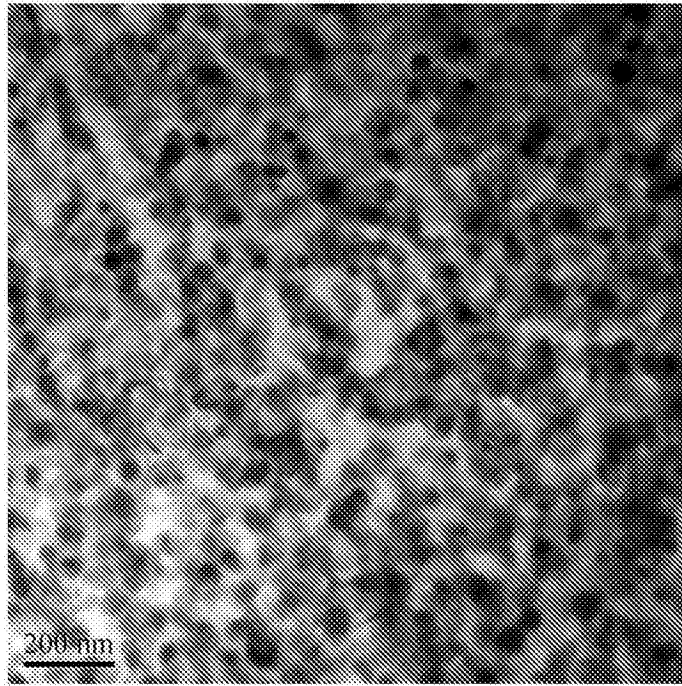


图4

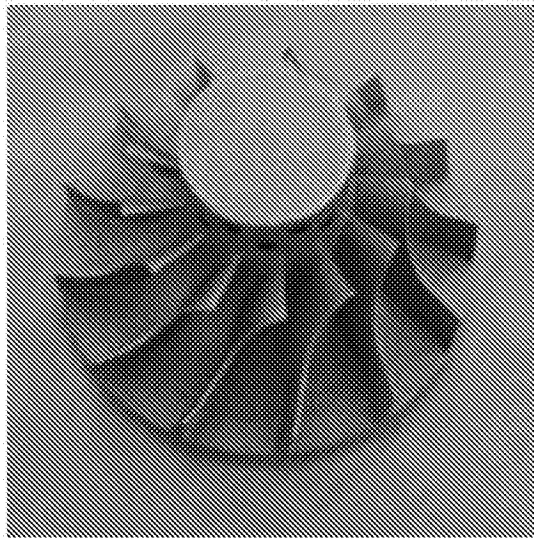


图5