



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109834273 A

(43)申请公布日 2019.06.04

(21)申请号 201711215726.7

(22)申请日 2017.11.28

(71)申请人 北京有色金属研究总院  
地址 100088 北京市西城区新街口外大街2号

(72)发明人 魏少华 左涛 刘彦强 聂俊辉  
马自力 樊建中 郝心想

(74)专利代理机构 北京北新智诚知识产权代理有限公司 11100  
代理人 刘徐红

(51)Int.Cl.  
B22F 3/18(2006.01)  
C22C 21/00(2006.01)  
C22C 32/00(2006.01)

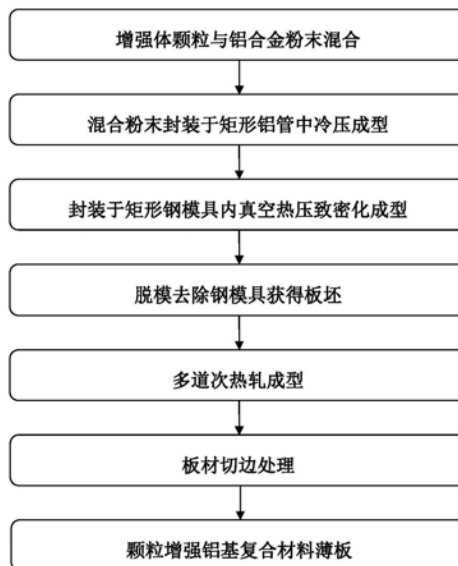
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法

(57)摘要

本发明涉及一种颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,属于金属基复合材料板材制备技术领域。制备时,(1)将增强体颗粒与铝合金粉末加入到混料机中进行均匀混合,制成混合粉末;(2)将混合粉末封装于矩形铝管中进行冷压成型;(3)将带有矩形铝管的粉末板坯封装于矩形钢模具中,进行真空热压成型;(4)脱模去除钢模具,获得带有矩形铝管的复合材料板坯;(5)将板坯进行多道次热轧成型为薄材;(6)将薄材进行切边,去除铝边,得到颗粒增强铝基复合材料薄板。本发明所制备的薄板具有轻质高强、高模量等特点,而且质量稳定,制备流程短,且板材两端面无铝包裹,不需机加工,成本低,可以广泛应用于航空航天、汽车、先进武器等领域高强轻质薄板。



1. 一种颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,包括如下步骤:

- (1) 将增强体颗粒与铝合金粉末加入到混料机中进行均匀混合,制成混合粉末;
- (2) 将混合粉末封装于矩形铝管中进行冷压成型;
- (3) 将带有矩形铝管的粉末板坯封装于矩形钢模具中,进行真空热压成型;
- (4) 脱模去除钢模具,获得带有矩形铝管的复合材料板坯;
- (5) 将带有矩形铝管的复合材料板坯进行多道次热轧成型为薄材;
- (6) 将薄材进行切边,去除铝边,得到颗粒增强铝基复合材料薄板。

2. 根据权利要求1所述的颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,其特征在于:所述的增强体颗粒为 $Al_2O_3$ 、SiC、 $B_4C$ 、TiC、 $Si_3N_4$ 和AlN中的一种,增强体颗粒的平均粒度为 $1\sim 20\mu m$ ,增强体颗粒在混合粉末中体积百分含量为 $5\%\sim 35\%$ ;所述的铝合金粉末为 $2\times\times\times$ 系和 $6\times\times\times$ 系铝合金中的任一种,铝合金粉末的平均粒度为 $1\sim 100\mu m$ ,铝合金粉末在混合粉末中的体积百分含量为 $95\%\sim 65\%$ 。

3. 根据权利要求1所述的颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,其特征在于:所述矩形铝管的材质为 $2\times\times\times$ 系铝合金,外形尺寸为:长 $200\sim 600mm$ ,宽 $100\sim 400mm$ ,高 $90\sim 110mm$ ,壁厚 $10\sim 40mm$ 。

4. 根据权利要求1所述的颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,其特征在于:冷压成型时,冷压的压力为 $50\sim 100MPa$ ,保压时间为 $10\sim 20min$ ,冷压后粉末板坯致密度达到 $80\%$ 以上。

5. 根据权利要求1所述的颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,其特征在于:真空热压成型时,热压温度为 $550\sim 650^\circ C$ ,加热过程中保持真空度 $\leq 1\times 10^{-1}Pa$ ,压力为 $50\sim 150MPa$ ,保压时间为 $10\sim 30min$ 。

6. 根据权利要求5所述的颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,其特征在于:热压成型后,复合材料板坯致密度达到 $100\%$ ,矩形铝管和板坯之间形成冶金结合。

7. 根据权利要求1所述的颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,其特征在于:在脱模去除钢模具后,将带有矩形铝管的复合材料板坯上下端面进行规整加工,得到轧制板坯,矩形铝管壁厚保持原来厚度。

8. 根据权利要求1所述的颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,其特征在于:所述热轧的温度为 $400\sim 500^\circ C$ ,在板坯总变形量 $\leq 50\%$ 时,每道次轧制变形量为 $10\%\sim 20\%$ ,在板坯总变形量 $>50\%$ 后,每道次轧制变形量为 $20\%\sim 40\%$ 。

9. 根据权利要求8所述的颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,其特征在于:热轧时,在板坯上下端面喷涂润滑剂石墨。

10. 根据权利要求8所述的颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,其特征在于:每道次热轧前,板坯加热至 $400\sim 500^\circ C$ ,保温 $2\sim 4h$ 。

## 一种颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,属于金属基复合材料板材制备技术领域。

### 背景技术

[0002] 颗粒增强铝基复合材料具有高比强度和比刚度、耐磨、耐疲劳和低密度等优异的性能,欧美等发达国家已将其广泛地应用在航空航天汽车等重要领域。颗粒增强铝基复合材料薄板可以应用于飞机蒙皮,解决铝合金刚度低、疲劳寿命短等问题,比如,DWA公司用6092/SiC/17.5p复合材料代替原有的2214铝合金蒙皮,用于F-16战斗机的腹鳍,使刚度提高50%,寿命由原来的数百小时延长到至少6000h飞行时间。另外根据加入增强体种类的不同,颗粒增强铝基复合材料薄板也可作为一种功能材料,比如,B<sub>4</sub>C/Al薄板具有吸收中子的功能,作为核屏蔽材料应用于乏燃料隔板。

[0003] 与基体铝合金相比,颗粒增强铝基复合材料塑性较差、塑性加工难度大,其板材在轧制变形过程中容易出现开裂等问题。经对现有技术文献的检索发现,中国专利公开报道有关颗粒增强铝基复合材料薄板的制造方法是以先挤压后包覆热轧为主,而且热轧后的板材整个表面通常带有包覆铝皮,需要二次机加工去除,该方法工艺路线长、成本高。

### 发明内容

[0004] 本发明针对现有颗粒增强铝基复合材料薄板的制造方法的不足,提供了一种颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,采用粉末冶金和热轧技术制备。

[0005] 一种颗粒增强铝基复合材料薄板的制备方法,该方法包括下述步骤:

[0006] (1) 将增强体颗粒与铝合金粉末按照比例加入到混料机中进行均匀混合,制成混合粉末;

[0007] (2) 将混合粉末封装于矩形铝管中进行冷压成型;

[0008] (3) 将带有矩形铝管的粉末板坯封装于矩形钢模具中,进行真空热压成型;

[0009] (4) 脱模去除钢模具,获得带有矩形铝管的复合材料板坯;

[0010] (5) 将带有矩形铝管的复合材料板坯进行多道次热轧成型为薄材;

[0011] (6) 将薄材进行切边,去除铝边,得到颗粒增强铝基复合材料薄板。

[0012] 步骤(1)中,增强体颗粒包括但不限于Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiC、B<sub>4</sub>C、TiC、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、AlN中的一种,增强体颗粒的平均粒度为1~20μm,增强体颗粒在混合粉末中体积百分含量为5%~35%;铝合金粉末为2×××系和6×××系铝合金中的任意一种合金,铝合金粉末的平均粒度为1~100μm,铝合金粉末在混合粉末中的体积百分含量为95%~65%。

[0013] 步骤(2)中,所述矩形铝管材质选用2×××系铝合金,优选2024Al,矩形铝管的外形尺寸为:长200~600mm×宽100~400mm×高90~110mm,壁厚为10~40mm。

[0014] 冷压成型时,冷压的压力为50~100MPa,保压时间为10~20min,冷压后粉末板坯致密度达到80%以上。

[0015] 步骤(3)中,真空热压成型时,热压温度为550~650℃,加热过程中保持真空度 $\leq 1 \times 10^{-1}$ Pa,压力为50~150MPa,保压时间为10~30min。

[0016] 将粉末板坯和矩形铝管一同放入钢模具中热压成型,热压成型后复合材料板坯致密度达到100%,矩形铝管和板坯之间形成冶金结合。

[0017] 步骤(4)中,在脱模去除钢模具后,将带有矩形铝管的复合材料板坯上下端面进行规整加工,得到轧制板坯,矩形铝管壁厚保持原来厚度。

[0018] 步骤(5)中,所述热轧温度为400~500℃,在板坯总变形量 $\leq 50\%$ 时,每道次轧制变形量为10%~20%,在板坯总变形量 $> 50\%$ 后,每道次轧制变形量为20%~40%。在轧制前复合材料板坯塑性较低,前期采用较小的道次轧制变形量,既能降低轧制开裂风险,又能逐步提高板坯的塑性,也为后期大变形量的轧制打下了很好的基础。

[0019] 优选的,热轧时,在板坯上下端面喷涂润滑剂石墨,并与轧辊接触。石墨能够减小与轧辊的摩擦力,有利于端面材料轧制时流动变形,减小板材上下端面开裂风险。板坯四周由矩形铝管约束变形,不宜开裂。

[0020] 优选的,每道次热轧前,板坯加热至温度为400~500℃,保温2~4h,每道次板坯的加热和保温既可以使上道次经轧制降温的板坯升温到适合轧制变形温度区间,又可以消除轧制残余应力,有效避免后续轧制开裂。

[0021] 本发明的优点:

[0022] 1、采用粉末冶金技术,通过优化工艺参数制备的复合材料完全致密、无孔洞等缺陷,强度高;材料具有较高的延伸率、较好的塑性,非常有利于开展后续热加工变形。

[0023] 2、复合材料板坯和矩形铝管在真空热压阶段形成冶金结合后,在轧制时矩形铝管既可以约束板坯变形,二者又可以协调变形,有效避免了板坯轧制边部开裂。

[0024] 3、采用矩形铝管周向包覆复合材料的结构形式,不仅达到了约束板坯轧制变形、避免周向开裂的目的,而且板坯上下表面无包覆铝皮,不需要进行二次机加工,而且轧制薄板四周的铝边很容易用剪板机等设备去除,操作简单、工艺流程短、成本低。

[0025] 4、本发明所制备的薄板具有轻质高强、高模量等特点,而且质量稳定,制备流程短,且板材两端面无铝包裹,不需机加工,成本低,作为高强轻质薄板可以广泛应用于航空航天、汽车、先进武器等领域。

## 附图说明

[0026] 图1是制备颗粒增强铝基复合材料薄板的工艺流程图;

[0027] 图2是颗粒增强铝基复合材料轧制示意图。

[0028] 主要附图标记说明:

[0029] 201 轧辊 202 复合材料板坯

[0030] 203 矩形铝管

## 具体实施方式

[0031] 下面通过具体实施方法和附图对本发明做进一步说明,但不意味着对本发明保护范围的限制。

[0032] 如图1所示,为本发明的工艺流程图,本发明的颗粒增强铝基复合材料薄板的制备

方法包括以下具体步骤:

[0033] 1) 增强体颗粒与铝合金粉末混合:将增强体颗粒与铝合金粉末按照一定比例进行均匀混合;

[0034] 2) 混合粉末封装于矩形铝管中冷压成型:将所得混合粉末封装于矩形铝管中进行冷压成型;

[0035] 3) 封装于矩形钢模具内真空热压致密化成型:冷压后将带有矩形铝管的粉末板坯整体密封于矩形钢模具内,经真空热压后成型为完全致密的板坯;

[0036] 4) 脱模去除钢模具获得板坯:经脱模去除钢模具获得带有矩形铝管的复合材料板坯;

[0037] 5) 多道次热轧成型:板坯进行多道次热轧成型为薄材;如图2所示,为颗粒增强铝基复合材料轧制示意图,其中201为轧辊,202为复合材料板坯,203为矩形铝管;

[0038] 6) 板材切边处理:将薄材进行切边去除铝边;最终得到颗粒增强铝基复合材料薄板。

[0039] 实施例1

[0040] 制备15%SiCp/2009Al复合材料的薄板,其薄板制备方法采用如下技术方案:(1)将碳化硅(SiCp)粉末与2009铝合金粉末按照15%与85%的体积比例均匀混合,碳化硅粉末平均粒度为20 $\mu$ m,2009铝合金粉末平均粒度为100 $\mu$ m;(2)将混合粉末封装于矩形铝管中进行冷压成型,矩形铝管材质选用2024A1,外形尺寸为:长600mm $\times$ 宽400mm $\times$ 高90mm,壁厚为10mm,冷压压力为50MPa,保压时间为20min,冷压板坯致密度达到85%;(3)将带有矩形铝管的粉末板坯封装于矩形钢模具中,进行真空热压成型,热压温度为550 $^{\circ}$ C,加热过程中保持真空度 $\leq 1 \times 10^{-1}$ Pa,压力为150MPa,保压时间为10min,热压后复合材料板坯致密度达到100%;(4)脱模去除钢模具,带有矩形铝管的板坯上下端面进行规整加工,矩形铝管壁厚保持原有厚度,获得复合材料板坯,板坯外形尺寸为:长600mm $\times$ 宽400mm $\times$ 厚50mm;(5)将板坯进行多道次热轧成型为厚度为2.5mm的薄材,热轧时在板坯上下端面喷涂润滑剂石墨,并与轧辊接触;每道次热轧前,板坯加热温度为400 $^{\circ}$ C,保温2h,热轧温度为400 $^{\circ}$ C,板材从厚度50mm轧至25mm期间,每道次轧制变形量约20%,板材从厚度25mm轧至2.5mm期间,每道次轧制变形量约40%;(6)将薄板进行切边,去除铝边,得到15%SiCp/2009Al复合材料薄板;(7)沿薄板纵向取样,经热处理(固溶温度500 $^{\circ}$ C,保温1小时,淬水,自然时效96小时)后,测得室温拉伸性能为:抗拉强度550MPa,屈服强度340MPa,延伸率8%。

[0041] 实施例2

[0042] 制备35%B<sub>4</sub>C/6061Al复合材料薄板,其制备方法采用如下技术方案:(1)将碳化硼粉末与6061铝合金粉末按照35%与65%的体积比例均匀混合,碳化硼粉末平均粒度为3.5 $\mu$ m,6061铝合金粉末平均粒度为10 $\mu$ m;(2)将混合粉末封装于矩形铝管中进行冷压成型,矩形铝管材质选用2024A1,外形尺寸为:长600mm $\times$ 宽300mm $\times$ 高90mm,壁厚为40mm,冷压压力为100MPa,保压时间为20min,冷压板坯致密度达到80%;(3)将带有矩形铝管的粉末板坯封装于矩形钢模具中,进行真空热压成型,热压温度为650 $^{\circ}$ C,加热过程中保持真空度 $\leq 1 \times 10^{-1}$ Pa,压力为100MPa,保压时间为30min,热压后复合材料板坯致密度达到100%;(4)脱模去除钢模具,带有矩形铝管的板坯上下端面进行规整加工,矩形铝管壁厚保持原有厚度,获得复合材料板坯,板坯外形尺寸为:长600mm $\times$ 宽300mm $\times$ 厚40mm;(5)将板坯进行多道次热轧

成型为厚度为3mm的薄材,热轧时在板坯上下端面喷涂润滑剂石墨,并与轧辊接触;每道次热轧前,板坯加热温度为500℃,保温4h,热轧温度为500℃,板材从厚度40mm轧成20mm期间,每道次轧制变形量约10%,板材从厚度20mm轧成3mm期间,每道次轧制变形量约20%;(6)将薄板进行切边,去除铝边,得到35%B<sub>4</sub>C/6061Al复合材料薄板;(7)沿薄板纵向取样,经热处理(固溶温度530℃,保温1小时,淬水,T6时效(175℃保温10h))后,测得室温拉伸性能为:抗拉强度600MPa,屈服强度500MPa,延伸率3%。

#### [0043] 实施例3

[0044] 制备20%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/2024Al复合材料薄板,其制备方法采用如下技术方案:(1)将氧化铝粉末与2024铝合金粉末按照20%与80%的体积比例均匀混合,氧化铝粉末平均粒度为1μm,2024铝合金粉末平均粒度为30μm;(2)将混合粉末封装于矩形铝管中进行冷压成型,矩形铝管材质选用2024Al,外形尺寸为:长200mm×宽100mm×高110mm,壁厚为15mm,冷压压力为100MPa,保压时间为20min,冷压板坯致密度达到82%;(3)将带有矩形铝管的粉末板坯封装于矩形钢模具中,进行真空热压成型,热压温度为600℃,加热过程中保持真空度 $\leq 1 \times 10^{-1}$ Pa,压力为150MPa,保压时间为20min。热压后复合材料板坯致密度达到100%;(4)脱模去除钢模具,带有矩形铝管的板坯上下端面进行规整加工,矩形铝管壁厚保持原有厚度,获得复合材料板坯,板坯外形尺寸为:长200mm×宽100mm×厚60mm;(5)将板坯进行多道次热轧成型为厚度为1.5mm的薄材,热轧时在板坯上下端面喷涂润滑剂石墨,并与轧辊接触;每道次热轧前,板坯加热温度为480℃,保温2h,热轧温度为480℃,板材从厚度60mm轧成30mm期间,每道次轧制变形量约17%,板材从厚度30mm轧成1.5mm期间,每道次轧制变形量约30%;(6)将薄板进行切边,去除铝边,得到20%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/2024Al复合材料薄板;(7)沿薄板纵向取样,经热处理(固溶温度500℃,保温1小时,淬水,自然时效96小时)后,测得室温拉伸性能为:抗拉强度450MPa,屈服强度320MPa,延伸率4%。

[0045] 本发明所制备的薄板具有轻质高强、高模量等特点,而且质量稳定,制备流程短,且板材两端面无铝包裹,不需机加工,成本低,可以广泛应用于航空航天、汽车、先进武器等领域高强轻质薄板。

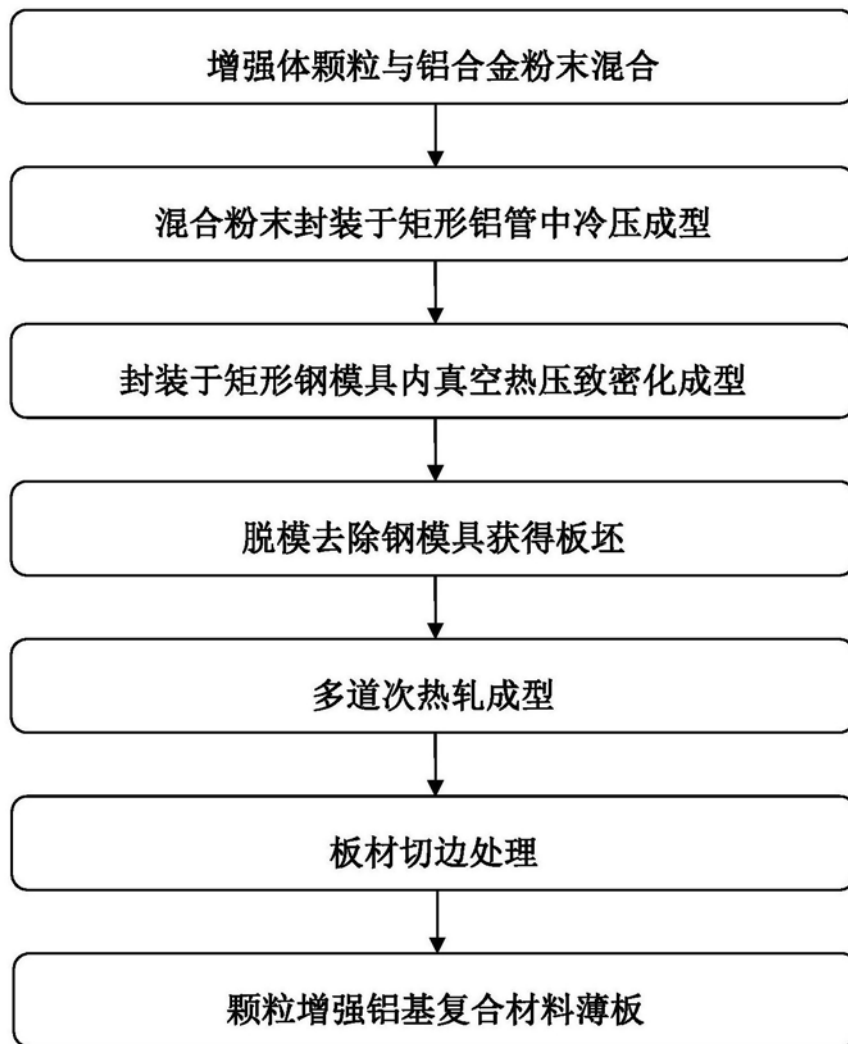


图1

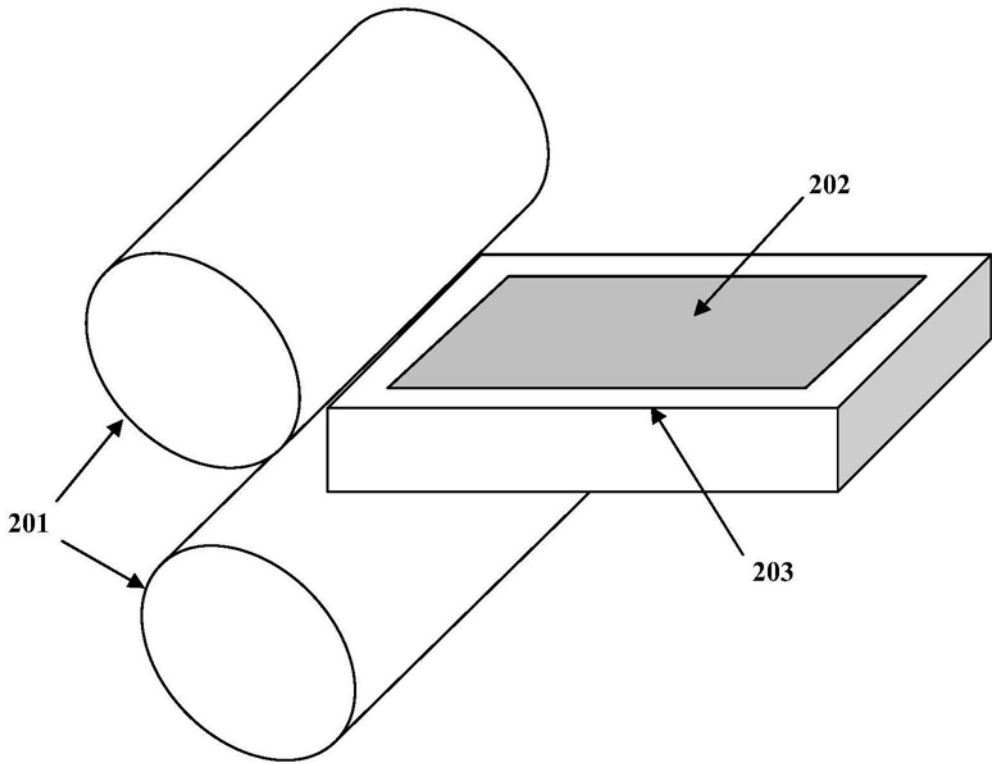


图2