



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112126808 B

(45) 授权公告日 2021.02.09

(21) 申请号 202011309823.4

G22C 1/06 (2006.01)

(22) 申请日 2020.11.20

G22C 21/04 (2006.01)

B22D 18/02 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112126808 A

(56) 对比文件

(43) 申请公布日 2020.12.25

CN 109136674 A, 2019.01.04

CN 110760720 A, 2020.02.07

(73) 专利权人 捷安特轻合金科技(昆山)股份有限公司

CN 110125389 A, 2019.08.16

CN 109317690 A, 2019.02.12

地址 215335 江苏省苏州市昆山市开发区南河路188号

CN 109136795 A, 2019.01.04

CN 108531769 A, 2018.09.14

专利权人 鼎镁(昆山)新材料科技有限公司  
捷安特轻合金科技(海安)有限公司  
济南大学

CN 108823440 A, 2018.11.16

CN 107574326 A, 2018.01.12

CN 104846228 A, 2015.08.19

Jie Wang. In situ synthesis of copper-modified graphene reinforced aluminum nanocomposites with balanced strength and ductility.《J Mater Sci》.2018,第54卷

(72) 发明人 冷金凤 涂季冰

审查员 王金永

(74) 专利代理机构 济南泉城专利商标事务所  
37218

代理人 王翠翠

(51) Int. Cl.

G22C 1/03 (2006.01)

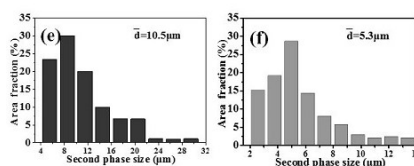
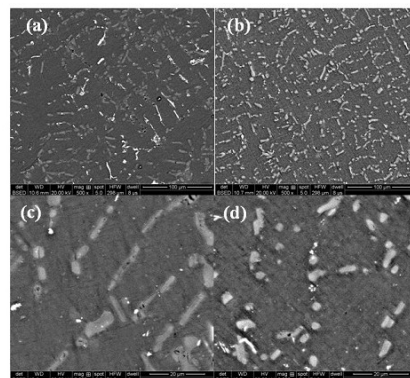
权利要求书1页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺

(57) 摘要

本发明公开了一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,包括以下步骤:制备铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝;亚共晶合金熔炼,精炼温度720-740℃,半固态模锻成型,固溶时效热处理工艺;再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装,制成铝硅合金轮毂。本申请解决石墨烯与铝熔体铝润湿性差,且纳米尺度添加难以均匀分散的难题,通过精细工艺控制,硅相尺度细化25-50%,且球形度高,强度提高可达15-35%,延伸率提高10%-40%,而且提高细化球化的第二相组织大幅提升动载荷下冲击韧性和疲劳强度。



CN 112126808 B

1. 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,其特征在於,包括以下步骤:

(1) 电阻炉升温至420℃时将铝锭装入电阻炉中;

(2) 待铝锭全部熔化后,升温到720℃-740℃条件下加入Al-20Si中间合金,熔体保温;

(3) 将镁锭加入熔体液面中,进行电磁搅拌直到熔体均匀化;在氩气氛围下,加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼,用量2-4kg/吨,精炼温度720℃-740℃;

(4) 静止保温5min后加入铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝,进行扒渣处理,出炉,进行钢模重力铸造,模具温度260-300℃,铸造温度690-720℃,其中铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝为表面包覆Al<sub>2</sub>Cu的石墨烯与铝形成的中间合金丝;铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝的制备方法为:(a) 铝粉、铜粉与石墨烯乙醇湿混球磨,石墨烯:乙醇体积比1:1;球料比4-6:1,球磨转速200-400转/分,球磨时间3-10小时;球磨后风冷烘干,制成石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu;(b) 石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu与铝粉混合,所述铝粉与石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu的质量比为95-98:2-5,制备铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝;

(5) 进行半固态模锻成型,半固态模锻成型的参数为:模具温度350-450℃,模锻温度580-620℃,压力1800-2400kN,保压时间20-30秒;

(6) 进行固溶时效热处理工艺,固溶时效热处理的工艺参数为:固溶温度535℃,时间4-6小时;水淬温度40-60℃,时间3-5分钟;时效温度170-190℃,保温时间4-8小时,空冷;

(7) 再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装,制成铝硅合金轮毂;所述亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成,Si6.5-7.5%,Mg0.30-0.45%,Cu0.04-0.08%,石墨烯0.03-0.15%,Ti≤0.1%,Fe≤0.1%,Mn≤0.05%,余量为Al。

2. 根据权利要求1所述的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,其特征在於,所述步骤(4)中的石墨烯为1-5层,粒径为1-10微米。

## 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺

### 技术领域

[0001] 本发明涉及硅相细化球化的亚共晶铝硅合金复合材料,具体涉及一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺。

### 背景技术

[0002] 在铸造铝合金中,以优异的性能而得到了广泛关注的Al-Si系中亚共晶的代表合金为A356.2,最早由美国开发研制并且已应用的一种铸造铝合金。未进行变质处理的A356.2合金存在着较多板片状粗大的共晶硅和粗大的 $\alpha$ -Al枝晶,粗大组织导致了强度和塑形的不足,限制了亚共晶铝硅合金的大规模应用。

[0003] 通过在A356合金中添加了多种的变质剂来改善合金中相的形态和分布,变质合金相形貌改变,导致性能一定程度的提升。研究显示,钠盐做为Al-Si合金的最初的变质剂取得了良好的变质效果,使粗大的板片状的硅相变为较为规则的短棒状,钠盐变质实质上是从根本上改变了硅相的原有生长方式,但钠盐变质也显现如合金成分易于偏析、吸收率较低等诸多问题。Sr、Sb和稀土变质剂被逐渐应用到Al-Si合金之中,它解决了钠盐变质容易消退、不稳定等存在的一些问题,经过变质后的合金中的微观组织中也呈现出良好的形态分布,例如 CN103146961A中公开了一种汽车轮毂用合金锭及其生产方法,该方法采用静置炉加入Al-Sr合金元素,有利于提高对铸造产品晶粒的变质效果,获得较好的机械性能;CN108315576A中公开了一种A356铝合金高效变质剂及制备方法,本发明设计一种Al-Si-Mg亚共晶系铝合金用的Al-Nd-Mg-Sb变质剂,经过正确的变质工艺处理后,变质效果优于Al-10Sr,合金组织的改善也使得铝合金的力学性能有所提高。但Sr、Sb变质的铝硅合金增加了大量的针孔缺陷,导致组织疏松,力学性能不高,增加了铸造工艺控制的难度,降低了产品的成品率。

[0004]  $sp^2$ 杂化的二维结构的石墨烯纳米相出现,使许多研究者尝试着将石墨烯作为铝基复合材料的增强体,但石墨烯与铝之间润湿性差及纳米尺度问题,导致纳米相添加困难,同时难以解决均匀分散问题,使材料强度提高并不显著。专利申请201810492475.5一种高强高导抗蠕变石墨烯增强铝合金材料的制备方法在铝粉与有机溶剂混合物中加石墨烯分散液,进行半固态挤压,热解去除有机物。存在的问题,工艺复杂,大生产成本高,且材料的制备工艺和应用背景完全不同于本专利。中国专利申请201810952973.3 一种石墨烯增强Al-Si-Mg铸造铝合金及其制备方法、专利申请201911292058.7一种石墨烯增强Al-Si铸造铝合金及其制备方法和专利申请202010460438.3一种石墨烯增强过共晶铝硅合金及其制备方法中,石墨烯与金属简单混合熔炼,石墨烯/铝润湿性差会导致难以达到理想效果,专利中未看到硅相显著细化,平均尺寸最小也达几十微米,最大可达百微米左右,抗拉强度值仅在150-180MPa。中国专利申请201811331019.9一种石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金及其制备方法和中国专利申请201811331020.1一种石墨烯稀土铈协同增强Al-Si-Mg铸造铝合金及其制备方法中,金属颗粒与石墨烯颗粒直接简单混合熔炼,难以解决石墨烯和铝之间界面润湿性差问题,同时高纯惰性气体保护进行真空电弧熔炼,生产规模小,成本

高,石墨烯细化硅相效果不显著,同时抗拉强度指标仅为230-250MPa。

### 发明内容

[0005] 针对上述问题,本发明公开了一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺。

[0006] 本发明是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,包括以下步骤:

[0008] (1)电阻炉升温至420℃时将铝锭装入电阻炉中;

[0009] (2)待铝锭全部熔化后,升温到720℃-740℃条件下加入Al-20Si中间合金,熔体保温;

[0010] (3)将镁锭加入铝熔体液面中,进行电磁搅拌直到熔体均匀化;在氩气氛围下,加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼,用量2-4kg/吨,精炼温度720℃-740℃;

[0011] (4)静止保温5min后加入铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝,进行扒渣处理,出炉,进行钢模重力铸造,模具温度260-300℃,铸造温度 700-730℃,其中铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝为表面包覆Al<sub>2</sub>Cu的石墨烯与铝形成的中间合金丝;

[0012] (5)进行半固态模锻成型;

[0013] (6)固溶时效最终热处理工艺;

[0014] (7)再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装,制成铝硅合金轮毂;

[0015] 所述亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成,Si6.5-7.5%,Mg0.30-0.45%,Cu0.04-0.08%,石墨烯0.03-0.15%,Ti≤0.1%,Fe≤0.1%,Mn≤0.05%,余量为Al。

[0016] 优选地,所述步骤(4)中的铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝的制备方法为:

[0017] (a)铝粉、铜粉与石墨烯乙醇湿混球磨,石墨烯:乙醇体积比1:1;球料比4-6:1,球磨转速200-400转/分,球磨时间3-10小时;球磨后风冷烘干,制成石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu;

[0018] (b)石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu与铝粉混合,所述铝粉与石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu的质量比为95-98:2-5,制备铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝。

[0019] 优选地,所述步骤(4)中的石墨烯为1-5层,粒径为1-10微米。

[0020] 优选地,所述步骤(5)中,半固态模锻成型的参数为:模具温度350-450℃,模锻温度580-620℃,压力1800-2400kN,保压时间20-30秒。

[0021] 优选地,所述步骤(6)中,固溶时效热处理的工艺参数为:固溶温度535℃,时间4-6小时;水淬温度40-60℃,时间3-5分钟;时效温度170-190℃,保温时间4-8小时,空冷。

[0022] 有益效果

[0023] 本发明公开了一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,将石墨烯以特定的形式加入,和铝基体可以形成良好的共格或半共格界面,Al<sub>2</sub>Cu是铝基体中良好的增强相,提升了石墨烯和基体间润湿性,为石墨烯均匀添加到基体中提供了条件。制备的合金轮毂,硅相得到很好的细化,提高了合金轮毂的抗拉强度、屈服强度以及延伸率。

[0024] 本专利解决石墨烯与铝熔体铝润湿性差,且纳米尺度添加难以均匀分散的难题,在有效添加的基础上且通过高数量质点的石墨烯和降低形核自由能表面能的二维形貌,解决了亚共晶合金中常用细化剂铝钛硼出现“毒化”导致难以达到理想细化效果的瓶颈问题,

研制第二相细化球化的高性能亚共晶铝硅合金,且通过半固态成型节省铝合金用料及机械加工成本。通过精细工艺控制,硅相尺度细化25-50%且球形度高,强度提高可达15-35%,延伸率提高10%-30%,而且提高细化球化的第二相组织显著提升动载荷下冲击韧性和疲劳强度。

### 附图说明

[0025] 图1为 铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu添加对硅相细化影响图,其中,a、c、e为未添加铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu的A356.2的图,b、d、f为添加铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu的A356.2的图。

### 具体实施方式

[0026] 下面对本发明的实施例作详细说明,本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0027] Ti≤0.1%, Fe≤0.1%, Mn≤0.05%,表示含量在合金轮毂允许的杂质范围内;石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金为表面包覆Al<sub>2</sub>Cu的石墨烯,铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝为表面包覆Al<sub>2</sub>Cu的石墨烯与铝形成的中间合金丝;石墨烯@Cu中间合金为表面包覆Cu的石墨烯。

[0028] 实施例1

[0029] 亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成,Si6.5%,Mg0.30%,Cu0.04%,石墨烯0.03%,Ti≤0.1%,Fe≤0.1%,Mn≤0.05%,余量为Al。

[0030] 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,包括以下步骤:

[0031] (1)电阻炉升温至420℃时将铝锭装入电阻炉中;

[0032] (2)待铝锭全部熔化后,升温到720℃条件下加入Al-20Si中间合金,熔体保温;

[0033] (3)将镁锭快速加入铝熔体液面中,进行电磁搅拌直到熔体均匀化;在氩气氛围下,加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼,用量4kg/吨,精炼温度720℃;

[0034] (4)静止保温5min后加入铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝,进行扒渣处理,出炉,进行钢模重力铸造,模具温度260℃,铸造温度690℃;

[0035] (5)再进行半固态模锻成型;半固态模锻工艺中使用的模具温度350℃,模锻温度580℃,压力2400kN,保压时间20秒;

[0036] (6)固溶时效最终热处理工艺;固溶温度535℃/5小时;水淬温度60℃,3分钟;时效温度180℃,保温时间4小时,空冷;

[0037] (7)再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装,制成铝硅合金轮毂;

[0038] 所述的步骤(4)中铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝的制备方法为:

[0039] (a)铝粉、铜粉与石墨烯乙醇湿混球磨,石墨烯:乙醇体积比1:1;球料比6:1,球磨转速200转/分,球磨时间10小时;球磨后风冷烘干,制成石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu;

[0040] (b)石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu与铝粉混合,所述铝粉与石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu的质量比为98:2,制备铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝。

[0041] 所述的步骤(4)中石墨烯为5层,粒径为1微米。

[0042] 实施例2

[0043] 亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成, Si7.5%, Mg0.30%, Cu0.04%, 石墨烯0.15%,  $Ti \leq 0.1\%$ ,  $Fe \leq 0.1\%$ ,  $Mn \leq 0.05\%$ , 余量为Al。

[0044] 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺, 包括以下步骤:

[0045] (1) 电阻炉升温至420°C时将铝锭装入电阻炉中;

[0046] (2) 待铝锭全部熔化后, 升温到740°C条件下加入Al-20Si中间合金, 熔体保温;

[0047] (3) 将镁锭快速加入铝熔体液面中, 进行电磁搅拌直到熔体均匀化; 在氩气氛围下, 加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼, 用量3kg/吨, 精炼温度740°C;

[0048] (4) 静止保温5min后加入铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝, 进行扒渣处理, 出炉, 进行钢模重力铸造, 模具温度300°C, 铸造温度720°C;

[0049] (5) 再进行半固态模锻成型; 半固态模锻工艺中使用的模具温度450°C, 模锻温度620°C, 压力1800kN, 保压时间20秒;

[0050] (6) 固溶时效最终热处理工艺; 固溶温度535°C/4小时, 水淬温度40°C, 3分钟; 时效温度170°C, 保温时间8小时, 空冷;

[0051] (7) 再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装, 制成铝硅合金轮毂;

[0052] 所述的步骤(4)中铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝的制备方法为:

[0053] (a) 铝粉、铜粉与石墨烯乙醇湿混球磨, 石墨烯:乙醇体积比1:1; 球料比4:1, 球磨转速400转/分, 球磨时间3小时; 球磨后风冷烘干, 制成石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu;

[0054] (b) 石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu与铝粉混合, 所述铝粉与石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu的质量比为95:5, 制备铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝。

[0055] 所述的步骤(4)中石墨烯为5层, 粒径为5微米。

[0056] 实施例3

[0057] 亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成, Si6.5%, Mg0.45%, Cu0.04%, 石墨烯0.10%,  $Ti \leq 0.1\%$ ,  $Fe \leq 0.1\%$ ,  $Mn \leq 0.05\%$ , 余量为Al。

[0058] 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺, 包括以下步骤:

[0059] (1) 电阻炉升温至420°C时将铝锭装入电阻炉中;

[0060] (2) 待铝锭全部熔化后, 升温到720°C条件下加入Al-20Si中间合金, 熔体保温;

[0061] (3) 将镁锭快速加入铝熔体液面中, 进行电磁搅拌直到熔体均匀化; 在氩气氛围下, 加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼, 用量2kg/吨, 精炼温度720°C;

[0062] (4) 静止保温5min后加入铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝, 进行扒渣处理, 出炉, 进行钢模重力铸造, 模具温度260°C, 铸造温度700°C;

[0063] (5) 再进行半固态模锻成型; 半固态模锻工艺中使用的模具温度350°C, 模锻温度580°C, 压力2400kN, 保压时间30秒;

[0064] (6) 固溶时效最终热处理工艺; 固溶温度535°C/6小时, 水淬温度60°C, 5分钟; 时效温度190°C, 保温时间4小时, 空冷;

[0065] (7) 再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装, 制成铝硅合金轮毂;

[0066] 所述的步骤(4)中铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝的制备方法为:

[0067] (a) 铝粉、铜粉与石墨烯乙醇湿混球磨, 石墨烯:乙醇体积比1:1; 球料比5:1, 球磨

转速300转/分,球磨时间5小时;球磨后风冷烘干,制成石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu;

[0068] (b) 石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu与铝粉混合,所述铝粉与石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu的质量比为97:3,制备铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝。

[0069] 所述的步骤(4)中石墨烯为5层,粒径为10微米。

[0070] 实施例4

[0071] 亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成,Si7.0%,Mg0.35%,Cu0.06%,石墨烯0.07%,Ti≤0.1%,Fe≤0.1%,Mn≤0.05%,余量为Al。

[0072] 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,包括以下步骤:

[0073] (1) 电阻炉升温至420℃时将铝锭装入电阻炉中;

[0074] (2) 待铝锭全部熔化后,升温到720℃条件下加入Al-20Si中间合金,熔体保温;

[0075] (3) 将镁锭快速加入铝熔体液面中,进行电磁搅拌直到熔体均匀化;在氩气氛下,加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼,用量2kg/吨,精炼温度720℃;

[0076] (4) 静止保温5min后加入铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝,进行扒渣处理,出炉,进行钢模重力铸造,模具温度260℃,铸造温度700℃;

[0077] (5) 再进行半固态模锻成型;半固态模锻工艺中使用的模具温度400℃,模锻温度600℃,压力2000kN,保压时间25秒;

[0078] (6) 固溶时效最终热处理工艺;固溶温度535℃/4小时,水淬温度60℃,4分钟;时效温度180℃,保温时间6小时,空冷;

[0079] (7) 再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装,制成铝硅合金轮毂;

[0080] 所述的步骤(4)中铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝的制备方法为:

[0081] (a) 铝粉、铜粉与石墨烯乙醇湿混球磨,石墨烯:乙醇体积比1:1;球料比4:1,球磨转速400转/分,球磨时间4小时;球磨后风冷烘干,制成石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu;

[0082] (b) 石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu与铝粉混合,所述铝粉与石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu的质量比为96:4,制备铝-石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金丝。

[0083] 所述的步骤(4)中石墨烯为5层,粒径为10微米。

[0084] 对比例1

[0085] 亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成,Si7.0%,Mg0.35%,Cu0.06%,石墨烯0.07%,Ti≤0.1%,Fe≤0.1%,Mn≤0.05%,余量为Al。

[0086] 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,包括以下步骤:

[0087] (1) 电阻炉升温至420℃时将铝锭装入电阻炉中;

[0088] (2) 待铝锭全部熔化后,升温到720℃条件下加入Al-20Si中间合金,熔体保温;

[0089] (3) 将镁锭快速加入铝熔体液面中,进行电磁搅拌直到熔体均匀化;在氩气氛下,加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼,用量2kg/吨,精炼温度720℃;

[0090] (4) 静止保温5min后加入石墨烯,进行扒渣处理,出炉,进行钢模重力铸造,模具温度260℃,铸造温度700℃;

[0091] (5) 再进行半固态模锻成型;半固态模锻工艺中使用的模具温度400℃,模锻温度600℃,压力2000kN,保压时间25秒;

[0092] (6) 固溶时效最终热处理工艺;固溶温度535℃/4小时,水淬温度60℃,4分钟;时效

温度180℃,保温时间6小时,空冷;

[0093] (7)再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装,制成铝硅合金轮毂。

[0094] 对比例2

[0095] 亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成, Si 7.0%, Mg 0.35%, Cu 0.06%, 石墨烯0.07%,  $Ti \leq 0.1\%$ ,  $Fe \leq 0.1\%$ ,  $Mn \leq 0.05\%$ , 余量为Al。

[0096] 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,包括以下步骤:

[0097] (1)电阻炉升温至420℃时将铝锭装入电阻炉中;

[0098] (2)待铝锭全部熔化后,升温到720℃条件下加入Al-20Si中间合金,熔体保温;

[0099] (3)将镁锭快速加入铝熔体液面中,进行电磁搅拌直到熔体均匀化;在氩气氛围下,加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼,用量2kg/吨,精炼温度720℃;

[0100] (4)静止保温5min后加入石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金,进行扒渣处理,出炉,进行钢模重力铸造,模具温度260℃,铸造温度700℃;

[0101] (5)再进行半固态模锻成型;半固态模锻工艺中使用的模具温度400℃,模锻温度600℃,压力2000kN,保压时间25秒;

[0102] (6)固溶时效最终热处理工艺;固溶温度535℃/4小时,水淬温度60℃,4分钟;时效温度180℃,保温时间6小时,空冷;

[0103] (7)再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装,制成铝硅合金轮毂;

[0104] 所述的步骤(4)中石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu中间合金的制备方法为:铝粉:铜粉:石墨烯乙醇湿混球磨,石墨烯:乙醇体积比1:1,球料比5:1,球磨转速300转/分,球磨时间6小时;球磨后风冷烘干,制成石墨烯@Al<sub>2</sub>Cu。

[0105] 所述的步骤(4)中石墨烯为5层,粒径为10微米。

[0106] 对比例3

[0107] 亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成, Si 7.0%, Mg 0.35%, Cu 0.06%, 石墨烯0.07%,  $Ti \leq 0.1\%$ ,  $Fe \leq 0.1\%$ ,  $Mn \leq 0.05\%$ , 余量为Al。

[0108] 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,包括以下步骤:

[0109] (1)电阻炉升温至420℃时将铝锭装入电阻炉中;

[0110] (2)待铝锭全部熔化后,升温到720℃条件下加入Al-20Si中间合金,熔体保温;

[0111] (3)将镁锭快速加入铝熔体液面中,进行电磁搅拌直到熔体均匀化;在氩气氛围下,加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼,用量2kg/吨,精炼温度720℃;

[0112] (4)静止保温5min后加入铝-石墨烯中间合金, Al<sub>2</sub>Cu中间合金,进行扒渣处理,出炉,进行钢模重力铸造,模具温度260℃,铸造温度700℃;

[0113] (5)再进行半固态模锻成型;半固态模锻工艺中使用的模具温度400℃,模锻温度600℃,压力2000kN,保压时间25秒;

[0114] (6)固溶时效最终热处理工艺;固溶温度535℃/4小时,水淬温度60℃,4分钟;时效温度180℃,保温时间6小时,空冷;

[0115] (7)再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装,制成铝硅合金轮毂;



[0116] 所述的步骤(4)中铝-石墨烯中间合金的制备方法为:铝粉与石墨烯乙醇湿混球磨,其中铝粉与石墨烯的质量比为10:1;石墨烯:乙醇体积比1:1,球料比5:1,球磨转速300转/分,球磨时间6小时;球磨后风冷烘干,制成铝-石墨烯中间合金。

[0117] 所述的步骤(4)中石墨烯为5层,粒径为10微米。

[0118] 对比例4

[0119] 亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成, Si7.0%, Mg0.35%, Cu0.06%, 石墨烯0.07%,  $Ti \leq 0.1\%$ ,  $Fe \leq 0.1\%$ ,  $Mn \leq 0.05\%$ , 余量为Al。

[0120] 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,包括以下步骤:

[0121] (1)电阻炉升温至420℃时将铝锭装入电阻炉中;

[0122] (2)待铝锭全部熔化后,升温到720℃条件下加入Al-20Si中间合金,熔体保温;

[0123] (3)将镁锭快速加入铝熔体液面中,进行电磁搅拌直到熔体均匀化;在氩气氛下,加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼,用量2kg/吨,精炼温度720℃;

[0124] (4)静止保温5min后加入石墨烯@Cu中间合金,进行扒渣处理,出炉,进行钢模重力铸造,模具温度260℃,铸造温度700℃;

[0125] (5)再进行半固态模锻成型;半固态模锻工艺中使用的模具温度400℃,模锻温度600℃,压力2000kN,保压时间25秒;

[0126] (6)固溶时效最终热处理工艺;固溶温度535℃/4小时,水淬温度60℃,4分钟;时效温度180℃,保温时间6小时,空冷;

[0127] (7)再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装,制成铝硅合金轮毂;

[0128] 所述的步骤(4)中石墨烯@Cu中间合金的制备方法为:铜粉:石墨烯乙醇湿混球磨,石墨烯:乙醇体积比1:1,球料比5:1,球磨转速300转/分,球磨时间6小时;球磨后风冷烘干,制成石墨烯@Cu中间合金。

[0129] 所述的步骤(4)中石墨烯为5层,粒径为10微米。

[0130] 对比例5

[0131] 亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成, Si7.0%, Mg0.35%, Cu0.06%,  $Ti \leq 0.1\%$ ,  $Fe \leq 0.1\%$ ,  $Mn \leq 0.05\%$ , 余量为Al。

[0132] 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺,包括以下步骤:

[0133] (1)电阻炉升温至420℃时将铝锭装入电阻炉中;

[0134] (2)待铝锭全部熔化后,升温到720℃条件下加入Al-20Si中间合金,熔体保温;

[0135] (3)将镁锭快速加入铝熔体液面中,进行电磁搅拌直到熔体均匀化;在氩气氛下,加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼,用量2kg/吨,精炼温度720℃;

[0136] (4)静止保温5min后加入Al<sub>2</sub>Cu中间合金,进行扒渣处理,出炉,进行钢模重力铸造,模具温度260℃,铸造温度700℃;

[0137] (5)再进行半固态模锻成型;半固态模锻工艺中使用的模具温度400℃,模锻温度600℃,压力2000kN,保压时间25秒;

[0138] (6)固溶时效最终热处理工艺;固溶温度535℃/4小时,水淬温度60℃,4分钟;时效温度180℃,保温时间6小时,空冷;

[0139] (7)再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装,制成铝硅合金轮

毂；

[0140] 所述的步骤(4)中 $Al_2Cu$ 中间合金的制备方法为：铝粉：铜粉湿混球磨，球料比5:1，球磨转速300转/分，球磨时间6小时；球磨后风冷烘干，制成 $Al_2Cu$ 。

[0141] 对比例6

[0142] 亚共晶铝硅合金轮毂由以下质量百分比的合金组成，Si7.0%，Mg0.35%，Cu0.06%，石墨烯0.07%， $Ti \leq 0.1\%$ ， $Fe \leq 0.1\%$ ， $Mn \leq 0.05\%$ ，余量为Al。

[0143] 一种硅相球化细化的亚共晶铝硅合金轮毂生产工艺，包括以下步骤：

[0144] (1)电阻炉升温至420℃时将铝锭装入电阻炉中；

[0145] (2)待铝锭全部熔化后，升温到720℃条件下加入Al-20Si中间合金，熔体保温；

[0146] (3)将镁锭快速加入铝熔体液面中，进行电磁搅拌直到熔体均匀化；在氩气氛围下，加入氯盐氟盐精炼剂进行精炼，用量2kg/吨，精炼温度720℃；

[0147] (4)静止保温5min后加入铝-石墨烯-Cu中间合金粉，进行扒渣处理，出炉，进行钢模重力铸造，模具温度260℃，铸造温度700℃；

[0148] (5)再进行半固态模锻成型；半固态模锻工艺中使用的模具温度400℃，模锻温度600℃，压力2000kN，保压时间25秒；

[0149] (6)固溶时效最终热处理工艺；固溶温度535℃/4小时，水淬温度60℃，4分钟；时效温度180℃，保温时间6小时，空冷；

[0150] (7)再进行喷丸、机械加工、碱洗、酸洗、表面阳极氧化、成品包装，制成铝硅合金轮毂；

[0151] 所述的步骤(4)中铝-石墨烯-Cu中间合金粉的制备方法为：铝粉：铜粉：石墨烯直接混合形成合金粉，其中铝粉与铜粉的质量比为1:1；所述的步骤(4)中石墨烯为5层，粒径为10微米。

[0152] 表1力学性能对比

[0153]

材料	热处理工艺	抗拉强度(MPa)	屈服强度(MPa)	延伸率(%)
实施例 1	535℃/5h 180℃/4h	333.9	298.3	4.0%
实施例 3	535℃/6h 190℃/4h	383.3	313.4	6.0%
实施例 4	535℃/4h 180℃/6h	345.5	288.5	3.5%
对比例 1	535℃/4h 180℃/6h	153.2	120.2	0.5%
对比例 2	535℃/4h 180℃/6h	306.9	235.4	2.8%
对比例 3	535℃/4h 180℃/6h	301.4	223.3	3.5%
对比例 4	535℃/4h 180℃/6h	311.5	248.9	3.1%
对比例 5	535℃/4h 180℃/6h	268.7	180.3	2.3%
对比例 6	535℃/4h 180℃/6h	290.2	200.6	3.7%

[0154] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

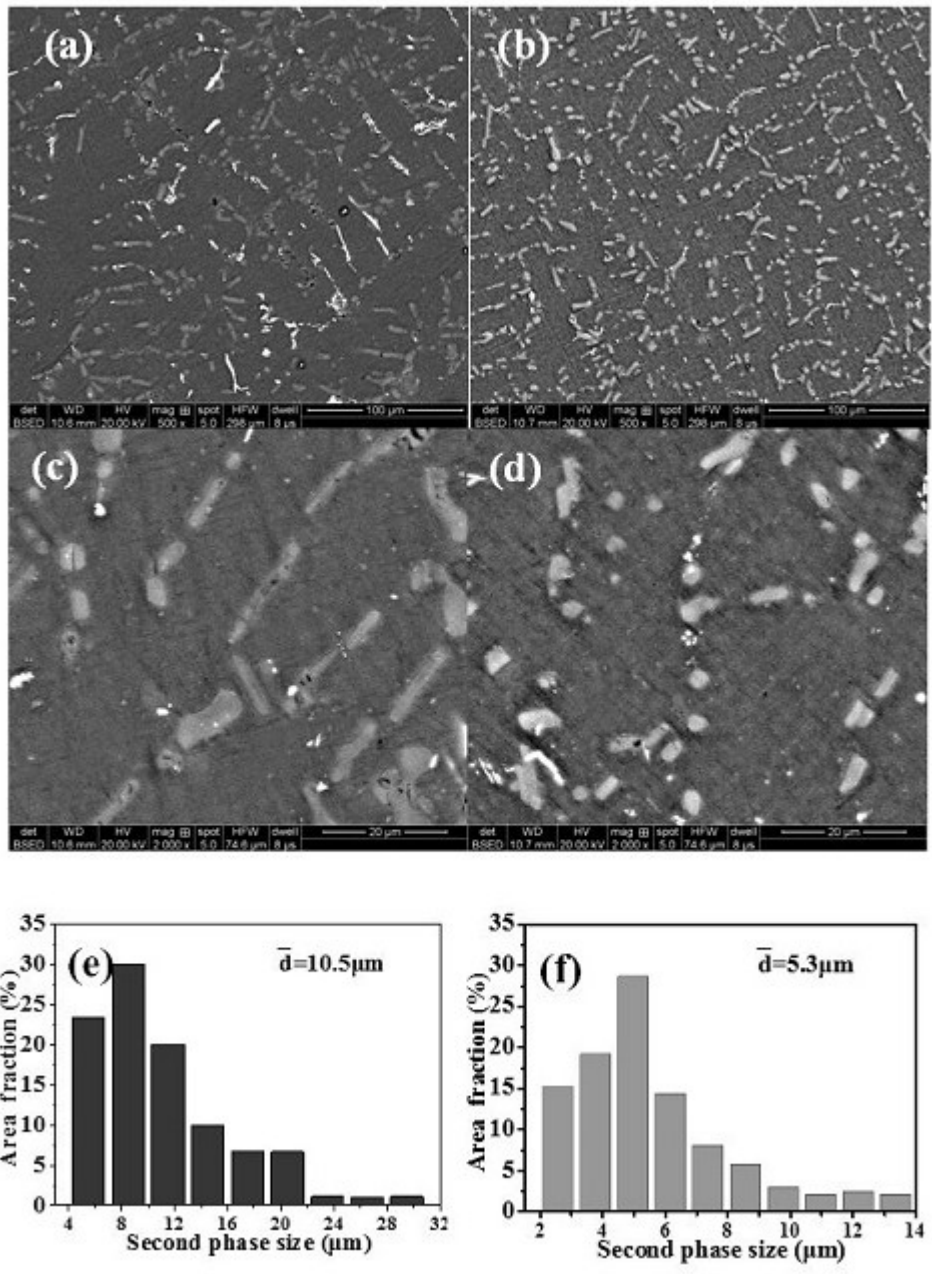


图1