



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109161735 B

(45) 授权公告日 2021.02.12

(21) 申请号 201811331019.9

C22C 1/10 (2006.01)

(22) 申请日 2018.11.09

C22C 1/02 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 张传鑫

申请公布号 CN 109161735 A

(43) 申请公布日 2019.01.08

(73) 专利权人 广州埃烯金属科技有限公司

地址 510700 广东省广州市南埔区南翔三路15号

(72) 发明人 刘玺 张敏 罗红斌 吴素芹  
范国强

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限公司 42102

代理人 官群

(51) Int. Cl.

C22C 21/02 (2006.01)

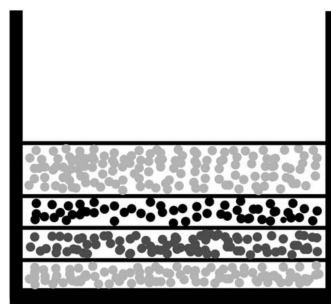
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及一种石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金及其制备方法,所述铝合金按质量百分比计的原料组分为:硅6.5~7.5%;镁0.25~0.45%;铈0.30~0.50%;石墨烯0.001~0.005%;铁≤0.05%;锌≤0.2%;锰≤0.1%;钛≤0.1%;铅≤0.15%;铍≤0.1%;锡≤0.05%;铝≤0.1%;其他不可避免的元素:每种≤0.03%,合计≤0.10%;铝余量。本发明通过在合金中均匀添加极少量的石墨烯和稀土铈,显著改善了铝合金的力学性能,综合力学性能较现有技术得到明显提高,大大扩大了铝合金材料在汽车、航空航天等领域的应用范围。



剩余铝粒  
石墨烯  
其他原料  
1/3~1/2的铝粒

1. 一种石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金的制备方法,其特征在于,所述铝合金按质量百分比计的原料组分为:

硅 6.5~7.5%;

镁 0.25~0.45%;

铈 0.30~0.50%;

石墨烯 0.001~0.005%;

铁 $\leq$ 0.05%;

锌 $\leq$ 0.2%;

锰 $\leq$ 0.1%;

钛 $\leq$ 0.1%;

锆 $\leq$ 0.15%;

铍 $\leq$ 0.1%;

锡 $\leq$ 0.05%;

铅 $\leq$ 0.1%;

其他不可避免的元素:每种 $\leq$ 0.03%,合计 $\leq$ 0.10%;

铝余量;

其制备方法具体包括以下步骤:

步骤1:按合金成分计算并称取原料,准备铝粒、硅粒、镁粒、铈粉、石墨烯、铁粒、锌粒、锰粒、钛粒、锆粒、铍粒、锡粒、铅粒;

步骤2:在熔炼炉坩埚底部铺一层铝粒,铝粒完全覆盖坩埚底部无缝隙,其用量为铝粒总量的1/3到1/2,随后将除铝粒和石墨烯以外的其他原料颗粒铺上,最后再依次铺上石墨烯和剩余的铝粒,使铝粒完全盖住石墨烯;

步骤3:将熔炼炉坩埚置于熔炼炉中,关闭熔炼炉炉门,开启真空泵抽离炉体中空气,随后充入高纯氩气进行洗气,继续抽真空到50Pa,然后充入高纯氩气作为保护气氛至气体压力为500Pa;

步骤4:打开熔炼炉电源开始熔炼合金,熔炼过程如下:用200A~210A电流加热200s~280s,使炉温缓慢升高到 $600\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,随后将电流升高至230A~240A,炉温升至 $720\pm 5^{\circ}\text{C}$ 后,保温100s~140s,随后保持电流大小不变,晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $15^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min,随后将电流升高至245A~255A,炉温升至 $750\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,轻微缓缓晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $10^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min,最后关闭电源,待熔炼炉坩埚内熔液温度降到 $650\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时,将熔液浇铸到铜模具中冷却;

步骤5:浇铸完成后,采用真空泵抽出炉内高温气体,抽真空时间为30s~40s,之后充入室温氩气,520s~580s后开炉取样得到合金。

2. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤1所述铝粒为 $\phi$  6\*6 mm的柱状颗粒,纯度为99.95%;所述硅粒平均粒径为1~6mm,纯度为99.95%;所述镁粒平均粒径为1~6mm,纯度为99.99%;所述石墨烯为单层石墨烯;其余原料纯度为99.99%,平均粒径为1~3mm。

3. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤3所述熔炼炉为感应熔炼炉。

4. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述方法还包括:

步骤6:将步骤5所得合金放入箱式炉中,在530~540 $^{\circ}\text{C}$ 下固溶处理6小时,然后置于60~

80℃水中淬火,随后在室温下静置11~13小时,再放入箱式炉中在175~185℃下固溶处理6~8小时,随后空冷得到石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金。

## 一种石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于铝合金技术领域,具体涉及一种石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 铝合金的密度小、强度高、抗蚀性好、塑性和可成形性优异,运输便利,可实现绿色加工,Al-Si-Mg铸造铝合金具有良好的铸造流动性、小的收缩率和热裂敏感性、高的强重比、好的气密性与耐磨性,适合于制造外形繁杂的构件,如泵体、发动机滑块构件,汽车变速器,燃料箱、轮毂、各类外壳、航空机接头及其他机械工程结构件;但传统的Al-Si-Mg系铸造铝合金中含有粗大的树枝状 $\alpha$ -(Al)初晶相及粗大板条状共晶(Si),而且在工业铸造铝合金中还含有大量板条状杂质相,从微观组织分析,亚共晶的Al-Si-Mg基铸造合金常常含有粗大的初晶(Al),这些粗大的初晶相和板条状的共晶组织在铸件服役过程中常常起到应力集中和裂纹发源的中心,严重影响铸件的使用寿命,这些粗大的组织和板条状杂质相都会导致合金性能下降。

[0003] 因此,有效地控制合金中初晶相、共晶组织的形态、晶粒尺寸大小和分布显得尤为重要。研究发现,通过添加少量稀土元素(如Ce,Sc等),既能有效细化Al-Si-Mg基铸造合金中的初晶(Al),又能很好的变质其终态凝固共晶组织,显著减少晶界处的板条状化合物。稀土元素的活性较高,有很好的除杂作用,对铸造过程有很好的脱氢效果,能有效的减少氧化夹杂物。另外,稀土元素对冷却速率十分敏感,可以通过调控冷却速率获得更优异的凝固形貌。稀土元素与Al形成中间化合物(如:Al<sub>11</sub>Ce<sub>3</sub>、Al<sub>3</sub>Sc),这些化合物与Al有相似的晶体结构,为初晶(Al)起到异质形核作用;而且,稀土元素活性较高,可吸附在生长的(Si)颗粒表面生成一层膜,阻碍晶粒继续长大,并不断改变(Si)的生长方向使(Si)产生孪晶结构,最终呈现纤维状或网状的细化结构。

[0004] 另一方面,石墨烯是一种新型二维材料,是迄今为止发现的最坚韧、导电和导热最好的材料。因此,科研工作者希望利用石墨烯的高强度特性,将其与铝合金制备成复合材料,使其具有轻质高强、低热膨胀等优异性能,满足机械制造与航空航天等领域的需求。目前石墨烯铝基复合材料的制备方法主要是搅拌熔炼法和粉末冶金法:北京航空材料研究院的研究人员研究表明,其采用球磨和粉末冶金方法成功制备出石墨烯增强铝基纳米复合材料,在保持材料良好塑性的同时,强度得到了显著的提高,其屈服强度和抗拉强度分别提高了58%和25%,但是材料制备过程比较繁琐,且石墨烯用量大,成本较高;而且,粉末冶金法难以制造大型器件且无法规避孔洞。

[0005] 搅拌熔炼法是将金属原料和石墨烯一起熔炼,充分搅拌熔液使得石墨烯均匀分散,最后浇铸成形,搅拌熔炼法工艺简单,能够实现石墨烯增强铝合金的规模化生产,并能生产大型铸件。但在制备石墨烯增强铝合金的相关报道中,石墨烯添加量均在0.1wt.%以上,成本较高。同时,为了扩展铸造铝合金的应用领域,需要对合金样进行热处理(固溶+时效处理),进一步提高合金综合力学性能。

## 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金及其制备方法,以实现通过添加石墨烯与稀土铈元素协同调控铸造合金中初晶相的微观形貌以及共晶组织、杂质相的晶粒形态与尺寸分布,提高铸造合金的机械性能,同时,对合金样品进行热处理,进一步提高合金综合性能,扩大铝合金在汽车工业等领域的应用范围。

[0007] 提供一种石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金,所述铝合金按质量百分比计的原料组分为:

[0008] 硅 6.5~7.5%;

[0009] 镁 0.25~0.45%;

[0010] 铈 0.30~0.50%;

[0011] 石墨烯 0.001~0.005%;

[0012] 铁 $\leq$ 0.05%;

[0013] 锌 $\leq$ 0.2%;

[0014] 锰 $\leq$ 0.1%;

[0015] 钛 $\leq$ 0.1%;

[0016] 锆 $\leq$ 0.15%;

[0017] 铍 $\leq$ 0.1%;

[0018] 锡 $\leq$ 0.05%;

[0019] 铅 $\leq$ 0.1%;

[0020] 其他不可避免的元素:每种 $\leq$ 0.03%,合计 $\leq$ 0.10%;

[0021] 铝余量。

[0022] 本发明还提供上述石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金的制备方法,具体包括以下步骤:

[0023] 步骤1:按合金成分计算并称取原料,准备铝粒、硅粒、镁粒、铈粉、石墨烯、铁粒、锌粒、锰粒、钛粒、锆粒、铍粒、锡粒、铅粒;

[0024] 步骤2:在熔炼炉坩埚底部铺一层铝粒,铝粒完全覆盖坩埚底部无缝隙,其用量为铝粒总量的1/3到1/2,随后将除铝粒和石墨烯以外的其他原料颗粒铺上,最后再依次铺上石墨烯和剩余的铝粒,使铝粒完全盖住石墨烯;

[0025] 步骤3:将熔炼炉坩埚置于熔炼炉中,关闭熔炼炉炉门,开启真空泵抽离炉体中空气,随后充入高纯氩气进行洗气,继续抽真空到50Pa,然后充入高纯氩气作为保护气氛至气体压力为500Pa;

[0026] 步骤4:打开熔炼炉电源开始熔炼合金,熔炼过程如下:用200A~210A电流加热200s~280s,使炉温缓慢升高到 $600\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,随后将电流升高至230A~240A,炉温升至 $720\pm 5^{\circ}\text{C}$ 后,保温100s~140s,随后保持电流大小不变,晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $15^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min,随后将电流升高至245A~255A,炉温升至 $750\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,轻微缓缓晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $10^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min,最后关闭电源,待熔炼炉坩埚内熔液温度降到 $650\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时,将熔液浇铸到铜模具中冷却;

[0027] 步骤5:浇铸完成后,采用真空泵抽出炉内高温气体,抽真空时间为30s~40s,之后充入室温氩气,520s~580s后开炉取样得到合金。

[0028] 按上述方案,步骤1所述铝粒为 $\phi 6*6$  mm的柱状颗粒,纯度为99.95%;所述硅粒平均粒径为1-6mm,纯度为99.95%;所述镁粒平均粒径为1-6mm,纯度为99.99%;所述石墨烯为单层石墨烯;其余原料纯度为99.99%,平均粒径为1~3mm。

[0029] 按上述方案,步骤3所述熔炼炉为感应熔炼炉。

[0030] 本发明步骤4熔炼过程缓慢升高炉温,避免大功率加热时炉温突然急剧上升导致短期炉内大量放气的现象,随后对样品进行匀质处理,升高电流加温、晃动坩埚,以促进石墨烯和合金元素均匀分布,最后将熔液温度降到 $650\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,低于镁的沸点,避免了镁元素的挥发。

[0031] 按上述方案,上述方法还包括:

[0032] 步骤6:将步骤5所得合金放入箱式炉中,在 $530\sim 540^{\circ}\text{C}$ 下固溶处理6小时,然后置于 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ 水中淬火,随后在室温下静置11~13小时,再放入箱式炉中在 $175\sim 185^{\circ}\text{C}$ 下固溶处理6~8小时,随后空冷得到石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金。

[0033] 本发明的有益效果是:

[0034] 本发明通过在合金中均匀添加极少量的石墨烯和稀土铈,显著改善了铝合金的力学性能(抗拉强度达 $230.42\pm 3\text{MPa}$ ,屈服强度达 $122.41\pm 3\text{MPa}$ ,延伸率达 $6.93\pm 1\%$ );同时,经过热处理后,合金的综合力学性能得到明显提高(抗拉强度达 $289.13\pm 3\text{MPa}$ ,屈服强度达 $251.37\pm 3\text{MPa}$ ,延伸率达 $6.73\pm 1\%$ ),大大扩大了铝合金材料在汽车、航空航天等领域的应用范围。本发明提供的制备方法条件温和、工艺简单,对熔炼设备损耗小,并且铸造成本低。

## 附图说明

[0035] 图1为本发明实施例1各原料在坩埚中的铺放位置分布图;

[0036] 图2为对比例1~2和实施例1~2所制备的石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金抗拉强度、屈服强度及延伸率变化曲线图;

[0037] 图3为对比例1~2和实施例1~2所制备铝合金的微观组织结构图。

## 具体实施方式

[0038] 为使本领域技术人员更好地理解本发明的技术方案,下面结合附图对本发明作进一步详细描述。

[0039] 基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明的保护范围。

[0040] 本发明对比例及实施例所用铝粒为 $\phi 6*6$  mm的柱状颗粒,纯度为99.95%;所用硅粒平均粒径为1-6mm,纯度为99.95%;所述镁粒平均粒径为1-6mm,纯度为99.99%;所用石墨烯为单层石墨烯;其余原料纯度为99.99%,平均粒径为1~3mm。

[0041] 对比例1

[0042] 本对比例拟制备70g的Al-Si-Mg铸造铝合金,其原料及质量百分比为:硅7.0wt.%、镁0.43wt.%、铁0.02wt.%、锌0.03wt.%、锰0.02wt.%、钛0.02wt.%、锆0.03wt.%、铍0.01wt.%、锡0.03wt.%、铅0.02wt.%,铝余量。

[0043] 具体制备方法步骤如下:

[0044] 步骤1:按照重量百分比称取各组分原料;

[0045] 步骤2:在熔炼炉坩埚底部铺一层铝粒,要求铝粒完全覆盖无缝隙,其量约为铝粒总量的1/3到1/2,随后将铝粒以外的其他原料颗粒铺上,最后再铺上剩余的铝粒;

[0046] 步骤3:关闭熔炼炉炉门,开启真空泵抽离炉体中空气,随后充入高纯Ar气进行洗气,继续抽真空到低压50Pa,充入高纯Ar气作为保护气氛至气体压力为500Pa;

[0047] 步骤4:打开熔炼炉电源开始熔炼合金,熔炼过程如下:用200A~210A电流加热200s~280s,使炉温缓慢升高到 $600\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;随后将电流升高至230A~240A,炉温达到 $720\pm 5^{\circ}\text{C}$ 后,保温100s~140s,随后保持电流大小不变,晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $15^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min;随后将电流升高至245A~255A,炉温达到 $750\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,轻微缓缓晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $10^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min;最后关闭电源,待熔炼炉坩埚内熔液温度降到 $650\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时,将熔液浇铸到铜模具中冷却;

[0048] 步骤5:浇铸完成后,采用真空泵抽出炉内高温气体,抽真空时间为30s~40s,之后充入室温氩气,520s~580s后开炉取样,得到铸态的Al-Si-Mg铸造铝合金。

[0049] 本对比例所得Al-Si-Mg铸造铝合金的性能为:抗拉强度( $\sigma_b$ )为 $201.41\pm 4.19\text{MPa}$ ,屈服强度( $\sigma_{0.2}$ )为 $106.41\pm 3.41\text{MPa}$ ,延伸率( $\delta$ )为 $4.64\pm 0.49\%$ 。

[0050] 对比例2

[0051] 本实施例拟制备70g的Al-Si-Mg铸造铝合金,其原料及质量百分比为:石墨烯添加量为0.003wt.%,硅7.0wt.%,镁0.43wt.%,铁0.02wt.%,锌0.03wt.%,锰0.02wt.%,钛0.02wt.%,锆0.03wt.%,铍0.01wt.%,锡0.03wt.%,铅0.02wt.%,铝余量。

[0052] 具体制备方法步骤如下:

[0053] 步骤1:按照重量百分比称取各组分原料;

[0054] 步骤2:在熔炼炉坩埚底部铺一层铝粒,要求铝粒完全覆盖无缝隙,其量约为铝粒总量的1/3到1/2,随后将铝粒以外的其他原料颗粒铺上,最后再铺上剩余的铝粒;

[0055] 步骤3:关闭熔炼炉炉门,开启真空泵抽离炉体中空气,随后充入高纯Ar气进行洗气,继续抽真空到低压50Pa,充入高纯Ar气作为保护气氛至气体压力为500Pa;

[0056] 步骤4:打开熔炼炉电源开始熔炼合金,熔炼过程如下:用200A~210A电流加热200s~280s,使炉温缓慢升高到 $600\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;随后将电流升高至230A~240A,炉温达到 $720\pm 5^{\circ}\text{C}$ 后,保温100s~140s,随后保持电流大小不变,晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $15^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min;随后将电流升高至245A~255A,炉温达到 $750\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,轻微缓缓晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $10^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min;最后关闭电源,待熔炼炉坩埚内熔液温度降到 $650\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时,将熔液浇铸到铜模具中冷却;

[0057] 步骤5:浇铸完成后,采用真空泵抽出炉内高温气体,抽真空时间为30s~40s,之后充入室温氩气,520s~580s后开炉取样,得到铸态的石墨烯增强Al-Si-Mg铸造铝合金。

[0058] 本实施例所得添加石墨烯的Al-Si-Mg铸造铝合金的性能为:抗拉强度( $\sigma_b$ )为 $213.05\pm 3\text{MPa}$ ,屈服强度( $\sigma_{0.2}$ )为 $109.46\pm 3\text{MPa}$ ,延伸率( $\delta$ )为 $8.77\pm 1\%$ 。

[0059] 实施例1

[0060] 本实施例拟制备70g的Al-Si-Mg铸造铝合金,其原料及质量百分比为:石墨烯添加量为0.003wt.%,铈的添加量为0.4wt.%,硅7.0wt.%,镁0.43wt.%,铁0.02wt.%,锌0.03wt.%,锰0.02wt.%,钛0.02wt.%,锆0.03wt.%,铍0.01wt.%,锡0.03wt.%,铅0.02wt.%,铝余量;具体制备方法步骤如下:

[0061] 步骤1:按照重量百分比称取各组分原料;

[0062] 步骤2:在熔炼炉坩埚底部铺一层铝粒,铝粒完全覆盖坩埚底部无缝隙,其用量为铝粒总量的1/3到1/2,随后将除铝粒和石墨烯以外的其他原料颗粒铺上,最后再依次铺上石墨烯和剩余的铝粒,使铝粒完全盖住石墨烯,各原料在坩埚中的铺放位置分布图如图1所示;

[0063] 步骤3:关闭熔炼炉炉门,开启真空泵抽离炉体中空气,随后充入高纯Ar气进行洗气,继续抽真空到低压50Pa,充入高纯Ar气作为保护气氛至气体压力为500Pa;

[0064] 步骤4:打开熔炼炉电源开始熔炼合金,熔炼过程如下:用200A~210A电流加热200s~280s,使炉温缓慢升高到 $600\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;随后将电流升高至230A~240A,炉温达到 $720\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,保温100s~140s,随后保持电流大小不变,晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $15^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min;随后将电流升高至245A~255A,炉温达到 $750\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,轻微缓缓晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $10^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min;最后关闭电源,待熔炼炉坩埚内熔液温度降到 $650\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时,将熔液浇铸到铜模具中冷却;

[0065] 步骤5:浇铸完成后,采用真空泵抽出炉内高温气体,抽真空时间为30s~40s,之后充入室温氩气,520s~580s后开炉取样,得到铸态的石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金。

[0066] 本实施例所得石墨烯稀土铈混合添加的Al-Si-Mg铸造铝合金的性能为:抗拉强度为 $230.42\pm 3\text{MPa}$ ,屈服强度为 $122.41\pm 3\text{MPa}$ ,延伸率为 $6.93\pm 1\%$ 。

[0067] 实施例2

[0068] 本实施例拟制备70g的Al-Si-Mg铸造铝合金,其原料及质量百分比为:石墨烯添加量为0.003wt.%,铈的添加量为0.4wt.%,硅7.0wt.%,镁0.43wt.%,铁0.02wt.%,锌0.03wt.%,锰0.02wt.%,钛0.02wt.%,锆0.03wt.%,铍0.01wt.%,锡0.03wt.%,铅0.02wt.%,铝余量。

[0069] 具体制备方法步骤如下:

[0070] 步骤1:按照重量百分比称取各组分原料;

[0071] 步骤2:在熔炼炉坩埚底部铺一层铝粒,铝粒完全覆盖坩埚底部无缝隙,其用量为铝粒总量的1/3到1/2,随后将除铝粒和石墨烯以外的其他原料颗粒铺上,最后再依次铺上石墨烯和剩余的铝粒,使铝粒完全盖住石墨烯;

[0072] 步骤3:关闭熔炼炉炉门,开启真空泵抽离炉体中空气,随后充入高纯Ar气进行洗气,继续抽真空到低压50Pa,充入高纯Ar气作为保护气氛至气体压力为500Pa;

[0073] 步骤4:打开熔炼炉电源开始熔炼合金,熔炼过程如下:用200A~210A电流加热200s~280s,使炉温缓慢升高到 $600\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;随后将电流升高至230A~240A,炉温达到 $720\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,保温100s~140s,随后保持电流大小不变,晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $15^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min;随后将电流升高至245A~255A,炉温达到 $750\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,轻微缓缓晃动坩埚60s,晃动幅度为熔炼炉坩埚中轴线正负 $10^{\circ}$ ,晃动频率为50~60次/min;最后关闭电源,待熔炼炉坩埚内熔液温度降到 $650\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时,将熔液浇铸到铜模具中冷却;

[0074] 步骤5:浇铸完成后,采用真空泵抽出炉内高温气体,抽真空时间为30s~40s,之后充入室温氩气,520s~580s后开炉取样得到合金;

[0075] 步骤6:将步骤5所得合金放入箱式炉中,在 $535^{\circ}\text{C}$ 下固溶处理6小时,然后置于 $70^{\circ}\text{C}$



水中淬火,随后在室温下静置12小时,再放入箱式炉中在180℃下固溶处理7小时,随后空冷得到热处理后的石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金。

[0076] 本实施例所得石墨烯稀土铈混合添加的Al-Si-Mg铸造铝合金的性能为:抗拉强度为 $289.13 \pm 3$ MPa,屈服强度为 $251.37 \pm 3$ MPa,延伸率为 $6.73 \pm 1\%$ 。

[0077] 图2所示为本发明中对比例1-2和实施例1-2所制备的石墨烯稀土铈增强Al-Si-Mg铸造铝合金的抗拉强度、屈服强度及延伸率变化曲线图。由图2可知,相比于对比例1,对比例2中添加石墨烯提高了铸造铝合金的抗拉强度和屈服强度,同时延伸率得到了极大的改善,延伸率增幅为89%,达到8.77%。和对比例1相比,实施例1中混合添加石墨烯与稀土铈提高了铸造合金的抗拉强度和屈服强度,增幅分别为14.4%和15.0%,延伸率提高了49.4%,达到了可塑性变形的要求。通过对添加了石墨烯稀土铈的Al-Si-Mg铸造铝合金进行后续的热处理,合金(实施例2)的抗拉强度、屈服强度又得到了明显的提高,与对比例1相比,增幅为43.6%和136.2%,分别达到了298.13Mpa和251.37Mpa,同时延伸率提高至6.73%以上,可进行轧制等塑性变形处理。

[0078] 图3所示为本发明中对比例1-2和实施例1-2所制备合金的微观组织结构图,其中(a)为对比例1制备的铸造铝合金的金相显微组织结构图;(b)为对比例2制备的铝合金的金相显微组织结构图;(c)为实施例1制备的铝合金的金相显微组织结构图;(d)为实施例2制备的铝合金的金相显微组织结构图。从图3中分析可知,相比于对比例1的微观组织结构,对比例2中石墨烯的添加,在一定程度上细化了初晶相 $\alpha$ -(Al),提高了合金的强度和塑性;实施例1中石墨烯和稀土铈的混合添加,使得初晶相 $\alpha$ -(Al)和共晶硅相都得到进一步得到细化(如c所示),从而提高了合金的抗拉强度和屈服强度;实施例2为实施例1经过热处理后的微观结构组织(如图d所示),对比发现:经过热处理后,合金中的共晶硅得到球化,可大幅提高合金的抗拉强度和屈服强度。

[0079] 由图2和图3可知,本发明混合添加石墨烯和稀土铈可以极大地改善Al-Si-Mg铸造铝合金综合强度,提高铸造铝合金的塑性,使得塑性达到在可变形处理范围内。本发明中且石墨烯用量少,混合增强效果明显,扩大了其工业应用的范围,且制备工艺简单,进一步降低了成本。

[0080] 本说明书中的各个实施例均采用相关的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其,对于系统实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述的比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

[0081] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并非用于限定本发明的保护范围。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,均包含在本发明的保护范围内。

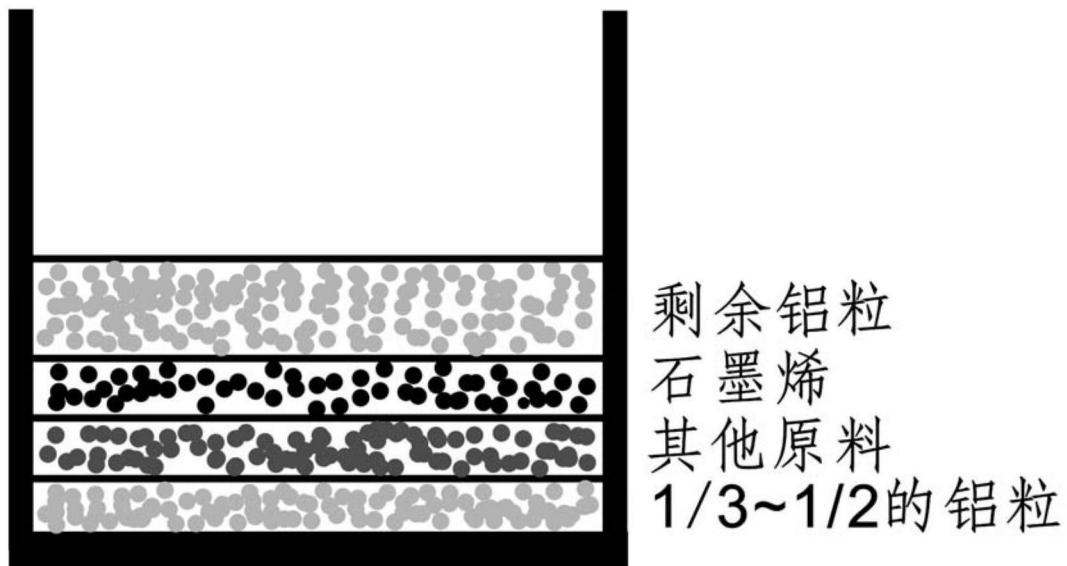


图1

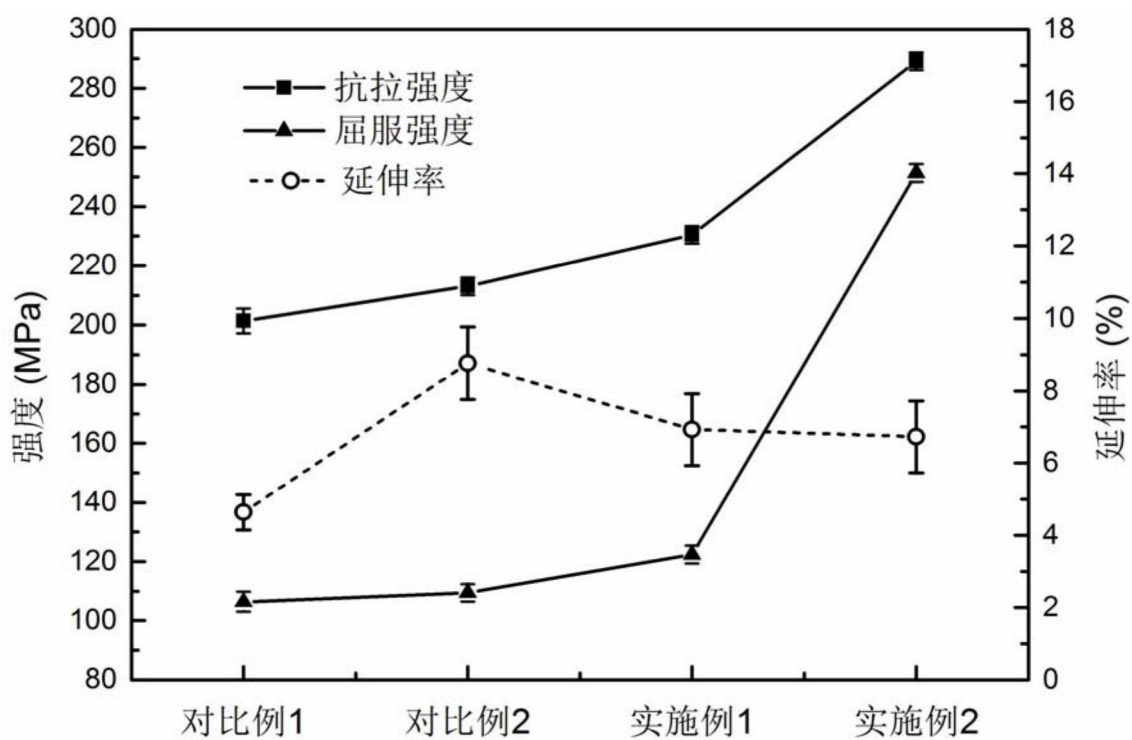


图2

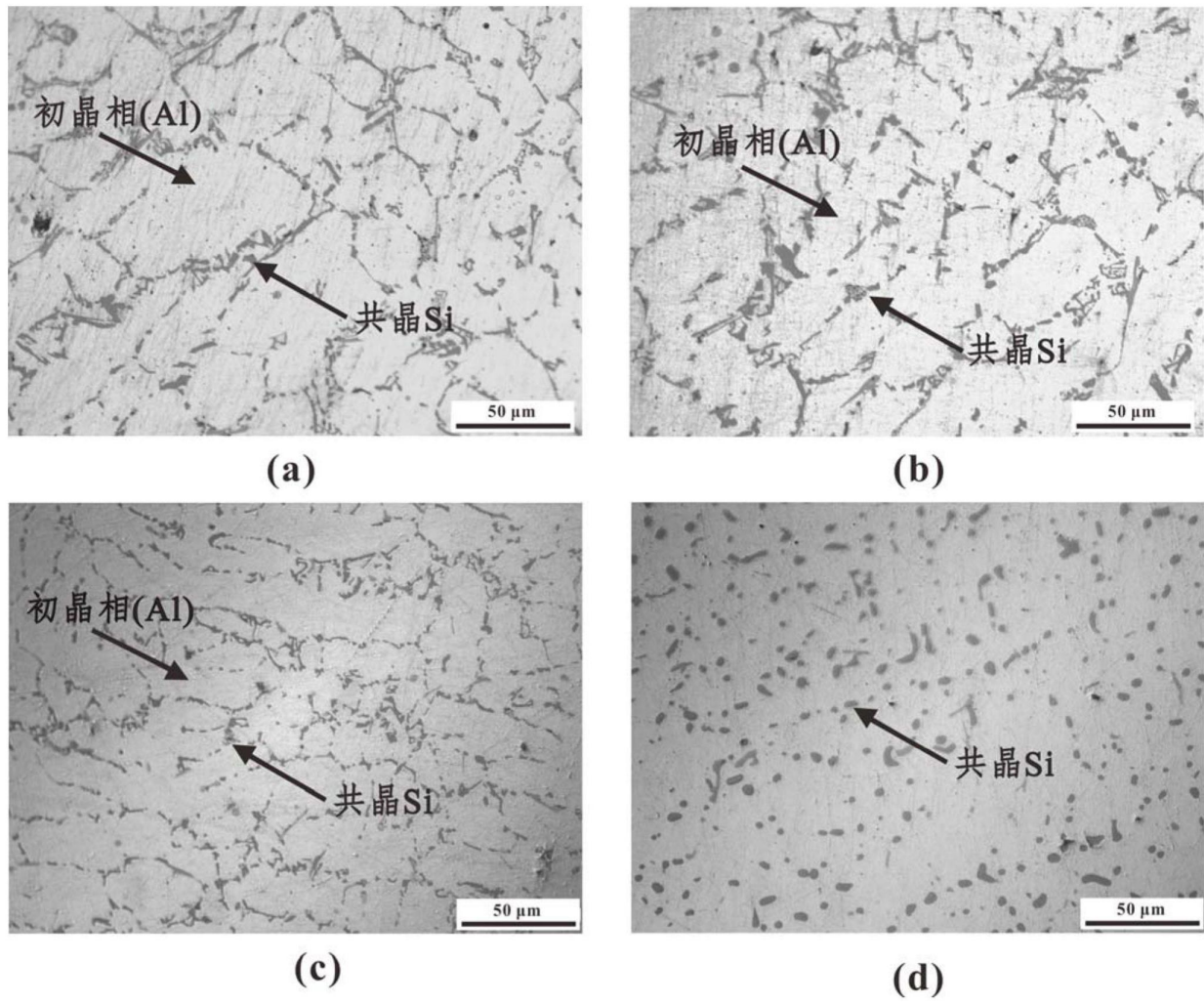


图3