



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115003832 A

(43) 申请公布日 2022. 09. 02

(21) 申请号 202180010331.1

S • 帕拉尼维尔

(22) 申请日 2021.01.20

O • 洛佩兹-加里蒂

(30) 优先权数据

62/964,554 2020.01.22 US

63/093,608 2020.10.19 US

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

专利代理师 李兴斌

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.07.21

(51) Int.Cl.

C22C 21/02 (2006.01)

C22C 21/04 (2006.01)

C22F 1/043 (2006.01)

B22D 17/00 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2021/014177 2021.01.20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/150604 EN 2021.07.29

(71) 申请人 特斯拉公司

地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 J • 斯图基 G • 帕丁森

Q • 哈米尔 A • 普拉布

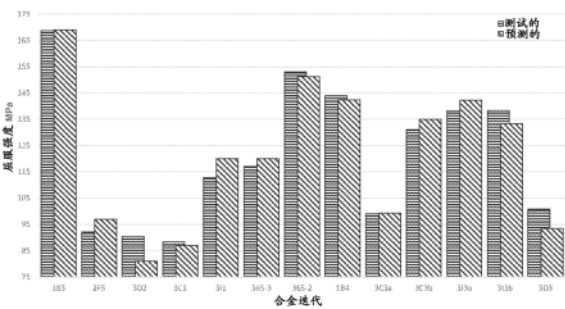
权利要求书2页 说明书11页 附图13页

(54) 发明名称

用于结构部件的压铸铝合金

(57) 摘要

描述了一种包括Al1的合金组合物,其中该合金在铸态且未经进一步处理时包括至少约130MPa的屈服强度和处于3mm截面厚度时的至少约20°的弯曲角度。还描述了用于形成合金的工艺。



1. 一种合金组合物, 包括:

Al;

其中所述合金在铸态且未经进一步处理时包括至少约130MPa的屈服强度和处于3mm截面厚度时的至少约20°的弯曲角度。

2. 根据权利要求1所述的组合物, 其中所述合金在铸态且未经进一步处理时包括至少约130MPa的屈服强度。

3. 根据权利要求1所述的组合物, 其中所述合金在铸态且未经进一步处理时包括处于3mm截面厚度时的至少约24°的弯曲角度。

4. 根据权利要求1所述的组合物, 其中所述合金包括至少约1.8m的流动长度。

5. 根据权利要求1所述的组合物, 其中所述合金包括至少约90%的 α -Al体积分数。

6. 根据权利要求1所述的组合物, 其中所述合金包括约0.03wt.%至约0.25wt.%的 Mg_2Si 相。

7. 根据权利要求1所述的组合物, 其中所述合金包括约0.01wt.%至约0.9wt.%的 Al_2Cu 相。

8. 根据权利要求1所述的组合物, 其中所述合金包括约0.03wt.%至约0.2wt.%的 $AlCuMgSi$ 相。

9. 根据权利要求1所述的组合物, 其中所述合金包括约0.3wt.%至约3wt.%的 $AlFeSi$ 相。

10. 根据权利要求1所述的组合物, 还包括Cu和Mg, 其中Cu:Mg的重量比为约4:1至约2:1。

11. 根据权利要求1所述的组合物, 其中所述合金具有相对于A380动力学的至多约为1的氧还原因子(ORF)。

12. 根据权利要求1所述的组合物, 还包括:

约6wt.%-11wt.%的Si;

约0.3wt.%-0.8wt.%的Cu;

约0.3wt.%-0.8wt.%的Mn;

约0.1wt.%-0.4wt.%的Mg;

至多约0.5wt.%的Fe;

约0.05wt.%-0.15wt.%的V;

约0.01wt.%-0.05wt.%的Sr;

至多约0.15wt.%的Ti;

至多约0.03wt.%的Cr; 以及

剩余物Al和附带杂质。

13. 根据权利要求1所述的组合物, 还包括:

约6.5wt.%-7.5wt.%的Si;

约0.4wt.%-0.8wt.%的Cu;

约0.3wt.%-0.7wt.%的Mn;

约0.1wt.%-0.4wt.%的Mg;

至多约0.4wt.%的Fe;

约0.05wt.%-0.15wt.%的V;
约0.01wt.%-0.03wt.%的Sr;
至多约0.15wt.%的Ti;
至多约0.03wt.%的Cr;以及
剩余物Al和附带杂质。

14.根据权利要求1所述的组合物,还包括:

约6wt.%-11wt.%的Si;
约0.3wt.%-0.8wt.%的Cu;
约0.3wt.%-0.8wt.%的Mn;
约0.15wt.%-0.4wt.%的Mg;
至多约0.5wt.%的Fe;
约0.05wt.%-0.15wt.%的V;
约0.01wt.%-0.05wt.%的Sr;
至多约0.15wt.%的Ti;
至多约0.03wt.%的Cr;以及
剩余物Al和附带杂质。

15.根据权利要求12所述的组合物,其中所述附带杂质至多约0.1wt.%。

16.一种包括权利要求1所述的组合物的汽车制品。

17.根据权利要求16所述的制品,其中所述汽车制品是汽车底盘。

18.一种用于制备合金的方法,包括:

提供合金组分,其中所述合金组分中的至少一个合金组分包括Al;
熔化所述合金组分以形成熔化的合金;以及
冷却所述熔化的合金以形成铸态合金;

其中所述铸态合金包括至少约130MPa的屈服强度和处于3mm截面厚度时的至少约20°的弯曲角度。

19.根据权利要求18所述的方法,其中对所述铸态合金不执行进一步处理。

20.根据权利要求18所述的方法,还包括对所述熔化的合金进行压铸。

21.根据权利要求20所述的方法,其中压铸是高压压铸(HPDC)。

22.根据权利要求18所述的方法,还包括进一步处理所述铸态合金以形成经处理的合金。

23.根据权利要求22所述的方法,其中所述进一步处理步骤选自以下项构成的组中:
热处理、老化、固溶处理、表面精加工及其组合。

用于结构部件的压铸铝合金

[0001] 参考任何优先申请并入

[0002] 例如,在与本申请一起提交的申请数据表或请求书中,指定的外国或本国优先权要求的任何和所有申请,都根据37CFR 1.57和法条4.18和20.6而通过引用并入本文,诸如2020年1月22日提交的美国临时申请号62/964,554和2020年10月19日提交的美国临时申请号63/093,608的全部内容通过引用并入本文。

技术领域

[0003] 本发明涉及铝合金。更具体地,本发明涉及用于包括汽车零件在内的高性能应用的具有改进的强度、延展性和可铸造性的铝合金。

背景技术

[0004] 用于特定应用的商用铸造铝合金,例如电动车辆底盘内的结构部件,通常需要高强度和延展性两者。期望通过铸造工艺形成这些零件,从而可以快速且可靠地铸造这些零件,诸如通过高压压铸工艺。在铸造后,合适的合金应充分维持足够用于必要的应用的结构性能。合金的可铸造性差常常会导致观察到热撕裂,并且可能会导致填充问题,这通常会降低由铸造工艺所产生的零件的机械性能。此外,许多压铸的结构部件可能需要在进行铸造后对部件进行热处理、淬火、固溶处理或老化处理,以提高强度或延展性。然而,热处理可能需要大量开支、长工艺时间,并且可能会导致代价高昂的产量损失。这些问题由于较大的零件尺寸而变得复杂,这些零件尺寸可能需要通过复杂的诸如淬火工艺之类的热处理工艺。

[0005] 可以期望生产具有高屈服强度的铸造铝合金,使得合金不会轻易发生失效,同时还包括足够的延展性。此外,可以期望生产不需要进行热处理的铸造铝合金。

发明内容

[0006] 为了总结本公开以及相对于现有技术而实现的优点,本文描述了本公开的某些目的和优点。并非所有这些目的或优点都可以在任何特定实施例中被实现。因此,例如,本领域技术人员将认识到,本发明可以以实现或优化本文教导的一个优点或一组优点的方式来实施或执行,而不必实现在本文中可能被教导或建议的其他目的或优点。

[0007] 所有这些实施例旨在落入本文所公开的本发明的范围内。从以下参考附图对优选实施例的详细描述中,这些实施例和其他实施例对于本领域技术人员将变得显而易见,本发明不限于所公开的任何特定优选实施例。

[0008] 在一个方面,描述了一种合金组合物。该合金组合物包括Al,其中该合金在铸态且未经进一步处理时包括至少约130MPa的屈服强度和处于3mm截面厚度时的至少约20°的弯曲角度。

[0009] 在一些实施例中,合金在铸态且未经进一步处理时包括至少约130MPa的屈服强度。在一些实施例中,合金在铸态且未经进一步处理时包括处于3mm截面厚度时的至少约24°的弯曲角度。在一些实施例中,合金包括至少约1.8m的流动长度。在一些实施例中,合金

包括至少约90%的 α -Al体积分数。

[0010] 在一些实施例中,合金包括约0.03wt.%至约0.25wt.%的 Mg_2Si 相。在一些实施例中,合金包括约0.01wt.%至约0.9wt.%的 Al_2Cu 相。在一些实施例中,合金包括约0.03wt.%至约0.2wt.%的 AlCuMgSi 相。在一些实施例中,合金包括约0.3wt.%至约3wt.%的 AlFeSi 相。在一些实施例中,合金组合物还包括Cu和Mg,其中Cu:Mg的重量比为约4:1至约1:1。在一些实施例中,合金具有关于A380动力学的至多约为1的氧还原因子(ORF)。

[0011] 在一些实施例中,合金组合物还包括以下中的一种或多种:

[0012] 约6.5wt.%-7.5wt.%的Si;

[0013] 约0.4wt.%-0.8wt.%的Cu;

[0014] 约0.3wt.%-0.7wt.%的Mn;

[0015] 约0.1wt.%-0.4wt.%的Mg;

[0016] 至多约0.4wt.%的Fe;

[0017] 约0.05wt.%-0.15wt.%的V;

[0018] 约0.01wt.%-0.03wt.%的Sr;

[0019] 至多约0.15wt.%的Ti;

[0020] 至多约0.03wt.%的Cr;以及

[0021] 剩余物Al和附带杂质。

[0022] 在一些实施例中,合金组合物还包括以下中的一种或多种:

[0023] 约6.5wt.%-7.5wt.%的Si;

[0024] 约0.4wt.%-0.8wt.%的Cu;

[0025] 约0.3wt.%-0.7wt.%的Mn;

[0026] 约0.1wt.%-0.4wt.%的Mg;

[0027] 至多约0.4wt.%的Fe;

[0028] 约0.05wt.%-0.15wt.%的V;

[0029] 约0.01wt.%-0.03wt.%的Sr;

[0030] 至多约0.15wt.%的Ti;

[0031] 至多约0.03wt.%的Cr;以及

[0032] 剩余物Al和附带杂质。

[0033] 在一些实施例中,合金组合物还包括以下中的一种或多种:

[0034] 约6wt.%-11wt.%的Si;

[0035] 约0.3wt.%-0.8wt.%的Cu;

[0036] 约0.3wt.%-0.8wt.%的Mn;

[0037] 约0.1wt.%-0.4wt.%的Mg;

[0038] 至多约0.5wt.%的Fe;

[0039] 约0.05wt.%-0.15wt.%的V;

[0040] 约0.01wt.%-0.05wt.%的Sr;

[0041] 至多约0.15wt.%的Ti;

[0042] 至多约0.03wt.%的Cr;以及

[0043] 剩余物Al和附带杂质。

[0044] 在一些实施例中,附带杂质至多为约0.1wt.%。

[0045] 在另一方面,描述了一种包括该合金组合物的汽车制品。在一些实施例中,汽车制品是汽车底盘。

[0046] 在一个方面,描述了一种用于制备合金的方法。该方法包括提供合金组分,其中合金组合物中的至少一个合金组分包括Al,熔合金组分以形成熔化的合金,以及冷却该熔化的合金以形成铸态合金,其中铸态合金包括至少约130MPa的屈服强度和处于3mm截面厚度时的至少约20°的弯曲角度。

[0047] 在一些实施例中,对铸态合金不执行进一步处理。在一些实施例中,该方法还包括压铸该熔化的合金。在一些实施例中,压铸是高压压铸 (HPDC)。在一些实施例中,该方法还包括进一步处理铸态合金以形成经处理的合金。在一些实施例中,进一步处理步骤选自以下项构成的组中:热处理、老化、固溶处理、表面精加工及其组合。

附图说明

[0048] 图1是示出许多商用合金和一些实施例的目标合金的弯曲角度和屈服强度的图表。

[0049] 图2是示出一些实施例的合金的预测屈服强度和测试屈服强度的条形图。

[0050] 图3A是一些实施例的合金的弯曲角度和 α -铝体积分数的曲线图。

[0051] 图3B是一些实施例的合金的弯曲角度和镁/镍含量的曲线图。

[0052] 图4是示出一些实施例的合金的预测归一化流动长度(normalized flow length)和测试归一化流动长度的条形图。

[0053] 图5是示出一些实施例的合金的弯曲角度和屈服强度的曲线图。

[0054] 图6A是示出一些实施例的合金的流动长度和硅含量的实验结果的条形图。

[0055] 图6B是示出计算结果的线形图,该计算结果证实了作为一些实施例的合金的硅含量函数的弯曲角度和FCC摩尔分数之间的关系。

[0056] 图7是示出一些实施例的合金在各种镁和硅重量百分比且Cu:Mg比率为3:1的情况下的屈服强度的预测模型图。

[0057] 图8A是示出包括各种镁和铝量的一些实施例的合金的弯曲角度的实验结果的曲线图。

[0058] 图8B是示出对于具有不同铜和镁重量百分比的一些实施例的合金的拉伸屈服强度和弯曲角度的实验结果的曲线图。

[0059] 图9A是比较合金的光学显微横截面图像。

[0060] 图9B是根据一些实施例的合金的光学显微横截面图像。

[0061] 图10A是铝和硅合金的光学显微横截面图像。

[0062] 图10B是铝、硅和铜合金的光学显微横截面图像。

具体实施方式

[0063] 可以通过参考以下详细说明来理解本公开。注意,为了说明清楚起见,各种附图中的某些元件可以不按比率绘制,可以示意性或概念性地呈现,或者可以不完全对应于实施例的某些物理配置。

[0064] 实施例涉及用于制造诸如车辆底盘或底盘部件之类的产品的铝合金。在一个实施例中,车辆是由电池组供电的电动车辆。在一个实施例中,制造合金以提供足够的可铸造性,并且还提供相对高的屈服强度和延展性,并且消除对铸造合金的后续热处理的需要。在一个实施例中,合金在铸态(as-cast)且未经进一步处理时包括至少约130MPa的屈服强度和处于3mm截面厚度时的至少约20°的弯曲角度。在一个实施例中,铝合金包括钒以提供大量这类增强。在另一个实施例中,铝合金具有特定重量比的铜与镁,以提供具有期望特征的合金的许多这类增强。在一个实施例中,铝合金具有约4:1至约1:1的Cu:Mg重量比。在一个实施例中,铝合金具有约4:1至约2:1的Cu:Mg重量比。如下文所提及,与可用的铝合金相比,发现具有这些成分的铝合金具有高屈服强度和高延展性。如下文所提及,铝合金在本文中通过合金内的总元素和颗粒的重量百分比(wt%)以及合金的特定性能来描述。应当理解,本文所描述的任何合金的剩余成分是铝和附带杂质。

[0065] 铝合金组合物

[0066] 图1是示出许多商业高压压铸(HPDC)合金的弯曲角度和屈服强度的图表。图1中的目标合金机械要求被示为屈服强度大于135MPa,并且弯曲角度大于24度。然而,图1证实商用合金要么需要热处理以满足必要的机械要求,要么不满足必要的要求。

[0067] 相反,本公开的实施例涉及铸造具有高屈服强度和高延展性两者的铝合金,而不需要铸造后的热处理。与传统的可商用铝合金相比,发现该铝合金具有高屈服强度和高延展性。铝合金在本文中通过合金内的总元素和颗粒的重量百分比(wt%)以及合金的特定性能来描述。应当理解,本文所描述的任何合金的剩余成分是铝和附带杂质。

[0068] 杂质可以存在于起始材料中或在制造铝合金的处理和/或制造步骤中的一个步骤中被引入。附带杂质是不影响或不显著影响组合物的材料性能的化合物和/或元素,诸如屈服强度、延展性和消除对热处理的需要。在一些实施例中,总的附带杂质为、约为、至多为或至多约为1wt.%、0.5wt.%、0.2wt.%、0.1wt.%、0.05wt.%或0.01wt.%、或它们之间的任何数值范围。在实施例中,总的附带杂质为、约为、至多为或者至多约为1wt.%、0.5wt.%、0.2wt.%、0.1wt.%、0.05wt.%或0.01wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,每种元素附带杂质为、约为、至多为或至多约为0.5wt.%、0.2wt.%、0.1wt.%、0.05wt.%、0.01wt.%、0.005wt.%或0.001wt.%、或它们之间的任何数值范围。

[0069] 在一些实施例中,铝合金组合物包括范围为或约为6.5wt%-7.5wt%的Si、范围为或约为0.4wt%-0.8wt%的Cu、范围为或约为0.3wt%-0.7wt%的Mn、范围为或约为0.2wt%-0.4wt%的Mg、至多为或至多约为0.4wt%的Fe、范围为或约为0.05wt%-0.15wt%的V、范围为或约为0.01wt%-0.03wt%的Sr、至多为或至多约为0.15wt%的Ti、至多为或至多约为0.03wt%的Cr、剩余成分(按wt%)为Al和附带杂质,其中最大附带杂质总计0.15wt%或0.1wt%。在一些实施例中,每种元素附带杂质为、约为、至多为或至多约为0.05wt%。

[0070] 在一些实施例中,铝合金组合物包括范围为或约为6.5wt%-11wt%的Si、范围为或约为0.3wt%-0.8wt%的Cu、范围为或约为0.3wt%-0.8wt%的Mn、范围为或约为0.1wt%-0.4wt%的Mg、至多为或至多约为0.5wt%的Fe、范围为或约为0.05wt%-0.15wt%的V、范围为或约为0.01wt%-0.05wt%的Sr、至多为或至多约为0.15wt%的Ti、至多为或至多约为0.03wt%的Cr、剩余成分(按wt%)为Al和附带杂质,其中最大附带杂质总计

0.15wt%或0.1wt%。在一些实施例中,每种元素附带杂质为、约为、至多为或至多约为0.05wt%。

[0071] 在一些实施例中,铝合金组合物包括的硅(Si)的量为、约为、至多为或至多约为15wt.%、13wt.%、12wt.%、11wt.%、10wt.%、9wt.%、8wt.%、7wt.%、6wt.%、5wt.%或3wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括的铜(Cu)的量为、约为、至多为或至多约为1wt.%、0.9wt.%、0.8wt.%、0.7wt.%、0.6wt.%、0.5wt.%、0.4wt.%、0.3wt.%、0.2wt.%或0.1wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括的锰(Mn)的量为、约为、至多为或至多约为0.6wt.%、0.5wt.%、0.45wt.%、0.4wt.%、0.35wt.%、0.3wt.%、0.25wt.%、0.2wt.%、0.15wt.%、0.1wt.%或0.05wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括的铁(Fe)的量为、约为、至多为或至多约为0.8wt.%、0.7wt.%、0.6wt.%、0.5wt.%、0.4wt.%、0.3wt.%、0.2wt.%、0.1wt.%、0.05wt.%或0.01wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括的钒(V)的量为、约为、至多为或至多约为4wt.%、3wt.%、2.5wt.%、2wt.%、1.5wt.%、1wt.%、0.5wt.%、0.4wt.%、0.3wt.%、0.2wt.%、0.1wt.%或0.05wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括的锶(Sr)的量为、约为、至多为或至多约为0.1wt.%、0.08wt.%、0.07wt.%、0.06wt.%、0.05wt.%、0.045wt.%、0.04wt.%、0.035wt.%、0.03wt.%、0.025wt.%、0.02wt.%、0.015wt.%、0.01wt.%或0.005wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括的钛(Ti)的量为、约为、至多为或至多约为0.3wt.%、0.2wt.%、0.15wt.%、0.14wt.%、0.13wt.%、0.12wt.%、0.1wt.%、0.08wt.%、0.07wt.%、0.06wt.%、0.05wt.%、0.04wt.%、0.03wt.%、0.02wt.%、0.01wt.%或0.005wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括的铬(Cr)的量为、约为、至多为或至多约为0.1wt.%、0.07wt.%、0.05wt.%、0.04wt.%、0.03wt.%、0.02wt.%、0.01wt.%或0.005wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括的每种元素附带杂质的量为、约为、至多为或至多约为0.1wt.%、0.07wt.%、0.05wt.%、0.04wt.%、0.03wt.%、0.02wt.%、0.01wt.%或0.005wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括的最大附带杂质的总量为、约为、至多为或至多约为0.3wt.%、0.2wt.%、0.15wt.%、0.1wt.%、0.07wt.%、0.05wt.%、0.04wt.%、0.03wt.%、0.02wt.%、0.01wt.%或0.005wt.%、或它们之间的任何数值范围。

[0072] 在一些实施例中,铝合金组合物包括Cu:Mg重量比为、或约为4:1、3.5:1、3:1、2.5:1、2:1、1.5:1或1:1、或它们之间的任何数值范围的量。

[0073] 在一些实施例中,合金的 α -Al体积分数为、约为、至少为或至少约为85%、90%、91%、92%、93%、94%、95%、96%、97%、98%或99%、或它们之间的任何数值范围。

[0074] 在一些实施例中,铝合金组合物包括 Mg_2Si 相,其含量为、约为、小于或小于约2wt.%、1.5wt.%、1wt.%、0.9wt.%、0.8wt.%、0.7wt.%、0.6wt.%、0.5wt.%、0.45wt.%、0.4wt.%、0.35wt.%、0.3wt.%、0.25wt.%、0.2wt.%、0.15wt.%、0.1wt.%、0.05wt.%、0.04wt.%、0.03wt.%、0.02wt.%、0.01wt.%或0.005wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括 Al_2Cu 相,其含量为、约为、小于或小于约2wt.%、1.7wt.%、1.5wt.%、1.4wt.%、1.3wt.%、1.2wt.%、1.1wt.%、1wt.%、0.9wt.%、

0.8wt.%、0.7wt.%、0.6wt.%、0.5wt.%、0.45wt.%、0.4wt.%、0.35wt.%、0.3wt.%、0.25wt.%、0.2wt.%、0.15wt.%、0.1wt.%、0.05wt.%、0.04wt.%、0.03wt.%、0.02wt.%、0.01wt.%、0.008wt.%、0.005wt.%或0.001wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括AlCuMgSi相,其含量为、约为、小于或小于约2wt.%、1.7wt.%、1.5wt.%、1.4wt.%、1.3wt.%、1.2wt.%、1.1wt.%、1wt.%、0.9wt.%、0.8wt.%、0.7wt.%、0.6wt.%、0.5wt.%、0.45wt.%、0.4wt.%、0.35wt.%、0.3wt.%、0.25wt.%、0.2wt.%、0.15wt.%、0.1wt.%、0.05wt.%、0.04wt.%、0.03wt.%、0.02wt.%、0.01wt.%、0.008wt.%、0.005wt.%或0.001wt.%、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,铝合金组合物包括AlFeSi相,其含量为、约为、小于、小于约、至少为或至少约为6wt.%、5wt.%、4.5wt.%、4wt.%、3.7wt.%、3.5wt.%、3.4wt.%、3.2wt.%、3.1wt.%、3wt.%、2.9wt.%、2.8wt.%、2.7wt.%、2.6wt.%、2.5wt.%、2.4wt.%、2.2wt.%、2wt.%、1.8wt.%、1.5wt.%、1.2wt.%、1wt.%、0.9wt.%、0.8wt.%、0.7wt.%、0.6wt.%、0.5wt.%、0.45wt.%、0.4wt.%、0.35wt.%、0.3wt.%、0.25wt.%、0.2wt.%、0.15wt.%、0.1wt.%或0.05wt.%、或它们之间的任何数值范围。

[0075] 合金屈服强度

[0076] 可以铸造成千上万个铝合金零件的工业应用可能需要高屈服强度。如图2中所见,评估了实施例的合金1B3、2F5、3D2、3C1、3I1、365-3、365-2、1B4、3C3a、3C3b、3I3a、3I3b和3D3的预测屈服强度和测试屈服强度。

[0077] 本文所述的铝合金的屈服强度至少为或至少约为120MPa。在一些实施例中,屈服强度为、约为、至少为或至少约为120MPa、125MPa、130MPa、135MPa、140MPa、145MPa、150MPa、155MPa、160MPa、165MPa、170MPa、180MPa或200MPa、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,屈服强度为或约为120MPa、125MPa、130MPa、135MPa、140MPa、145MPa、150MPa、155MPa、160MPa、165MPa、170MPa、180MPa或200MPa、或它们之间的任何数值范围。

[0078] 合金延展性

[0079] 还应考虑金属合金的延展性,以使得零件通过使用铸造工艺可再现地制造。合金的延展性可以通过合金的弯曲角度和/或伸长率来测量,然而优选为弯曲角度。

[0080] 图3A是合金的弯曲角度和 α -铝体积分数的曲线图。图3B是一些实施例的合金的弯曲角度和镁/镍含量的曲线图。

[0081] 在一些实施例中,合金的弯曲角度为、约为、至少为或至少约为15°、20°、23°、25°、30°、35°、40°或50°、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,弯曲角度为或约为15°、20°、23°、25°、30°、35°、40°、50°或60°、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,弯曲角度是处于3mm截面厚度时测量的。在一些实施例中,使用VDA238-100评估标准测量了弯曲角度。在一些实施例中,

[0082] 压铸性能和流动性

[0083] 除了铸造时足够的屈服强度和延展性之外,铸态铝合金还必须在高压压铸(HPDC)时提供足够的流动性和对热撕裂和收缩开裂的抵抗力。除非另有说明,否则本文所述的流动长度是在HPDC条件下。在金属铸造工艺中,金属合金必须具有足够的流动性以流入并填充模具的所有复杂结构。在具有窄和/或长的模具通道的模具中,需要合金具有足够高的流动性以填充模具。图4是示出一些实施例的合金在HPDC条件下的预测归一化流动长度和测

试归一化流动长度的条形图。

[0084] 用于预测在HPDC条件下的砂型铸造内的合金的流动长度的公式如下所示。

$$[0085] \quad L_f = \frac{\rho^{0.2}}{(T_{0.65} - T_0)} (H_L + c_p \Delta T)$$

[0086] 热撕裂和收缩开裂是在铸造合金(包括铝合金)时观察到的常见且灾难性的缺陷。如果不能防止合金热撕裂,就无法制造出可靠且可再现的零件。热撕裂是在铸造零件仍处于半固态铸造状态中时形成的不可逆裂纹。尽管热撕裂常常与铸造过程本身相关联——与凝固期间熔体流动的收缩过程中产生的热应力相关,但是合金的基础热力学和微观结构起着一定的作用。

[0087] 在一些实施例中,合金在HPDC条件下的铸造流动长度为、约为、至少为或至少约为1m、1.1m、1.2m、1.3m、1.4m、1.5m、1.6m、1.7m、1.8m、1.9m、2m、2.2m、2.5m、3m或5m、或它们之间的任何数值范围。在一些实施例中,合金不会或基本上不会在整个铸造流动长度内产生热撕裂和/或收缩开裂。

[0088] 耐腐蚀/抗氧化

[0089] 结构铸件有望在汽车应用的严苛环境中持续使用。在一些实施例中,铸态合金耐腐蚀和/或抗氧化。在一些实施例中,合金相对于A380动力学的氧还原因子(ORF)为、约为、至多为、至多约为2、1.5、1.0、0.9、0.8、0.7、0.6、0.5、0.4、0.3、0.2或0.1、或它们之间的任何数值范围。用于计算ORF的公式如下所示。

$$[0090] \quad ORF = \frac{[a_1 V_1 + a_2 V_2 + a_3 V_3 + \dots]}{i_{A380}} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i V_i}{i_{A380}}$$

[0091] 其中:

[0092] a_i = 与惰性相(noble phase) i相关的电流密度(参见表3)

[0093] V_i = 惰性相i的体积分

[0094] i_{A380} = 铸件A380(基线合金)在-965mV_{SCE}处的氧还原电流密度处理方法

[0095] 在一些实施例中,合金的熔体可以通过将合金加热到合金组分的熔化温度以上来制备。随着熔体被浇铸并冷却至室温,合金可以以不同的速率进行冷却。处理条件可以产生更大或更小的晶粒尺寸,增加或减少析出物的尺寸和数量,并有助于最小化铸态偏析。

[0096] 在一些实施例中,合金是压铸的。在一些实施例中,合金是高压压铸(HPDC)的。在某些实施例中,铝合金在没有进一步处理的情况下被铸造。在一些实施例中,铸态铝合金未经通过热处理的进一步处理,并维持如上文所提及的屈服强度和延展性。在其他实施例中,铸态铝合金被进一步处理。在一些实施例中,进一步处理方法包括热处理、老化、固溶处理和表面处理。

[0097] 在某些实施例中,在铝合金熔体已经形成之后,可以将其浇铸到模具中以形成高性能产品或零件。在一些实施例中,产品可以是汽车零件,诸如底盘和/或其他碰撞部件的零件。

[0098] 示例

[0099] 示例1

[0100] 执行预测模型以计算无需进一步热处理过程的铝合金铸件的屈服强度和延展性

(例如弯曲角度)。制造了许多预测性的铝合金组合物,并在未经热处理的情况下就它们的铸态屈服强度和延展性进行了实验式测试,包括组合物3C1、3C3a、3C3b、3C4、3C5、3C6、3C7、3C8、3C9和3C10。这些实验式测试的结果被示出在图5中,其是示出合金组合物3C1、3C3a、3C3b、3C4、3C5、3C6、3C7、3C8、3C9和3C10的弯曲角度和屈服强度的曲线图。

[0101] 合金组合物3C1、3C3a、3C3b、3C4、3C5、3C6、3C7、3C8、3C9和3C10 (组合物的剩余物为铝) 的元素重量百分比成分如下表1中所示。3C10的铸态铝合金组合物被发现具有约143MPa的屈服强度和约25°的弯曲角度,并且铝合金3C10的组合物属于下表2中所示的合金1、合金2和合金3。

[0102] 表1

合金 ID	成分(wt%)										
	Al	Si	Mg	Mn	Ni	Cu	Fe	Ti	Sn	V	Sr
3C1	剩余物	6	-	1	-	0.5	0.2	-	0.05	-	0.03
3C3a	剩余物	7	-	0.45	-	0.8	0.2	-	-	-	0.03
3C3b	剩余物	7	0.3	0.45	-	0.8	0.2	-	-	-	0.03
3C4	剩余物	6.5	0.25	0.35	-	0.75	0.2	0.1	-	0.15	0.03
3C5	剩余物	5	0.3	0.35	-	0.9	0.2	0.10	-	0.15	0.03
3C6	剩余物	6.5	0.15	0.35	-	0.45	0.2	0.10	-	0.15	0.03
3C7	剩余物	6.5	0.15	0.35	0.05	0.45	0.2	0.10	-	0.15	0.03
3C8	剩余物	6.5	0.15	0.35	-	0.45	0.2	-	-	0.15	0.03
3C9	剩余物	7	0.25	0.35	-	0.5	0.2	0.05	-	0.1	0.03
3C10	剩余物	7	0.15	0.45	-	0.8	0.2	0.05	-	0.1	0.03

[0104] 表2

元素	合金 1	合金 2	合金 3
Al	剩余物	剩余物	剩余物
Si	6.5-7.5 wt. %	6-11 wt. %	6-11 wt. %
Cu	0.4-0.8 wt. %	0.3-0.8 wt. %	0.3-0.8 wt. %
Mn	0.35-0.7 wt. %	0.35-0.8 wt. %	0.35-0.8 wt. %
Mg	0.1-0.4 wt. %	0.15-0.4 wt. %	0.1-0.4 wt. %
Fe	≤ 0.4 wt. %	≤ 0.5 wt. %	≤ 0.5 wt. %
V	0.05-0.15 wt. %	0.05-0.15 wt. %	0.05-0.15 wt. %

[0106]

元素	合金 1	合金 2	合金 3
Sr	0.015-0.03 wt. %	0.015-0.05 wt. %	0.015-0.05 wt. %
Ti	≤ 0.15 wt. %	≤ 0.15 wt. %	≤ 0.15 wt. %
Cr	≤ 0.03 wt. %	≤ 0.03 wt. %	≤ 0.03 wt. %
杂质	0-0.15 wt. %	0-0.15 wt. %	0-0.15 wt. %

[0107] 示例2

[0108] 尽管已知增硅含量的增加会降低合金的延展性,但在铝合金的传统压铸条件下,硅含量相对较高,约为8-12wt.%,以便在铸造时具有足够的流动性。这是因为由于硅含量的熔化热的相对增加允许了潜热贡献的增加,从而在铸造时使热量可以被保留在合金系统内,并且因此合金可以保持其液相足够的时间以实现充分的铸造长度。然而,当合金在HPDC条件下进行铸造时是否为了流动性而需要相同的硅浓度,这一点并不明显。

[0109] 图6A是示出一些实施例的合金在HPDC条件下处于3mm截面厚度时的流动长度和硅含量的实验结果的条形图。铸件是使用约700吨的高压压铸机和模具制造的,该模具被设计为维持用于3mm厚的铸件的均匀流动前沿长达2m的长度。在相同的铸造条件下对各种合金进行了测试,并对铸件流动长度进行了量化。

[0110] 图6A示出具有7.5wt.%的硅的合金组合物具有约1.4米的流动长度,具有8.5wt.%的硅的合金组合物具有约1.45米的流动长度,并且具有9.5wt.%的硅的合金组合物具有约1.45米的流动长度。正如所见,对于超过7.5wt.%的Si含量,流动长度的流动性增益急剧下降。因此,已确定合金组合物的硅范围应被维持在6wt.%以上,以实现有利的流动长度,但是可以低于11wt.% (例如8wt.%或7.5wt.%)以最小化共晶硅相对降低延展性的影响。如此,发现在HPDC条件下,相对于传统压铸条件下的硅含量,增加硅含量并不一定会将流动长度增长提高到同样大的程度。这一发现允许降低合金硅含量,以便实现具有相对较长流动长度和改进的延展性的HPDC条件合金。

[0111] 图6B是示出计算结果的线形图,该计算结果证实了作为一些实施例的合金的硅含量函数的弯曲角度和FCC (即铝基体) 摩尔分数之间的关系。然而,铝的FCC是存在于合金组合物中的最易延展的相,而硅共晶相是相对更脆的相。图6B证实了铝和硅之间的这种关系,其中合金的硅含量的增加导致FCC摩尔分数和弯曲角度的降低。

[0112] 示例3

[0113] 图7是示出一些实施例的合金在各种镁和硅重量百分比且Cu:Mg比率为3:1处的屈服强度的预测模型图。尽管计算出铜、镁和/或硅的增加通过形成强化析出物 (例如 Mg_2Si 、 Al_2Cu 和 $AlCuMgSi$) 来增加零件中的合金的屈服强度,但是铝含量的降低通常会导致合金延展性的降低。然而,图7证实了在表2的合金1、合金2或合金3的硅成分范围内且Cu:Mg比率为约3:1 (例如2:1至4:1) 的合金谨慎地平衡了屈服强度和延展性。这样的Cu:Mg比率选择出人意料并且有利地促进了 $AlCuMgSi$ 析出物的形成,其在相对于其他析出物 (例如 Mg_2Si 和/或 Al_2Cu) 没有显著阻碍延展性的情况下提高了合金的屈服强度。

[0114] 图8A是示出包括各种镁和铝量的一些实施例的合金的弯曲角度的实验结果的曲线图。如所证实的,镁溶质含量和 Mg_2Si 两者均为屈服强度的贡献者,但是对延展性有负面影响。

[0115] 图8B是示出对于具有不同铜和镁重量百分比的一些实施例的合金的拉伸屈服强度和弯曲角度的实验结果的曲线图。如所证实的,3mm试样铸件的结果与图7中所示的提高屈服强度的预测相匹配,降低了与镁含量增加相关联的延展性。

[0116] 示例4

[0117] 图9A和图9B分别是对比合金和本公开的合金的光学显微横截面图像,其中使用能量色散X射线光谱仪 (EDS) 定位和分析所指示的相。图9A的比较合金包括小于0.05wt.%的

钒,其在表2的合金1、合金2和合金3的范围之外。在图9A中,特征902是AlFeSi (Mn) 相,其被示出具有被发现包括小于0.2wt. %的V的板状形态,并且特征904是AlFeSi (Mn+V) 相,其具有被发现包括大于1.2wt. %的V的更利于延展性的球状形态。本领域普通技术人员应当了解,由铁杂质引起的零件中的尖锐形态特征(例如板形态)的增加增加了合金裂纹的萌生和扩展。

[0118] 相反,图9B的合金示出板状形态的减少,并且通常示出具有更有利于延展性的球状形态的AlFeSi (Mn+V) 相的特征906,其被发现包括大于1.2wt. %的V。如此,证实了钒和锰可以被用来降低铁杂质溶解度并且稳定具有圆形形态的AlFeSi (Mn,V) 相。这允许合金维持较高的延展性性能,同时具有较高的Fe容忍度。

[0119] 示例5

[0120] 图10A是具有9.5wt. %的硅和剩余物为铝和附带杂质的铝和硅合金的光学显微横截面图像。图10B是具有9.5wt. %的硅、添加的锆以及剩余物为铝和附带杂质的铝、硅和锆合金的光学显微横截面图像。虽然图10A示出具有已知降低延展性的尖锐形态的硅共晶相,但是使用锆合金作为图10B中的改性剂示出使硅相生长钝化并产生具有有利于延展性的更圆的形态的合金。

[0121] 虽然已经描述了特定实施例,但是这些实施例仅作为示例而被呈现,并且不旨在限制本公开的范围。实际上,本文所描述的新颖方法和系统可以以多种其他形式来实施。此外,可以在不背离本公开的精神的情况下对本文所描述的系统和方法进行各种省略、替换和改变。所附权利要求及其等同物旨在覆盖落入本公开的范围和精神内的此类形式或修改。

[0122] 除非与之不相容,否则结合特定方面、实施例或示例所描述的特征、材料、特性或群组应被理解为适用于本部分或本说明书中的其他地方描述的任何其他方面、实施例或示例。除了其中至少一些这样的特征和/或步骤互斥的组合,本说明书(包括任何所附权利要求、摘要和附图)中公开的所有特征和/或如此公开的任何方法或过程的所有步骤可以以任何组合来进行组合。保护不限于任何上述实施例的细节。保护延伸至本说明书(包括任何所附权利要求、摘要和附图)中公开的特征的任何新的特征或任何新的组合,或者延伸至如此公开的任何方法或过程的步骤的任何新的步骤或任何新的组合。

[0123] 此外,在本公开中在分开实现的内容中描述的某些特征也可以在单个实施方式中被组合实现。相反,在单个实施方式的内容中描述的各种特征也可以在多个实施方式中被分开实现或以任何合适的子组合来实现。此外,尽管特征可以在先被描述为在某些组合中起作用,但是在一些情况下,可以从所要求保护的组合中去除一个或多个特征,并且该组合可以作为子组合或子组合的变体来要求保护。

[0124] 此外,虽然可以在附图中描绘或在说明书中以特定顺序描述操作,但是不需要以所示出的特定顺序或以连续的顺序来执行这类操作,或者执行所有操作以获得期望的结果。未描绘或描述的其他操作可以被并入示例方法和过程中。例如,可以在任何所描述的操作之前、之后、同时或者之间执行一个或多个附加操作。此外,在其他实施方式中,操作可以重新布置或重新排序。本领域技术人员将了解,在一些实施例中,在所图示和/或公开的过程中采取的实际步骤可能与图中所示的那些不同。取决于实施例,可以去除上述某些步骤,也可以添加其他步骤。此外,以上公开的具体实施例的特征和属性可以以不同方式进行组

合以形成附加的实施例,所有这些都落入本公开的范围内。此外,上述实施方式中的各种系统部件的分离不应被理解为在所有实施方式中都需要这种分离,应当理解,所描述的部件和系统通常可以在单个产品中被集成在一起或被封装在多个产品中。例如,本文描述的能量存储系统的任何部件可以被分开提供,或者被集成在一起(例如,封装在一起,或附接在一起)以形成能量存储系统。

[0125] 出于本公开的目的,本文描述了特定方面、优点和新颖特征。所有这些优点不一定都可以根据任何特定实施例来实现。因此,例如,本领域技术人员应当认识到,本公开可以实现如本文所教导的一个优点或一组优点的方式实施或执行,而不必实现如本文所教导或建议的其他优点。

[0126] 除非另有明确说明,或者在所使用的上下文中以其他方式理解,否则诸如“可以”、“可”或“可能”之类的条件措辞,通常旨在传达某些实施例包括而其他实施例不包括某些特征、元件和/或步骤。因此,这种条件性措辞通常不旨在暗示一个或多个实施例以任何方式需要特征、元素和/或步骤,也不旨在暗示一个或多个实施例必须包括用于在有或没有用户输入或提示的情况下判定这些特征、元件和/或步骤是否被包括在任何特定实施例中或将在任何特定实施例中被执行的逻辑。

[0127] 诸如短语“X、Y和Z中的至少一个”之类的连接措辞,除非另有明确说明,否则应根据上下文理解为一般性地用于传达项目、术语等可以是X、Y或Z。因此,这种连接措辞通常不旨在暗示某些实施例需要存在至少一个X、至少一个Y和至少一个Z。

[0128] 本文中所使用的程度措辞,诸如本文中所使用的术语“大约”、“约”、“一般”和“基本上”表示接近所述值、量或特性的值、量或特性仍然执行期望的功能或达到期望的结果。例如,术语“大约”、“约”、“一般”和“基本上”可以指代小于规定量的10%、小于规定量的5%、小于规定量的1%、小于规定量的0.1%和小于规定量的0.01%,具体取决于所期望的功能或所期望的结果。

[0129] 本公开的范围不旨在受限于本部分或本说明书中的其他部分的优选实施例的具体公开内容,并且可以由权利要求来限定,如本部分或本说明书中其他部分所呈现或在将来呈现。权利要求的措辞将基于权利要求中所采用的措辞进行广义解释,并且不限于在申请的实施期间或本说明书中描述的示例,这些示例将被解释为非排他性的。

[0130] 本文所提供的标题(如果有的话)仅为方便起见,并不一定影响本文公开的设备和方法的范围或含义。

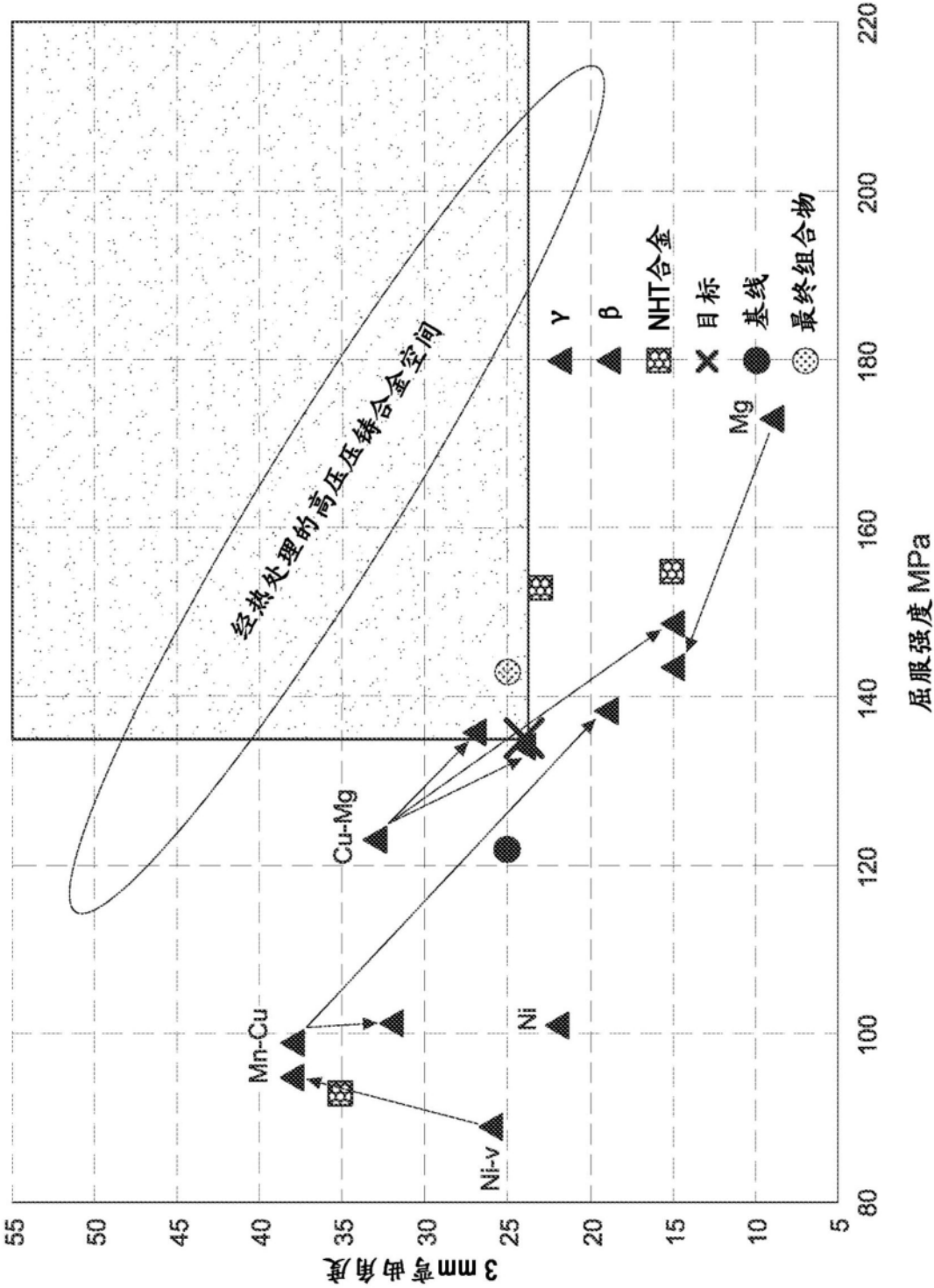


图1

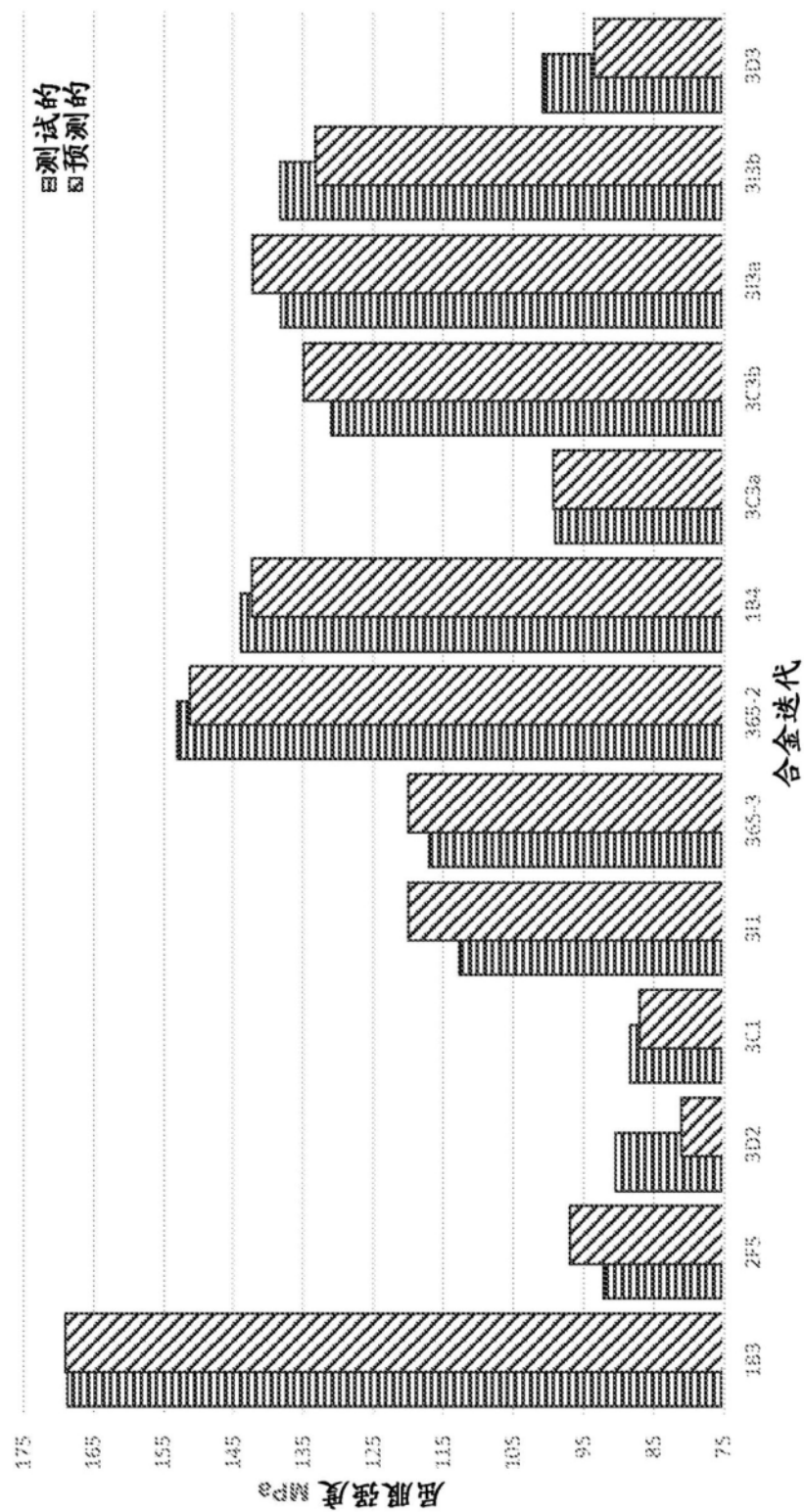


图2

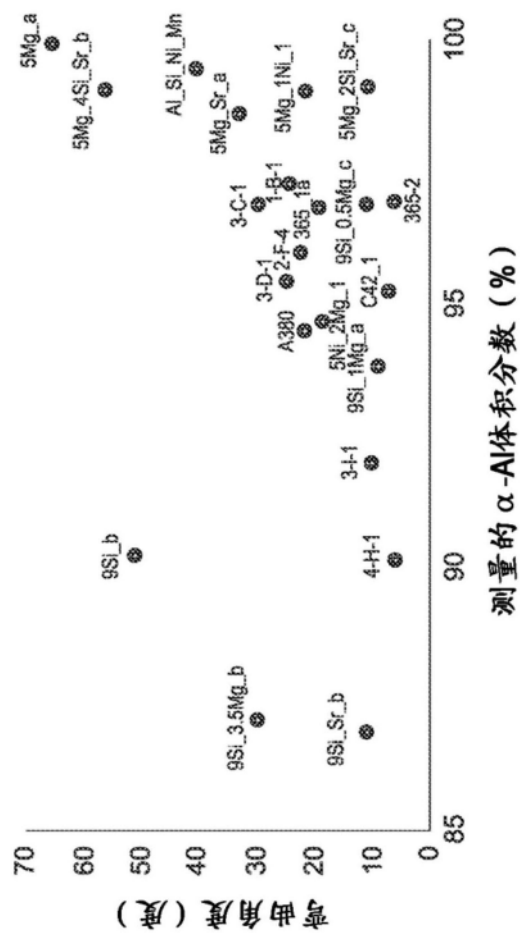


图3A

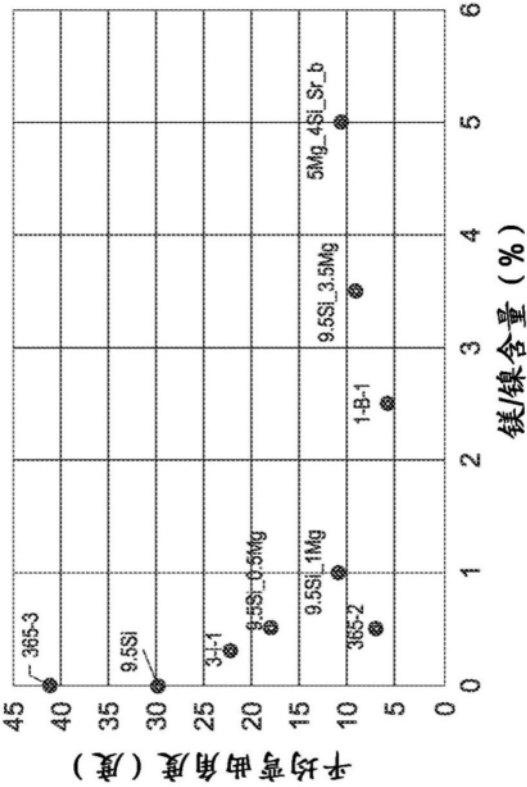


图3B

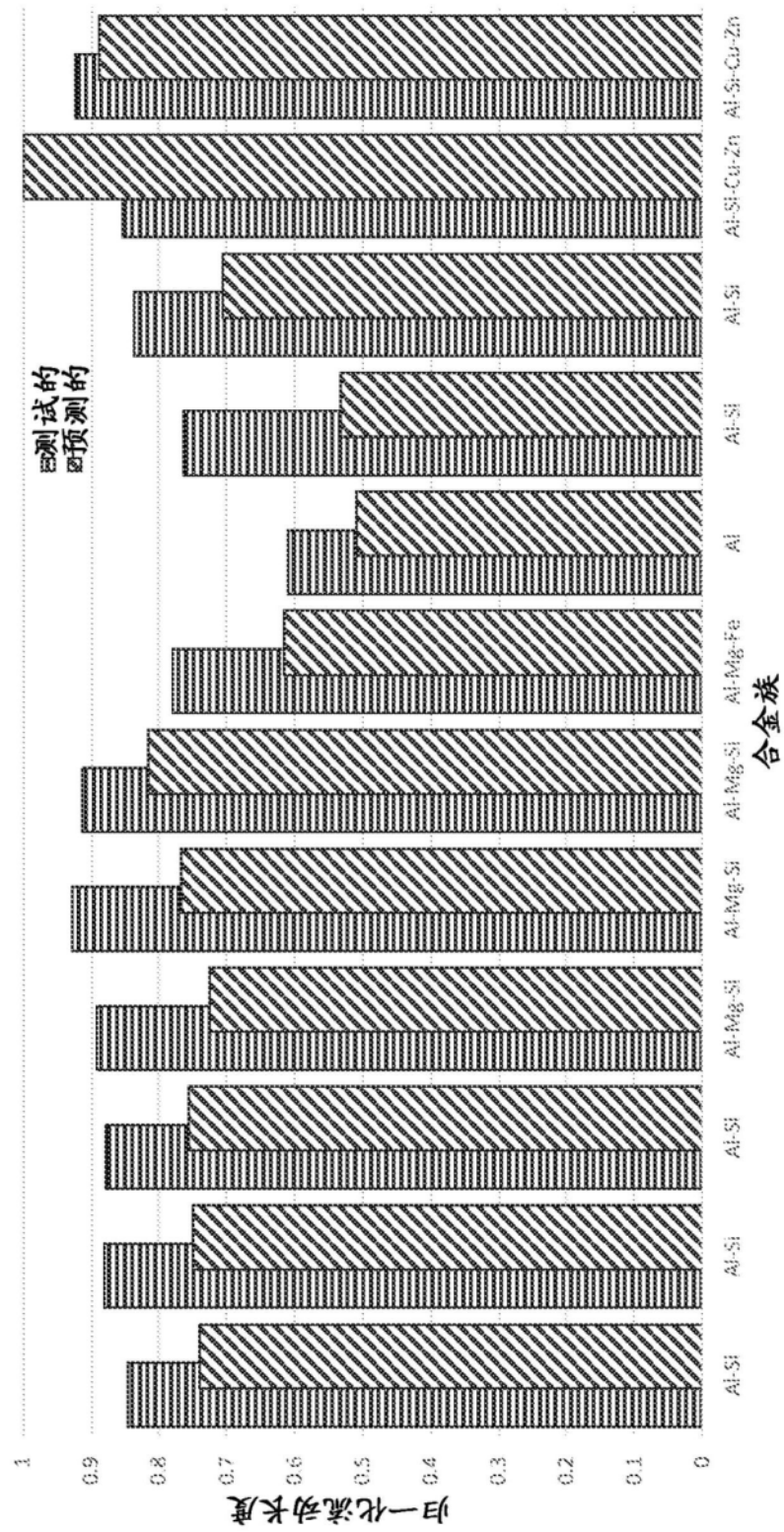


图4

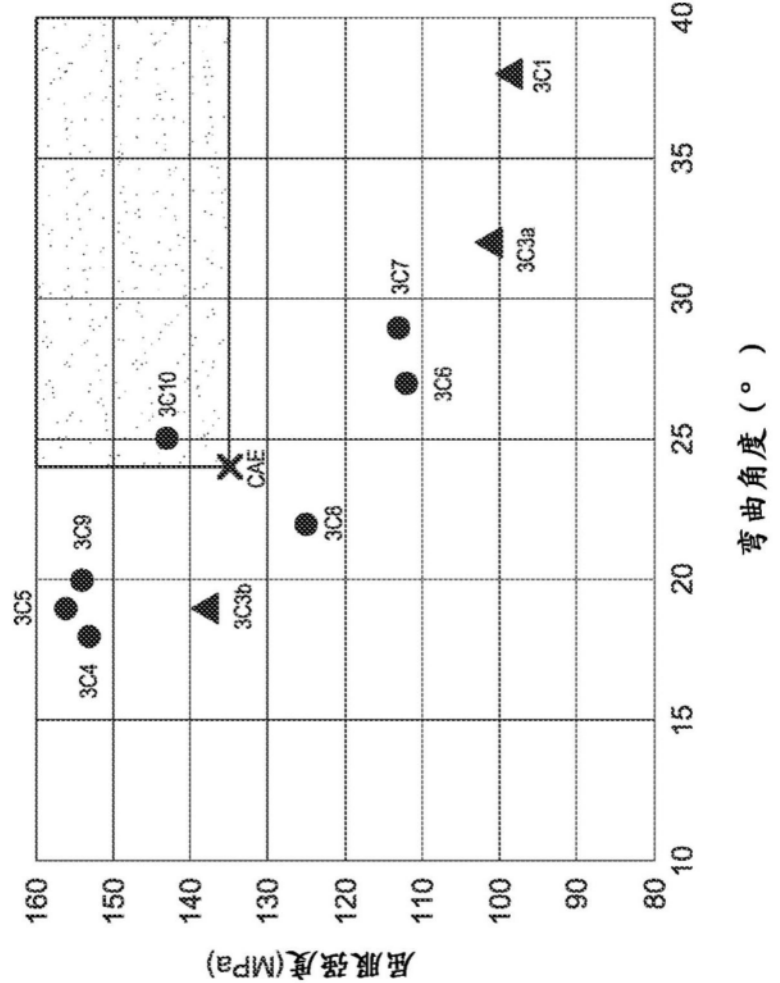


图5

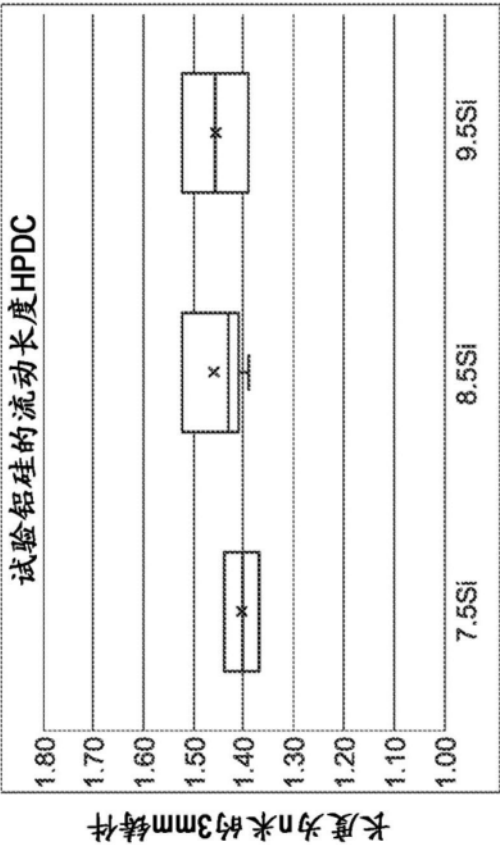


图6A

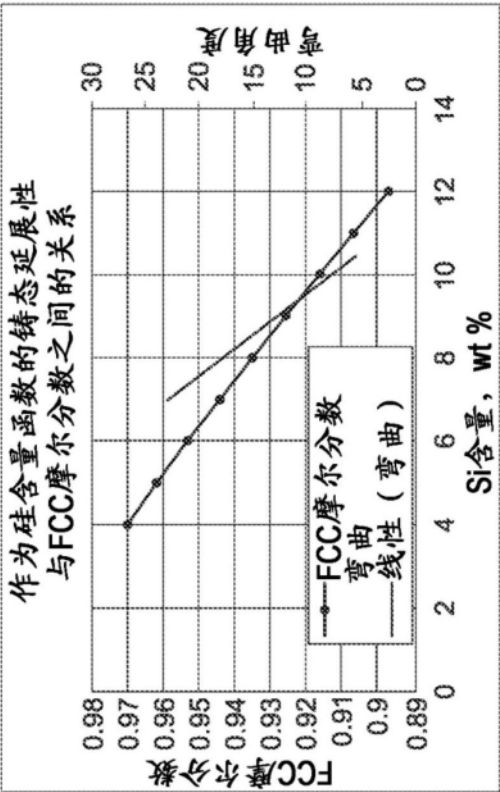


图6B

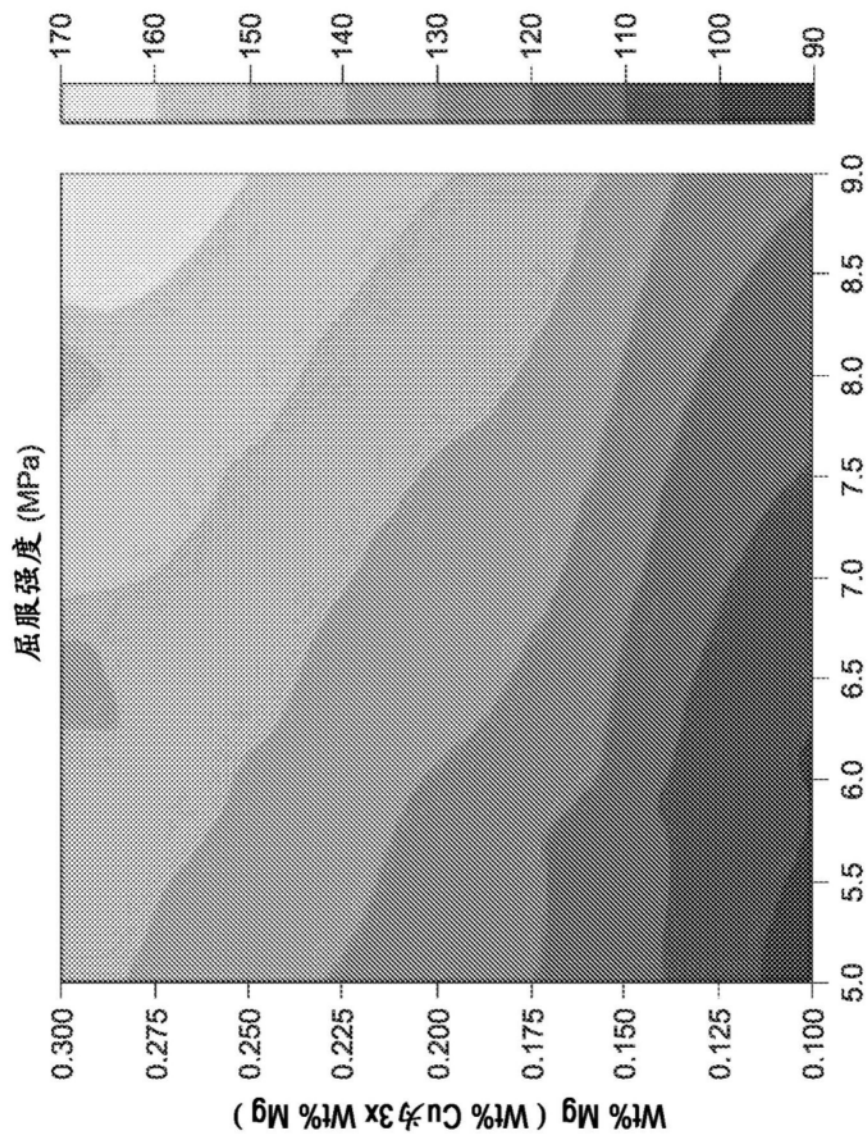


图7

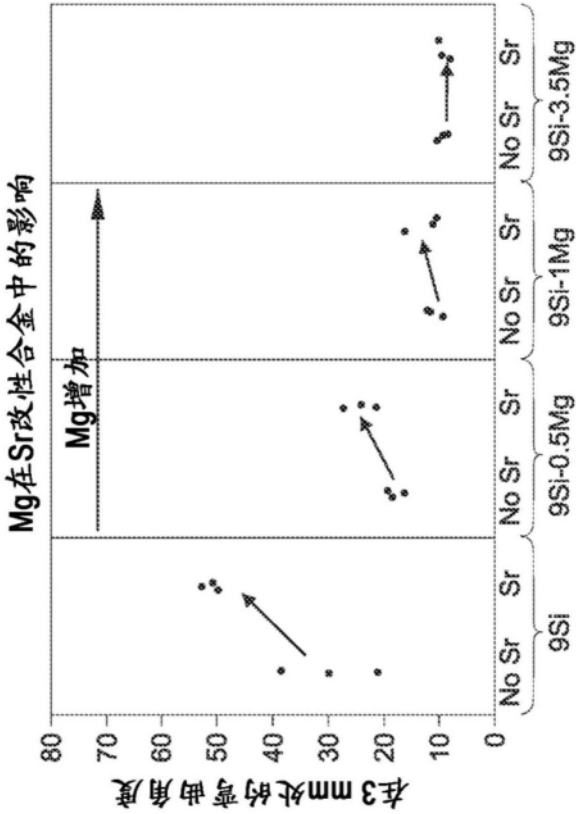


图8A

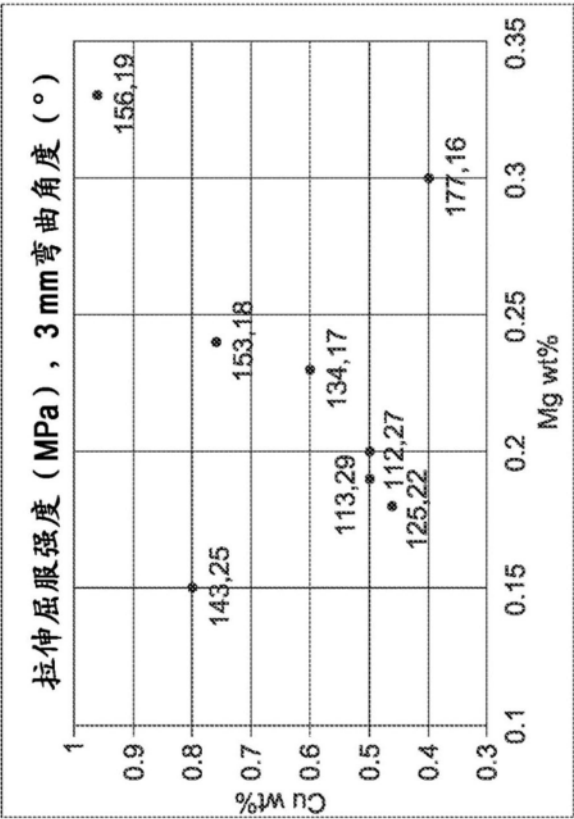


图8B

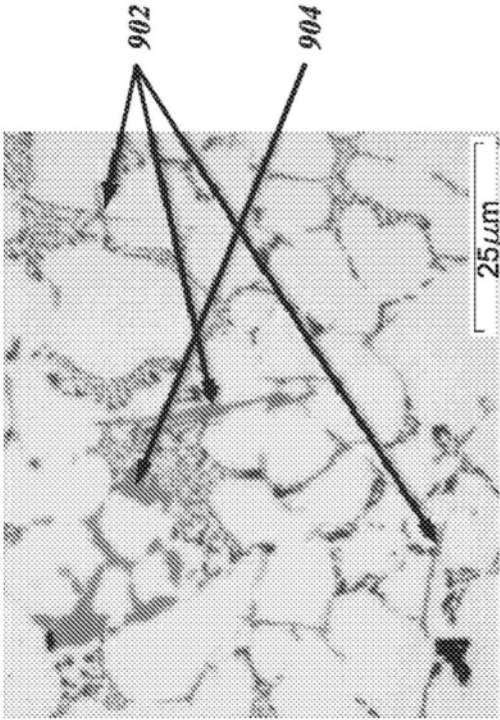


图9A

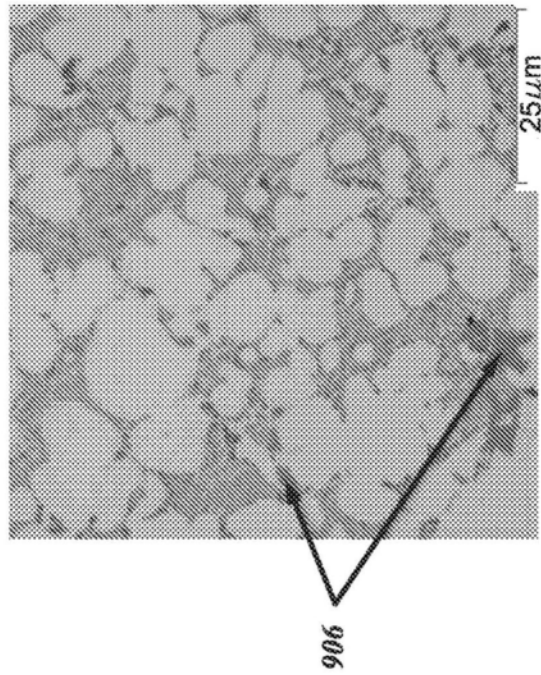


图9B

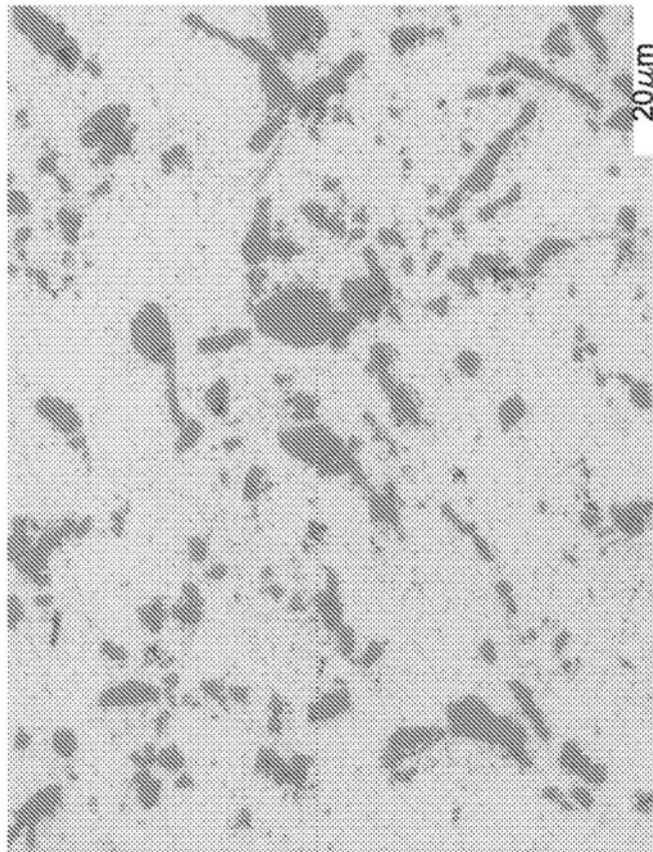


图10A

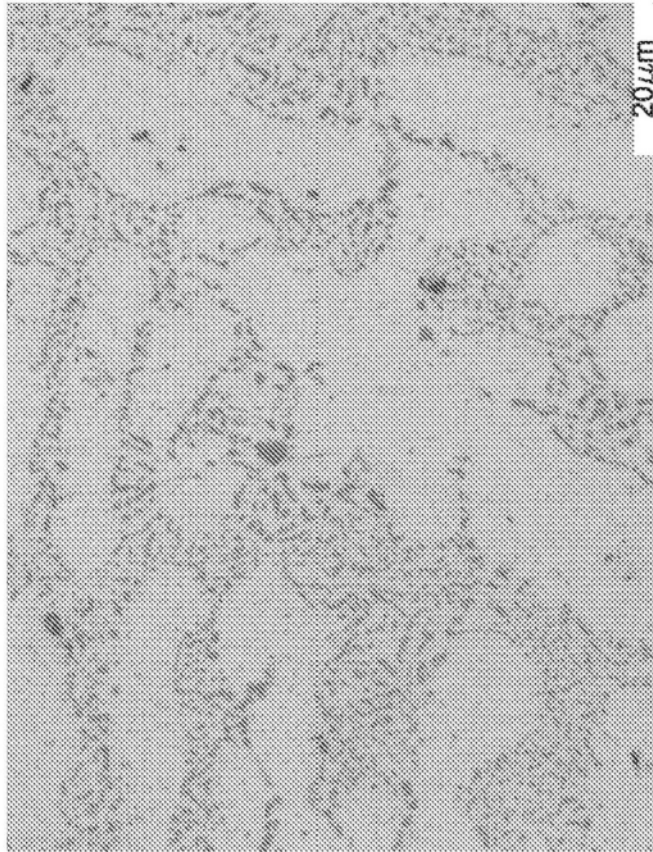


图10B