



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108085528 A

(43)申请公布日 2018.05.29

(21)申请号 201711274134.2

G22C 1/05(2006.01)

(22)申请日 2017.12.06

G22C 21/00(2006.01)

(66)本国优先权数据

201710436504.1 2017.06.12 CN

(71)申请人 吉林大学

地址 130025 吉林省长春市人民大街5988号
吉林大学南岭校区材料学院

(72)发明人 邱丰 李强 常芳 姜启川

(74)专利代理机构 北京汇捷知识产权代理事务
所(普通合伙) 11531

代理人 李宏伟

(51)Int.Cl.

G22C 1/10(2006.01)

G22C 21/02(2006.01)

G22C 32/00(2006.01)

权利要求书2页 说明书11页 附图6页

(54)发明名称

一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法

(57)摘要

本发明涉及了一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法,具体包括以下四个步骤:(1)原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化剂的制备;(2)未细化和强化处理的铝合金的制备;(3)内生纳米NbB₂陶瓷颗粒强化处理铝合金;该技术方法细化及强化效率高,操作方法简便,尤其适用于高硅含量的铝合金的组织细化和性能强化。铝合金经过细化和强化处理后,α-Al枝晶得到了显著细化,并且合金的力学性能得到了显著改善:屈服强度、抗拉强度和塑性显著提高;少量纳米NbB₂颗粒的加入即可达到较好的效果,细化和强化后的铝合金的应用领域进一步扩展,为铝合金的薄壁轻量化提供了一种新的解决思路,具有重要的实际应用价值。

1. 一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法,其特征在于:包括如下步骤:

(1) 原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化剂的制备:

(1a) 硼粉球磨活化预处理:将硼粉放入球磨罐中,用球磨机将硼粉以200~300r/min的速度球磨活化处理1~3h;

(1b) 反应压坯所用粉料的配制:称取所需的粒度13~48 μ m的铝粉,球磨处理后粒度为0.5~1 μ m的硼粉,粒度为48 μ m的铌粉,粒度为45 μ m的铜粉备用;将铝粉、铌粉、硼粉、铜粉按以下几种配比配制成100g混合粉末制成Al-Nb-B-Cu压坯;其中Nb/B质量比分别为4.30:1,摩尔比为1:2;其中铝粉的含量为60~90wt.%;铌粉含量为8.11~32.45wt.%;硼粉含量为1.89~7.55wt.%;Cu粉含量为0~5wt.%,具体如下:

①Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒的质量分数为10wt.%;体系中铝粉、铌粉、硼粉、铜粉各自重量分别为:铝粉:90克;铌粉:8.11克;硼粉:1.89克;铜粉:0克;配制成100克混合粉末;其中,纳米NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2;

②Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒的质量分数为20wt.%;体系中铝粉、铌粉、硼粉、铜粉各自重量分别为:铝粉:80克;铌粉:16.22克;硼粉:3.78克;铜粉:0克;配制成100克混合粉末;其中,纳米NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2;

③Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒的质量分数为30wt.%;体系中铝粉、铌粉、硼粉、铜粉各自重量分别为:铝粉:70克;铌粉:24.33克;硼粉:5.67克;铜粉:0克;配制成100克混合粉末;其中,纳米NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2;

④Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒的质量分数为40wt.%;体系中铝粉、铌粉、硼粉、铜粉各自重量分别为:铝粉:60克;铌粉:32.45克;硼粉:7.55克;铜粉:0克;配制成100克混合粉末;其中,纳米NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2;

⑤Al-Nb-B-Cu体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒的质量分数为30wt.%,其中Cu元素的含量为5wt.%;体系中铝粉、铌粉、硼粉、铜粉各自重量分别为:铝粉:65克;铌粉:24.33克;硼粉:5.67克;铜粉:5克;配制成100克混合粉末;其中,纳米NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2;

(1c) 反应压坯所用粉料的球磨混合处理:将配制好的不同组分的混合粉料与氧化锆磨球放入混料机中,罐中盛有直径分别为5mm、7mm、11mm、15mm、20mm、22mm的ZrO₂球,每种10个,ZrO₂球质量共800g;混料机以30~60r/min的速度均匀混合8~32h;其中氧化锆磨球和混合粉末的质量比是8:1;

(1d) 反应压坯的制备:将球磨混料的粉料取出,将球磨混好的粉料用铝箔包好,在液压机上冷压制成 Φ 30圆柱形压坯,高35~45mm;致密度为60~75%;

(1e) 纳米颗粒原位反应:

①用石墨纸将步骤(2)中制得的 Φ 30圆柱形压坯包裹好放入到石墨模具中;

②将石墨模具和 Φ 30圆柱形压坯放入到真空热爆炉中,关闭炉门,后抽真空至炉内压力低于10Pa;

③开始加热,加热速度设置为25~40K/min;加热升温至1183K,然后将温度降到1073K后保温10min,保温过程中同时对圆柱形压坯施加轴向25~55MPa压力,保压时间20~60s;反应后并经轴向压力致密化的圆柱形陶铝复合随炉在真空中冷却至室温;

(2) 未细化和强化处理的铝合金的制备:

(2a) 将预先称量好的铝合金放置于坩埚中并随坩埚一起放入坩埚式电阻熔炼炉内,升温至1023K;铝合金的成分为:Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}、Al-Si₁₀-Cu-Mg_{0.39};

(2b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.05~0.10wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

(3) 内生纳米NbB₂陶瓷颗粒强化处理铝合金:

(3a) 在将称量好的合金放入坩埚中随坩埚一起放入炉内后,升温至1123K;

(3b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.05~0.10wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

(3c) 将含有NbB₂陶瓷颗粒的强化剂加入到合金液中,NbB₂陶瓷颗粒的实际加入量为0.1wt.%~0.3wt.%,对混合合金液采用超声处理3~10min;NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2;

(3d) 将超声处理后的金属液浇铸到金属型模具内,凝固冷却后得到纳米NbB₂陶瓷颗粒细化及强化铝合金的板状式样。

2. 根据权利要求1所述的一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法,其特征在于:所述步骤(3d)中的金属型模具的材质为:45#钢,金属型模具的尺寸为:200mm×150mm×20mm。

一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及铝合金加工和制备领域,具体涉及一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法。

背景技术

[0002] 出于减小能源消耗和减轻环境污染的考虑,减轻结构件的重量以及增强材料的力学性能推动了汽车、航空航天等行业向轻量化发展,其中铝合金起到了关键作用。铝合金是一种易于成型、密度低、比强度高、耐腐蚀性能较好的材料,广泛应用于制造运输业中所需的零件。近年来,如何进一步提高铝合金材料的物理、化学、力学等性能成为研究者们首先考虑的问题。众所周知,晶粒细化是提高材料力学性能的关键,通常采用加入含有陶瓷颗粒的细化剂和强化剂来实现晶粒的细化和材料的强化。NbB₂作为过渡金属硼化物,它具有熔点高、硬度高、耐腐蚀性好以及其他高温力学性能较好等优良的特点。NbB₂与具有面心立方晶体结构的铝合金基体之间具有较低的晶格错配度,且铌硅化合物属于高温金属间化合物,熔点高,化学稳定性较好。实验结果表明,Si在AlNb₃和AlNb₂中的固溶度较小,在Al₃Nb中固溶度仅有2at.%。800℃下铝熔体中形成铌硅化合物的可能性较小,因此,含Nb相可以作为异质形核剂用于铝硅合金的细化而不产生Si的毒化作用。另外尺寸小、数量大的NbB₂纳米颗粒可以作为α-Al异质形核的衬底,促进α-Al的异质形核。未形核的纳米颗粒还可以吸附在枝晶生长前端的固液界面形成纳米颗粒层,阻碍溶质原子向固液界面的凝固前沿转移,阻碍枝晶的生长,显著细化铝合金的晶粒。原位内生的NbB₂纳米颗粒在铝合金基体中分散均匀,团聚较少,纳米颗粒通过细晶强化、奥罗万强化、钉扎晶界、热错配强化等强化铝合金,整体材料的屈服强度、抗拉强度、塑性明显地提高。综上,原位内生NbB₂纳米颗粒作为铝合金的一种细化和强化剂,可以用于铝合金的细化和强化,特别是应用于高硅铝合金,对于提高铝合金材料的室温、高温性能,以及抵抗冲击载荷、抗疲劳、抗蠕变等性能有着重要的作用。强化后的铝合金的应用领域进一步扩展,该方法实际应用价值较高,操作简单,少量原位内生NbB₂纳米颗粒的应用即可得到较好的强化效果,为铝合金的薄壁轻量化提供了一种重要的解决思路和途径。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法。

[0004] 本发明的目的可以通过以下技术方案实现:

[0005] 一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法,包括如下步骤:

[0006] (1) 原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化剂的制备:

[0007] (1a) 硼粉球磨活化预处理:将硼粉放入球磨罐中,用球磨机将硼粉以200~300r/min的速度球磨活化处理1~3h;

[0008] (1b) 反应压坯所用粉料的配制:称取所需的粒度13~48μm的铝粉,球磨处理后粒度为0.5~1μm的硼粉,粒度为48μm的铌粉,粒度为45μm的铜粉备用;将铝粉、铌粉、硼粉、铜

粉按以下几种配比配制成100g混合粉末制成Al-Nb-B-Cu压坯；其中Nb/B质量比分别为4.30:1,摩尔比为1:2；其中铝粉的含量为60~90wt.%；铌粉含量为8.11~32.45wt.%；硼粉含量为1.89~7.55wt.%；Cu粉含量为0~5wt.%，具体如下：

[0009] ①Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒的质量分数为10wt.%；体系中铝粉、铌粉、硼粉、铜粉各自重量分别为：铝粉：90克；铌粉：8.11克；硼粉：1.89克；铜粉：0克；配制成100克混合粉末；其中，纳米NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1；Nb/B摩尔比为1:2；

[0010] ②Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒的质量分数为20wt.%；体系中铝粉、铌粉、硼粉、铜粉各自重量分别为：铝粉：80克；铌粉：16.22克；硼粉：3.78克；铜粉：0克；配制成100克混合粉末；其中，纳米NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1；Nb/B摩尔比为1:2；

[0011] ③Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒的质量分数为30wt.%；体系中铝粉、铌粉、硼粉、铜粉各自重量分别为：铝粉：70克；铌粉：24.33克；硼粉：5.67克；铜粉：0克；配制成100克混合粉末；其中，纳米NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1；Nb/B摩尔比为1:2；

[0012] ④Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒的质量分数为40wt.%；体系中铝粉、铌粉、硼粉、铜粉各自重量分别为：铝粉：60克；铌粉：32.45克；硼粉：7.55克；铜粉：0克；配制成100克混合粉末；其中，纳米NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1；Nb/B摩尔比为1:2；

[0013] ⑤Al-Nb-B-Cu体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒的质量分数为30wt.%，其中Cu元素的含量为5wt.%；体系中铝粉、铌粉、硼粉、铜粉各自重量分别为：铝粉：65克；铌粉：24.33克；硼粉：5.67克；铜粉：5克；配制成100克混合粉末；其中，纳米NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1；Nb/B摩尔比为1:2；

[0014] (1c) 反应压坯所用粉料的球磨混合处理：将配制好的不同组分的混合粉料与氧化锆磨球放入混料机中，罐中盛有直径分别为5mm、7mm、11mm、15mm、20mm、22mm的ZrO₂球，每种10个，ZrO₂球质量共800g；混料机以30~60r/min的速度均匀混合8~32h；其中氧化锆磨球和混合粉末的质量比是8:1；

[0015] (1d) 反应压坯的制备：将球磨混料的粉料取出，将球磨混好的粉料用铝箔包好，在液压机上冷压制成Φ30圆柱形压坯，高35~45mm；致密度为60~75%；

[0016] (1e) 纳米颗粒原位反应：

[0017] ①用石墨纸将步骤(2)中制得的Φ30圆柱形压坯包裹好放入到石墨模具中；

[0018] ②将石墨模具和Φ30圆柱形压坯放入到真空热爆炉中，关闭炉门，后抽真空至炉内压力低于10Pa；

[0019] ③开始加热，加热速度设置为25~40K/min；加热升温至1183K，然后将温度降到1073K后保温10min，保温过程中同时对圆柱形压坯施加轴向25~55MPa压力，保压时间20~60s；反应后并经轴向压力致密化的圆柱形陶铝复合随炉在真空中冷却至室温；

[0020] (2) 未细化和强化处理的铝合金的制备：

[0021] (2a) 将预先称量好的铝合金放置于坩埚中并随坩埚一起放入坩埚式电阻熔炼炉内，升温至1023K；铝合金的成分为：Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}、Al-Si₁₀-Cu-Mg_{0.39}；

[0022] (2b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.05~0.10wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0023] (3) 内生纳米NbB₂陶瓷颗粒强化处理铝合金:

[0024] (3a) 在将称量好的合金放入坩埚中随坩埚一起放入炉内后,升温至1123K;

[0025] (3b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.05~0.10wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0026] (3c) 将含有NbB₂陶瓷颗粒的强化剂加入到合金液中,NbB₂陶瓷颗粒的实际加入量为0.1wt.%~0.3wt.%,对混合合金液采用超声处理3~10min;NbB₂陶瓷颗粒中的Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2;

[0027] (3d) 将超声处理后的金属液浇铸到金属型模具内,凝固冷却后得到纳米NbB₂陶瓷颗粒细化及强化铝合金的板状式样。

[0028] 优选的,步骤(3d)中的金属型模具的材质为:45#钢,金属型模具的尺寸为:200mm×150mm×20mm。

[0029] 所述材料的显微结构和力学性能均得到了明显的优化:在最佳细化以及强化条件下(Al-7Si-0.65Mn-0.33Mg合金中NbB₂陶瓷颗粒添加量为0.1wt.%,Nb/B=1:2)铝合金的晶粒得到了显著细化,合金铸态的屈服强度、抗拉强度、断裂应变分别为168.7MPa、255.2MPa、8.6%。未经细化和强化处理的铝合金铸态的屈服强度、抗拉强度、断裂应变分别为143.9MPa、205.0MPa、6.0%。通过添加NbB₂纳米颗粒细化以及强化铝合金后,合金的屈服强度、抗拉强度、断裂应变相比于未处理合金,分别提高了17.2%、24.5%、43.3%,力学性能有明显的提高。

[0030] 该发明的有益效果:本发明中的一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法,具体包括以下四个步骤:(1)原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化剂的制备;(2)未细化和强化处理的铝合金的制备;(3)内生纳米NbB₂陶瓷颗粒强化处理铝合金;该技术方法细化及强化效率高,操作方法简便,尤其适用于高硅含量的铝合金的组织细化和性能强化。铝合金经过细化和强化处理后, α -Al枝晶得到了显著细化,并且合金的力学性能得到了显著改善:屈服强度、抗拉强度和塑性显著提高;少量纳米NbB₂颗粒的加入即可达到较好的效果,细化和强化后的铝合金的应用领域进一步扩展,为铝合金的薄壁轻量化提供了一种新的解决思路,具有重要的实际应用价值。

附图说明

[0031] 图1为未经过细化和强化处理的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}铝合金的铸态晶粒组织图。

[0032] 图2为未经过细化和强化的Al-Si₁₀-Cu-Mg_{0.39}铝合金的铸态晶粒组织图。

[0033] 图3为实施例1中添加0.1wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金的铸态晶粒组织图。

[0034] 图4为实施例1中添加0.1wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金铸态的拉伸应力应变曲线。

[0035] 图5为实施例2中添加0.1wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金的铸态晶粒组织图。

[0036] 图6为实施例2中添加0.1wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金铸态的拉

伸应力应变曲线。

[0037] 图7为实施例3中添加0.3wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金的铸态晶粒组织图。

[0038] 图8为实施例3中添加0.3wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金铸态的拉伸应力应变曲线。

[0039] 图9为实施例4中添加0.3wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金的铸态晶粒组织图。

[0040] 图10为实施例4中添加0.3wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金铸态的拉伸应力应变曲线。

[0041] 图11为实施例5中添加0.3wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₁₀-Cu-Mg_{0.39}合金的铸态晶粒组织图。

[0042] 图12为实施例5中添加0.3wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₁₀-Cu-Mg_{0.39}合金铸态的拉伸应力应变曲线。

具体实施方式

[0043] 为使本发明实现的技术手段、创新特征、达成目的易于明白了解,下面结合具体实施方式,进一步阐述本发明。

[0044] 实施例1:

[0045] 本实施例中的一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法,包括以下步骤:

[0046] (1) 原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化剂的制备:

[0047] (1a) 硼粉球磨活化预处理:将硼粉放入球磨罐中,用球磨机将硼粉以200r/min的速度球磨活化处理3h;

[0048] (1b) 反应压坯所用粉料的配制:称取一定量所需的粒度25 μ m的铝粉,球磨处理后粒度为0.5 μ m的硼粉,粒度为48 μ m的铌粉备用。将铝粉、铌粉、硼粉按以下几种配比配制成100g混合粉末制成Al-Nb-B压坯。其中Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒(Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2)的质量分数为10wt.%;体系中铝粉、铌粉、硼粉各自重量分别为:铝粉:90克;铌粉:8.11克;硼粉:1.89克;配制成100克混合粉末;

[0049] (1c) 反应压坯所用粉料的球磨混合处理:将配制好的不同组分的混合粉料与氧化锆磨球放入混料机中,罐中盛有直径分别为5mm、7mm、11mm、15mm、20mm、22mm的ZrO₂球,每种10个,ZrO₂球质量共800g。混料机以30r/min的速度均匀混合32h;其中氧化锆磨球和混合粉末的质量比是8:1;

[0050] (1d) 反应压坯的制备:将球磨混料的粉料取出,将球磨混好的粉料用铝箔包好,在液压机上冷压制成 Φ 30圆柱形压坯,高40mm;致密度为70%;

[0051] (1e) 纳米颗粒原位反应:

[0052] ①用石墨纸将步骤(2)中制得的 Φ 30圆柱形压坯包裹好放入到石墨模具中;

[0053] ②将石墨模具和 Φ 30圆柱形压坯放入到真空热爆炉中,关闭炉门,后抽真空至炉内压力低于10Pa;

[0054] ③开始加热,加热速度设置为35K/min;加热升温至1183K,然后将温度降到1073K

后保温10min,保温过程中同时对圆柱形压坯施加轴向45MPa压力,保压时间25s;反应后并经轴向压力致密化的圆柱形陶铝复合随炉在真空中冷却至室温;

[0055] (2) 未细化和强化处理的铝合金的制备:

[0056] (2a) 将预先称量好的铝合金放置于坩埚中并随坩埚一起放入坩埚式电阻熔炼炉内,升温至1023K;铝合金的成分为:Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33};

[0057] (2b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.05wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0058] (3) 步骤三,内生纳米NbB₂陶瓷颗粒强化处理铝合金:

[0059] (3a) 在将称量好的合金放入坩埚中随坩埚一起放入炉内后,升温至1123K;

[0060] (3b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.05wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0061] (3c) 将含有NbB₂陶瓷颗粒的强化剂加入到合金液中,NbB₂陶瓷颗粒的实际加入量为0.1wt.%(Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2),对混合合金液采用超声处理3min;

[0062] (3d) 将超声处理后的金属液浇铸到金属型模具内,凝固冷却后得到纳米NbB₂陶瓷颗粒细化及强化铝合金的板状式样。

[0063] 其中,步骤(3d)中的金属型模具的材质为:45#钢,金属型模具的尺寸为:200mm×150mm×20mm。

[0064] 原位内生纳米NbB₂陶瓷颗粒可以作为铝合金的一种有效的细化及强化剂。图3为在Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金中NbB₂陶瓷颗粒添加量为0.1wt.%时的铸态晶粒组织图。与未经细化处理的铝合金组织相比(如图1所示),添加纳米颗粒的铝合金晶粒得到了细化。图4为添加0.1wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金铸态的拉伸应力应变曲线。添加NbB₂纳米颗粒后,铝合金铸态的屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa)为163.2MPa,抗拉强度为UTS(MPa)为238.0MPa,断裂应变 ε_f (%)为8.8%。与未经细化和强化处理的铝合金拉伸性能相比(屈服强度:143.9MPa、抗拉强度:205.0MPa、断裂应变:6.0%),添加NbB₂纳米颗粒的铝合金屈服强度、抗拉强度、断裂应变分别提高了13.4%、16.1%、46.7%,力学性能显著提高,如图4和表1所示。

[0065] 实施例2:

[0066] 本实施例中的一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法,包括以下步骤:

[0067] (1) 原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化剂的制备:

[0068] (1a) 硼粉球磨活化预处理:将硼粉放入球磨罐中,用球磨机将硼粉以200r/min的速度球磨活化处理3h;

[0069] (1b) 反应压坯所用粉料的配制:称取一定量所需的粒度13 μ m的铝粉,球磨处理后粒度为0.5 μ m的硼粉,粒度为48 μ m的铌粉备用;将铝粉、铌粉、硼粉按以下几种配比配制成100g混合粉末制成Al-Nb-B压坯。其中Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒(Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2)的质量分数为20wt.%;体系中铝粉、铌粉、硼粉各自重量分别为:铝粉:80克;铌粉:16.22克;硼粉:3.78克;配制成100克混合粉末。

[0070] (1c) 反应压坯所用粉料的球磨混合处理:将配制好的不同组分的混合粉料与氧化锆磨球放入混料机中,罐中盛有直径分别为5mm、7mm、11mm、15mm、20mm、22mm的ZrO₂球,每种

10个, ZrO₂球质量共800g。混料机以60r/min的速度均匀混合8h;其中氧化锆磨球和混合粉末的质量比是8:1;

[0071] (1d) 反应压坯的制备:

[0072] 将球磨混料的粉料取出,将球磨混好的粉料用铝箔包好,在液压机上冷压制成Φ30圆柱形压坯,高35mm;致密度为75%;

[0073] (1e) 纳米颗粒原位反应:

[0074] ①用石墨纸将步骤(2)中制得的Φ30圆柱形压坯包裹好放入到石墨模具中;

[0075] ②将石墨模具和Φ30圆柱形压坯放入到真空热爆炉中,关闭炉门,后抽真空至炉内压力低于10Pa;

[0076] ③开始加热,加热速度设置为25K/min;加热升温至1183K,然后将温度降到1073K后保温10min,保温过程中同时对圆柱形压坯施加轴向55MPa压力,保压时间20s;反应后并经轴向压力致密化的圆柱形陶铝复合随炉在真空中冷却至室温;

[0077] (2) 未细化和强化处理的铝合金的制备:

[0078] (2a) 将预先称量好的铝合金放置于坩埚中并随坩埚一起放入坩埚式电阻熔炼炉内,升温至1023K;铝合金的成分为:Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33};

[0079] (2b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.10wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0080] (3) 内生纳米NbB₂陶瓷颗粒强化处理铝合金:

[0081] (3a) 在将称量好的合金放入坩埚中随坩埚一起放入炉内后,升温至1123K;

[0082] (3b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.10wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0083] (3c) 将含有NbB₂陶瓷颗粒的强化剂加入到合金液中,NbB₂陶瓷颗粒的实际加入量为0.1wt.%(Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2),对混合合金液采用超声处理5min;

[0084] (3d) 将超声处理后的金属液浇铸到金属型模具内,凝固冷却后得到纳米NbB₂陶瓷颗粒细化及强化铝合金的板状式样。

[0085] 其中,步骤(3d)中的金属型模具的材质为:45#钢,金属型模具的尺寸为:200mm×150mm×20mm。

[0086] 原位内生纳米NbB₂陶瓷颗粒可以作为铝合金的一种有效的细化及强化剂。图5为在Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金中NbB₂陶瓷颗粒添加量为0.1wt.%时的铸态晶粒组织图。与未经细化处理的铝合金组织相比(如图1所示),添加纳米颗粒的铝合金晶粒得到了细化。图6为添加0.1wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金铸态的拉伸应力应变曲线。添加NbB₂纳米颗粒后,铝合金铸态的屈服强度σ_{0.2}(MPa)为168.7MPa,抗拉强度为UTS(MPa)为255.2MPa,断裂应变ε_f(%)为8.6%。与未经细化和强化处理的铝合金拉伸性能相比(屈服强度:143.9MPa、抗拉强度:205.0MPa、断裂应变:6.0%),添加NbB₂纳米颗粒的铝合金屈服强度、抗拉强度、断裂应变分别提高了17.2%、24.5%、43.3%,力学性能显著提高,如图6和表1所示。

[0087] 实施例3:

[0088] 本实施例中的一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法,包括以下步骤:

[0089] (1) 原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化剂的制备:

[0090] (1a) 硼粉球磨活化预处理:将硼粉放入球磨罐中,用球磨机将硼粉以200r/min的速度球磨活化处理3h;

[0091] (1b) 反应压坯所用粉料的配制:称取一定量所需的粒度25 μ m的铝粉,球磨处理后粒度为0.5 μ m的硼粉,粒度为48 μ m的铌粉,粒度为48 μ m的铜粉备用;将铝粉、铌粉、硼粉、铜粉按以下几种配比配制成100g混合粉末制成Al-Nb-B-Cu压坯。其中Al-Nb-B-Cu体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒(Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2)的质量分数为30wt.%,其中Cu元素的含量为5wt.%;体系中铝粉、铌粉、硼粉、铜粉各自重量分别为:铝粉:65克;铌粉:24.33克;硼粉:5.67克;铜粉:5克;配制成100克混合粉末;

[0092] (1c) 反应压坯所用粉料的球磨混合处理:将配制好的不同组分的混合粉料与氧化锆磨球放入混料机中,罐中盛有直径分别为5mm、7mm、11mm、15mm、20mm、22mm的ZrO₂球,每种10个,ZrO₂球质量共800g。混料机以45r/min的速度均匀混合20h;其中氧化锆磨球和混合粉末的质量比是8:1;

[0093] (1d) 反应压坯的制备:将球磨混料的粉料取出,将球磨混好的粉料用铝箔包好,在液压机上冷压制成 Φ 30圆柱形压坯,高35mm;致密度为75%;

[0094] (1e) 纳米颗粒原位反应:

[0095] ①用石墨纸将步骤(2)中制得的 Φ 30圆柱形压坯包裹好放入到石墨模具中;

[0096] ②将石墨模具和 Φ 30圆柱形压坯放入到真空热爆炉中,关闭炉门,后抽真空至炉内压力低于10Pa;

[0097] ③开始加热,加热速度设置为40K/min;加热升温至1183K,然后将温度降到1073K后保温10min,保温过程中同时对圆柱形压坯施加轴向30MPa压力,保压时间55s;反应后并经轴向压力致密化的圆柱形陶铝复合随炉在真空中冷却至室温;

[0098] (2) 未细化和强化处理的铝合金的制备:

[0099] (2a) 将预先称量好的铝合金放置于坩埚中并随坩埚一起放入坩埚式电阻熔炼炉内,升温至1023K;铝合金的成分为:Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}。

[0100] (2b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.05wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0101] (3) 内生纳米NbB₂陶瓷颗粒强化处理铝合金:

[0102] (3a) 在将称量好的合金放入坩埚中随坩埚一起放入炉内后,升温至1123K;

[0103] (3b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.05wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0104] (3c) 将含有NbB₂陶瓷颗粒的强化剂加入到合金液中,NbB₂陶瓷颗粒的实际加入量为0.3wt.%(Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2),对混合合金液采用超声处理8min;

[0105] (3d) 将超声处理后的金属液浇铸到金属型模具内,凝固冷却后得到纳米NbB₂陶瓷颗粒细化及强化铝合金的板状试样。

[0106] 其中,步骤(3d)中的金属型模具的材质为:45#钢,金属型模具的尺寸为:200mm \times 150mm \times 20mm。

[0107] 原位内生纳米NbB₂陶瓷颗粒可以作为铝合金的一种有效的细化及强化剂。图7为Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金中NbB₂陶瓷颗粒添加量为0.3wt.%时的铸态晶粒组织图。与未经

细化处理的铝合金组织相比(如图1所示),添加纳米颗粒的铝合金晶粒得到了细化。图8为添加0.3wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金铸态的拉伸应力应变曲线。添加NbB₂纳米颗粒后,铝合金铸态的屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa)为156.8MPa,抗拉强度为UTS(MPa)为225.8MPa,断裂应变 ε_f (%)为10.1%。与未经细化和强化处理的铝合金拉伸性能相比(屈服强度:143.9MPa、抗拉强度:205.0MPa、断裂应变:6.0%),添加NbB₂纳米颗粒的铝合金屈服强度、抗拉强度、断裂应变分别提高了9.0%、10.2%、68.3%,力学性能显著提高,如图8和表1所示。

[0108] 实施例4:

[0109] 本实施例中的一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法,包括以下步骤:

[0110] (1) 原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化剂的制备:

[0111] (1a) 硼粉球磨活化预处理:将硼粉放入球磨罐中,用球磨机将硼粉以300r/min的速度球磨活化处理1h;

[0112] (1b) 反应压坯所用粉料的配制:称取一定量所需的粒度48 μ m的铝粉,球磨处理后粒度为1 μ m的硼粉,粒度为48 μ m的铌粉备用。将铝粉、铌粉、硼粉按以下几种配比配制成100g混合粉末制成Al-Nb-B压坯。其中Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒(Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2)的质量分数为30wt.%:体系中铝粉、铌粉、硼粉各自重量分别为:铝粉:70克;铌粉:24.33克;硼粉:5.67克;配制成100克混合粉末;

[0113] (1c) 反应压坯所用粉料的球磨混合处理:

[0114] 将配制好的不同组分的混合粉料与氧化锆磨球放入混料机中,罐中盛有直径分别为5mm、7mm、11mm、15mm、20mm、22mm的ZrO₂球,每种10个,ZrO₂球质量共800g。混料机以40/min的速度均匀混合25h;其中氧化锆磨球和混合粉末的质量比是8:1;

[0115] (1d) 反应压坯的制备:

[0116] 将球磨混料的粉料取出,将球磨混好的粉料用铝箔包好,在液压机上冷压制成 Φ 30圆柱形压坯,高35mm;致密度为75%;

[0117] (1e) 纳米颗粒原位反应:

[0118] ①用石墨纸将步骤(2)中制得的 Φ 30圆柱形压坯包裹好放入到石墨模具中;

[0119] ②将石墨模具和 Φ 30圆柱形压坯放入到真空热爆炉中,关闭炉门,后抽真空至炉内压力低于10Pa;

[0120] ③开始加热,加热速度设置为30K/min;加热升温至1183K,然后将温度降到1073K后保温10min,保温过程中同时对圆柱形压坯施加轴向25MPa压力,保压时间60s;反应后并经轴向压力致密化的圆柱形陶铝复合随炉在真空中冷却至室温;

[0121] (2) 未细化和强化处理的铝合金的制备:

[0122] (2a) 将预先称量好的铝合金放置于坩埚中并随坩埚一起放入坩埚式电阻熔炼炉内,升温至1023K;铝合金的成分为:Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33};

[0123] (2b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.05wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0124] (3) 内生纳米NbB₂陶瓷颗粒强化处理铝合金:

[0125] (3a) 在将称量好的合金放入坩埚中随坩埚一起放入炉内后,升温至1123K;

[0126] (3b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.05wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0127] (3c) 将含有NbB₂陶瓷颗粒的强化剂加入到合金液中,NbB₂陶瓷颗粒的实际加入量为0.3wt.%(Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2),对混合合金液采用超声处理10min;

[0128] (3d) 将超声处理后的金属液浇铸到金属型模具内,凝固冷却后得到纳米NbB₂陶瓷颗粒细化及强化铝合金的板状试样。

[0129] 其中,步骤(3d)中的金属型模具的材质为:45#钢,金属型模具的尺寸为:200mm×150mm×20mm。

[0130] 原位内生纳米NbB₂陶瓷颗粒可以作为铝合金的一种有效的细化及强化剂。图9为在Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金中NbB₂陶瓷颗粒添加量为0.3wt.%时的铸态晶粒组织图。与未经细化处理的铝合金组织相比(如图1所示),添加纳米颗粒的铝合金晶粒得到了细化。图10为添加0.3wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₇-Mn_{0.65}-Mg_{0.33}合金铸态的拉伸应力应变曲线。添加NbB₂纳米颗粒后,铝合金铸态的屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa)为152.4MPa,抗拉强度为UTS(MPa)为218.9MPa,断裂应变 ε_f (%)为10.9%。与未经细化和强化处理的铝合金拉伸性能相比(屈服强度:143.9MPa、抗拉强度:205.0MPa、断裂应变:6.0%),添加NbB₂纳米颗粒的铝合金屈服强度、抗拉强度、断裂应变分别提高了6.0%、6.3%、81.7%,力学性能显著提高,如图10和表1所示。

[0131] 实施例5:

[0132] 本实施例中的一种原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化铝合金的方法,包括以下步骤:

[0133] (1) 原位内生纳米NbB₂颗粒细化及强化剂的制备:

[0134] (1a) 硼粉球磨活化预处理:将硼粉放入球磨罐中,用球磨机将硼粉以300r/min的速度球磨活化处理1h;

[0135] (1b) 反应压坯所用粉料的配制:称取一定量所需的粒度25 μ m的铝粉,球磨处理后粒度为1 μ m的硼粉,粒度为48 μ m的铌粉备用。将铝粉、铌粉、硼粉按以下几种配比配制成100g混合粉末制成Al-Nb-B压坯。其中Al-Nb-B体系中反应生成纳米NbB₂陶瓷颗粒(Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2)的质量分数为40wt.%;体系中铝粉、铌粉、硼粉各自重量分别为:铝粉:60克;铌粉:32.45克;硼粉:7.55克;配制成100克混合粉末;

[0136] (1c) 反应压坯所用粉料的球磨混合处理:将配制好的不同组分的混合粉料与氧化锆磨球放入混料机中,罐中盛有直径分别为5mm、7mm、11mm、15mm、20mm、22mm的ZrO₂球,每种10个,ZrO₂球质量共800g。混料机以45/min的速度均匀混合20h;其中氧化锆磨球和混合粉末的质量比是8:1;

[0137] (1d) 反应压坯的制备:将球磨混料的粉料取出,将球磨混好的粉料用铝箔包好,在液压机上冷压制成 Φ 30圆柱形压坯,高45mm;致密度为65%;

[0138] (1e) 纳米颗粒原位反应:

[0139] ①用石墨纸将步骤(2)中制得的 Φ 30圆柱形压坯包裹好放入到石墨模具中;

[0140] ②将石墨模具和 Φ 30圆柱形压坯放入到真空热爆炉中,关闭炉门,后抽真空至炉内压力低于10Pa;

[0141] ③开始加热,加热速度设置为40K/min;加热升温至1183K,然后将温度降到1073K

后保温10min,保温过程中同时对圆柱形压坯施加轴向35MPa压力,保压时间48s;反应后并经轴向压力致密化的圆柱形陶铝复合随炉在真空中冷却至室温;

[0142] (2) 未细化和强化处理的铝合金的制备:

[0143] (2a) 将预先称量好的铝合金放置于坩锅中并随坩锅一起放入坩锅式电阻熔炼炉内,升温至1023K;铝合金的成分为:Al-Si₁₀-Cu-Mg_{0.39};

[0144] (2b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.10wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0145] (3) 内生纳米NbB₂陶瓷颗粒强化处理铝合金:

[0146] (3a) 在将称量好的合金放入坩锅中随坩锅一起放入炉内后,升温至1123K;

[0147] (3b) 待合金完全熔化后并保温30min,加入0.10wt.%的清渣剂对合金液进行精炼除渣,打渣处理后保温10min;

[0148] (3c) 将含有NbB₂陶瓷颗粒的强化剂加入到合金液中,NbB₂陶瓷颗粒的实际加入量为0.3wt.%(Nb/B质量比为4.30:1;Nb/B摩尔比为1:2),对混合合金液采用超声处理10min;

[0149] (3d) 将超声处理后的金属液浇铸到金属型模具内,凝固冷却后得到纳米NbB₂陶瓷颗粒细化及强化铝合金的板状式样。

[0150] 其中,步骤(3d)中的金属型模具的材质为:45#钢,金属型模具的尺寸为:200mm×150mm×20mm。

[0151] 原位内生纳米NbB₂陶瓷颗粒可以作为铝合金的一种有效的细化及强化剂。图11为在Al-Si₁₀-Cu-Mg_{0.39}合金中NbB₂陶瓷颗粒添加量为0.3wt.%时的铸态晶粒组织图。与未经细化处理的铝合金组织相比(如图2所示),添加纳米颗粒的铝合金晶粒得到了细化。图12为添加0.3wt.%NbB₂陶瓷颗粒的Al-Si₁₀-Cu-Mg_{0.39}合金铸态的拉伸曲线。添加NbB₂纳米颗粒后,铝合金铸态的屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa)为141.8MPa,抗拉强度为UTS(MPa)为279.6MPa,断裂应变 ϵ_f (%)为14.3%。与未经细化和强化处理的铝合金拉伸性能相比(屈服强度:141.8MPa、抗拉强度:249.7MPa、断裂应变:11.7%),添加NbB₂纳米颗粒后,合金的抗拉强度、断裂应变相比于未处理合金,分别提高了12.0%、22%,力学性能有所提高,如图12和表1所示。

[0152] 针对上述实施例材料进行铝合金的组织 and 性能测量,获得以下数据:表1为实施例1-5中不同铝合金基体、不同纳米NbB₂陶瓷颗粒添加量、不同制备工艺参数条件下合金的拉伸性能数值。

[0153] 表1

[0154]

样品	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	UTS (MPa)	ϵ_f (%)
Al-7Si-0.65Mn-0.33Mg	143.9	205.0	6.0
Al-10Si-1Cu-0.39Mg	141.8	249.7	11.7
实施实例1	163.2	238.0	8.8
实施实例2	168.7	255.2	8.6
实施实例3	156.8	225.8	10.1
实施实例4	152.4	218.9	10.9
实施实例5	141.8	279.6	14.3

[0155] 所述材料的显微结构和力学性能均得到了明显的优化:在最佳细化以及强化条件

下 (Al-7Si-0.65Mn-0.33Mg合金中NbB₂陶瓷颗粒添加量为0.1wt.%, Nb/B=1:2) 铝合金的晶粒得到了显著细化, 合金铸态的屈服强度、抗拉强度、断裂应变分别为168.7MPa、255.2MPa、8.6%。未经细化和强化处理的铝合金铸态的屈服强度、抗拉强度、断裂应变分别为143.9MPa、205.0MPa、6.0%。通过添加NbB₂纳米颗粒细化以及强化铝合金后, 合金的屈服强度、抗拉强度、断裂应变相比于未处理合金, 分别提高了17.2%、24.5%、43.3%, 力学性能有明显的提高。

[0156] 以上所述是本发明的优选实施方式, 应当指出, 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明原理的前提下, 还可以做出若干改进和润饰, 这些改进和润饰也视为本发明的保护范围。

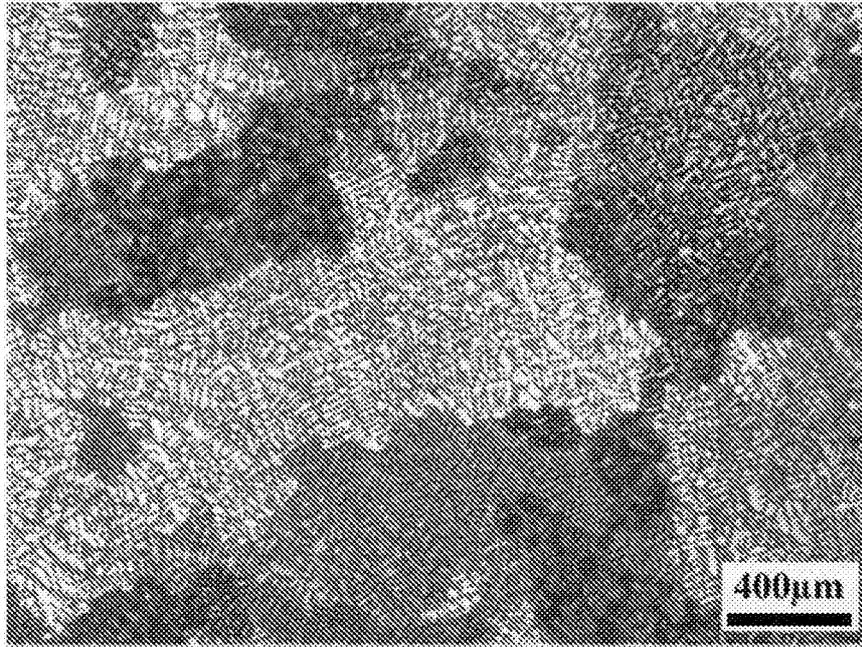


图1

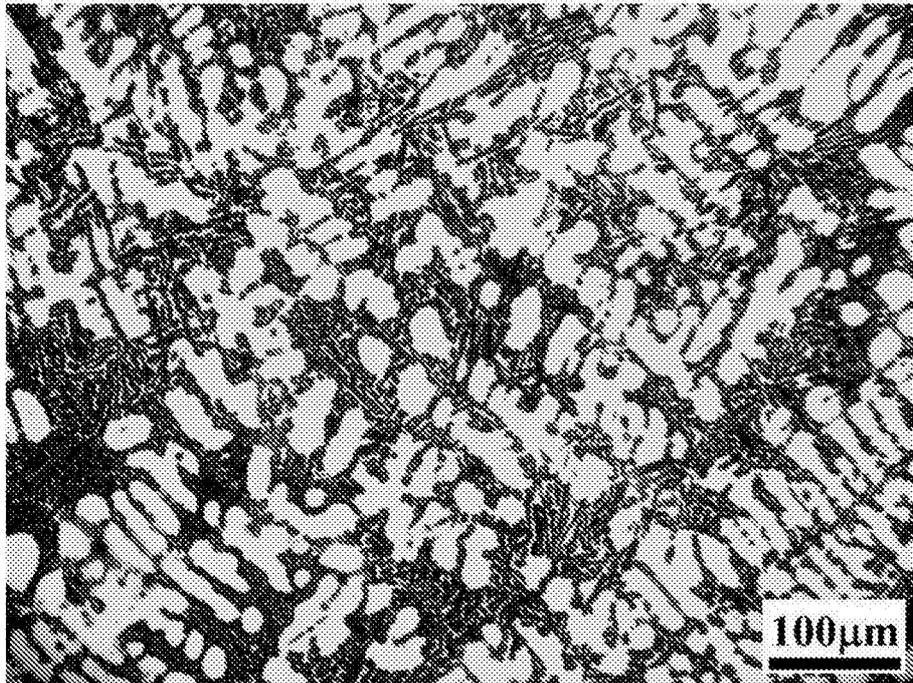


图2

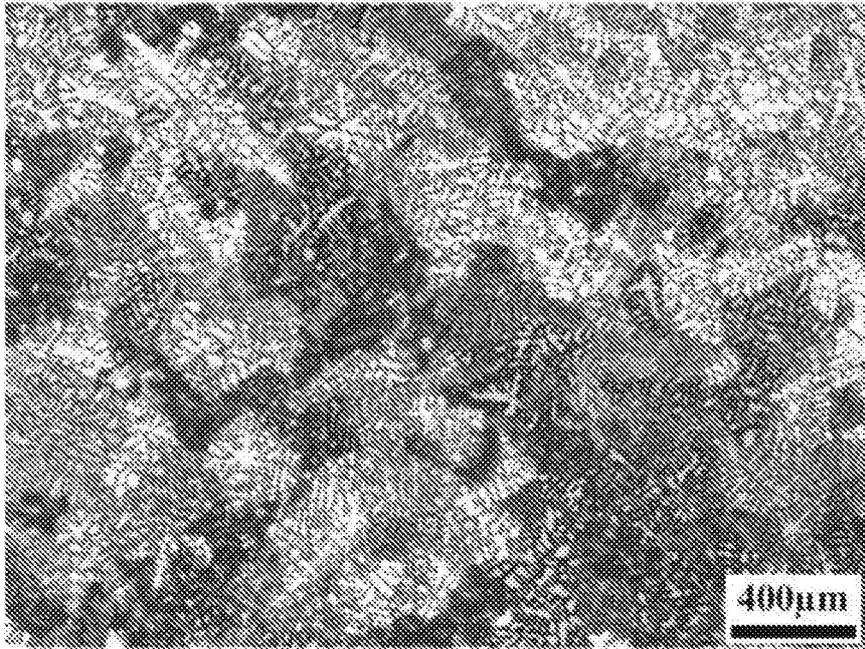


图3

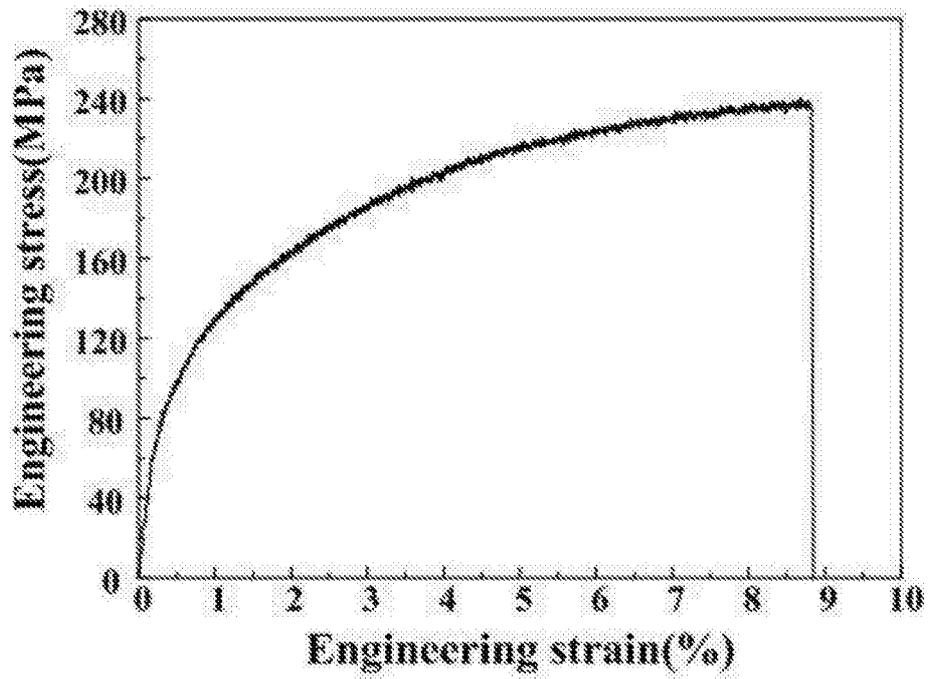


图4

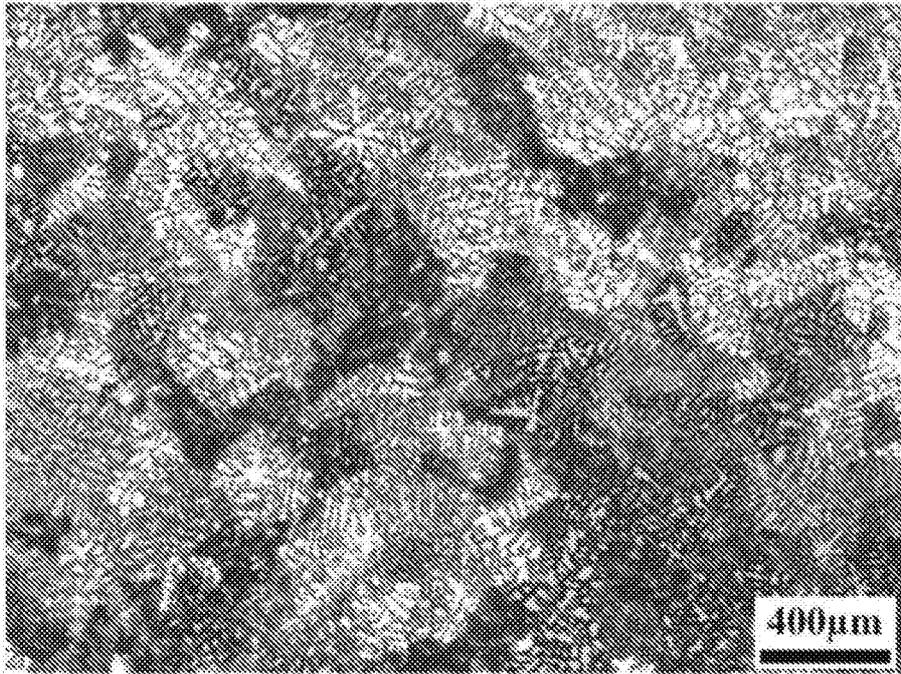


图5

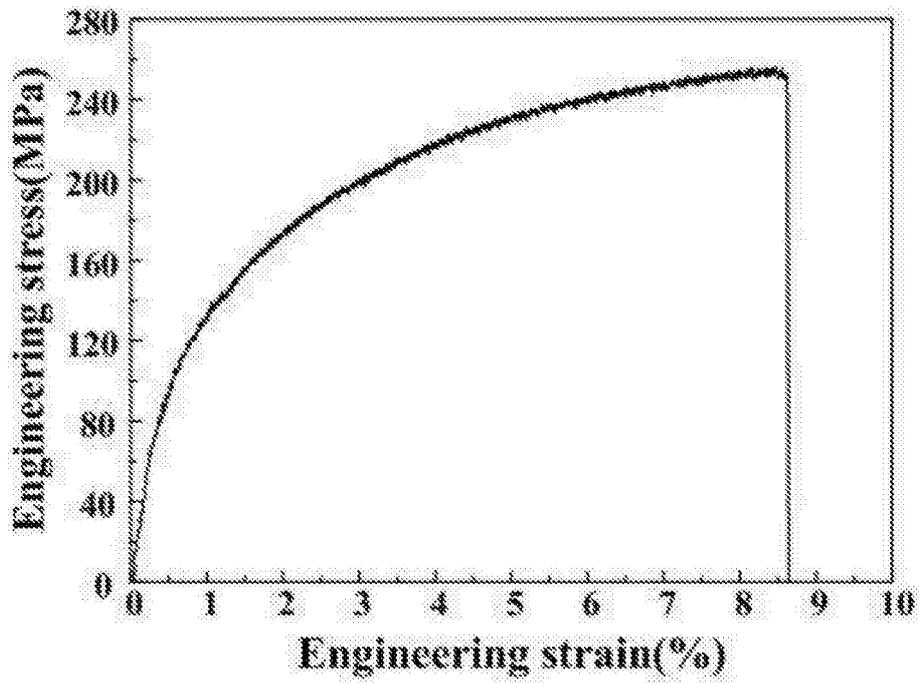


图6

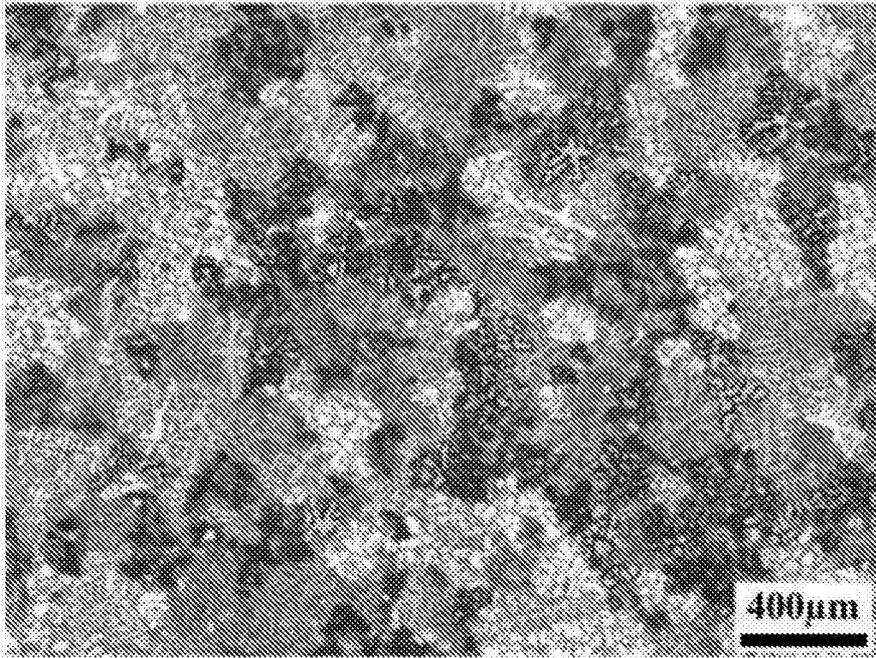


图7

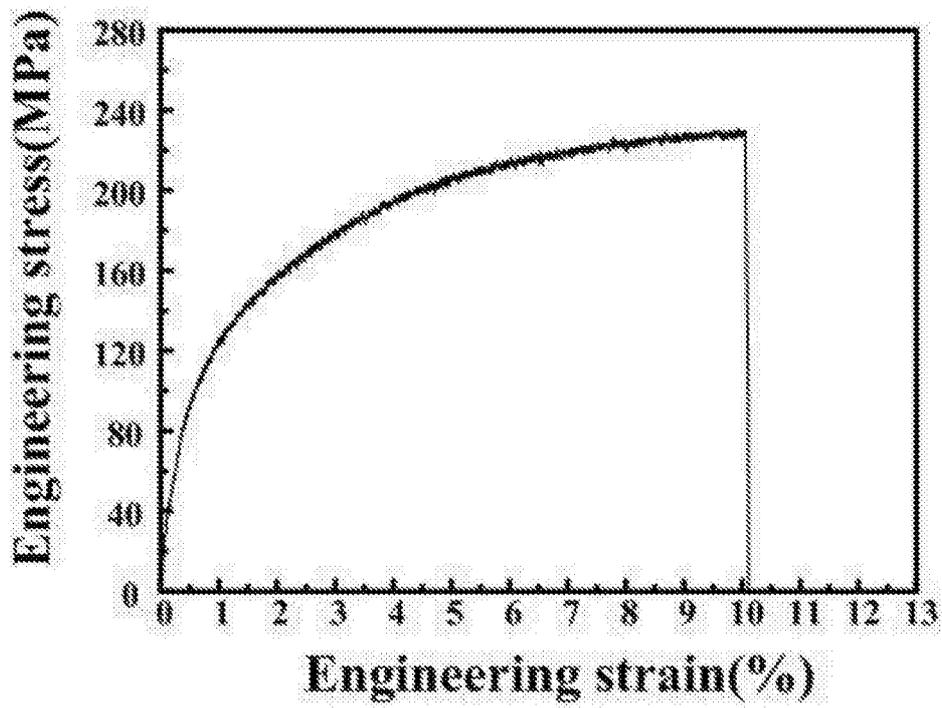


图8

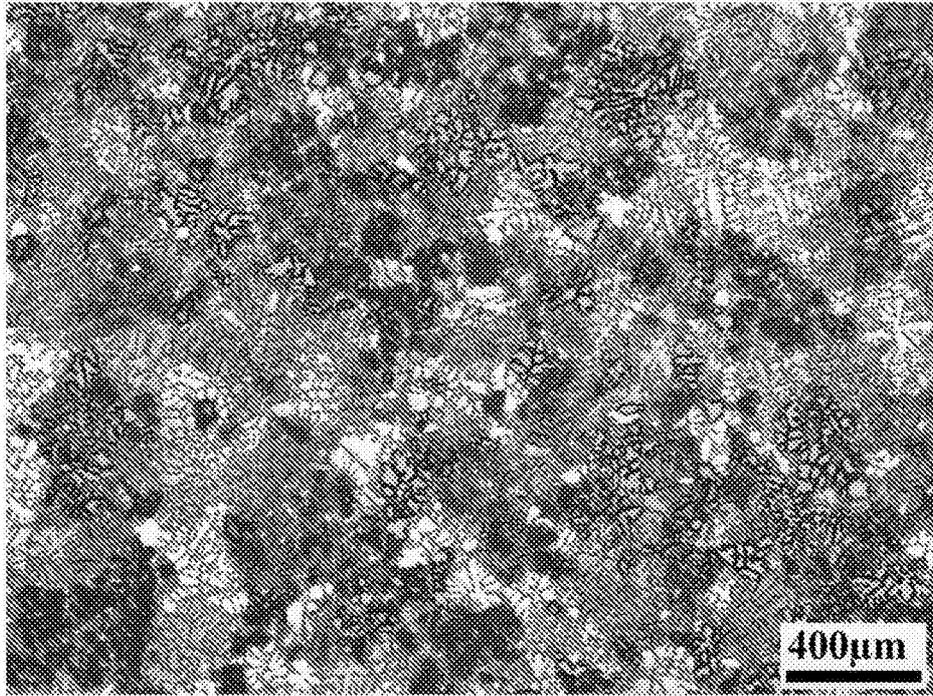


图9

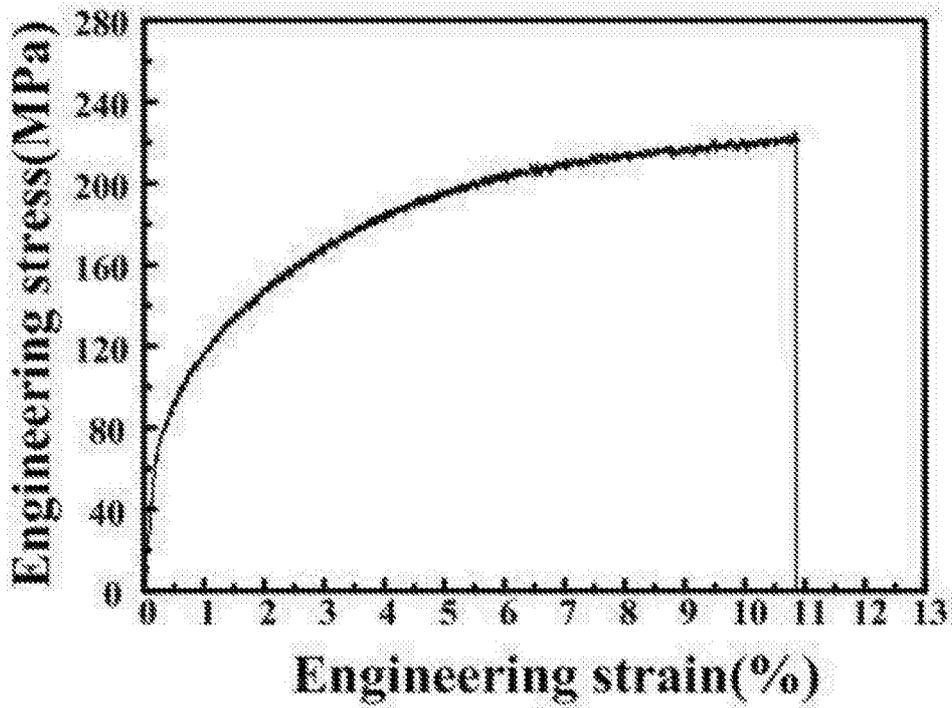


图10

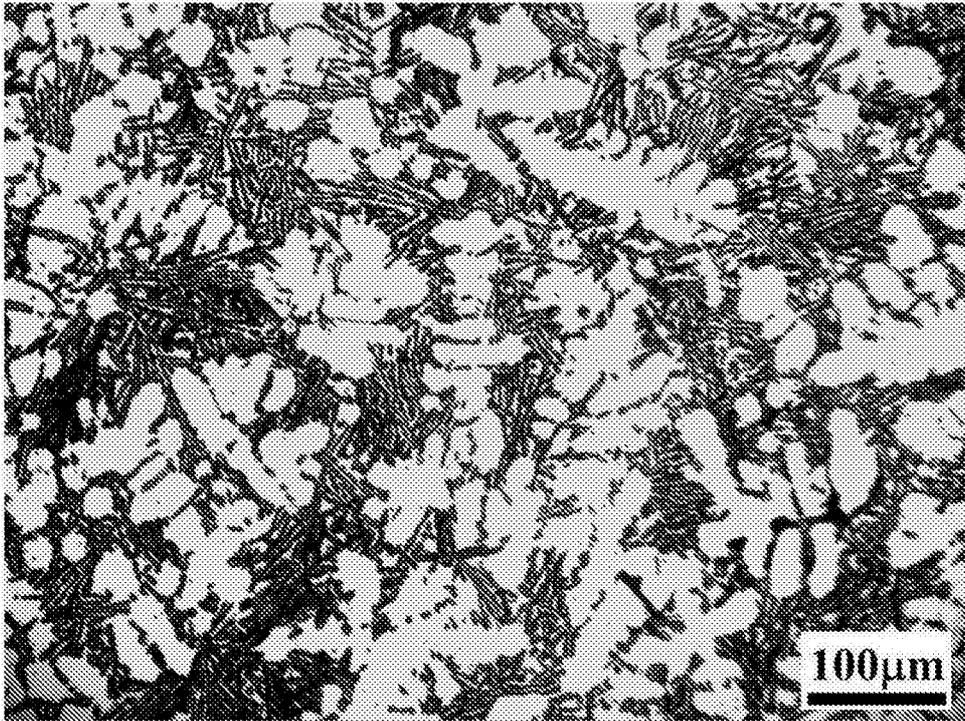


图11

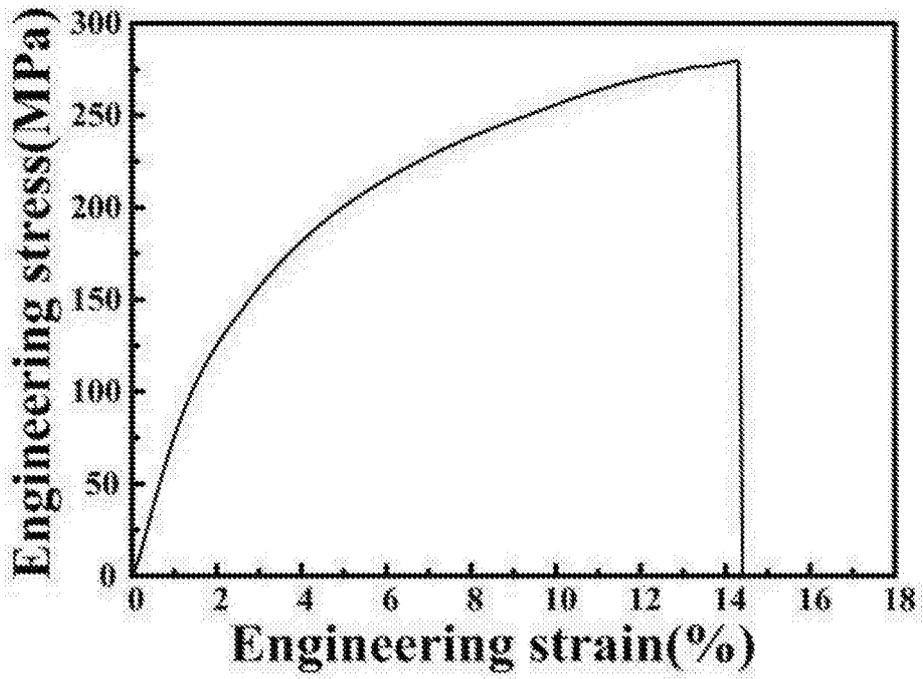


图12