



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101509088 B

(45) 授权公告日 2010.09.22

(21) 申请号 200910005471.0

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009.01.16

*G22C 21/00* (2006.01)

(66) 本国优先权数据

*G22C 1/03* (2006.01)

200810174298.2 2008.11.14 CN

*G22F 1/04* (2006.01)

审查员 王怀东

(73) 专利权人 内蒙古吉泰铝业有限公司

地址 014060 内蒙古自治区包头市九原经济  
开发区

专利权人 内蒙金属材料研究所

(72) 发明人 菅少霆 萧俊彪 孙廷富 张文波

吴江明 李志刚 高平 杜奇圣

狄石磊 李进军 米建国

(74) 专利代理机构 包头市专利事务所 15101

代理人 郝荔蓁

权利要求书 1 页 说明书 5 页

(54) 发明名称

高强度、高韧性稀土铝合金材料及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及高强度、高韧性稀土铝合金材料及其制备方法,属于金属合金及其制备技术领域。其特征是:由 Mg、Si、Fe、稀土复合添加剂及 Al 组成,各组分按重量百分数如下:Mg :0.50%~0.60%; Si :0.35%~0.45%; Fe ≤ 0.35%; 稀土复合添加剂 ≤ 0.065%~0.2%;余量为 Al,将 6063 铝合金炉料按常规方法加料并熔化,调整炉温,进行融体除气、除杂与净化处理后,在 720℃~760℃之间把 Al-RE、Al-Sr 及 Al-Zr 中间合金加入并保温 30min~7h,然后进行电磁搅拌成分均匀化处理,检测,浇注与铸造。最后进行均匀化处理与均匀化处理后快速冷却处理,挤压前快速加热、挤压与在线淬火处理,人工时效处理。本发明所得产品型材挤压速度快、型材力学性能高、能够改善型材外观质量以及增加氧化膜致密度的改性。

CN 101509088 B

1. 高强度、高韧性稀土铝合金材料,其特征是:由 Mg、Si、Fe、稀土复合添加剂及 Al 组成,各组分按重量百分数如下:

Mg :0.50%~0.60%;Si :0.35%~0.45%;Fe  $\leq$  0.35%;稀土复合添加剂由 RE、Sr、Zr 组成,其组分按重量百分数:RE :0.04%~0.1%;Sr :0.01%~0.05%;Zr. 0.015~0.05%;RE+Sr+Zr 总量控制在:0.065%~0.2%,余量为 Al;稀土 RE 为以 Ce 为主,含量 85~90%;La 为辅,含量 10~15%。

2. 一种如权利要求 1 所述的一种高强度、高韧性稀土铝合金材料的制备方法,其特征是:

(1) 准备:稀土复合添加剂的加入是采用中间合金的方法,即准备好 AL-RE、AL-Sr 及 AL-Zr 中间合金;

(2) 中间合金的加入时序:是在工业化熔化炉中,将 6063 铝合金炉料加入并熔化,调整炉温,进行融体除气、除杂与净化处理后,加入三种中间合金;

(3) 加入中间合金的温度设计:中间合金加入温度控制在 720℃~760℃之间,保温 30min~7h;

(4) 电磁搅拌成分均质化处理:将三种中间合金,按上述本发明的高强度、高韧性稀土铝合金材料中 RE、Sr、Zr 的组分设计关系计算加入量,一同从装料口投入,同时开启炉底电磁搅拌装置进行搅拌,搅拌与保温时间为 30~50min,特殊情况最长保温时间不应超过 7h,保温时间到达后,从炉中取样,进行炉前快速成分分析,准备浇注;

(5) 浇注温度控制在 720℃~740℃,铸造温度控制在 700℃~710℃,采用同水平热顶半连续铸造技术;

(6) 均匀化热处理与均匀化后快速冷却处理,均匀化热处理工艺,520℃-530℃ $\times$ 4-6h;均匀化处理后出炉快速冷却处理工艺,冷却速度应控制在 150℃以上,根据淬火介质的冷却能力,可采用强迫风冷、热水淬火或冷水淬火单一冷却或复合工艺冷却;

(7) 挤压前锭坯快速加热、挤压加工与在线淬火技术,挤压前锭坯快速加热技术,采用电磁感应加热技术,加热温度为 470℃-500℃,加热时间为 50-70min;挤压工艺,挤压坯入口温度控制在 460℃~490℃,出口温度控制约在 510℃~530℃,挤压速度控制在 12m/min-15m/min,在线淬火工艺,薄壁型材,风冷淬火,风速 $\geq$  5m/s,大风量冷却,冷却速度要达到 300℃/min;厚壁型材,喷水淬火,冷却速度要达到 300℃/min-500℃/min;

(8) T5 态时效处理工艺为 190~205℃ $\times$ 2h,天然气加热。

## 高强度、高韧性稀土铝合金材料及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及高强度、高韧性稀土铝合金材料及其制备方法,属于金属合金及其制备技术领域。

### 背景技术

[0002] 6063 铝合金型材已成为国际国内应用最为普及的一种铝合金建筑材料。为了提高生产率、降低能源消耗、提高挤压加工性、提高挤压型材力学性能与型材化学物理性能,国际、国内各铝业加工厂进行了合金化技术与加工技术的广泛研究。

[0003] 国家标准 GB3190 规定 6063 铝合金成分为 Mg :0.45% -0.90% ;Si 0.2% -0.6% ; Fe  $\leq$  0.35%。显然合金元素分布空间是很大的,合金元素取值不同,会对型材的综合性能影响很大,将造成力学性能上的波动,也使表面处理质量与效果上出现极大差异,同时也增加了工艺控制难度。国家标准 GB/T5237.1 规定的 6063 铝合金 T5、T6 态型材拉伸强度分别为 160MPa、205MPa,实际最高力学性能仅能达到拉伸强度 230MPa。

[0004] 中国专利 CN1456697A 公布的一种改性 6063 铝合金,拉伸强度最高为 216MPa,伸长率为 17% ;添加的混合稀土量大,达到 0.11-0.2%,远超过稀土的极限溶解度约 0.05%,这在工业化如 15 吨、25 吨大熔化炉上很难使成分均匀化,极易造成偏聚,使稀土的作用不能充分发挥,导致挤压加工性恶化与挤压制品的力学性能低 ;同时也易与加入的 Ti、Zr 细化剂发生化学反应,造成铝基体组织粗大,两者的优异作用都不能充分发挥。

[0005] 显然,6063 铝合金力学性能低,存在不足,满足不了结构的高承力使用要求 ;同时限于材料成分特点与技术工艺特点,也存在不足之处,如组织中易存在各种杂质、粗大针状含铁化合物相以及铝基体组织粗大等问题,影响合金的成分均匀化处理能耗问题、挤压加工性能与挤压制品的力学性能提高问题,对 6063 铝合金进行主合金化设计与技术工艺性改善是必要的。

[0006] 向 6063 铝合金中加入稀土元素,可以显著改善挤压加工性能、挤压制品的力学性能与化学、物理性能,其作用是 : (1) 净化去氢,通过产生稀土氢化物的方式去除氢的有害作用 ; (2) 细化晶粒,产生稀土高熔点化合物成为晶核核心 ; (3) 去除铁的有害作用,形成稀土铁化合物等 ; (4) 分布在晶内、晶界上显著改善挤压制品的化学与物理性能。但加稀土入量需要控制得当,否则还会恶化上述作用与效果。

[0007] 向 6063 铝合金中加入锆或钛等变质成核剂,这些元素在合金中形成高温稳定相化合物质点,细化铝基体组织,抑制再结晶,具有改善或提高挤压加工性,使型材在热处理后保留挤压加工后的纤维组织或有细小的再结晶混合组织,显著改善或提高型材的结构力学性能。当然,应特别注意这些元素与合金体系匹配性设计问题,也包括加入量设计问题,特别是当钛与稀土元素同时存在时,因发生化学反应,形成粗大化合物,减少了异质核心的数量,而达不到细化组织以及改善其综合性能的目的。

[0008] 向 6063 铝合金中加入锶元素,进行变质处理,使有害的粗大针状、棒状或片状的  $\beta$ -FeAlSi 相,在铸造时直接变成对合金热加工性能及力学性能影响小的圆润的团块状

$\alpha$ -FeAlSi 相,从而避免为消除  $\beta$ -FeAlSi 相的有害影响,需要均匀化退火处理的高温度与长时间保温的能耗问题。

[0009] 实践证明,对 6063 铝合金主合金化元素进行优化设计,向 6063 铝合金中添加稀土等各类添加剂,可以改善其微观组织结构与综合工艺性能,从而达到提高其挤压加工性能、型材制品的力学性能以及化学物理性能,并具有显著的节能降耗效果。但是,单一加入稀土、锆及铈的作用不能顾及全面性能,需要综合优化设计,方可满足各项性能要求。

## 发明内容

[0010] 本发明的目的是为了克服现有技术存在的问题或不足,提供一种挤压速度快、型材力学性能高、能够改善型材外观质量以及增加氧化膜致密度的高强度、高韧性稀土铝合金材料及其制备方法。

[0011] 本发明的高强度、高韧性稀土铝合金材料,其组分按重量百分数:

[0012] Mg :0.50% ~ 0.60% ;Si :0.35% ~ 0.45% ;Fe  $\leq$  0.35% ;稀土复合添加剂  $\leq$  0.065% ~ 0.2% ;余量为 Al ;

[0013] 稀土复合添加剂,其组分按重量百分数 :

[0014] RE :0.04% ~ 0.1% ;Sr :0.01% ~ 0.05% ;Zr :0.015 ~ 0.05% ;RE+Sr+Zr 总量控制在 :0.065% ~ 0.2% 。

[0015] 其中 :稀土 RE 为以 Ce 为主含量 85 ~ 90% ,La 为辅含量 10 ~ 15% 。

[0016] 本发明的制备方法是 :

[0017] (1) 准备 :稀土复合添加剂是采用中间合金的方法,即 Al-RE、Al-Sr 及 Al-Zr 中间合金,中间合金中其它杂质元素限定按 GB/T8735 标准执行,如制造、配制或订购 AlSr<sub>5</sub> 或 AlSr<sub>10</sub>、ALRE10、ALZr<sub>4</sub> 等中间合金 ;

[0018] (2) 中间合金的加入时序 :是在工业化熔化炉中,按照常规方法将 6063 铝合金炉料按顺序加入并熔化,调整炉温,进行融体除气、除杂与净化处理后,加入三种中间合金 ;

[0019] (3) 加入中间合金的温度设计 :中间合金加入温度控制在 720℃ ~ 760℃ 之间,保温时间 30min ~ 7h ;

[0020] (4) 电磁搅拌成分均匀化处理 :将三种中间合金,按上述本发明的高强度、高韧性稀土铝合金材料中 RE、Sr、Zr 的组分设计关系计算加入量,一同从装料口投入,同时开启炉底电磁搅拌装置进行搅拌,搅拌与保温时间为 30min ~ 50min,特殊情况最长保温时间不应超过 7 小时。保温时间到达后,从炉中取样,进行炉前快速成分分析,准备浇注 ;

[0021] (5) 浇注温度控制在 720℃ ~ 740℃,铸造温度控制在 700℃ ~ 710℃,采用同水平热顶半连续铸造技术 ;

[0022] (6) 均匀化热处理与快速冷却处理。均匀化热处理工艺,520℃ -530℃  $\times$  4-6h ;均匀化处理后出炉快速冷却处理工艺,冷却速度应控制在 150℃ 以上。根据淬火介质的冷却能力,可采用强迫风冷、热水淬火或冷水淬火单一冷却或复合工艺冷却。

[0023] (7) 挤压前锭坯快速加热、挤压加工与在线淬火技术。挤压前锭坯快速加热技术,采用电磁感应加热技术,加热温度为 470℃ -500℃,加热时间为 50-70min ;挤压工艺,挤压坯入口温度控制在 460℃ ~ 490℃,出口温度控制约在 510℃ ~ 530℃,挤压速度控制在 12m/min-15m/min,可采用 1000 吨以上的挤压机挤压。在线淬火工艺,薄壁型材,风冷淬火,风

速 $\geq 5\text{m/s}$ ,大风量冷却,冷却速度要达到 $300^\circ\text{C}/\text{min}$ ;厚壁型材,喷水淬火,冷却速度要达到 $300^\circ\text{C}/\text{min}$ - $500^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

[0024] (8) T5 态时效处理工艺为  $190 \sim 205^\circ\text{C} \times 2\text{h}$ ,天然气加热。

[0025] 发明的效果

[0026] 本发明的高强度、高韧性稀土铝合金材料及其制备方法,技术特点之一是原材料来源广泛,无须特殊工艺,可以采用现行国家标准中间合金材料;技术特点之二是通过稀土、铈、锆等微合金化元素的科学配方设计,以及铝业广泛采用的、成熟的工业化控制技术-电磁搅拌方法,可获得成分均匀、少无烧损的高收得率合金融体,使加入方法简捷可控。

[0027] 采用本发明的高强度、高韧性稀土铝合金材料,制造的半连续铸造锭坯具有组织细小、均匀的冶金组织,析出相分布均匀,无粗大片状、针状或棒状  $\beta\text{-FeAlSi}$  相;显著降低加热保温温度或缩短均匀化处理保温时间,具有低制造成本、低能耗的技术特点。显著提高了挤压加工速度以及使制造的型材力学性能高等特点。

[0028] (1) 获得半连续锭坯析出相分布均匀,无粗大片状、针状或棒状  $\beta\text{-FeAlSi}$  相,组织均匀、达到晶粒度近 1 级,未改性处理的晶粒度近 2-3 级;

[0029] (2) 由原来的加热保温温度  $580^\circ\text{C}$  改为加热保温温度为  $520^\circ\text{C}$  - $530^\circ\text{C}$ ,降低均匀化处理温度  $50 \sim 60^\circ\text{C}$ ,显著降低热处理能量消耗;

[0030] (3) 实现挤压速度提高约 50% (原来挤压速度  $8\text{-}10\text{m}/\text{min}$ );实现 T5 态型材拉伸强度高于 6063 铝合金国家标准 GB5237.1 T6 态规定值的 25% 以上,相应的屈服强度高于 18%,相应地延伸率高于 100% 以上;分别高于国家标准 GB5237.1 T5 态规定的三项力学性能,拉伸强度、屈服强度及延伸率数据的 60%、90%、100% 以上。

## 具体实施方式

[0031] 下面对本发明的实施例作进一步的说明:

[0032] (一) 合金成分设计与控制

[0033] 6063 铝合金成分设计与控制,其组成(重量百分数):

[0034] Mg : $0.50\% \sim 0.60\%$ ;

[0035] Si : $0.35\% \sim 0.45\%$ ;

[0036] Fe  $\leq 0.35\%$ ;

[0037] 余量为 Al。

[0038] 在上述 6063 铝合金中加入稀土、铈、锆微合金化元素,其组成(重量百分数):

[0039] RE : $0.04\% \sim 0.1\%$ ;

[0040] Sr : $0.01\% \sim 0.05\%$ ;

[0041] Zr : $0.015 \sim 0.05\%$ ;

[0042] 其加入总量控制在 RE+Sr+Zr : $0.065\% \sim 0.2\%$ 。

[0043] (二) 材料制造及工艺

[0044] (1) 制造或订购及配制 :AL-RE、AL-Sr 及 AL-Zr 中间合金。中间合金中其它杂质元素限定按 GB/T8735 标准,如制造或订购  $\text{ALSr}_{10}$ 、 $\text{ALRE}_{10}$ 、 $\text{ALZr}_4$  等中间合金;

[0045] (2) 加入时序 :是在工业化(25 吨)大熔化炉中,按照常规方法将 6063 铝合金炉

料按次序加入并熔化,调整炉温,进行融体除气、除杂与净化处理后,加入中间合金;

[0046] (3) 加入温度设计:加入中间合金时温度控制在  $720^{\circ}\text{C} \sim 760^{\circ}\text{C}$  之间,保温时间为  $30 \sim 50\text{min}$ 。

[0047] (4) 电磁搅拌成分均匀化处理:将三种中间合金,按上述组分设计关系计算加入量。RE、Sr、Zr 元素烧损量分别按 20wt%、5wt%、5wt% 计算,一同从装料口投入。同时开启炉底电磁搅拌装置进行搅拌,搅拌时控制液面随电磁搅拌作用发生液流平稳定向流动,可从观察孔或加料口了望液面情况。搅拌与保温时间为  $30 \sim 50\text{min}$ 。保温时间到达后,从炉中取样,进行炉前快速成分分析,检测合金成分是否合格? 稀土复合改性添加剂是否在设计成分内,一切合格,准备浇注,如成分不合格需补加调整;

[0048] (5) 浇注温度控制在  $720^{\circ}\text{C} \sim 740^{\circ}\text{C}$ , 铸造温度控制在  $700 \sim 710^{\circ}\text{C}$ , 同水平半连续铸造直径为 110mm 的锭坯;

[0049] (6) 均匀化热处理与快速冷却处理。均匀化热处理工艺,  $520^{\circ}\text{C} - 530^{\circ}\text{C} \times 4-6\text{h}$ ; 均匀化处理后出炉快速冷却处理工艺,先采用强迫风冷、然后喷冷水淬火,降至室温;

[0050] (7) 挤压前锭坯快速加热、挤压加工与在线淬火技术。挤压前锭坯快速加热技术,采用电磁感应加热技术,加热温度为  $470^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ , 加热时间为  $50-55\text{min}$ ; 挤压工艺,挤压坯入口温度控制在  $460^{\circ}\text{C} \sim 490^{\circ}\text{C}$ , 出口温度控制约在  $510^{\circ}\text{C} \sim 530^{\circ}\text{C}$ , 挤压壁厚为 1.2mm 空心方形型材,采用 1100 吨卧式挤压机挤压,挤压速度控制在  $15\text{m}/\text{min}$ 。在线淬火工艺,采用风冷淬火,风速  $\geq 5\text{m}/\text{s}$ , 50s 后降温到  $200^{\circ}\text{C}$  以下;

[0051] (8) T5 态时效处理工艺为  $190 \sim 205^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$ , 天然气加热。

[0052] 实施例 1

[0053] 采用本发明的高强度、高韧性稀土铝合金材料及其制备方法,制造的高强度、高韧性稀土铝合金材料合金锭坯化学成分:

[0054] Mg :0.58wt%, Si :0.404wt%, Fe :0.16wt% ;

[0055] RE :0.071wt%, Sr :0.017wt% ;Zr :0.018wt%。

[0056] 锭坯 (锭坯直径 110mm) 组织达到晶粒度近 1 级;

[0057] 均匀化处理工艺为  $520^{\circ}\text{C} \times 6\text{h}$ ;

[0058] 挤压型材出口速度 (壁厚为 1.2mm) 为  $15\text{m}/\text{min}$ ;

[0059] T5 态型材力学性能,见表 1。

[0060] 表 1 6063 铝合金型材力学性能

[0061]

试样	抗拉强度 $R_m/\text{MPa}$	屈服强度 $R_{0.2p}/\text{MPa}$	断后伸长率 $A/\%$
1	260	220	14.0
2	255	205	17.5
3	260	215	18.0

[0062] 实施例 2

[0063] 采用本发明的高强度、高韧性稀土铝合金材料及其制备方法,制造的高强度、高韧

性稀土铝合金材料锭坯及型材具有如下特点：

[0064] 合金锭坯化学成分 :Mg :0.51wt%， Si :0.398wt%， Fe :0.32wt% ;RE :0.052wt%， Sr :0.023wt% ;Zr :0.044wt% ；

[0065] 锭坯（锭坯直径 110mm）组织达到晶粒度近 1 级；

[0066] 均匀化处理工艺为 520℃ ×6h ；

[0067] 挤压型材出口速度（壁厚为 1.2mm）为 15m/min ；

[0068] T5 态型材力学性能，见表 2。

[0069] 表 2 6063 铝合金型材力学性能

[0070]

试样	抗拉强度 R <sub>m</sub> /MPa	屈服强度 R <sub>0.2p</sub> /MPa	断后伸长率 A/%
1	255	220	18.5
2	250	225	16.5
3	260	220	15.0

[0071] 本发明中加入的稀土复合添加剂也可应用到铝-硅-镁系材料中，改善同类产品的性能。