



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103993208 A

(43) 申请公布日 2014. 08. 20

(21) 申请号 201410234860. 1

(22) 申请日 2014. 05. 29

(71) 申请人 合肥工业大学

地址 230009 安徽省合肥市包河区屯溪路
193 号

(72) 发明人 陈文琳 吴跃 高妍

(74) 专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有
限责任公司 34101

代理人 何梅生

(51) Int. Cl.

C22C 21/08 (2006. 01)

C22C 1/03 (2006. 01)

C22F 1/047 (2006. 01)

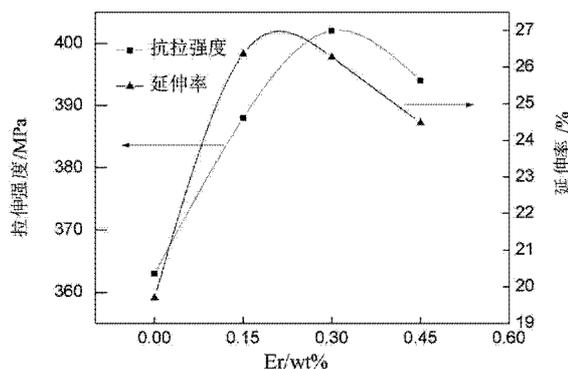
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料及其制备方法, 其特征在于: 在 Al-Mg-Si-Cu-Mn 合金材料中含有质量百分数为 0.15% -0.45% 的稀土 Er。本发明的关键在于向 Al-Mg-Si-Cu-Mn 合金中加入 0.15% -0.45% 稀土元素 Er, 合理设计其他合金元素含量, 以及采用合理熔炼工艺以及快速凝固技术, 并进行反复轧制和适宜的热处理, 制备出显微组织均匀细小的 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料; 且所获得的材料具有较高的塑性和强度, 其抗拉强度不小于 388MPa, 延伸率不小于 24%。



1. 一种 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料,其特征在于:在 Al-Mg-Si-Cu-Mn 合金材料中含有质量百分数为 0.15% -0.45% 的稀土 Er。

2. 根据权利要求 1 所述的 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料,其特征在于:所述 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料中各合金元素按质量百分数的配比为:

Mg 0.85%-0.94%;

Si 0.58%-0.63%;

Cu 0.65%-0.72%;

Mn 0.18%-0.21%;

Er 0.15%-0.45%;

余量为 Al。

3. 一种权利要求 1 或 2 所述的 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料的制备方法,其特征在于按如下步骤进行:

步骤 1:制备合金铸锭

1a、配料:按照 Al、Mg、Si、Cu、Mn 和 Er 的质量百分比,称取金属 Al、Al-Mg 中间合金、Al-Si 中间合金、Al-Cu 中间合金、Al-Mn 中间合金以及 Al-Er 中间合金,作为配料;

1b、熔化:首先将金属 Al、Al-Mn 中间合金、Al-Si 中间合金和 Al-Cu 中间合金作为原料组 A 加入到预热至 280°C 的坩埚中,加热到 730°C,恒温至原料组 A 软化下塌时,在原料组 A 表面撒上覆盖剂;继续恒温至原料组 A 完全熔化时,获得熔体 B;

1c、加入 Al-Mg 中间合金:降温至 690°C,向熔体 B 中加入 Al-Mg 中间合金,搅拌至 Al-Mg 中间合金完全熔化,获得熔体 C;

1d、加入 Al-Er 中间合金:升温至 750°C,加入 Al-Er 中间合金,撒上覆盖剂,恒温至 Al-Er 中间合金完全熔化,获得熔体 D;

1e、精炼:降温至 720°C,在熔体 D 中加入精炼剂 C_2Cl_6 ,将 C_2Cl_6 浸没于熔体 D 中至无黄色气体冒出,然后静置保温 20min;加入 C_2Cl_6 的质量为配料总质量的 0.5%;

1f、浇注:使用黄铜材质的铸造模具完成对熔体 D 的浇注,获得合金铸锭;

步骤 2:对所述合金铸锭依次进行均匀化处理、塑性变形获得 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金板材,然后再对所述 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金板材进行热处理,即得 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料。

4. 根据权利要求 3 所述的制备方法,其特征在于:

所述均匀化处理是将步骤 1 所得合金铸锭加热至 550°C 并保温 11h,然后空冷至室温。

5. 根据权利要求 3 所述的制备方法,其特征在于:

所述塑性变形是将均匀化处理后的合金铸锭在 465°C 条件下保温 30min,然后进行多道次热轧,每道次热轧后在 465°C 条件下保温 5min,再进行下一道次热轧,每道次热轧的加工率不超过 25%,热轧的总加工率在 60% -70%;

在热轧结束后,进行退火,退火条件为:在 415°C 条件下保温 2h,然后空冷至室温;

在退火结束后,再进行多道次冷轧,获得 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金板材,冷轧每道次加工率为 10% -20%,冷轧总加工率为 60% -70%。

6. 根据权利要求 3 所述的制备方法,其特征在于:所述热处理是将经塑性变形后所获得的 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金板材依次进行固溶处理和时效处理;

所述固溶处理是将 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金板材加热到 555℃,保温 45min,然后水淬至室温,获得固溶后合金板材,淬火转移时间不大于 25s;

所述时效处理是将固溶后合金板材升温至 175℃,保温 8h,然后空冷至室温,即得 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料。

7. 根据权利要求 3 所述的制备方法,其特征在于:设冷轧共 n 道次,当 n 为偶数时,则在完成 n/2 道次冷轧后进行一次退火,然后再继续下一道次冷轧;当 n 为奇数时,则在完成 (n+1)/2 道次冷轧后进行一次退火,然后再继续下一道次冷轧;

退火条件为:在 415℃下保温 2h,然后空冷至室温。

一种 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于有色金属技术领域,具体涉及一种 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料及其制备方法

背景技术

[0002] 铝合金密度低、强度高、易于加工,具有良好的耐蚀性,被广泛应用于航空航天、交通运输等领域,是轻金属中应用最广泛的合金,其使用量仅次于钢铁。在航空航天、海洋、运输等领域,采用铝合金代替钢铁,是降低能耗的一种有效方法。6xxx 系铝合金(Al-Mg-Si 合金)密度小、焊接性能和抗蚀性优良、冲击韧性高且易于加工成型,一直是材料科学工作者的研究热点。

[0003] 新世纪,随着科技的不断进步,为了进一步适应各领域对于材料更高强度、韧性、抗疲劳等方面综合性能的要求,需要铝合金具有更高的综合性能。然而,传统的 Al-Mg-Si 合金强度不高,且塑性也有待改善。现有研究表明,稀土微合金化是改善铝合金性能和开发新型铝合金最为重要的手段之一。稀土元素 Er 在 Al-Mg 和 Al-Zn-Mg 合金中能够形成 Al_3Er 相, Al_3Er 相与 Al 基体共格,其强化机制主要有细晶强化、沉淀强化及亚结构强化等。在 Al-Mg 合金和 Al-Zn-Mg 合金中,添加 Er 不但可以显著细化铸态组织、提高合金强度,还可以有效地抑制合金发生再结晶晶粒长大,提高合金的再结晶温度。与此同时,Er 价格比较便宜,在铝合金中添加稀土 Er 不会大幅度提高生产成本,因此非常适合在工业中推广使用。Al-Mg-Si 合金是一种典型的工业铝合金,对其进行研究以开发一系列含 Er 的新型稀土铝合金,并广泛应用于航空、航天、交通运输等诸多领域,具有重要的理论与实际意义。然而,有关 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金至今尚未见任何报道。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种新型的 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金,以期可以提高 Al-Mg-Si 合金的强度和塑性,更好地满足航空、航天、交通等领域对高性能铝合金的需求。

[0005] 本发明的目的通过以下技术方案来实现:

[0006] 本发明 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料,其特点在于:在 Al-Mg-Si-Cu-Mn 合金材料中含有质量分数为 0.15% -0.45% 的稀土 Er。

[0007] 本发明 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料,其特点也在于:各合金元素按质量百分数的配比为:

[0008]

Mg 0.85%-0.94%;

Si 0.58%-0.63%;

Cu 0.65%-0.72%;

Mn 0.18%-0.21%;

[0009]

Er 0.15%-0.45%;

余量为Al。

[0010] 微合金化是提高材料强度和塑性等综合性能的有效途径。其中,在Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er合金材料中,Mg和Si质量分数比为1.73:1时,可以使合金经固溶时效后基体中析出大量弥散的 Mg_2Si 强化相,在本发明中,Si有一部分过剩,可以中和杂质中Fe等的不良影响,同时细化 Mg_2Si 质点。合金中加入0.65%-0.72%的Cu,目的是改善合金在热加工时的塑性,增强热处理强化效果,提高延伸率。合金中加入0.18%-0.21%的Mn,目的是通过形成弥散相阻止合金在后续变形过程中的再结晶,从而提高再结晶温度,细化再结晶晶粒,提高Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er合金的成形性能和强度。同时,合金中加入0.15%-0.45%的Er,目的是显著细化铸态组织、提高合金强度,并有效地抑制合金发生再结晶晶粒长大,提高合金的再结晶温度。

[0011] 本发明Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er合金材料的制备方法,其特点在于按如下步骤进行操作:

[0012] 步骤1:制备合金铸锭

[0013] 1a、配料:按照Al、Mg、Si、Cu、Mn和Er的质量百分比,称取金属Al、Al-Mg中间合金、Al-Si中间合金、Al-Cu中间合金、Al-Mn中间合金以及Al-Er中间合金,作为配料;

[0014] 1b、熔化:首先将金属Al、Al-Mn中间合金、Al-Si中间合金和Al-Cu中间合金作为原料组A加入到预热至280°C的坩埚中(坩埚预热的目的是去除水分,防止开裂),加热到730°C,恒温至原料组A软化下塌时,在原料组A表面撒上覆盖剂(覆盖剂是为防止原料组A与空气接触发生氧化,同时也为了减少进入原料组A的氧化膜);继续恒温至原料组A完全熔化时,获得熔体B;

[0015] 在原料组A表面撒上覆盖剂的质量优选为配料总质量的0.5%。(0.5%为最优值,实验证明在0.5%-0.6%的区间内都可实现)

[0016] 1c、加入Al-Mg中间合金:降温至690°C(690°C为最优值,实验证明在680°C-700°C的区间内都可实现),向熔体B中加入Al-Mg中间合金,搅拌至Al-Mg中间合金完全熔化,获得熔体C;为防止Al-Mg中间合金的烧损,可以使用铝箔包裹并迅速将Al-Mg中间合金按入熔体B底部,再用覆盖剂对熔体B进行覆盖,减少镁的烧损;

[0017] 1d、加入Al-Er中间合金:升温至750°C,加入Al-Er中间合金(为减少稀土Er的烧损,将Al-Er合金用铝箔包好,并迅速将Al-Er中间合金按入熔体C底部),撒上覆盖剂,恒温至Al-Er中间合金完全熔化,获得熔体D;

[0018] 1e、精炼:降温至720°C,在熔体D中加入精炼剂 C_2Cl_6 ,将 C_2Cl_6 浸没于熔体D中至无黄色气体冒出,静置保温20min(使熔体D充分精炼,提高熔体D的纯净度); C_2Cl_6 的质量优选为配料总质量的0.5%(0.5%为最优值,实验证明在0.5%-0.6%的区间内都可实现);

[0019] 1f、浇注:使用黄铜材质的铸造模具完成对熔体D的浇注,获得合金铸锭;采用铜制铸造模具的降温速度快,在浇注时可以通入冷水以进一步提高冷却速度,浇注过程要快速平稳,快速凝固可以细化晶粒,从而提高合金强度和塑性等性能。

[0020] 步骤2:对所述合金铸锭依次进行均匀化处理、塑性变形获得Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er

合金板材,然后再对所述 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金板材进行热处理,即得 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料。

[0021] 所述均匀化处理是将步骤 1 所得合金铸锭加热至 550℃并保温 11h,然后空冷至室温。

[0022] 所述塑性变形是将均匀化处理后的合金铸锭在 465℃条件下保温 30min,然后进行多道次热轧,每道次热轧后在 465℃条件下保温 5min,再进行下一道次热轧,每道次热轧的加工率不超过 25%,热轧的总加工率在 60% -70%;在热轧结束后,进行退火,退火条件为:在 415℃下保温 2h,然后空冷至室温;在退火结束后,再进行多道次冷轧,获得 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金板材,冷轧每道次加工率为 10% -20%,冷轧总加工率为 60% -70%。多次轧制的目的是:实现大塑性变形,将夹杂物击碎,有效地消除合金铸锭内部气孔和缩松等缺陷,同时在微观上使晶粒大小分布更均匀,并减少合金铸锭因冷却速度不均匀产生的内应力。设冷轧共 n 道次,当 n 为偶数时,则在完成 n/2 道次冷轧后进行一次退火,然后再继续下一道次冷轧;当 n 为奇数时,则在完成 (n+1)/2 道次冷轧后进行一次退火,然后再继续下一道次冷轧;退火条件为:在 415℃条件下保温 2h,然后空冷至室温。在冷轧进行一半道次后,进行退火的目的是防止多道次冷轧累积应变过大,导致加工硬化现象严重,给后续冷轧加工带来困难。

[0023] 所述热处理是将经塑性变形后所获得的 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金板材依次进行固溶处理和时效处理;

[0024] 所述固溶处理是将 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金板材加热到 555℃,保温 45min,然后水淬至室温,获得固溶后合金板材,淬火转移时间不大于 25s;

[0025] 所述时效处理是将固溶后合金板材升温至 175℃,保温 8h,然后空冷至室温,即得 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料。

[0026] 优选的,在步骤 1b 完成后进行扒渣,然后再进行步骤 1c;

[0027] 在步骤 1c 完成后先进行扒渣,然后再进行步骤 1d;

[0028] 在步骤 1d 完成后先进行扒渣,然后再进行步骤 1e;

[0029] 在步骤 1e 完成后先进行扒渣,然后再进行步骤 1f。

[0030] 此外,在制备过程中,会不断有浮渣产生,可以多次进行扒渣,以减少熔体中杂质。

[0031] 与已有技术相比,本发明的有益效果体现在:

[0032] 1、本发明通过稀土 Er 元素微合金化,合理设计其它元素的含量,并采用合理熔炼工艺以及快速凝固技术,制备出显微组织均匀细小的 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料,且所得合金材料具有较高的强度和塑性;

[0033] 2、本发明通过合理的轧制工艺,实现大塑性变形,有效地消除铸锭内部气孔和缩松等缺陷,同时在微观上使晶粒大小分布更均匀,从而提高合金的综合性能;

[0034] 3、本发明合金制备过程和热处理方式简单,且生产成本不高,易实现工业化生产。

附图说明

[0035] 图 1 为本发明 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料轧制过程每道次加工率示意图;

[0036] 图 2 为本发明 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金材料轧制过程总加工率示意图;

[0037] 图 3 为各实施例所得合金铸锭的铸态金相组织,其中图 3(a)为

Al-Mg-Si-Cu-Mn-0Er 合金铸锭,图 3(b) 为 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.15Er 合金铸锭,图 3(c) 为 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.3Er 合金铸锭,图 3(d) 为 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.45Er 合金铸锭;

[0038] 图 4 为合金的拉伸性能随 Er 含量的变化曲线。

具体实施例

[0039] 下面结合实施例,对本发明进一步说明,下述实施例是说明性的,不是限定性的,不能以下述实施例来限定本发明的保护范围。

[0040] 实施例 1

[0041] 本实施例按如下步骤制备 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.15Er 合金材料:

[0042] 步骤 1:制备合金铸锭

[0043] 1a、配料:按照 97.45% Al、0.9% Mg、0.6% Si、0.7% Cu、0.2% Mn 和 0.15% Er 的质量百分比,称取 1142.5g 金属 Al(纯度为 99.99%)、23.2gAl-50.38% Mg 中间合金、71.4gAl-10.92% Si 中间合金、25gAl-10.4% Mn 中间合金、18.2gAl-50.02% Cu 中间合金及 19.7gAl-9.92% Er 中间合金进行配料,配料总质量为 1300g;

[0044] 1b、熔化:首先将金属 1142.5g Al、25g Al-Mn 中间合金、71.4g Al-Si 中间合金和 18.2g Al-Cu 中间合金作为原料组 A 加入到预热至 280℃的坩埚中,加热到 730℃,恒温至原料组 A 软化下塌时(本实施例为 5 分钟),在原料组 A 表面撒上 6.5g 覆盖剂;继续恒温至原料组 A 完全熔化时,然后进行扒渣,获得熔体 B;

[0045] 1c、加入 Al-Mg 中间合金:降温至 690℃,向熔体 B 中加入 23.2gAl-50.38% Mg 中间合金,搅拌至 23.2gAl-50.38% Mg 中间合金完全熔化,然后进行扒渣,获得熔体 C;

[0046] 1d、加入 Al-Er 中间合金:升温至 750℃,加入 19.7gAl-9.92% Er 中间合金(为减少稀土 Er 的烧损,将 Al-Er 中间合金用铝箔包好,并迅速将 Al-Er 中间合金按入熔体 C 底部),撒上 6.5 覆盖剂,恒温至 19.7gAl-9.92% Er 中间合金完全熔化,进行扒渣,获得熔体 D;

[0047] 1e、精炼:降温至 720℃,在熔体 D 中加入 6.5g C_2Cl_6 ,将 C_2Cl_6 浸没于熔体 D 中至无黄色气体冒出,然后静置保温 20min;然后进行扒渣;

[0048] 1f、浇注:使用黄铜材质的铸造模具完成对熔体 D 的浇注,获得 10mm 厚的 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.15Er 合金铸锭。

[0049] 步骤 2:对合金铸锭进行均匀化处理,均匀化处理条件为:均匀化温度 550℃,保温时间 11h,空冷至室温。

[0050] 步骤 3:塑性变形

[0051] 将均匀化处理后的合金铸锭去除氧化皮和铣面,控制最终厚度为 8mm,在 465℃条件下保温 30min,然后在二辊热轧机上先热轧至 3mm 再冷轧至 1mm,获得 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.15Er 合金板材;具体步骤为:将均匀化处理后的合金铸锭去除氧化皮和铣面,控制最终厚度为 8mm,在 465℃条件下保温 30min,然后在二辊热轧机上进行热轧,每道次热轧后先回炉加热(在 465℃条件下保温 5min),再进行下一道次热轧,如图 1 所示,热轧每道次加工率依次为 23.5%、19.9%、16.3%、14.6% 和 16.6%,共进行 5 道次热轧,热轧总加工率为 62.5%,热轧后合金铸锭厚度为 3mm;热轧后进行退火,退火的条件为:升温至 415℃,保温 2h,空冷至室温;退火后再冷轧,如图 1 所示,冷轧每道次加工

率依次为 10%、11.1%、12.5%、14.3%、16.7%、20% 和 16.7%，共进行 7 道次冷轧，冷轧总加工率为 66.7%，冷轧后合金铸锭厚度为 1mm；在冷轧进行 4 道次后进行一次退火，然后再进行第 5 道次冷轧，退火条件为：升温至 415℃，保温 2h，空冷至室温；冷轧后获得 Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金板材。图 2 为轧制过程总加工率示意图，由图可知经过 5 道次热轧和 7 道次冷轧后，轧制过程总加工率为 87.5%。

[0052] 步骤 4：对 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.15Er 合金板材进行热处理

[0053] 4a、固溶处理：将步骤 3 所获得的 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.15Er 合金板材加热到 555℃，保温 45min，然后水淬（即转移到水中进行冷却）至室温，淬火转移时间（即完成加热后从加热炉转移到水中的时间）不大于 25s；

[0054] 4b、时效处理：升温至 175℃，保温 8h，然后空冷至室温，即得 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.15Er 合金材料。

[0055] 为测试 Al-Mg-Si-Cu-0.15Er 合金材料的力学性能，对其进行室温拉伸试验，具体步骤为：在冷轧后，将 1mm 合金板材按照国标 GB6397-86 制成标准拉伸试样，然后再进行步骤 4，获得合金试样。在 SANS-100kN 微型控制电子万能试验机上测试所得合金试样的力学性能，拉伸速度为 1mm/min；重复测定 3 个合金试样并取平均值，所得力学性能指标为：抗拉强度为 388MPa，屈服强度为 357MPa，延伸率为 26.36%，详见表 1。

[0056] 实施例 2

[0057] 本实施例按与实施例 1 相同的步骤制备 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.3Er 合金材料，区别在于步骤 1a 中按照 97.3% Al、0.9% Mg、0.6% Si、0.7% Cu、0.2% Mn 和 0.3% Er 的质量百分比，称取 1122.8g 金属 Al（纯度为 99.99%）、23.2g Al-50.38% Mg 中间合金、71.4g Al-10.92% Si 中间合金、25g Al-10.4% Mn 中间合金、18.2g Al-50.02% Cu 中间合金及 39.4g Al-9.92% Er 中间合金进行配料，配料总质量为 1300g；

[0058] 按实施例 1 相同的方法对 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.3Er 合金材料进行室温拉伸试验，所得力学性能指标：抗拉强度为 402MPa，屈服强度为 378MPa，延伸率为 26.27%，详见表 1。

[0059] 实施例 3

[0060] 本实施例按与实施例 1 相同的步骤制备 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.45Er 合金材料，区别在于步骤 1a 中按照 97.15% Al、0.9% Mg、0.6% Si、0.7% Cu、0.2% Mn 和 0.45% Er 的质量百分比，称取 1103.1g 金属 Al（纯度为 99.99%）、23.2g Al-50.38% Mg 中间合金、71.4g Al-10.92% Si 中间合金、25g Al-10.4% Mn 中间合金、18.2g Al-50.02% Cu 中间合金及 59.1g Al-9.92% Er 中间合金进行配料，配料总质量为 1300g；

[0061] 按实施例 1 相同的方法对 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.45Er 合金材料进行室温拉伸试验，所得力学性能指标：抗拉强度为 394MPa，屈服强度为 369MPa，延伸率为 24.48%，详见表 1。

[0062] 对比例

[0063] 为对比稀土 Er 对 Al-Mg-Si-Cu-Mn 合金性能的影响，按与实施例 1 相同的方式制备 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0Er 合金材料，区别仅在于按照 97.6% Al、0.9% Mg、0.6% Si、0.7% Cu 和 0.2% Mn 的质量百分比，称取 1162.2g 金属 Al（纯度为 99.99%）、23.2g Al-50.38% Mg 中间合金、71.4g Al-10.92% Si 中间合金、25g Al-10.4% Mn 中间合金及 18.2g Al-50.02% Cu 中间合金，配料总质量为 1300g，且不进行步骤 1d 的加入 Al-Er 中间合金。按实施例 1 相同的方法对 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0Er 合金材料进行室温拉伸试验，所得力学性能指标为：抗

拉强度为 363MPa, 屈服强度为 318MPa, 延伸率为 19.7%, 详见表 1。

[0064] 在各实施例中合金铸锭制备后(即步骤 1 完成后), 为了确定合金铸锭的合金成分是否满足要求, 采用 LEEMAN SPEC-E 型电感耦合等离子体原子发射光谱仪对所有合金铸锭进行成分检测, 测试结果见表 1, 说明本发明采用的熔炼工艺可以制备出成分满足设计要求的 Al-Mg-Si-Cu-Er 合金铸锭。

[0065] 取合金铸锭试样(即步骤 1 完成后的试样), 在 MR5000 型金相显微镜下观察金相组织。图 3(a)、3(b)、3(c) 和 3(d) 分别为 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0Er 合金、Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.15Er 合金、Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.3Er 合金和 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.45Er 合金的铸态金相组织。由图可见, 在 Al-Mg-Si-Cu-Mn 合金中添加稀土 Er 可以显著细化铸态组织, 且添加 0.3% Er 时, Al-Mg-Si-Cu-Mn 合金铸态组织细化最为明显。

[0066] 对比不同 Er 含量的合金材料的力学性能指标, 测试结果如图 4 所示。由图 4 可知, 添加稀土 Er 可以较大幅度提高 Al-Mg-Si-Cu-Mn 合金抗拉强度、屈服强度和塑性(Al-Mg-Si-Cu-Mn 合金抗拉强度为 363MPa, 屈服强度为 318MPa, 延伸率为 19.7%)。在 Er 含量为 0.15% - 0.45% 时, Al-Mg-Si-Cu-Mn-Er 合金的强度和塑性均高于 Al-Mg-Si-Cu-Mn 合金, 当 Er 含量为 0.3% 时, 强度达到最大值, 且塑性也接近最大值, 即 Al-Mg-Si-Cu-Mn-0.3Er 合金的抗拉强度为 402MPa, 屈服强度为 378MPa, 延伸率为 26.27%。这里稀土 Er 对 Al-Mg-Si-Cu-Mn 合金的强化作用主要来自 Er 对铸态组织的细化, 以及由于 Er 的添加抑制合金发生再结晶晶粒长大, 形成丰富亚结构组织, 从而实现亚结构强化。

[0067] 表 1 合金的化学成分与力学性能指标

[0068]

试样 编号	合金成分(质量百分数, %)						力学性能指标		
	Mg	Si	Cu	Mn	Er	Al	抗拉强度(MPa) (工程应力)	屈服强度(MPa) (工程应力)	延伸率 (%)
对比例	0.89	0.60	0.69	0.18	0	余量	363	318	19.7
实施例1	0.86	0.58	0.66	0.19	0.15	余量	388	357	26.36
实施例2	0.93	0.61	0.70	0.21	0.30	余量	402	378	26.27
实施例3	0.90	0.62	0.71	0.20	0.45	余量	394	369	24.48

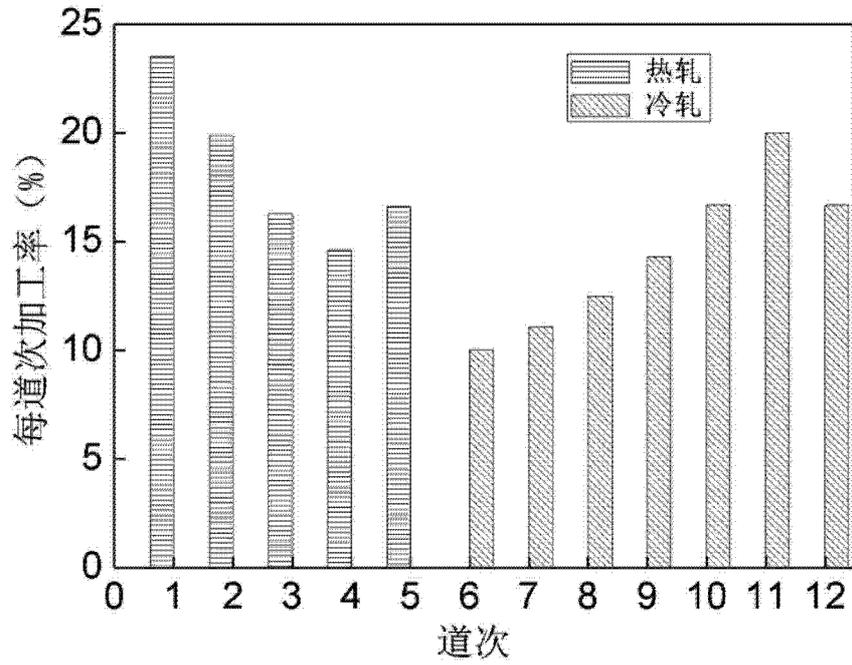


图 1

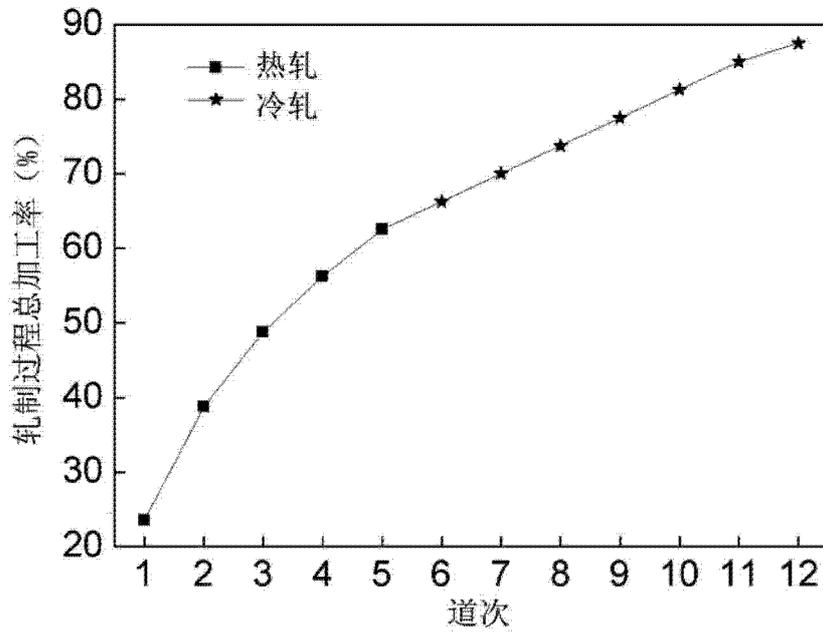


图 2

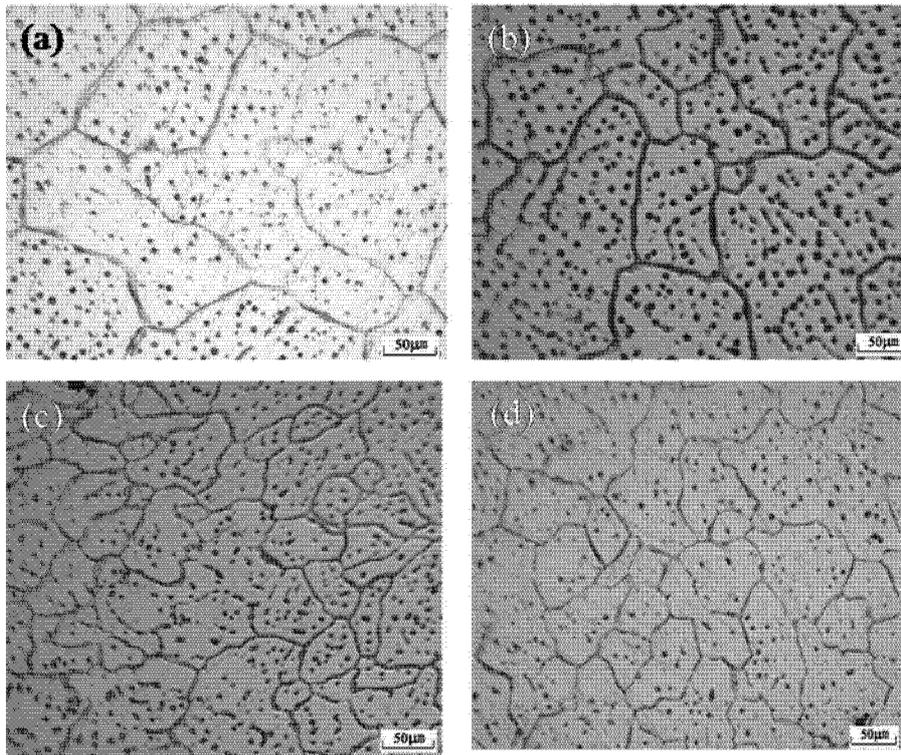


图 3

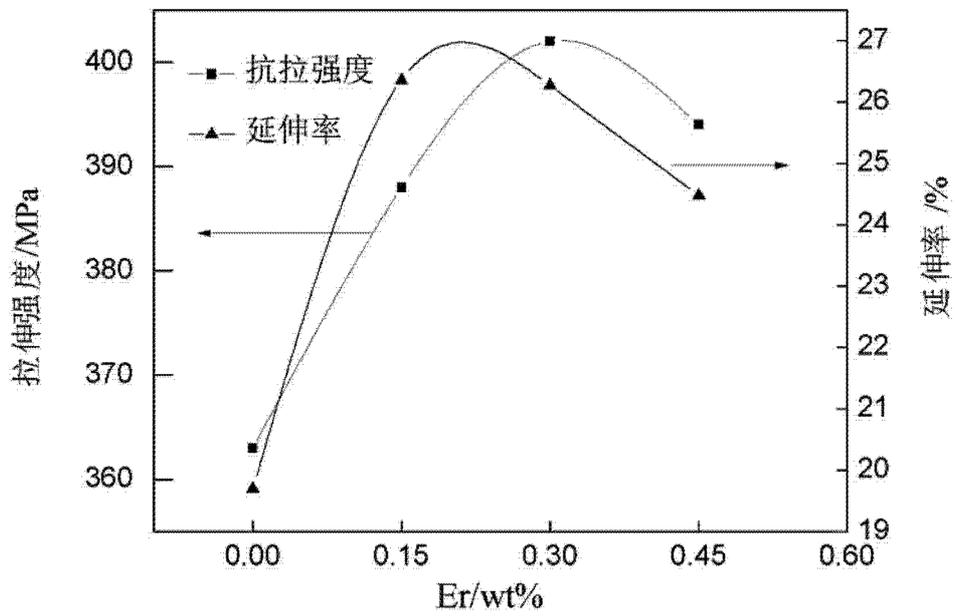


图 4