



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104451272 A

(43) 申请公布日 2015. 03. 25

(21) 申请号 201410674805. 4

G22F 1/057(2006. 01)

(22) 申请日 2014. 11. 21

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 陈安涛 张亮 吴国华 李艳磊

莫文飞 魏广玲

(74) 专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限

公司 31236

代理人 郭国中 陈少凌

(51) Int. Cl.

G22C 21/00(2006. 01)

G22C 21/18(2006. 01)

G22C 1/03(2006. 01)

G22C 1/06(2006. 01)

G22F 1/04(2006. 01)

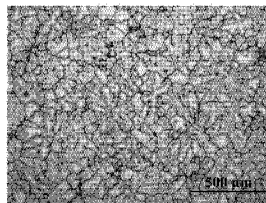
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

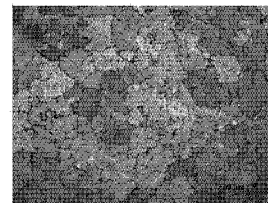
轻质高强铸造铝锂合金及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种轻质高强铸造铝锂合金及其制备方法,所述合金由特定重量百分比含量的Li、Cu、Mg、Zn、Zr、Ti、Mn、Ce、杂质元素以及余量的Al组成。制备时,以Al-Li、Al-Cu、Al-Zr、Al-Ti-B、Al-Mn、Al-Ce中间合金、纯铝、纯Zn和纯Mg熔炼后得到铝合金,再经400~450℃/8~10h+510~540℃/20~28h双级固溶热处理,淬水处理后,进行120~190℃×30~48h单级时效处理,得到所述轻质高强铸造铝锂合金。本发明制得的铝合金具有比传统商业铝合金优越的室温强度、硬度、刚度,断裂韧性等机械性能,同时成本低廉。



(a)



(b)

1. 一种轻质高强铸造铝锂合金,其特征在于,所述合金由如下重量百分比含量的各组分组成:Li 2~3%、Cu 1.5~2.5%、Mg 0.4~1.2%、Zn 0.2~0.8%、Zr 0.08~0.25%、Ti 0.06~0.16%、Mn 0.1~0.8%、Ce 0.08~0.25%,杂质元素总含量小于0.25%,以及余量的Al。

2. 根据权利要求1所述的轻质高强铸造铝锂合金,其特征在于,所述杂质元素包括Si、Fe、Na和K。

3. 一种根据权利要求1所述的轻质高强铸造铝锂合金的制备方法,其特征在于,所述制备方法包括如下步骤:

A、按所述轻质高强铸造铝锂合金的组成以及各组成的化学计量比,准备原料:Al-Li中间合金、Al-Cu中间合金、Al-Zr中间合金、Al-Ti-B中间合金、Al-Mn中间合金、Al-Ce中间合金、纯锌、纯镁和纯铝;将所述原料预热到180℃~200℃;

B、将所述纯铝融化,在750~760℃加入Al-Cu中间合金,待铝液温度回升到750~760℃后,加入Al-Mn中间合金,当铝液温度到达740~750℃后,加入纯Zn,温度回升到760~770℃时在铝液表面撒入熔剂并在氩气保护下直接加入Al-Li中间合金,铝液温度回升到750~760℃后再加入中间合金Al-Ce、Al-Ti-B及纯Mg,最后当温度到达760~770℃后加入Al-Zr中间合金,待Al-Zr中间合金熔化后除去表面浮渣并撒熔剂,搅拌;

C、将铝液温度降低至730~740℃后,精炼;精炼后降温至710℃静置,浇铸得到铝锂合金;

D、对所述铝锂合金进行双级固溶处理、单级时效处理,即得所述轻质高强铸造铝锂合金。

4. 根据权利要求3所述的轻质高强铸造铝锂合金的制备方法,其特征在于,所述Al-Li中间合金中Li含量为9.8~11wt%,Al-Cu中间合金中Cu含量为49~50wt%,Al-Zr中间合金中Zr含量为4~5wt%,Al-Ti-B中间合金中Ti含量为4.8~5.2wt%,Al-Mn中间合金中Mn含量为8.9~10.6wt%,Al-Ce中间合金中Ce含量为28~30wt%,纯锌中杂质含量≤0.4wt%。

5. 根据权利要求3所述的轻质高强铸造铝锂合金的制备方法,其特征在于,步骤A中,所述中间合金Al-Li待要加入铝熔体前30min预热到180℃~200℃。

6. 根据权利要求3所述的轻质高强铸造铝锂合金的制备方法,其特征在于,步骤B中,所述熔剂为重量比为1:3的LiF与LiCl的混合熔剂。

7. 根据权利要求3所述的轻质高强铸造铝锂合金的制备方法,其特征在于,步骤C中,所述精炼具体为:不断用电 C_2Cl_6 或氩气精炼5~8分钟。

8. 根据权利要求3所述的轻质高强铸造铝锂合金的制备方法,其特征在于,步骤C中,所述静置时间为3~5分钟;所述浇铸用钢制模具预先加热至180~200℃。

9. 根据权利要求3所述的轻质高强铸造铝锂合金的制备方法,其特征在于,步骤D中,所述双级固溶处理具体为:400~450℃下处理8~10h,再在510~540℃下处理20~28h。

10. 根据权利要求3所述的轻质高强铸造铝锂合金的制备方法,其特征在于,步骤D中,所述单级时效处理的处理温度为120~190℃,处理时间为30~48小时。

轻质高强铸造铝锂合金及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于金属材料类及冶金领域；具体涉及一种轻质高强铸造铝锂合金及其制备方法。

背景技术

[0002] 在铝合金中加入锂,可在降低合金密度的同时提高合金的弹性模量。研究表明,在铝合金中每添加 1wt% Li,可使合金密度降低 3%,而弹性模量提高 6%,而且合金在固溶和时效后硬化效果良好。因此,铝锂合金作为一种低密度,高弹性模量,高比强度和高比刚度的铝合金,在航空航天领域显示出了广阔的应用前景。在诸多类型铝锂合金中,变形铝锂合金因强度高,塑性好等优点被广泛用于航空航天等领域,然而,变形铝锂合金存在以下问题:生产环节繁多,各向异性问题严重,合金中 Li 含量较低,取代其他铝合金时不能起到非常明显的减重效果等问题,而且变形合金的应用受到零件形状的限制,某些零件只能采用铸造成型的方式生产,因此有必要开发出铸造性能和机械性能优良,成本较低的铸造铝锂合金。

[0003] 铝锂合金铸件及铸造合金的研究是近年来铝锂合金研究领域内出现的新动向。现有的研究表明,铝锂合金除具有优良的高比特性外,还有较好的铸造性能,尤其是该合金对型腔细小结构的复制能力一般要好于传统铝合金,这对于航空用薄壁件的成形非常有利,然而,由于锂高的化学活性,铝锂合金较传统铝合金吸气严重,铸造铝锂合金强度和延伸率低等缺点。目前关于铸造铝锂合金的相关研究极少。俄罗斯科学工作者 (Effect of alloying elements on the structure and properties of Al-Li-Cu cast alloys, Russian Metallurgy, 2009, 4, 338-344) 研究了合金元素对铸造铝锂合金性能的影响,并开发出了一种在 Al-Li-Cu 三元合金中添加不同微量元素而获得性能较好的铸造铝锂合金,但其铸造性能较差,铸件热裂倾向严重,而且添加的一些合金元素具有放射性;山东大学韩建德等人 (铸造 Al-Li-Cu 合金的组织与性能,铸造技术, 2002, 23(4), 245-247) 通过改变 Li 和 Cu 的含量,研究了 Al-Li-Cu 三元铸造合金的组织 and 性能的变化,在时效态其合金的力学性能达到 350Mpa,但延伸率仅为 0.4%,这严重制约着铝锂合金的实际应用。本课题组在综合前人成果的基础上,通过添加合金元素和优化合金的成分、熔炼及热处理工艺,不但使合金具有良好的铸造性能,而且能获得优良的力学性能,特别是延伸率得到了很大的提高,这对推动铸造铝锂合金在航空航天等方面的应用具有显著的实际意义。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于针对上述现有技术存在的不足,提供一种轻质高强铸造铝锂合金及其制备方法,本发明通过添加不同合金元素 (Li, Cu, Mg, Zn, Zr, Ti, Mn, Ce) 及改变熔炼和热处理的工艺条件,获得力学性能优良的铸造铝锂合金,制得的此类铝合金具有比传统商业铝合金优越的室温强度、硬度、刚度,断裂韧性等机械性能,同时成本低廉。

[0005] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:

[0006] 第一方面,本发明涉及一种轻质高强铸造铝锂合金,所述合金由如下重量百分比含量的各组分组成:Li 2~3%、Cu 1.5~2.5%、Mg 0.4~1.2%、Zn 0.2~0.8%、Zr 0.08~0.25%、Ti 0.06~0.16%、Mn 0.1~0.8%、Ce 0.08~0.25%,杂质元素小于0.25%,以及余量的Al。本发明的实施例中优选:Li 2.0~2.72%、Cu 1.83~2.19%、Mg 0.46~0.71%、Zn 0.32~0.51%、Zr 0.08~0.12%、Ti 0.09~0.12%、Mn 0.1~0.5%、Ce 0.12~0.24%。

[0007] 作为优选方案,所述杂质元素包括Si、Fe、Na和K。

[0008] 第二方面,本发明还涉及一种本发明的轻质高强铸造铝锂合金的制备方法,所述制备方法包括如下步骤:

[0009] A、按所述轻质高强铸造铝锂合金的组成以及各组成的化学计量比,准备原料:Al-Li中间合金、Al-Cu中间合金、Al-Zr中间合金、Al-Ti-B中间合金、Al-Mn中间合金、Al-Ce中间合金、纯锌、纯镁和纯铝;将所述原料预热到180℃~200℃;

[0010] B、将所述纯铝融化,在750~760℃加入Al-Cu中间合金,待铝液温度回升到750~760℃后,加入Al-Mn中间合金,当铝液温度到达740~750℃后,加入纯Zn,温度回升到760~770℃时于铝液表面撒入熔剂并在氩气保护下直接加入Al-Li中间合金,铝液温度回升到750~760℃后再加入中间合金Al-Ce、Al-Ti-B及纯Mg,最后当温度到达760~770℃后加入Al-Zr中间合金,待Al-Zr中间合金熔化后除去表面浮渣并撒熔剂,搅拌;

[0011] C、将铝液温度降低至730~740℃后,精炼;精炼后降温至710℃静置,浇铸得到铝锂合金;

[0012] D、对所述铝锂合金进行双级固溶处理、单级时效处理,即得所述轻质高强铸造铝锂合金。

[0013] 作为优选方案,所述Al-Li中间合金中Li含量为9.8~11wt%,Al-Cu中间合金中Cu含量为49~50wt%,Al-Zr中间合金中Zr含量为4~5wt%,Al-Ti-B中间合金中Ti含量为4.8~5.2wt%,Al-Mn中间合金中Mn含量为8.9~10.6wt%,Al-Ce中间合金中Ce含量为28~30wt%,纯锌中杂质含量 \leq 0.4wt%。

[0014] 作为优选方案,步骤A中,所述中间合金Al-Li待要加入铝熔体前30min预热到180℃~200℃。

[0015] 作为优选方案,步骤B中,所述熔剂为重量比为1:3的LiF与LiCl的混合熔剂。

[0016] 作为优选方案,步骤C中,所述精炼具体为:不断用电 C_2Cl_6 或氩气精炼5~8分钟。

[0017] 作为优选方案,步骤C中,所述静置时间为3~5分钟;所述浇铸用钢制模具预先加热至180~200℃。

[0018] 作为优选方案,步骤D中,所述双级固溶处理具体为:400~450℃下处理8~10h,再在510~540℃下处理20~28h。

[0019] 作为优选方案,步骤D中,淬水处理进行所述单级时效处理;所述单级时效处理的处理温度为120~190℃,处理时间为30~48小时。

[0020] 本发明的铸造铝锂合金的制备方法包括熔炼浇注和热处理两个工序;其中

[0021] (1)Li的密度低,同时其在Al中具有高的的固溶度(610℃时为4.2%),采用Li为合金元素的主要目的是降低铝合金的密度和时效时析出强化相强化铝合金。本专利中设计

的成分为 Li2 ~ 3wt%，目的在于提高 Li 的时效强化效果；同时根据相关文献的研究结果，Li 含量过高会导致晶界偏析，严重降低合金的铸造性能和机械性能，因此 Li 的加入量不高于 3.5wt%。

[0022] (2) Cu 为合金主要时效强化相 T_1 (Al_2CuLi)、S (Al_2CuMg) 和 θ (Al_2Cu) 的组成元素，时效析出提高合金的力学性能。

[0023] (3) Mg 的加入主要起固溶强化和降低密度的作用，同时降低主要溶质元素 Li, Cu 等在 Al 中的溶解度，增加合金时效析出强化相的数量，提高合金的强度。

[0024] (4) 合金中还加入少量的 Zn, Zn 的加入主要是与 Mg 共同作用影响合金时效行为，促进 T_1 相的析出。

[0025] 与现有技术相比，本发明具有如下有益效果：

[0026] (1) 加入微量元素 Zr, Ti, Mn, 主要作用是细化晶粒，改善合金的塑性，Zr 还可以在时效阶段与 Al_3Li 形成 $Al_3(Zr_x, Li_{1-x})$ 复合粒子，提高合金的力学性能。Ce 的加入能提高合金的铸造性能，降低铸件热裂倾向。

[0027] (2) 优化了合金的组分，通过对 Li, Cu, Mg, Zn, Zr, Ti, Mn, Ce 等合金元素各种不同组分配比的研究，得出该系合金优化的合金组分配比，合金在该组分配比下具有比往合金更加优越的铸造性能和室温性能。

[0028] (3) 熔炼采用熔剂和氩气的双重保护，浇铸采用氩气保护浇铸，有效的减少了合金的吸氢和氧化，提高合金的铸造性能和力学性能。

[0029] (4) 含 Zr 铝合金加入 Ti 细化晶粒时，合金会出现细化“中毒”现象，导致细化效果减弱甚至消失，本发明的熔炼工艺条件能很大程度的降低“中毒”现象。

[0030] (5) 对合金在不同温度下的固溶和时效行为进行了全面的研究，得到了优化的固溶处理和时效处理工艺；合金在该处理工艺下可充分发挥其固溶强化和时效强化效果。

附图说明

[0031] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述，本发明的其他特征、目的和优点将会变得更明显：

[0032] 图 1 为轻质高强铸造铝锂合金的微观金相组织照片，放大倍数为 100；其中，图 1(a) 为铸态合金组织，图 1(b) 为合金固溶时效后的组织。

具体实施方式

[0033] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下是实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明，但不以任何形式限制本发明。应当指出的是，对本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0034] 实施例 1

[0035] 本实施例涉及一种轻质高强铸造铝锂合金及其制备方法。所述制备方法具体为：

[0036] (1) 准备含 9.8 ~ 11wt% Li 的 Al-Li 中间合金，含 49 ~ 50wt% Cu 的 Al-Cu 中间合金，含 4 ~ 5wt% Zr 的 Al-Zr 中间合金，含 4.8 ~ 5.2wt% Ti 的 Al-Ti-B 中间合金，含 8.9 ~ 10.6wt% Mn 的 Al-Mn 中间合金，含 28 ~ 30wt% Ce 的 Al-Ce 中间合金，杂质含量

≤ 0.4wt%的纯锌,余量为纯镁和纯铝;

[0037] (2) 将纯铝、纯镁、纯锌、中间合金 Al-Cu, Al-Zr, Al-Ti, Al-Mn, Al-Ce 预热到 180℃,中间合金 Al-Li 待要加入铝熔体前 30min 预热,然后将纯铝放入石墨坩埚中熔化;

[0038] (3) 铝锭熔化后,在 750℃加入 Al-Cu 中间合金,待铝液温度回升到 750℃后,将 Al-Mn 中间合金直接加入到铝液中,当铝液温度到达 740℃后,加入纯 Zn,温度回升到 760℃时于铝液表面撒入熔剂 (LiF : LiCl = 1 : 3) 并在氩气保护下直接加入 Al-Li 中间合金,铝液温度回升到 750℃后再加入中间合金 Al-Ce、Al-Ti-B 及纯 Mg,最后当温度到达 760℃后加入 Al-Zr 中间合金,待 Al-Zr 中间合金熔化后除去表面浮渣并撒熔剂,搅拌 5 分钟;

[0039] (4) 搅拌后将铝液温度降低至 730℃后,不断用电用 C₂Cl₆ 精炼 8 分钟,精炼后降温至 710℃静置 5 分钟;

[0040] (5) 静置后撇去铝液表面浮渣和熔剂进行浇铸,得到铸造铝锂合金,浇铸用钢制模具预先加热至 180℃;

[0041] (6) 对得到的合金进行 430℃ /9h+525℃ /28h 双级固溶处理,冷水淬火;

[0042] (7) 对固溶处理后合金进行 160℃ ×36 小时的单级时效处理,最后得到力学性能优良的铸造铝锂合金。

[0043] 经化学分析合金成分为 (wt%) :

[0044]

Li	Cu	Mg	Zn	Zr	Mn	Ce	Ti	Al
2.31	1.86	0.67	0.44	0.09	0.1	0.12	0.09	余量

[0045] 铸造铝锂合金 T6 态的室温力学性能为 :

[0046] 抗拉强度 $\sigma_b = 402\text{Mpa}$, 屈服强度 $\sigma_{0.2} = 314\text{MPa}$, 延伸率 $\delta = 2.8\%$

[0047] 图 1 为本实施例制得的轻质高强铸造铝锂合金的微观金相组织照片,放大倍数为 100;由图 1(a) 可知,铸态合金晶界存在较多非平衡共晶相,呈黑色网状分布,这些相的存在严重影响合金的强度和塑性。从图 1(b) 可以看出合金固溶时效后晶界黑色相大幅度减少,晶界变得清晰的同时晶粒有所长大。

[0048] 实施例 2

[0049] 本实施例涉及一种轻质高强铸造铝锂合金及其制备方法。所述制备方法具体为 :

[0050] (1) 准备含 9.8 ~ 11wt% Li 的 Al-Li 中间合金,含 49 ~ 50wt% Cu 的 Al-Cu 中间合金,含 4 ~ 5wt% Zr 的 Al-Zr 中间合金,含 4.8 ~ 5.2wt% Ti 的 Al-Ti-B 中间合金,含 8.9 ~ 10.6wt% Mn 的 Al-Mn 中间合金,含 28 ~ 30wt% Ce 的 Al-Ce 中间合金,杂质含量 ≤ 0.4wt%的纯锌,余量为纯镁和纯铝;

[0051] (2) 将纯铝、纯镁、纯锌、中间合金 Al-Cu, Al-Zr, Al-Ti, Al-Mn, Al-Ce 预热到 200℃,中间合金 Al-Li 待要加入铝熔体前 30min 预热,然后将纯铝放入石墨坩埚中熔化;

[0052] (3) 铝锭熔化后,在 760℃加入 Al-Cu 中间合金,待铝液温度回升到 760℃后,将 Al-Mn 中间合金直接加入到铝液中,当铝液温度到达 750℃后,加入纯 Zn,温度回升到 770℃时于铝液表面撒入熔剂 (LiF : LiCl = 1 : 3) 并在氩气保护下直接加入 Al-Li 中间合金,铝液温度回升到 760℃后再加入中间合金 Al-Ce、Al-Ti-B 及纯 Mg,最后当温度到达 770℃后加入 Al-Zr 中间合金,待 Al-Zr 中间合金熔化后除去表面浮渣并撒熔剂,搅拌 3 分钟;

[0053] (4) 搅拌后将铝液温度降低至 740℃ 后, 不断用电 C_2Cl_6 精炼 5 分钟, 精炼后降温至 710℃ 静置 3 分钟;

[0054] (5) 静置后撇去铝液表面浮渣和熔剂进行浇铸, 得到铸造铝锂合金, 浇铸用钢制模具预先加热至 200℃;

[0055] (6) 对得到的合金进行 450℃ /9h+515℃ /26h 双级固溶处理, 温水淬火;

[0056] (7) 对固溶处理后合金进行 150℃ ×45 小时的单级时效处理, 最后得到力学性能优良的铸造铝锂合金。

[0057] 经化学分析合金成分为 (wt%):

[0058]

Li	Cu	Mg	Zn	Zr	Mn	Ce	Ti	Al
2.0	2.19	0.50	0.32	0.12	0.5	0.2	0.11	余量

[0059] 铸造铝锂合金 T6 态的室温力学性能为:

[0060] 抗拉强度 $\sigma_b = 397\text{Mpa}$, 屈服强度 $\sigma_{0.2} = 289\text{MPa}$, 延伸率 $\delta = 3.6\%$

[0061] 实施例 3

[0062] 本实施例涉及一种轻质高强铸造铝锂合金及其制备方法。所述制备方法具体为:

[0063] (1) 准备含 9.8 ~ 11wt% Li 的 Al-Li 中间合金, 含 49 ~ 50wt% Cu 的 Al-Cu 中间合金, 含 4 ~ 5wt% Zr 的 Al-Zr 中间合金, 含 4.8 ~ 5.2wt% Ti 的 Al-Ti-B 中间合金, 含 8.9 ~ 10.6wt% Mn 的 Al-Mn 中间合金, 含 28 ~ 30wt% Ce 的 Al-Ce 中间合金, 杂质含量 $\leq 0.4\text{wt}\%$ 的纯锌, 余量为纯镁和纯铝;

[0064] (2) 将纯铝、纯镁、纯锌、中间合金 Al-Cu, Al-Zr, Al-Ti, Al-Mn, Al-Ce 预热到 190℃, 中间合金 Al-Li 待要加入铝熔体前 30min 预热, 然后将纯铝放入石墨坩埚中熔化;

[0065] (3) 铝锭熔化后, 在 755℃ 加入 Al-Cu 中间合金, 待铝液温度回升到 755℃ 后, 将 Al-Mn 中间合金直接加入到铝液中, 当铝液温度到达 745℃ 后, 加入纯 Zn, 温度回升到 765℃ 时于铝液表面撒入熔剂 ($LiF : LiCl = 1 : 3$) 并在氩气保护下直接加入 Al-Li 中间合金, 铝液温度回升到 755℃ 后再加入中间合金 Al-Ce、Al-Ti-B 及纯 Mg, 最后当温度到达 765℃ 后加入 Al-Zr 中间合金, 待 Al-Zr 中间合金熔化后除去表面浮渣并撒熔剂, 搅拌 4 分钟;

[0066] (4) 搅拌后将铝液温度降低至 735℃ 后, 不断用电 C_2Cl_6 精炼 7 分钟, 精炼后降温至 710℃ 静置 4 分钟;

[0067] (5) 静置后撇去铝液表面浮渣和熔剂进行浇铸, 得到铸造铝锂合金, 浇铸用钢制模具预先加热至 190℃;

[0068] (6) 对得到的合金进行 440℃ /9h+525℃ /22h 双级固溶处理, 温水淬火;

[0069] (7) 对固溶处理后合金进行 135℃ ×48 小时的单级时效处理, 最后得到力学性能优良的铸造铝锂合金。

[0070] 经化学分析合金成分为 (wt%):

[0071]

Li	Cu	Mg	Zn	Zr	Mn	Ce	Ti	Al
2.04	1.83	0.71	0.51	0.11	0.12	0.24	0.09	余量

[0072] 铸造铝锂合金 T6 态的室温力学性能为：

[0073] 抗拉强度 $\sigma_b = 382\text{MPa}$ ，屈服强度 $\sigma_{0.2} = 275\text{MPa}$ ，延伸率 $\delta = 4.3\%$

[0074] 实施例 4

[0075] 本实施例涉及一种轻质高强铸造铝锂合金及其制备方法。所述制备方法具体为：

[0076] (1) 准备含 9.8 ~ 11wt% Li 的 Al-Li 中间合金，含 49 ~ 50wt% Cu 的 Al-Cu 中间合金，含 4 ~ 5wt% Zr 的 Al-Zr 中间合金，含 4.8 ~ 5.2wt% Ti 的 Al-Ti-B 中间合金，含 8.9 ~ 10.6wt% Mn 的 Al-Mn 中间合金，含 28 ~ 30wt% Ce 的 Al-Ce 中间合金，杂质含量 $\leq 0.4\text{wt}\%$ 的纯锌，余量为纯镁和纯铝；

[0077] (2) 将纯铝、纯镁、纯锌、中间合金 Al-Cu，Al-Zr，Al-Ti，Al-Mn，Al-Ce 预热到 200℃，中间合金 Al-Li 待要加入铝熔体前 30min 预热，然后将纯铝放入石墨坩埚中熔化；

[0078] (3) 铝锭熔化后，在 760℃ 加入 Al-Cu 中间合金，待铝液温度回升到 760℃ 后，将 Al-Mn 中间合金直接加入到铝液中，当铝液温度到达 750℃ 后，加入纯 Zn，温度回升到 770℃ 时在铝液表面撒入熔剂 (LiF : LiCl = 1 : 3) 并在氩气保护下直接加入 Al-Li 中间合金，铝液温度回升到 760℃ 后再加入中间合金 Al-Ce、Al-Ti-B 及纯 Mg，最后当温度到达 770℃ 后加入 Al-Zr 中间合金，待 Al-Zr 中间合金熔化后除去表面浮渣并撒熔剂，搅拌 3 分钟；

[0079] (4) 搅拌后将铝液温度降低至 740℃ 后，不断用电 C_2Cl_6 精炼 5 分钟，精炼后降温至 710℃ 静置 3 分钟；

[0080] (5) 静置后撇去铝液表面浮渣和熔剂进行浇铸，得到铸造铝锂合金，浇铸用钢制模具预先加热至 200℃；

[0081] (6) 对得到的合金进行 450℃ /9h+515℃ /26h 双级固溶处理，温水淬火；

[0082] (7) 对固溶处理后合金进行 175℃ ×18 小时的单级时效处理，最后得到力学性能优良的铸造铝锂合金。

[0083] 经化学分析合金成分为 (wt%)：

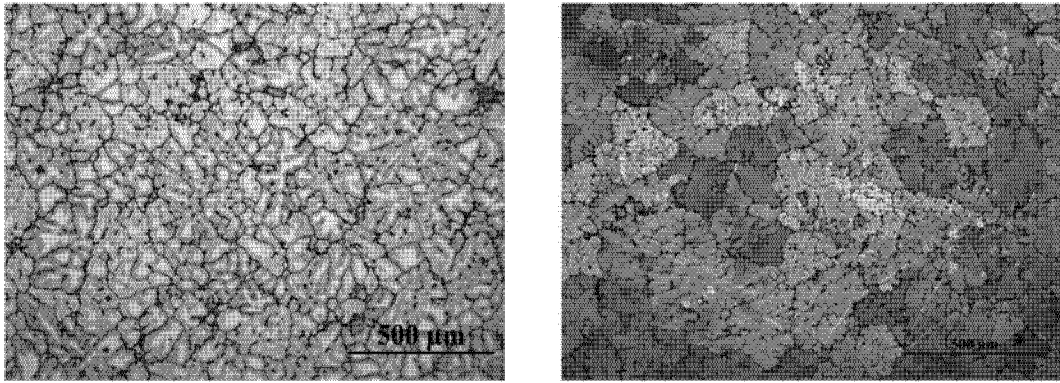
[0084]

Li	Cu	Mg	Zn	Zr	Mn	Ce	Ti	Al
2.72	2.13	0.46	0.39	0.08	0.11	0.24	0.12	余量

[0085] 铸造铝锂合金 T6 态的室温力学性能为：

[0086] 抗拉强度 $\sigma_b = 423\text{MPa}$ ，屈服强度 $\sigma_{0.2} = 335\text{MPa}$ ，延伸率 $\delta = 2.6\%$ 。

[0087] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是，本发明并不局限于上述特定实施方式，本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改，这并不影响本发明的实质内容。



(a)

(b)

图 1