



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105568082 A

(43) 申请公布日 2016. 05. 11

(21) 申请号 201610070598. 0

(22) 申请日 2016. 02. 02

(71) 申请人 北京航空航天大学

地址 100083 北京市海淀区学院路 37 号

申请人 秦皇岛开发区美铝合金有限公司

(72) 发明人 马朝利 徐聪 肖文龙 郑岩
王成远 张建斌 蔡振斌 胡晓亮
杨明娟 杨海军 刘志国

(74) 专利代理机构 天津盛理知识产权代理有限公司 12209

代理人 于添

(51) Int. Cl.

G22C 21/02(2006. 01)

G22F 1/043(2006. 01)

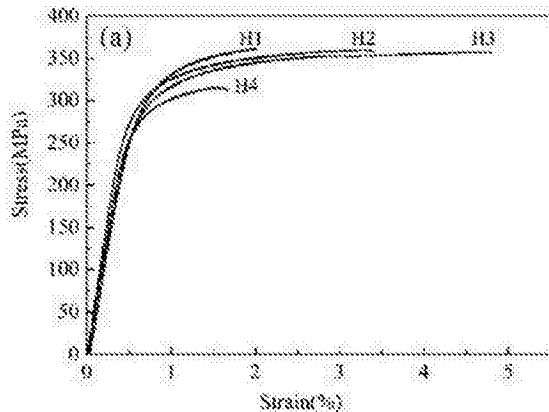
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种 Al-Si-Cu-Mg 铸造合金的热处理方法

(57) 摘要

本发明涉及一种 Al-Si-Cu-Mg 铸造合金, 该铸造合金电解铝、金属硅, 纯镁和 Al-Cu 中间合金熔炼而成, 其原料组分及其重量百分比分别为: Si :5. 5 ~ 6. 5%, Cu :1. 8 ~ 2. 2%, Mg :0. 45 ~ 0. 55%, 其余为 Al, 其中 Cu/Mg 比为 4:1。本发明对 Al-Si-Cu-Mg 铸造合金采用了双级固溶处理和双级时效处理, 合适的固溶温度和时间可保证合金的析出相全部溶于基体中, 又不会引起晶界过烧, 然后采用双级时效处理控制着合金相析出的特点和机械性能, 由此产生得到的 Al-Si-Cu-Mg 铸造合金的拉伸性能较采用 T6 处理的 Al-Si-Cu-Mg 铸造合金的拉伸性能有明显的指标提升。



1. 一种Al-Si-Cu-Mg铸造合金,该铸造合金电解铝、金属硅,纯镁和Al-Cu中间合金熔炼而成,其特征在于:其原料组分及其重量百分比分别为:Si:5.5~6.5%,Cu:1.8~2.2%,Mg:0.45~0.55%,Fe:小于0.15%,Ti:0.10~0.15%,Mn:小于0.05%,Zn:小于0.05%,其他杂质小于0.01%,其余为Al,其中Cu/Mg比为4:1。

2. 根据权利要求1所述的Al-Si-Cu-Mg铸造合金,其特征在于:所述Al-Si-Cu-Mg铸造合金的原料组分及其重量百分比分别为:Si:5.98%,Cu:2.08%,Mg:0.52%,Fe:0.02%,Ti:小于0.01%,Mn:小于0.01%,Zn:小于0.01%,其他杂质小于0.01%,其余为Al。

3. 一种如权利要求1或2所述的Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理方法,其特征在于:其步骤是:

(1)对所述Al-Si-Cu-Mg铸造合金采用双级固溶处理;

(2)对双级固溶处理后的Al-Si-Cu-Mg铸造合金冷却;

(3)对冷却后的Al-Si-Cu-Mg铸造合金采用双级时效处理,其中一级时效处理的温度为180℃,处理时间为6h,二级时效处理的温度为100~200℃,处理时间为0.5~2h,完成Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理。

4. 根据权利要求3所述的Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理方法,其特征在于:步骤(1)所述的双级固溶处理中,一级固溶处理的温度为470℃,处理时间为6h,二级固溶处理的温度为530℃,处理时间为2h。

5. 根据权利要求3所述的Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理方法,其特征在于:步骤(2)所述的冷却温度是18℃,冷却时间是10s。

6. 根据权利要求3所述的Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理方法,其特征在于:步骤(3)所述的双级时效处理的二级时效处理的温度为200℃,处理时间为5h。

一种Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及冶金技术领域,尤其是一种Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理方法。

背景技术

[0002] 对砂型和重力铸造所用的Al-Si合金应用的典型热处理方式是T6热处理,这种热处理方式主要包括:

[0003] 1、在较高温度下进行固溶处理,使形成的富Cu、富Mg相颗粒溶解,获得高度均匀的合金成分。

[0004] 2、淬火处理,一般选用室温条件淬火,获得固溶原子和空位的过饱和固溶体。

[0005] 3、时效硬化处理,在室温(自然时效)或升高温度(人工时效)条件下,从过饱和固溶体析出强化相。

[0006] 固溶处理的温度一般选择接近合金的共晶点温度,这样可以使得在凝固过程中形成的含Cu、含Mg相溶解,使合金中元素均匀一致,还使得共晶Si颗粒球化。然而,由于Mg和Cu加入铸造Al-Si合金中,合金的固溶处理温度主要取决于由Cu和Mg形成的析出相的溶解温度。铸态Al-Si-Mg合金的固溶温度一般选择在540-550℃,但是由于含Cu相在温度较好时,会发生局部熔化,含有Cu元素的合金的固溶温度一般较低。根据1998年Samuel的研究,在Mg含量较低的A319的合金中,含Cu相在519℃开始溶解,在Mg含量为0.5wt.%的A319合金中,由于 $Q-Al_5Mg_8Si_5Cu_2$ 相的存在,含Cu相的溶解温度下降到505℃。设定合适的固溶温度可以避免合金发生过烧现象,但是这取决于合金的凝固速率和固溶处理的加热速率。前者影响含Cu相的体积分数、大小、形貌和种类,而后者则会影响固溶加热过程中含Cu相的溶解程度。

[0007] 对于Al-Si-Cu-Mg合金而言,在固溶过程中,Q相长大和溶解取决于合金成分和固溶温度的设定。Lasa和Rodriguez等人计算了当Cu含量控制在3.5-4.4wt.%范围内,改变Mg含量,Q相在铸态和固溶处理之后所占的体积分数。研究发现,经过固溶处理之后,Q的面积体积分数没有改变,这就说明Q相比较稳定,并且溶解较慢。相关研究发现,在低Cu(1.4wt.%)高Mg(1.3wt.%)的合金中,在固溶过程中,Q相会取代未溶解的Mg₂Si相,造成Q相含量增加。前人的固溶温度一般选在490℃,但是Q相的溶解温度是在530℃。固溶过程中,Al-Si-Cu-Mg合金中相的溶解和均质化所用的时间比不含Mg的合金所用的时间短。

[0008] 由于含Cu相会在高温下溶解,因此,Al-Si-Cu-Mg合金的固溶温度不能太高,但是低温下固溶不能获得最佳的固溶结果,因为在低温下固溶获得的固溶原子的浓度和空位都较低, Si颗粒球化效果也不好。因此,在1998年Samuel的研究中,将Mg加入到Al-Si-Cu合金中,经480℃固溶处理后,合金的强度并没有提高,但是当固溶温度升高到500℃后,合金的强度有所提高。

[0009] 因此,前人研究表明,对Al-Si-Cu-Mg四元合金选用两级固溶处理,既可以获得良好的固溶效果,又节约固溶时间。在1995年Sokolowski等人的实验中,发现合金第一级固溶选用较低温度495℃固溶8h,使含Cu颗粒溶解,然后,升高到520℃固溶2h,获得均匀合金元

素的合金,这种固溶处理方式使合金的强度和塑性都到到提高。但是,如果固溶温度太高,会导致合金局部过烧,合金的机械性能急剧下降,逐渐地,这种矛盾已经升级成为行业内的壁垒,所以对于Al-Si-Cu-Mg四元合金的元素选取的比例及其对应的双级固溶和双级时效所采用的温度和时间等参数成为了合金生产者提高产品质量和节约生产成本的主要着眼点。

发明内容

[0010] 本发明针对现有技术的不足之处,提供了一种节约成本且兼具良好强度和韧性的Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理方法。

[0011] 为实现上述目的,本发明的技术方案是:

[0012] 一种Al-Si-Cu-Mg铸造合金,该铸造合金电解铝、金属硅,纯镁和Al-Cu中间合金熔炼而成,其原料组分及其重量百分比分别为:Si:5.5~6.5%,Cu:1.8~2.2%,Mg:0.45~0.55%,Fe:小于0.15%,Ti:0.10~0.15%,Mn:小于0.05%,Zn:小于0.05%,其他杂质小于0.01%,其余为Al,其中Cu/Mg比为4:1。

[0013] 而且,所述Al-Si-Cu-Mg铸造合金的原料组分及其重量百分比分别为:Si:5.98%,Cu:2.08%,Mg:0.52%,Fe:0.02%,Ti:小于0.01%,Mn:小于0.01%,Zn:小于0.01%,其他杂质小于0.01%,其余为Al。

[0014] 上述Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理方法是:

[0015] (1)对所述Al-Si-Cu-Mg铸造合金采用双级固溶处理;

[0016] (2)对双级固溶处理后的Al-Si-Cu-Mg铸造合金冷却;

[0017] (3)对冷却后的Al-Si-Cu-Mg铸造合金采用双级时效处理,其中一级时效处理的温度为180℃,处理时间为6h,二级时效处理的温度为100~200℃,处理时间为0.5~2h,完成Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理。

[0018] 而且,步骤(1)所述的双级固溶处理中,一级固溶处理的温度为470℃,处理时间为6h,二级固溶处理的温度为530℃,处理时间为2h。

[0019] 而且,步骤(2)所述的冷却温度是18℃,冷却时间是10s。

[0020] 而且,步骤(3)所述的双级时效处理的二级时效处理的温度为200℃,处理时间为5h。

[0021] 本发明的优点是:

[0022] 本发明对Al-Si-Cu-Mg铸造合金采用了双级固溶处理和双级时效处理,合适的固溶温度和时间可保证合金的析出相全部溶于基体中,又不会引起晶界过烧,然后采用双级时效处理控制着合金相析出的特点和机械性能,由此产生得到的Al-Si-Cu-Mg铸造合金的拉伸性能较采用T6处理的Al-Si-Cu-Mg铸造合金的拉伸性能有明显的指标提升。

[0023] 本发明对Al-Si-Cu-Mg铸造合金的组成成分进行了合理的配比,针对该配比对应的Al-Si-Cu-Mg铸造合金采用了有针对性的双级固溶处理和双级时效处理,虽然在本案采用的双级固溶处理和双级时效处理的处理方法已经在现有技术中得到应用,但是本案对于特定组分Al-Si-Cu-Mg铸造合金的双级固溶处理和双级时效处理温度和时间都是在研究和生产过程中产生了意想不到的参数值,甚至是克服了一定本领域技术的技术偏见,使这种热处理的方式不仅仅体现在理论上,而是可以广泛应用在Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理

的工业生产中。

附图说明

[0024] 图1是本发明中的实施例1~实施例4对应的抗拉强度和延伸率的指标对照图；

[0025] 图2是本发明中的实施例5~实施例6对应的抗拉强度和延伸率的指标对照图。

具体实施方式：

[0026] 下面通过具体实施例对本发明作进一步详述，以下实施例只是描述性的，不是限定性的，不能以此限定本发明的保护范围。

[0027] 一种Al-Si-Cu-Mg铸造合金，该铸造合金电解铝、金属硅，纯镁和Al-Cu中间合金熔炼而成，其原料组分及其重量百分比分别为：Si:5.5~6.5%，Cu:1.8~2.2%，Mg:0.45~0.55%，Fe:小于0.15%，Ti:0.10~0.15%，Mn:小于0.05%，Zn:小于0.05%，其他杂质小于0.01%，其余为Al。

[0028] 在本发明中，在上述比例的组分中，需要保持Cu/Mg比为4:1，经过反复对比，Si:5.98%，Cu:2.08%，Mg:0.52%，Fe:0.02%，Ti:小于0.01%，Mn:小于0.01%，Zn:小于0.01%，其他杂质小于0.01%，其余为Al，这组比例的组分为最佳。

[0029] 对上述优选比例的Al-Si-Cu-Mg铸造合金，采用如下热处理步骤：

[0030] (1)对Al-Si-Cu-Mg铸造合金采用双级固溶处理，一级固溶处理的温度为470℃，处理时间为6h，二级固溶处理的温度为530℃，处理时间为2h；

[0031] (2)对双级固溶处理后的Al-Si-Cu-Mg铸造合金冷却10s，冷却温度为18℃；

[0032] (3)对冷却后的Al-Si-Cu-Mg铸造合金采用双级时效处理，完成Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理。其中，一级时效处理的温度为180℃，处理时间为6h，对于二级处理的温度和时间，下面分别采用八个实施例对本案进行说明，通过对比和分析选取最佳的处理温度。

[0033] 实施例1

[0034] 二级时效处理的温度为200℃，处理时间为1h。

[0035] 实施例2

[0036] 二级时效处理的温度为200℃，处理时间为2h。

[0037] 实施例3

[0038] 二级时效处理的温度为200℃，处理时间为5h。

[0039] 实施例4

[0040] 二级时效处理的温度为200℃，处理时间为10h。

[0041] 实施例1~4中，二级时效处理的温度高于一级时效处理的温度，四个实施例分别依次标记为H1~H4，处理过程中的抗拉强度(Stress)和延伸率(Strain)指标见图1。

[0042] 实施例5

[0043] 二级时效处理的温度为100℃，处理时间为0.5h。

[0044] 实施例6

[0045] 二级时效处理的温度为100℃，处理时间为1h。

[0046] 实施例7

[0047] 二级时效处理的温度为100℃，处理时间为5h。

[0048] 实施例8

[0049] 二级时效处理的温度为100℃,处理时间为10h。

[0050] 实施例5~8中,二级时效处理的温度低于一级时效处理的温度,实施例1~4中,二级时效处理的温度高于一级时效处理的温度,四个实施例分别依次标记为L1~L4,处理过程中的抗拉强度(Stress)和延伸率(Strain)指标见图1。

[0051] 处理后的Al-Si-Cu-Mg铸造合金性能指标见下表:

[0052]

合金	力学性能			合金	力学性能		
	抗拉强度	屈服强度	延伸率		抗拉强度	屈服强度	延伸率
	(MPa)	(MPa)	(%)		(MPa)	(MPa)	(%)
实施例 1	362	270	1.8	实施例 1	340	252	2.8

[0053]

实施例 2	357	272	3.3	实施例 2	364	267	2.3
实施例 3	358	274	4.9	实施例 3	340	249	1.7
实施例 4	312	241	1.6	实施例 4	336	243	1.6

[0054] 针对发动机缸体、缸盖所选取的Al-Si-Cu-Mg铸造合金指标,选取实施例3所采用的处理方法,对于优选比例的Al-Si-Cu-Mg铸造合金,本案还采用了一个对比实例,采用T6工艺对该Al-Si-Cu-Mg铸造合金进行处理,其对照数据如下:

	处理方法	抗拉强度 (MPa)	屈服强度 (MPa)	延伸率 (%)
[0055]	T6 处理	327	265	5.0
	实施例 3 所涉及 的处理方法	358	274	4.9

[0056] 结果分析:

[0057] 前人的研究主要集中在固溶过程中合金微观结构的顺序变化和对机械性能的影响。固溶处理包括固溶温度和固溶时间的选择。合适的固溶温度和时间可保证合金的析出相全部溶于基体中,又不会引起晶界过烧。时效处理在固溶处理和淬火之后进行,这就控制着合金相析出的特点和机械性能。

[0058] T6这种传统的单步时效热处理不能获得最佳的机械性能。通过时效硬化处理使机械性能增强,这主要与位错和析出相的相互作用有关。而且,在时效过程中,Al-Si-Cu-Mg合金的析出相会同时包含Cu和Mg元素,且这种相已经在实验中证实了是Q相($Al_5Mg_8Si_6Cu_2$)。这些析出相, β - Mg_2Si 相或者Q相均与时效温度和时间有着密切的联系。当时效温度和时间升高时,在一些Al-Si-Cu-Mg合金中Q相所占体积分数会增加。同时,有关研究发现,随着时效温度和时间降低,在Al-Si-Cu-Mg合金中会形成大量的CP-I区和初生的 β 析出相,但是在低温状态下,Al-Si-Cu-Mg合金的时效曲线在现有文献资料中记载较少。因此,为了控制Al-Si-Cu-Mg合金的析出相,获得最佳的机械性能,选择多级时效处理是很有必要的。

[0059] 力学性能分析测试结果表明：本案工艺对比T6工艺下的合金抗拉强度提高了9.5%，而延伸率，即塑性下降的并不明显，只下降了0.02%。在保障塑性的前提下，显著提高合金的强度，由此兼顾了合金生产中的合金抗拉强度和延伸率的平衡性，克服了一定本领域技术的技术难题，使这种热处理的方式不仅仅体现在理论上，而是可以广泛应用在Al-Si-Cu-Mg铸造合金的热处理的工业生产中。

[0060] 本发明提供的Al-Si-Cu-Mg铸造合金，扩展了在合金应用领域中的适用范围，尤其是针对汽车发动机缸体及缸盖的合金材料，其强度和塑性恰好符合要求；另一方面，本发明提供的生产铸造方法实现了减重的目的，达到产品的轻量化设计要求，从而实现节能减排的目标。

[0061] 尽管为说明目的公开了本发明的实施例和附图，但是本领域的技术人员可以理解：在不脱离本发明及所附权利要求的精神和范围内，各种替换、变化和修改都是可能的，因此，本发明的范围不局限于实施例和附图所公开的内容。

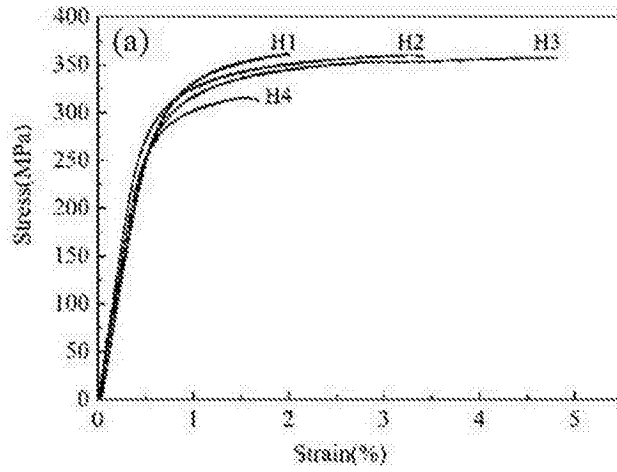


图1

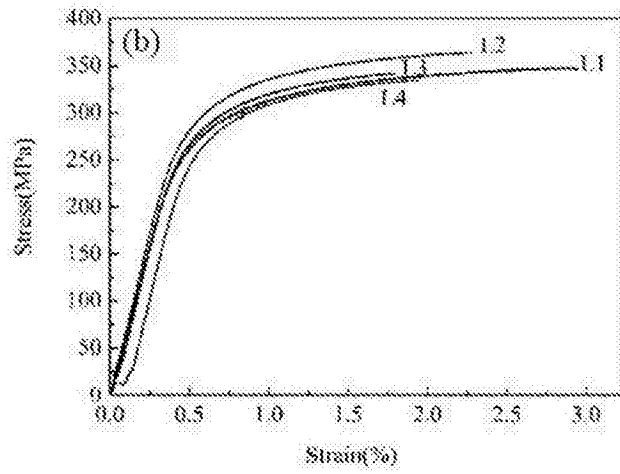


图2