



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112626392 A

(43) 申请公布日 2021.04.09

(21) 申请号 202011486592.4

(22) 申请日 2020.12.16

(71) 申请人 成都慧腾创智信息科技有限公司  
地址 641400 四川省成都市天府新区正兴  
街道科学城天府菁蓉中心A区10号楼  
二楼

(72) 发明人 孙自来

(74) 专利代理机构 重庆博凯知识产权代理有限  
公司 50212

代理人 李杰

(51) Int. Cl.

G22C 21/04 (2006.01)

G22C 1/03 (2006.01)

G22C 1/06 (2006.01)

B22D 17/00 (2006.01)

权利要求书1页 说明书6页

(54) 发明名称

一种铸造铝硅合金及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种铸造铝硅合金及其制备方法。所述铸造铝硅合金,按质量百分比计,包括如下成分:Si:8.5~10.5%;Fe:0.1~0.2%;Co:0.15~0.32%;B:0.04~0.15%;混合稀土:0.2~0.3%;Zn:0.1~0.5%;不可避免的杂质:小于0.15%;余量为Al。本发明兼具较高的导热性和韧性、流动性好且易于成形复杂薄壁零件的铝硅合金,能够满足光伏领域的使用需求。

1. 一种铸造铝硅合金,其特征在于,按质量百分比计,包括如下成分:

Si:8.5~10.5%;Fe:0.1~0.2%;Co:0.15~0.32%;B:0.04~0.15%;混合稀土:0.2~0.3%;Zn:0.1~0.5%;不可避免的杂质:小于0.15%;余量为Al。

2. 根据权利要求1所述的铸造铝硅合金,其特征在于,所述混合稀土为Eu和La,其中,按质量百分比计,Eu为0.1~0.15%,La为0.08~0.15%。

3. 根据权利要求1或2所述的铸造铝硅合金,其特征在于,Si与混合稀土的质量比为37~43:1。

4. 根据权利要求3所述的铸造铝硅合金,其特征在于,所述Co和Fe的质量比为1.5~1.6:1。

5. 根据权利要求1所述的铸造铝硅合金,其特征在于,所述不可避免的杂质包括Cr、Mn、V和Ti元素,且总量不超过0.01%。

6. 一种铸造铝硅合金的制备方法,其特征在于,采用权利要求1-5任一项所述的铸造铝硅合金的成分和配比,具体包括:

(1) 根据设定的化学成分,按计量比称取工业纯铝、结晶硅、Al-20Fe中间合金、Al-10Co中间合金、Al-3B中间合金、Al-La中间合金、纯锌、Al-Eu中间合金;

(2) 将预热至150~200℃的工业纯铝放入熔炼炉中熔化,熔化温度为760~790℃,熔化后加入铝锭质量0.4%的去渣剂,搅拌30分钟,去渣后保温30分钟;

(3) 将步骤(2)中的熔体降温至750℃后添加结晶硅、Al-20Fe中间合金、Al-10Co中间合金,待全部熔化后,降温至720℃,加入Al-3B中间合金,搅拌并静置10分钟后用去除底部沉渣及表面浮渣;降温至680~700℃,对熔体用惰性气体进行保护后加入Al-La中间合金、Al-Eu中间合金、纯锌,并将其压入熔炼炉底部进行熔化,熔化完毕后,静置10分钟后去除底部沉渣及表面浮渣;

(4) 将步骤(3)中熔体升温至710~720℃,按炉料总量1~2%比例称取无钠粉状精炼剂,进行喷吹精炼,精炼5~10分钟后撇渣并静置10~20分钟;

(5) 将步骤(4)获得的熔体进行压铸,炉温控制在660~680℃,模具温度180~210℃,模具正常后通入冷却水,铝液压入模具型腔,压射速度为0.5m/s~3m/s,铸造压力为80~130MPa,得到所述铸造铝硅合金。

7. 根据权利要求6所述的铸造铝硅合金的制备方法,其特征在于,在步骤(1)中,还包括将称取的原料清洗和烘干的步骤。

## 一种铸造铝硅合金及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及金属材料技术领域,具体涉及一种铸造铝硅合金及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 光伏发电的快速推广对光伏逆变器散热能力的要求越来越高。光伏逆变器经常需要安装在户外恶劣环境中,其产品密封性需要满足IP67以上的等级,这种高密封性给逆变器内部电子元器件提供良好保护的同时也会导致在极端情况下内部的高热高压难以释放。为避免极端情况下逆变器出现脆性爆裂,还要求压铸铝硅合金散热壳体有良好的韧性,使其在爆炸冲击载荷下通过足够的变形来释放压力,即韧性破裂,避免出现脆性破裂。这种对韧性的高要求也是这些常规压铸铝硅合金无法满足的。另外,随电子元器件集成化程度的快速提高,逆变器壳体和通信铸件壳体为适应电子元器件的高集成度而被设计成有大量复杂薄壁散热齿、高低凸台和深腔结构,且尺寸较大的复杂形状,这种复杂形状的压铸成形需要铝硅合金有良好的流动性。

[0003] 现有压铸铝硅合金普遍的热导率是90~150W/(m·K),最广泛使用的如ADC12铝硅合金,其压铸工艺性优良,但导热率只有96W/(m·K),延伸率只有1%。广泛用于导热壳体的压铸铝硅合金EN AC-44300其铸态下热导率虽能达到150W/(m·K),但其延伸率也只有1%~2%。这些常规压铸铝硅合金的导热率和韧性完全无法满足上述高热耗密度、大功率、高密封性产品的需求。有些铝硅合金的导热率能够达到180W/(m·K),但Si元素含量仅5%左右,在压铸时会由于流动性不足且不含Fe元素,难以避免严重的粘模问题,难以通过压铸工艺制备散热齿等复杂薄壁零件。

[0004] 因此,设计一种兼具较高导热性和韧性、流动性好且易于成形复杂薄壁零件的铝硅合金,是本领域技术人员研究的方向。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术存在的上述不足,本发明的目的在于解决现有的铝硅合金的散热性和韧性差,无法满足光伏领域对铝硅合金的需求等问题,提供一种铸造铝硅合金及其制备方法。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种铸造铝硅合金,按质量百分比计,包括如下成分:

[0008] Si:8.5~10.5%;Fe:0.1~0.2%;Co:0.15~0.32%;B:0.04~0.15%;混合稀土:0.2~0.3%;Zn:0.1~0.5%;不可避免的杂质:小于0.15%;余量为Al。

[0009] 优选所述混合稀土为Eu和La,其中,按质量百分比计,Eu为0.1~0.15%,La为0.08~0.15%。Si与混合稀土的质量比为37~43:1。

[0010] 进一步,所述Co和Fe的质量比为1.5~1.6:1。

[0011] 所述不可避免的杂质包括Cr、Mn、V和Ti元素,且总量不超过0.01%。

[0012] 硅含量影响铝硅合金的压铸流动性和凝固收缩率,当硅含量接近共晶点附近时,

铝硅合金具有较窄的凝固区间,此时铝硅合金的流动性最好同时凝固收缩率也较小,保证了铝硅合金具有良好的铸造成形性能和低的热裂倾向,使其能够通过压铸工艺成形复杂薄壁零件。但过高的硅含量会降低材料的韧性和导热性。因此,本发明中Si的含量为8.5~10.5%。

[0013] 铝硅合金的塑性主要受到共晶硅和杂质相(如富铁相等)的数量及形貌影响。当共晶硅或杂质相以粗大针片状存在时,其与铝基体的相界面局部区域会存在严重的应力集中从而导致裂纹萌生。因此,要将共晶硅由粗大针片状改变为细小的纤维状减少其导致的应力集中,而对含铁相也应避免其长成粗大片状的 $\beta$ 相。

[0014] Fe元素的加入主要为了防止压铸时粘模,Fe元素虽对导热性影响不明显,但为了使材料获得高的塑性,需严格控制其含量在0.1-0.2%,防止过多的铁元素形成粗大针片状的 $\beta$ 相对铝基体产生严重的割裂从而降低铝硅合金韧性。

[0015] 工业应用上一般采用在含铁铝硅合金中按Mn/Fe值0.6~0.83添加Mn,能形成AlFeSiMn相,可以在一定程度上削弱铁元素对塑性的危害,但锰元素会严重降低铝硅合金的导热性能,本发明采用对铝硅合金导热性影响不明显的Co元素来中和Fe元素的危害,并且不降低铝硅合金的导热性能,从而确保铝硅合金具有较高的导热能力。Co的加入一方面可阻止Fe形成有害的针片状 $\beta$ 相,另一方面,Co不与硅化合,所以在铝硅合金内部形成的附加相(杂质相)更少,材料的延伸率更高。本发明通过在铝硅合金中按Co:Fe为1.5~1.6的比例添加Co元素来实现对铁元素危害的中和,获得较高导热性能的铝硅合金。

[0016] Zn元素对导热率的影响轻微,并且能够提高材料的强度,满足更广泛的用途。

[0017] 本发明采用混合稀土,所述混合稀土包括La和Eu。Eu是共晶Si的最佳细化变质元素,具有细化变质效果好、持续时间长和再现性好等优点。Eu的加入能够避免传统Na、Sr元素变质引起的吸气问题,使共晶Si的形态从粗大的针状转变为细小均匀的颗粒状,降低铝的二次枝晶间距,提高铝硅合金的铸造流动性、强度和塑性。但Eu含量太高也会引起铝硅合金导热性能的下降。加入La元素能与Si、Fe等元素反应生成La-Si-Fe化合物,降低Si和Fe在铝基体中的固溶,从而提升导热性能,同时La也能明显细化共晶硅。

[0018] 经过大量研究和试验发现,同时添加适量的Eu和La,不仅能够实现共晶硅的变质,提高延伸率,同时也能实现提高导热率。当Eu+La含量为0.2~0.3%,且Si:(Eu+La)为37~43:1时,共晶硅得到充分完全的变质,同时对铝硅合金的导热性能提升明显,比单独添加Eu或La时效果更好。当Si与(Eu+La)的质量比明显小于37:1时,会导致共晶硅变质不足,明显影响延伸率导致材料塑性降低,同时也对导热率有一定影响。当Si与(Eu+La)的质量比明显大于43:1时,虽然共晶硅变质得到保障,但过剩的稀土会导致合金的导热性下降明显。

[0019] 合金的导热性与导电性存在对应关系,可用描述金属的导电系数和热导率之间对应关系的威德曼-弗朗兹定律(WFL)表示,即:

$$[0020] \quad \frac{\lambda}{\delta T} = L$$

[0021] 式中: $\lambda$ 为热导率, $\delta$ 为导电系数,L为洛伦兹常数,对于铝 $L=2.2 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{K}$ ,T为绝对温度。

[0022] 金属晶体点阵中的缺陷、固溶原子或析出相会造成晶格畸变导致电场周期发生变

化,从而导致自由电子的散射几率增加,降低电子的平均自由程,导致合金的导热与导电性能下降。通过减少铝基体中固溶原子数量,使铝基体晶格畸变减少,进而减少自由电子在铝基体晶体内被散射的几率,可以提高铝合金的导热性。同时共晶硅形貌也会影响对自由电子的散射,共晶硅由粗大片状转变为细小的纤维状时其对自由电子的散射几率减小,可使材料的热导率进一步提升。Cr、Mn、V、Ti等元素的固溶对铝导热和导电的损害明显,因其固溶在铝基体中时不仅会造成铝基体晶格畸变,同时会强烈吸收铝基体中的自由电子用于填充Cr、Mn、V、Ti的不完整电子层,从而导致用于导热和导电的自由电子的显著减少。固溶状态下,每1% (Cr+Mn+V+Ti) 对导电性的有害作用为每1% 硅对铝导电性有害作用的5倍,因此本发明的铝硅合金中Cr+Mn+V+Ti含量应小于0.01%。

[0023] 添加B元素是利用其能够与Ti、V及Cr等铝硅合金中常见的杂质元素结合形成 $TiB_2$ 、 $V_2B_3$ 、 $Cr_2B$ 等高熔点难熔硼化物并沉淀析出,从而使这些杂质元素由在铝基体中的固溶态转变为硼化物的析出态,消除它们对导热性的损害,从而获得较高的导热性能。

[0024] 本发明还提供一种铸造铝硅合金的制备方法,采用所述铸造铝硅合金的成分和配比,具体包括:

[0025] (1) 根据设定的化学成分,按计量比称取工业纯铝、结晶硅、Al-20Fe中间合金、Al-10Co中间合金、Al-3B中间合金、Al-La中间合金、纯锌、Al-Eu中间合金;

[0026] (2) 将预热至150~200℃的工业纯铝放入熔炼炉中熔化,熔化温度为760~790℃,熔化后加入铝锭质量0.4%的去渣剂,搅拌30分钟,去渣后保温30分钟;

[0027] (3) 将步骤(2)中的熔体降温至750℃后添加结晶硅、Al-20Fe中间合金、Al-10Co中间合金,待全部熔化后,降温至720℃,加入Al-3B中间合金,搅拌并静置10分钟后用去除底部沉渣及表面浮渣;降温至680~700℃,对熔体用惰性气体进行保护后加入Al-La中间合金、Al-Eu中间合金、纯锌,并将其压入熔炼炉底部进行熔化,熔化完毕后,静置10分钟后去除底部沉渣及表面浮渣;

[0028] (4) 将步骤(3)中熔体升温至710~720℃,按炉料总量1~2%比例称取无钠粉状精炼剂,进行喷吹精炼,精炼5~10分钟后撇渣并静置10~20分钟;

[0029] (5) 将步骤(4)获得的熔体进行压铸,炉温控制在660~680℃,模具温度180~210℃,模具正常后通入冷却水,铝液压入模具型腔,压射速度为0.5m/s~3m/s,铸造压力为80~130MPa,得到所述铸造铝硅合金。

[0030] 进一步,在步骤(1)中,还包括将称取的原料清洗和烘干的步骤。在步骤(3)中,还包括待全部材料加入并熔化后,对熔体进行炉前成分分析的步骤。所述炉前成分分析的步骤具体为:在熔体内部取样并冷却至室温后进行化学成分分析,以合金元素组成成分为目标,计算并添加相应的原料,使熔体成分和配比达到设计的范围。

[0031] 在铝硅合金的制备中,严格控制合金元素的加入时机。在铝锭熔化后,先加入结晶硅、Al-20Fe中间合金、Al-10Co中间合金,待全部熔化后,在加入Al-3B中间合金,充分搅拌均匀并静置,使B能够充分与熔体内的Cr、Mn、V、Ti等杂质元素充分反应,生成 $CrB_2$ 、 $TiB_2$ 、 $VB_2$ 和 $MnB_2$ 等化合物,再静置沉淀到底部,从而利于将这些有害的沉淀排出熔体,提高铝硅合金的导热性能。在去除Cr、Mn、V、Ti等杂质元素的步骤后,再加入Al-La中间、Al-Eu中间合金及纯锌,实现减少Si和Fe在铝基体中的固溶,并对共晶硅进行充分的变质以及对基体进行适度强化,从而制备出具有高导热高韧性的压铸铝硅合金。

[0032] 相比现有技术,本发明具有如下有益效果:

[0033] 1、本发明的铸造铝硅合金中, Si元素的含量为8.5~10.5%, 可使铝硅合金具有较好的流动性, 保证铝硅合金具有良好的铸造成形性能和低的热裂倾向, 保证其能够通过压铸工艺成形复杂薄壁零件; 采用混合稀土Eu+La实现共晶Si的变质及基体的净化, 避免了采用Sr变质导致的吸气等缺陷, 能够大幅提升延伸率, 还能降低铝的二次枝晶间距, 从而提升材料的强度; 采用Zn提升材料的强度; 采用Co改善Fe相形貌, 降低含铁相对基体的割裂, 提升材料韧性, 并且不损伤导热性; 采用B消除Ti、V、Mn及Cr等杂质。通过上述元素的综合作用, 使制备的铸造铝硅合金在铸态就具有较高的导热性和韧性, 满足在通讯、汽车、光伏等行业的应用。

[0034] 2、本发明中的铸造铝硅合金, 与现有铸造铝硅合金相比本发明有更高的导热率和断裂延伸率(即韧性), 在铸态可达到屈服强度135MPa、抗拉强度285MPa、延伸率可达12.6%, 热导率达到185W/(m·K)。

[0035] 3、本发明提供的制备方法, 先将铝锭熔化, 再加入Al-20Fe中间合金、Al-10Co中间合金、然后依次加入Al-3B中间合金、Al-La中间合金、Al-Eu中间合金和纯锌, 使得各成分能充分参与反应并有效去除了熔体中的有害杂质, 减少了原料的烧损, 缩短了压铸铝硅合金的制备时间, 降低了制备成本。

## 具体实施方式

[0036] 下面将结合实施例对本发明作进一步详细说明。

[0037] 实施例1

[0038] 一种铸造铝硅合金, 按质量百分比计, 包括如下成分: Si:8.5%; Fe:0.1%; Co:0.15%; Eu:0.12%; B:0.04%; La:0.09%; Zn:0.2%; 不可避免的杂质Cr+Mn+V+Ti: 小于0.01%; 余量为Al。

[0039] 所述铸造铝硅合金的制备方法为:

[0040] (1) 根据设定的化学成分, 按计量比称取工业纯铝、结晶硅、Al-20Fe中间合金、Al-10Co中间合金、Al-3B中间合金、Al-La中间合金、纯锌、Al-Eu中间合金。将称取的原料清洗和烘干备用。

[0041] (2) 将预热至150℃的工业纯铝放入熔炼炉中熔化, 熔化温度为780℃, 熔化后加入铝锭质量的0.4%的去渣剂, 搅拌20分钟, 去渣后保温30分钟;

[0042] (3) 将步骤(2)中的熔体降温至750℃后添加结晶硅、Al-20Fe中间合金、Al-10Co中间合金, 待全部熔化后, 降温至700℃, 加入Al-3B中间合金, 搅拌并静置20分钟后用去除底部沉渣及表面浮渣; 降温至680℃, 对熔体用惰性气体进行保护后, 向熔体中加入Al-La中间合金、Al-Eu中间合金和纯锌, 并将其压入熔炼炉底部进行熔化。熔化完毕后静置20分钟后去除底部沉渣及表面浮渣。熔化后进行炉前成分分析, 检测合金熔体的成分含量, 对成分含量不合格的熔体通过补料或冲淡方式使其成分含量达到合格的范围。

[0043] (4) 将步骤(3)中熔体升温至710℃, 按炉料总量1%称取无钠粉状精炼剂, 进行喷吹精炼, 精炼10分钟后撇渣并静置20分钟;

[0044] (5) 将步骤(4)获得的熔体进行压铸, 炉温控制在660℃, 模具温度210℃, 模具正常后通入冷却水, 铝液压入模具型腔, 压射速度为1.8m/s, 铸造压力为85MPa, 制得所述铝硅合

金。

[0045] 实施例2

[0046] 一种铸造铝硅合金,按质量百分比计,包括如下成分:Si:9.0%;Fe:0.1%;Co:0.16%;Eu:0.13%;B:0.04%;La:0.08%;Zn:0.3%;不可避免的杂质Cr+Mn+V+Ti:小于0.01%;余量为Al。

[0047] 制备方法同实施例1。

[0048] 实施例3

[0049] 一种铸造铝硅合金,按质量百分比计,包括如下成分:Si:9.5%;Fe:0.15%;Co:0.23%;Eu:0.14%;B:0.04%;La:0.1%;Zn:0.4%;不可避免的杂质Cr+Mn+V+Ti:小于0.01%;余量为Al。

[0050] 制备方法同实施例1。

[0051] 实施例4

[0052] 一种铸造铝硅合金,按质量百分比计,包括如下成分:Si:10%;Fe:0.2%;Co:0.3%;Eu:0.15%;B:0.04%;La:0.12%;Zn:0.5%;不可避免的杂质Cr+Mn+V+Ti:小于0.01%;余量为Al。

[0053] 制备方法同实施例1。

[0054] 实施例5

[0055] 一种铸造铝硅合金,按质量百分比计,包括如下成分:Si:10.5%;Fe:0.2%;Co:0.3%;Eu:0.1%;B:0.04%;La:0.08%;Zn:0.5%;不可避免的杂质Cr+Mn+V+Ti:小于0.01%;余量为Al。

[0056] 制备方法同实施例1。

[0057] 实施例6

[0058] 一种铸造铝硅合金,按质量百分比计,包括如下成分:Si:8.5%;Fe:0.2%;Co:0.3%;Eu:0.15%;B:0.04%;La:0.15%;Zn:0.5%;不可避免的杂质Cr+Mn+V+Ti:小于0.01%;余量为Al。

[0059] 制备方法同实施例1。

[0060] 实施例1-6中铸造铝硅合金的成分及含量如表1所示。

[0061] 表1

[0062]

成分	Si	Fe	Co	Eu	B	La	Zn	Cr+Mn+V+Ti	Al
实施例1	8.5	0.1	0.15	0.12	0.04	0.09	0.2	<0.01	余量
实施例2	9.0	0.1	0.16	0.13	0.04	0.08	0.3	<0.01	余量
实施例3	9.5	0.15	0.23	0.14	0.04	0.1	0.4	<0.01	余量
实施例4	10	0.2	0.3	0.15	0.04	0.12	0.5	<0.01	余量
实施例5	10.5	0.2	0.3	0.1	0.04	0.08	0.5	<0.01	余量
实施例6	8.5	0.2	0.3	0.15	0.04	0.15	0.5	<0.01	余量

[0063] 实施例1~4中制备的铸造铝硅合金在铸态下的性能与目前常用的压铸铝硅合金ADC12、EN AC-44300在铸态下的性能对比如表2所示。从表2的结果可以看出,本发明的制备的铸造铝硅合金在铸态下的导热率和延伸率明显高于传统压铸铝硅合金ADC12铸态下的导热率和延伸率,导热率比EN AC-44300最理想状态的160W/(m·K)还高,最高可达185W/(m·K)

K),同时延伸率达到12.6%,相比EN AC-44300的延伸率1%提高12.6倍,具有良好的导热率和延伸率,屈服强度和抗拉强度与ADC12和EN AC-44300基本相当,抗拉强度可达283MPa。可见,本发明制备的铸造铝硅合金兼具良好的导热性和延伸率,并且具有较高的强度。由于Si含量在8.5~10.5%,具有较好的流动性,因此能够用于成型复杂的薄壁零件,拓宽了铸造铝硅合金的使用范围。

[0064] 表2

[0065]

性能	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	导热率 (W/(m·K))
实施例1	121	268	12.6	185
实施例2	123	278	12.3	181
实施例3	128	281	11.2	180
实施例4	135	283	10.1	175
实施例5	122	251	6.5	164
实施例6	129	278	12.1	160
ADC12	154	228	1.5	96
ENAC-44300	130	240	1	160

[0066] 最后需要说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制技术方案,本领域的普通技术人员应当理解,那些对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本技术方案的宗旨和范围,均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。