



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103160715 B

(45)授权公告日 2016.08.03

(21)申请号 201110426430.6

G22C 1/06(2006.01)

(22)申请日 2011.12.19

B22D 13/00(2006.01)

G22F 1/043(2006.01)

(73)专利权人 中国兵器科学研究院宁波分院
地址 315103 浙江省宁波市高新区凌云路
199号

专利权人 中国兵器工业第五二研究所

(72)发明人 孙廷富 汪纓 杨波 陈耘 李岩
陈大辉 宋建民 汤进军 李素梅
周灵展

(56)对比文件

CN 101709414 A,2010.05.19,

US 2005199318 A1,2005.09.15,

CN 101503773 A,2009.08.12,

审查员 刘彤

(74)专利代理机构 宁波诚源专利事务所有限公
司 33102

代理人 袁忠卫

(51)Int.Cl.

G22C 21/02(2006.01)

G22C 1/03(2006.01)

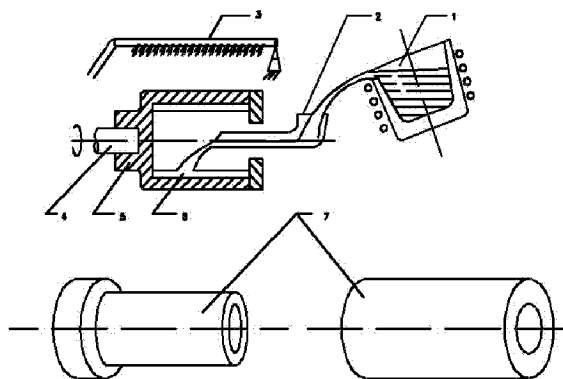
权利要求书3页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

一种梯度铝合金缸套材料及其制备方法

(57)摘要

本发明涉及一种梯度铝合金缸套材料及其制备方法,其特征在于该材料各组分按重量百分比为:Si:15.0%~25.0%;Ni:3.0%~7%;Mg:0.8%~1.8%;Cu:0.5%~2.5%;Mn:0.3%~0.7%;RE:0.04%~0.10%;P:0.01~0.10%;Al:余量;其制备步骤为:按合金成分进行配料;熔炼、覆盖、精炼净化与变质处理;离心力场成型;热处理;最后经机加工与珩磨加工得到所需成品。本发明通过设计高硅、高镁以及高镍含量的合金配方,有利于形成高硅、高Mg₂Si以及高镍含量的结构组织,制得的剃度缸套材料具有耐高温、耐磨、低膨胀系数的特点,同时采用P、RE双重复合变质处理技术及变频电机控制的离心力场,强烈细化初晶硅与共晶硅组织,大大提高了缸套摩擦学性能。



1. 一种梯度铝合金缸套材料,其特征在于该缸套材料各组分按重量百分比为:Si:15.0%~25.0%;Ni:3.0%~7%;Mg:0.8%<Mg≤1.8%;Cu:0.5%~2.5%;Mn:0.3%~0.7%;RE:0.04%~0.10%;P:0.01~0.10%;Al:余量;所述RE是以La为主的La-Ce-Pr-Nd系混合稀土。

2. 根据权利要求1所述的梯度铝合金缸套材料,其特征在于所述各组分按重量百分比为:

Si:20.0%;Ni:5.00%;Mg:1.50%;Cu:2.00%;Mn:0.50%;RE:0.08%;P:0.08%;Al:余量。

3. 根据权利要求1或2所述的梯度铝合金缸套材料,其特征在于所述RE是以La为主的La-Ce-Pr-Nd系混合稀土,该混合稀土的成分按重量百分比;La:50~60%、Ce:10~20%、Pr:10~15%以及Nd:10~15%。

4. 根据权利要求1所述的梯度铝合金缸套材料,其特征在于所述的缸套材料及制品:内侧具有38~47%体积分数的Si相、Mg₂Si相以及少量的含铜、含Ni相与含Mn相,Mg₂Si相尺寸最大 $\geq 35\mu\text{m}$;Si相尺寸最大 $\geq 45\mu\text{m}$ 。

5. 一种梯度铝合金缸套材料的制备方法,其特征在于包括以下步骤:

1) 按合金成分进行配料:按照各组分按重量百分比为Si:15.0%~25.0%;Ni:3.0%~7%;Mg:0.8%<Mg≤1.8%;Cu:0.5%~2.5%;Mn:0.3%~0.7%;RE:0.04%~0.10%;P:0.01~0.10%;Al:余量;所述RE是以La为主的La-Ce-Pr-Nd系混合稀土;采用铝硅、铝镍、铝铜、铝锰、铝稀土、铝磷中间合金以及纯铝、纯镁炉料进行配料;

2) 熔炼、覆盖、精炼净化与变质处理:采用中频电磁感应炉,将上述铝硅、铝镍、铝铜、铝锰中间合金一同加入进行熔炼,熔化后,调整铝液温度为710~730℃,加入铝、镁纯金属炉料,并在铝液内搅动直至完全熔化;

覆盖剂的加入,覆盖剂保护不出现裸露金属液面为准,分别在熔化后、加镁后以及精炼净化后均匀撒入;采用含钾、镁氯盐覆盖剂,用量为总炉料重量的1~3%;

精炼净化,调整铝液温度750℃~880℃,加入总炉料重量的0.5~1.0%的六氯乙烷与氟硅酸钠的精炼熔剂,用钟罩压入铝液中并均匀的移动,对铝液进行精炼与净化处理,以去除滤液中渣物和有害气体;一直到无气体、气泡逸出为止,静置10~15分钟后扒去渣物,再均匀撒上一层覆盖剂;

变质处理,调整铝液温度至820~900℃,加入铝磷、铝稀土中间合金进行变质处理,磷的加入量为总炉料重量的0.01~0.10%,稀土的加入量为总炉料重量的:0.04%~0.10%;用漏勺加入;全部熔化后,静置8~10分钟;

3) 离心力场成型:合金经步骤2)处理后连续浇注到预热的导流槽中控制导流,连续导入到预热的筒形模具中,启动离心机至规定转速,同时,打开水阀喷水冷却系统,对模具进行喷淋冷却;在离心机高速旋转的离心力场作用下,铝液在高于重力铸造几十~几百倍凝固压力的作用下凝固结晶,通过采用不同尺寸筒形模具与控制不同的铝液浇入量,以及控制离心机铸造成型工艺参数,可制备不同尺寸的筒形管坯;

4) 热处理:将梯度铝合金缸套材料筒形管坯放入热处理炉中按固溶处理参数和时效处理参数进行固溶处理与时效处理;

5) 最后经机加工与珩磨加工得到所需成品。

6. 根据权利要求5所述的制备方法,其特征在于所述步骤2)中的覆盖剂按重量百分数:采用100% $MgCl_2 \cdot KCl$ 溶剂组成,比例为1:0.9~1.1,温度660~700℃熔化,冷却后破碎、球磨成粉,用20~50目筛过筛后使用或存放于干燥器中待用。

7. 根据权利要求5所述的制备方法,其特征在于所述步骤2)中的精炼剂按重量百分比:采用65~75%的六氯乙烷与35~25%的氟硅酸钠溶剂组成,精炼剂使用前称重混合,压制成直径为 $\Phi 45 \sim 55mm$,厚度为30~50mm的圆料块,用铝箔分包后使用或存于干燥器中待用。

8. 根据权利要求5所述的制备方法,其特征在于所述步骤3)中的离心力场成型中的铝液导流浇注的参数为:

导流槽采用镁砂耐火材料捣成,预热温度500~600℃;

筒形模具预热温度200~300℃;

浇注温度:700~900℃;

铝液流量:5~15Kg/s;

离心机铸造成型控制参数:旋转速度:200~2000r/min;

水冷冷却:常压,喷淋冷却;采用 $\Phi 2 \sim 3mm$ 喷水孔,间隔2mm,沿轴向密布;

制备材料及产品参数:

制备的筒形管坯尺寸:外直径 $\Phi 90 \sim 300mm$,内直径 $\Phi 70 \sim 270mm$,长度150~350mm。

9. 根据权利要求8所述的制备方法,其特征在于所述离心力场成型中的铝液导流浇注的参数为:

导流槽预热温度550~600℃;

筒形模具预热温度200~230℃;

浇注温度:700~750℃;

铝液流量:5~8Kg/s;

所述的离心力场成型控制的优选参数:

旋转速度:1200~1800r/min。

10. 根据权利要求5所述的制备方法,其特征在于所述步骤4)中的热处理参数为:

固溶处理参数:

固溶温度:480~525℃;

保温时间:2.0~4.0h;

热水淬火温度:60~100℃;

时效处理参数:

时效温度:165~185℃;

保温时间:6.0~12.0h。

11. 根据权利要求10所述的制备方法,其特征在于所述的热处理中固溶处理参数与时效处理参数的优选方案是:

固溶处理参数:

固溶温度:510~520℃;

保温时间:2.5~3.0h;

热水淬火温度:60~100℃;

时效处理参数:

时效温度:170~175℃;

保温时间:7~10h。

12. 根据权利要求5所述的制备方法,其特征在于所述步骤5)中的机加工与珩磨加工中的润滑冷却剂:煤油;

缸套机械成型加工刀头:硬质合金或金刚石刀头;

缸套内表面珩磨加工刀头:硬质合金珩磨头。

一种梯度铝合金缸套材料及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于金属合金及其制备技术领域,尤其涉及一种耐热、耐磨、低膨胀系数的梯度铝合金缸套材料及其制备方法。

背景技术

[0002] 铸铁、钢缸套材料与活塞铝合金材料热物理性能相容性差,难于进一步缩小配缸间隙,不能高经济性的解决高功率密度、高经济性发动机动力技术问题。而高硅铝合金缸套与活塞铝合金材料热物理性能相容性好,可以显著地缩小配缸间隙,可解决或克服铸铁、钢缸套的缺点与不足。

[0003] 高硅铝合金的摩擦机理是软基体上分布高硬度质点相,质点相越细小、分布越均匀,其摩擦学性能越好;添加的合金化元素种类越多、含量越高,产生的高硬度化合物硬质点相越多,对摩擦学性能和高温性能越有益。

[0004] 英国专利GB972095公布的一种高硅铝合金缸套材料含铜、镍、铁、锰等合金化元素,但合金元素总含量低,将使合金耐高温性能与摩擦学性能不足;而且采用的是压铸成形方法难以获得细小均匀的高硬度化合物质点相以及高硅质点相,将造成加工性能差;还存在补缩压力不足、内在气孔、不能通过热处理强化等问题。

[0005] 英国专利GB2302695及欧洲专利EP367229公布的不含镍、铁、锰等过渡族元素的一种高硅铝合金缸套材料,将使该种合金高温、室温力学性能低,且采用粉末冶金工艺,将造成制造成本极高,制造厚大尺寸缸套产品还存在质量均匀性与性能一致性问题。

[0006] 中国专利CN00124660.7、CN200510048662.7、CN101457318公开的高硅铝合金,采用的是喷射沉积制造方法,显示出所制备材料组织、摩擦学性能以及力学性能的优越性,但存在制造成本极高、金属收得率低下等问题。

[0007] 发动机缸套的摩擦面仅仅发生在与活塞、活塞环接触的内侧,而外侧仅仅起到承力支撑作用。为此,对铸铁、钢缸套内侧面进行强化,如镀铬、渗氮,喷陶以及激光重熔、离子注入等多种强化途径,来提高缸套的摩擦学性能,已获得了成功应用。但对于铝合金缸套采用此类强化方法,目前未见报导,而且这些强化方法也不一定是解决摩擦学问题的唯一方法。

[0008] 采用离心力场作用的凝固技术原理,可以在凝固过程中采用高旋转速度,高离心力的作用下实现低密度、高硬度耐磨相Si、Mg₂Si质点偏聚在缸套内侧,获得高体积分数,从而实现缸套由内至外的剃度组织结构。内侧高硬度剃度组织结构显著提高了缸套的摩擦学性能,而外侧高体积分数的共晶、α组织以及含镍相的匹配将具有良好的韧性显著提高缸套的承力能力,并能获得低成本化制造的技术效果,既避免铸铁、钢缸套的缺点与不足,又避免上述高硅铝合金缸套制造高成本问题以及制造方法的不足。

[0009] 中国专利CN101709414A公开的高硅剃度复合铝合金缸套材料及制备方法,存在合金成分设计合理性问题,特别是铁含量过高,在离心力场作用下很难克服铁的不利作用,将导致组织中铁的针状、棒状相对材料及制品的性能以及加工性不利,尤其是对塑性有害性

更大。

发明内容

[0010] 本发明所要解决的第一个技术问题是提供一种具有耐热、耐磨、低膨胀系数的梯度铝合金缸套材料,其配方通过多元合金设计,具有高硅、高镁以及高镍含量的特点。

[0011] 本发明所要解决的第二个技术问题是提供一种具有耐热、耐磨、低膨胀系数的梯度铝合金缸套材料的制备方法,通过设计高硅、高镁以及高镍含量合金配方、精炼、双重复合变质以及高转速下的离心力场凝固成型。

[0012] 本发明解决上述第一个技术问题所采用的技术方案为:一种梯度铝合金缸套材料,其特征在于该材料各组分按重量百分比为:Si:15.0%~25.0%;Ni:3.0%~7%;Mg:0.8%~1.8%;Cu:0.5%~2.5%;Mn:0.3%~0.7%;RE:0.04%~0.10%;P:0.01~0.10%;Al:余量;所述RE是以La为主的La-Ce-Pr-Nd系混合稀土。

[0013] 作为优选,所述各组分按重量百分比为:

[0014] Si:20.0%;Ni:5.00%;Mg:1.50%;Cu:2.00%;Mn:0.50%;RE:0.08%;P:0.08%;Al:余量。

[0015] 最后,所述RE是以La为主的La-Ce-Pr-Nd系混合稀土,该混合稀土的成分按重量百分比;La:50~60%、Ce:10~20%、Pr:10~15%以及Nd:10~15%。

[0016] 所述的缸套材料及制品:内侧具有38~47%体积分数的Si相、Mg₂Si相以及少量的含铜、含Ni相与含Mn相,Mg₂Si相尺寸最大 $\geq 35\mu\text{m}$;Si相尺寸最大 $\geq 45\mu\text{m}$ 。

[0017] 本发明解决上述第二个技术问题所采用的技术方案为:一种梯度铝合金缸套材料的制备方法,其特征在于包括以下步骤:

[0018] 1)按合金成分进行配料:按照各组分按重量百分比为Si:15.0%~25.0%;Ni:3.0%~7%;Mg:0.8%~1.8%;Cu:0.5%~2.5%;Mn:0.3%~0.7%;RE:0.04%~0.10%;P:0.01~0.10%;Al:余量;采用铝硅、铝镍、铝铜、铝锰、铝稀土、铝磷中间合金以及纯铝、纯镁炉料进行配料;为解决合金化元素的加入与控制问题,上述合金化元素硅(Si)、镍(Ni)、铜(Cu)、锰(Mn)以及磷(P)均采用铝中间合金的方式加入。所述的稀土RE是采用铝混合稀土中间合金形式加入,即RE是以La为主的La-Ce-Pr-Nd系混合稀土,该混合稀土的成分按重量百分比;La:50~60%、Ce:10~20%、Pr:10~15%以及Nd:10~15%。镁采用纯金属炉料的形式加入;铝大部分是通过中间合金的形式带入,不足部分采用纯铝炉料的形式加入。

[0019] 2)熔炼、覆盖、精炼净化与变质处理:采用中频电磁感应炉,将上述铝硅、铝镍、铝铜、铝锰中间合金一同加入进行熔炼,熔化后,调整铝液温度为710~730℃,加入铝、镁纯金属炉料,并在铝液内搅动直至完全熔化;

[0020] 覆盖剂的加入,覆盖剂保护不出现裸露金属液面为准,以保护铝液避免氧化烧损,分别在熔化后、加镁后以及精炼净化后均匀撒入;采用含钾、镁氯盐覆盖剂,用量为总炉料重量的1~3%;

[0021] 精炼净化,调整铝液温度750℃~880℃,加入总炉料重量的0.5~1.0%的六氯乙烷与氟硅酸钠的精炼熔剂,用钟罩压入铝液中并均匀的移动,对铝液进行精炼与净化处理,以去除滤液中渣物和有害气体;一直到无气体、气泡逸出为止,静置10~15分钟后扒去渣物,再均匀撒上一层覆盖剂;

[0022] 变质处理,调整铝液温度至820~900℃,加入铝磷、铝稀土中间合金进行变质处理,磷的加入量为总炉料重量的0.01~0.10%,稀土的加入量为总炉料重量的:0.04%~0.10%;用漏勺加入;全部熔化后,静置8~10分钟;

[0023] 3)离心力场成型:合金经步骤2)处理后连续浇注到预热的导流槽中控制导流,连续导入到预热的筒形模具中,启动离心机至规定转速,同时,打开水阀喷水冷却系统,对模具进行喷淋冷却;在离心机高速旋转的离心力场作用下,铝液在高于重力铸造几十~几百倍凝固压力的作用下凝固结晶,通过采用不同尺寸筒形模具与控制不同的铝液浇入量,以及控制离心机铸造成型工艺参数,可制备不同尺寸的筒形管坯;

[0024] 4)热处理:将梯度铝合金缸套材料筒形管坯放入热处理炉中按固溶处理参数和时效处理参数进行固溶处理与时效处理;

[0025] 5)最后经机加工与珩磨加工得到所需成品。

[0026] 作为优选,所述步骤2)中的所述覆盖剂采用100%MgCl₂.KCl溶剂,两者加入质量比例为1:0.9~1.1,覆盖剂使用前应加热到温度660~700℃熔化,冷却后破碎、球磨成粉,用20~50目筛过筛后使用或存放于干燥器中待用。

[0027] 优选,所述步骤2)中的精炼剂采用质量比例是65~75%的六氯乙烷与35~25%的氟硅酸钠溶剂组成,精炼剂使用前称重混合,压制成直径为Φ45~55mm,厚度为30~50mm的圆料块,用铝箔分包后使用或存于干燥器中待用。

[0028] 作为改进,所述步骤3)中的离心力场成型中的铝液导流浇注的参数为:

[0029] 导流槽采用镁砂耐火材料捣成,预热温度500~600℃;

[0030] 筒形模具预热温度200~300℃;

[0031] 浇注温度:700~900℃;

[0032] 铝液流量:5~15Kg/s;

[0033] 离心机铸造成型控制参数:旋转速度:200~2000r/min;

[0034] 水冷冷却:常压,喷淋冷却;采用Φ2~3mm喷水孔,间隔2mm,沿轴向密布;

[0035] 制备材料及产品参数:

[0036] 制备的筒形管坯尺寸:外直径Φ90~300mm,内直径Φ70~270mm,长度150~350mm。

[0037] 作为优选,所述离心力场成型中的铝液导流浇注的参数为:

[0038] 导流槽预热温度550~600℃;

[0039] 筒形模具预热温度200~230℃;

[0040] 浇注温度:700~750℃;

[0041] 铝液流量:5~8Kg/s;

[0042] 所述的离心力场成型控制的优选参数:

[0043] 旋转速度:1200~1800r/min。

[0044] 再改进,所述步骤4)中的热处理参数为:

[0045] 固溶处理参数:

[0046] 固溶温度:480~525℃;

[0047] 保温时间:2.0~4.0h;

[0048] 热水淬火温度:60~100℃;

- [0049] 时效处理参数：
- [0050] 时效温度：165~185℃；
- [0051] 保温时间：6.0~12.0h。
- [0052] 所述的热处理中固溶处理参数与时效处理参数的优选方案是：
- [0053] 固溶处理参数：
- [0054] 固溶温度：510~520℃；
- [0055] 保温时间：2.5~3.0h；
- [0056] 热水淬火温度：60~100℃；
- [0057] 时效处理参数：
- [0058] 时效温度：170~175℃；
- [0059] 保温时间：7~10h。
- [0060] 最后，所述步骤5)中的机加工与珩磨加工中的润滑冷却剂：煤油；
- [0061] 缸套机械成型加工刀头：硬质合金或金刚石刀头；
- [0062] 缸套内表面珩磨加工刀头：硬质合金珩磨头。
- [0063] 与现有技术相比，本发明的优点在于：
- [0064] 本发明的梯度铝合金缸套材料制备技术特点为：1、设计高硅、高镁以及高镍含量的合金配方，有利于形成高硅、高Mg₂Si以及高镍含量的结构组织，对形成耐高温、耐磨、低膨胀系数的剃度缸套材料有益；2、采用P、RE双重复合变质处理技术，强烈细化初晶硅与共晶硅组织；3、采用变频电机控制的离心力场，实现高转速高离心力作用力场，可获得梯度铝合金缸套材料的摩擦学功能组织，对缸套摩擦学性能提高有益。
- [0065] 采用本发明材料及方法制造的梯度铝合金缸套材料及制品具有比压铸工艺获得的材料及制品更优越的组织特点、性能特点；优越于铸铁缸套材料的力学性能与摩擦学性能特点；获得比喷射沉积、粉末冶金工艺制备成本低的技术效果，获得内侧面高硬度、高体积分数高硅与高Mg₂Si含量的梯度结构组织，这对内侧面的摩擦学性能更为有益；将获得与活塞铝合金配缸相容性好的技术优势及特点。制造的缸套制品可沿用铸铁缸套加工设备及工艺条件加工；也可设计制造适用于梯度铝合金缸套材料加工的专用珩磨刀头，其缸套加工面质量与使用效果将更为优越。

附图说明

- [0066] 图1为本发明的梯度铝合金缸套材料的离心力场成型工艺流程图，其中：1-中频熔炼炉，2-导流槽，3-喷水冷却系统，4-离心机，5-筒形模具，6-金属液，7-筒形管坯；
- [0067] 图2为本发明的梯度铝合金缸套材料的组织架构图，其中图2a为筒形管坯内侧组织架构图；图2b为筒形管坯中间部位组织架构图；图2c为筒形管坯外侧组织架构图；
- [0068] 图3为本发明筒形管坯材料在热处理炉中的工艺图，其中：8-热处理炉，9-筒形管坯；
- [0069] 图4为本发明梯度铝合金缸套材料制造的某发动机缸套结构示意图。

具体实施方式

- [0070] 以下结合附图实施例对本发明作进一步详细描述。

[0071] 一种梯度铝合金缸套材料,其金属元素主要为铝、硅、镍、镁、铜、锰、稀土、磷等元素,该材料各组分按重量百分比为:Si:15.0%~25.0%;Ni:3.0%~7%;Mg:0.8%~1.8%;Cu:0.5%~2.5%;Mn:0.3%~0.7%;RE:0.04%~0.10%;P:0.01~0.10%;Al:余量。合金化元素硅(Si)、镍(Ni)、铜(Cu)、锰(Mn)以及磷(P)均采用铝中间合金的方式加入。所述的稀土RE是采用铝混合稀土中间合金形式加入,即RE是以La为主的La-Ce-Pr-Nd系混合稀土,该混合稀土的成分按重量百分比;La:50~60%、Ce:10~20%、Pr:10~15%以及Nd:10~15%。镁采用纯金属炉料的形式加入;铝大部分是通过中间合金的形式带入,不足部分采用纯铝炉料的形式加入。

[0072] 其中Si的作用是提高合金的耐磨性能与改善合金的热物理性能。在同时含Mg时,与Mg形成高硬度 Mg_2Si (密度为 $1.93g/cm^3$)析出相起强化作用与提高耐磨性,为最大化发挥Mg的强化效果,应有过剩硅存在。此外,在复合变质剂的作用下,过剩硅的作用是形成细小、分布均匀的初晶硅(密度为 $2.33g/cm^3$)颗粒,对耐磨性能作用极大。

[0073] Ni的作用是形成耐高温金属间化合物相,对提高耐磨性能与高温力学性能更有益,比铁的作用效果更优越,但材料价格较高,因此必须控制一定量,因此,优选Ni的含量为3.0%~7.0%。

[0074] Mg的作用是与硅、铜形成时效析出相 Mg_2Si 以及Cu、Mg、Al三元复合化合物相提高合金的力学性能以及摩擦学性能,但加入量过多会影响工艺性能,因此,优选Mg的含量为0.8%~1.8%。

[0075] Cu的作用是形成Cu、Mg、Al三元金属间化合物相,起强化作用,提高合金的力学性能,但高温时铜化合物相有粗化倾向,因此必须控制一定量。因此,优选Cu的含量为0.5%~2.5%;

[0076] Mn的作用是与残存的杂质铁、硅、铝等形成化合物相,对耐磨性能与高温力学性能以及热物理性能改善有益影响,并改善铁相化合物形态,使之有益于提高合金的综合力学性能。因此,优选Mn的含量为Mn:0.3%~0.7%。

[0077] RE的作用是与P形成复合变质剂,主要细化共晶硅以及细化 α 相组织。但RE含量不易过高,否则会产生偏析与积聚,失去变质与细化作用。因此,优选RE的含量为0.04%~0.10%。

[0078] P的作用是与RE形成复合变质剂,强烈细化初晶硅以及对共晶硅也兼有细化与控制作用。但P含量不易过高,否则将产生磷共晶,使合金变脆。因此,优选P的含量为0.01~0.10%。

[0079] 在本发明中,Fe也是有益元素,Fe的作用机理是形成高硬度复合化合物相,对提高耐磨性能、高温力学性能与热物理性能有益。但铁对合金凝固成型工艺、凝固组织控制以及机械加工带来难度和不足,因此作为杂质元素必须严格控制。

[0080] 铝是合金中的主干体系元素,其含量受合金化元素加入量约束。

[0081] 一种梯度铝合金缸套材料的制备方法:

[0082] ①成分设计与精确配料:按照本发明合金的成分配方进行精确配料。在配料方法上,对硅、镍、锰、铜、稀土等高熔点合金元素,采用中间合金的方法,进行配料,以便于能将这些高熔点合金元素加入到铝液中,即以Al-40%Si、Al-20%Ni、Al-50%Cu、Al-15%Mn、Al-10%RE中间合金的炉料形式进行配料。镁熔点与铝熔点相近以纯金属炉料的方式进行

配料。在以中间合金的炉料方式配料后,铝量不足时,将以纯铝炉料的方式补足。

[0083] 为避免磷挥发燃烧,也采用中间合金的方法,即采用Al-3%P中间合金的炉料形式加入。

[0084] ②熔炼、覆盖、精炼净化与变质处理:

[0085] 采用中频电磁感应炉熔炼,熔炼时将上述铝硅、铝镍、铝铜、铝锰中间合金一同加入。熔化后,调整铝液温度为710~730℃,加入铝、镁纯金属炉料(均为固体料块),纯铝料块直接投入炉中,纯镁料块用压瓢或钟罩的方式压入铝液中,并在铝液内搅动直至完全熔化;

[0086] 覆盖剂的加入,覆盖剂保护不出现裸露金属液面为准,以保护铝液避免氧化烧损,分别在熔化后、加镁后以及精炼净化后均匀撒入;采用含钾、镁氯盐覆盖剂,用量为总炉料重量的1~3%;

[0087] 精炼净化,调整铝液温度750℃~880℃,加入总炉料重量的0.5~1.0%的六氯乙烷与氟硅酸钠的精炼熔剂,用钟罩压入铝液中并均匀的移动,对铝液进行精炼与净化处理,以去除滤液中渣物和有害气体;一直到无气体、气泡逸出为止,静置10~15分钟后扒去渣物;再均匀撒上一层覆盖剂;

[0088] 变质处理,调整铝液温度至820~900℃,加入铝磷、铝稀土中间合金,磷的加入量为总炉料重量的0.01~0.10%,稀土的加入量为总炉料重量的:0.04%~0.10%;用漏勺加入;全部熔化后,静置8~10分钟;

[0089] ③离心力场成型:由变频电机控制,在中频熔炼炉1中进行上述合金熔炼、覆盖保护、精炼净化与变质处理后连续浇注到预热的导流槽2中控制导流,连续导入到预热的筒形模具5中,启动离心机4至规定转速,同时,打开水阀喷水冷却系统3,对模具进行喷淋冷却;在离心机高速旋转的离心力场作用下,铝液6在高于重力铸造几十~几百倍凝固压力的作用下凝固结晶,通过采用不同尺寸筒形模具与控制不同的铝液浇入量,以及控制离心机铸造成型工艺参数,可制备不同尺寸的筒形管坯7。筒形管坯7的组织特点:内侧偏聚高体积分数的高硬度硅相颗粒以及Mg₂Si相颗粒结构组织,而外侧偏聚高体积分数的共晶、α相以及含镍相的结构组织。

[0090] 铝液导流浇注参数:

[0091] 导流槽采用镁砂耐火材料捣成,预热温度500~600℃;

[0092] 筒形模具预热温度200~300℃;

[0093] 浇注温度:700~900℃;

[0094] 铝液流量:5~15Kg/s;

[0095] 离心力场成型控制参数:

[0096] 旋转速度:200~2000r/min;

[0097] 水冷冷却:常压,喷淋冷却;采用φ2~3mm喷水孔,间隔2mm,沿轴向密布。

[0098] 制备材料及产品参数:

[0099] 制备的筒形管坯尺寸:外直径φ90~300mm,内直径φ70~270mm,长度150~350mm;

[0100] ④热处理:将梯度铝合金缸套材料筒形管坯7放入热处理炉8中按固溶处理参数和时效处理参数进行固溶处理与时效处理;

[0101] 固溶处理参数:

[0102] 固溶温度:480~525℃;

[0103] 保温时间:2.0~4.0h;

[0104] 热水淬火温度:60~100℃;

[0105] 时效处理参数:

[0106] 时效温度:165~185℃;

[0107] 保温时间:6.0~12.0h;

[0108] ⑤机加工与珩磨加工:

[0109] 润滑冷却剂:煤油;

[0110] 缸套机械成型加工刀头:硬质合金或金刚石刀头;

[0111] 缸套内表面珩磨加工刀头:硬质合金珩磨头。

[0112] 如图4所示,为本发明的梯度铝合金缸套材料制造的缸套结构形式,长度为L、内径为 Φ ,但不局限于此结构。可借助铸铁、钢缸套加工机床与条件加工,也可采用常规机械加工与缸套专用珩磨加工机床加工。缸套可采用压入或镶铸的方式与缸体(未示出)紧配合装配,并通过与缸盖(未示出)和活塞(未示出)三者形成在燃油燃烧或燃气爆压下的功能关系,使活塞在受迫运动下推动曲轴(未示出)做功,输出动力。

[0113] 在图2a)的筒形管坯内侧组织架构图中分布高体积分数的低密度、高硬度Si、Mg₂Si相;图2b)的筒形管坯中间部位组织架构图中,分布较少体积分数的Si、Mg₂Si相;图2c)的筒形管坯外侧组织架构图中,分布更少体积分数的Si、Mg₂Si相。因此总体分布是内侧分布低密度的高体积分数的Si、Mg₂Si相,外侧分布高密度的高体积分数的 α 、共晶相以及其它高密度合金化合物相。

[0114] 测试用样品件采用:

[0115] 1、梯度铝合金缸套材料的筒形管坯解剖,切取圆形拉伸试样;

[0116] 2、梯度铝合金缸套材料的筒形管坯解剖,切取金相试样;

[0117] 3、梯度铝合金缸套材料的筒形管坯解剖,切取摩擦学试验方条试样;

[0118] 4、图4为所示样品件。

[0119] 下面就实施例1、实施例2及实施例3的具体数据对本发明做更为详细地说明:

[0120] 表1各实施例化学成分(wt%)

[0121]

实施例	Si	Ni	Mg	Cu	Mn	RE	P	Al
实施例1	15.00	7.00	1.80	2.50	0.70	0.04	0.01	余
实施例2	20.0	5.00	1.50	2.00	0.50	0.08	0.08	余
实施例3	25.0	3.00	0.80	0.50	0.30	0.10	0.10	余

[0122] 表2各实施例力学性能特点

[0123]

实施例	试验温度	Rm/N/mm ²	A/%
实施例 1	常温	340	2.3
	250°C	310	3.5
实施例 2	常温	350	2.0
	250°C	320	2.7
实施例 3	常温	330	1.8
	250°C	270	3.0

[0124] 表3各实施例微观组织特点

[0125]

实施 例	内层			外层	
	Si 相尺寸 最大> μ m	Mg ₂ Si 相尺 寸最大> μ m	体积分 数最少<	主要相组成	主要相组成
实施 例 1	45	35	38	Si 相、Mg ₂ Si 相、少量含铜、 Ni 相以及 Mn 相	α 相、含 Ni 相、共晶相以 及其它相。
实施 例 2			45	Si 相、Mg ₂ Si 相、少量含铜、 Ni 相以及 Mn 相	α 相、含 Ni 相、共晶相以 及其它相。
实施 例 3			47	Si 相、Mg ₂ Si 相、少量含铜、 Ni 相以及 Mn 相	α 相、含 Ni 相、共晶相以 及其它相。

[0126] 以实施例2为例子做配料计算:

[0127] 1) 实施例2的化学成分如下:

[0128] Si:20.0%; Ni:5.00%; Mg:1.50%; Cu:2.00%; Mn:0.50%; RE:0.08%; P:0.08;
Al:余量的铝合金。

[0129] 2) 则合金中需要各合金元素量为:

[0130] 按装炉100公斤炉料,进行配料计算:

[0131] Si:20公斤; Ni:5.00公斤; Mg:1.50公斤; Cu:2.00公斤; Mn:0.50公斤; RE:0.08公
斤; P:0.08公斤。Al:余量为100公斤-上述合金元素的总代数和(29.16公斤),为70.84公斤。[0132] 3) 因硅(Si)、镍(Ni)、铜(Cu)、锰(Mn)、稀土(RE)以及磷(P)是采用中间合金的炉料
形式加入。因此,必须将各合金元素加入量转换成其中间合金的加入量。则:

[0133] ①要加入20.0公斤Si,则需要加入Al-40%Si中间合金炉料为

[0134] 20.0公斤/40%=50.0公斤;将带进Al量为50.0-20.0=30.0公斤。

[0135] ②要加入5.0公斤Ni,则需要加入Al-20%Ni中间合金炉料为

[0136] 5.0公斤/20%=25.0公斤;将带进Al量为25.00-5.0=20.0公斤。

- [0137] 同理可计算出加入Cu、Mn、RE、P的量。
- [0138] ③则需要加入Al-50%Cu中间合金炉料为4.0公斤,将带进Al量为2.0公斤;
- [0139] ④则需要加入Al-15%Mn中间合金炉料为3.33公斤,将带进Al量为2.83公斤;
- [0140] ⑤则需要加入Al-10%RE中间合金炉料为0.8公斤,将带进Al量为0.72公斤;
- [0141] ⑥则需要加入Al-3%P中间合金炉料为2.67公斤,将带进Al量为2.59公斤;
- [0142] 4)需要补加的Al为:
- [0143] 因100公斤合金中需要Al量为70.84公斤;
- [0144] 而上述采用中间合金的形式加入硅、镍、锰、铜、稀土以及磷,带进的铝量为 $(30.0+20.0+2.0+2.83+0.72+2.59)=58.18$ 公斤。
- [0145] 则需要补足的纯铝为 70.84 公斤 -58.18 公斤 $=12.7$ 公斤。
- [0146] 5)到此为止全部炉料计算完毕,则应向炉中加入的炉料:
- [0147] Al-40%Si中间合金炉料为50.0公斤;
- [0148] Al-20%Ni中间合金炉料为25.0公斤;
- [0149] Al-50%Cu中间合金炉料为4.0公斤;
- [0150] Al-15%Mn中间合金炉料为3.33公斤;
- [0151] Al-10%RE中间合金炉料为0.80公斤;
- [0152] Al-3%P中间合金炉料为2.67公斤;
- [0153] 需要补加的纯Al为12.66公斤;
- [0154] 需要加入的纯Mg为1.50公斤(没考虑烧损问题,是理论加入量)。
- [0155] 6)则炉料总加入量验证:
- [0156] $50.0+25.0+4.00+3.33+0.80+2.67+12.7+1.50=100$ 公斤
- [0157] 采用本发明材料及制备方法制造的实施例2材料及缸套样品件,所具有的性能特点在于:
- [0158] 高温性能特点:
- [0159] 表4实施例2高温性能

热物理性能			
温度	膨胀系数	密度	热导率
25℃	$15 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	2.85 g/cm^3	100W/m/k
100℃	$16.72 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		
200℃	$16.85 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		120W/m/k
300℃	$17.99 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		
力学性能			
温度	σ_b /MPa	A/%	
25℃	350	2.0	
100℃	340	2.2	

[0161]	150℃	325	2.2
	200℃	320	2.5
	250℃	320	2.7
	330℃	180	5.0

[0162] 缸套表面硬度特点:

[0163] 室温25℃时, HBS ≥ 160。

[0164] 缸套加工面特性:

[0165] 表面粗糙度Ra 0.6-1.2μm。

[0166] 模拟发动机配副条件、工况条件的摩擦学性能特点:

[0167] 表5实施例2摩擦学性能

[0168]

摩 擦 配 副	测量项	测量次数			平均值	
高硅铝合金 (条) 65Mn (栓)	摩擦系数	0.14	0.16	0.14	0.15	
	磨损率	条	-0.62	1.85	-1.17	0.180
		栓	2.24	1.62	0.54	0.147
高硅铝合金 (条) 高镍铸铁 (栓)	摩擦系数	0.14	0.14		0.14	
	磨损率	条	0.770	0.080		0.430
		栓	1.850	0.690		1.270
42MnCr52(高频淬火/条) 65Mn 镀铬 (/栓) (工况条件下磨擦副)	摩擦系数	0.16			0.16	
	磨损率	条	1.230			1.23
		栓	0.000			0.000

[0169] 注明:1)加载负荷为800N,往复速度1m/S,时间180min;在往复试验机上的摩擦学性能数据;2)42MnCr52钢(表面高频淬火处理)(缸套)与65Mn镀铬(活塞环)为现行发动机配副条件料。

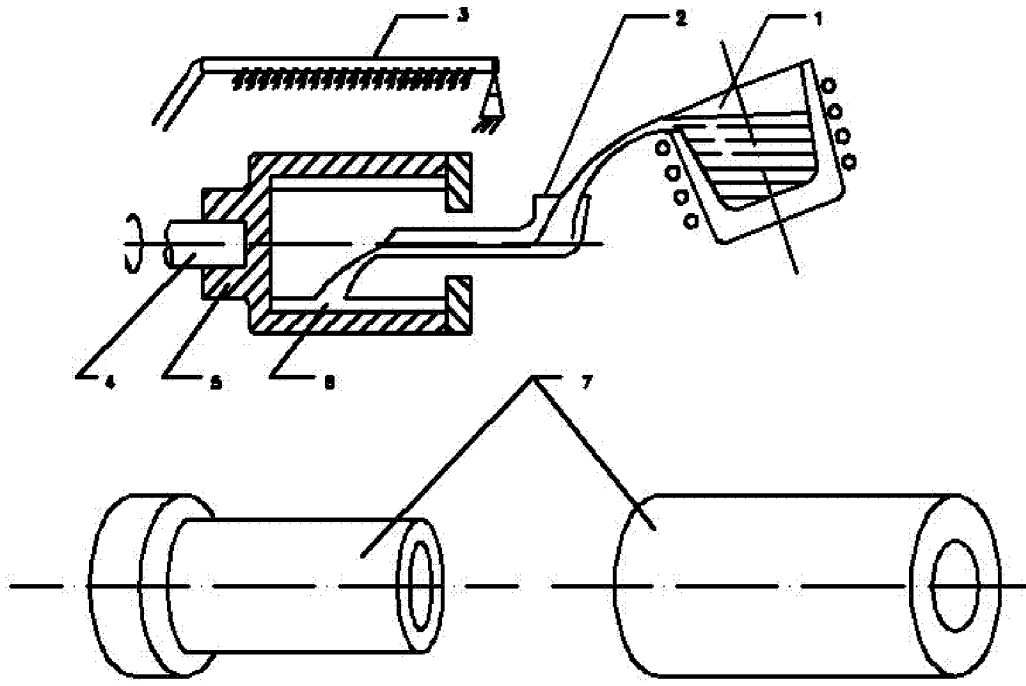


图1

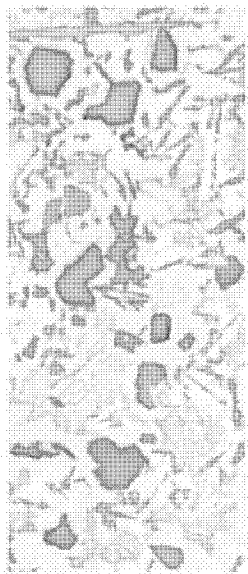


图2a



图2b

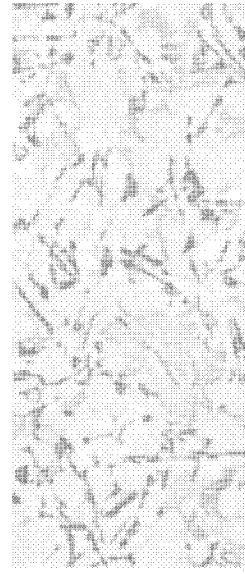


图2c

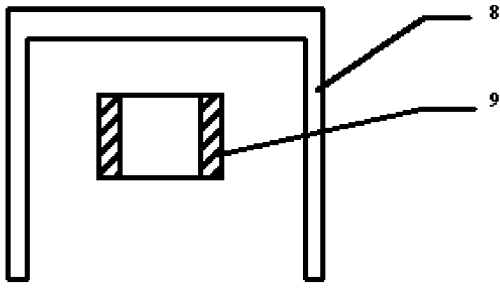


图3

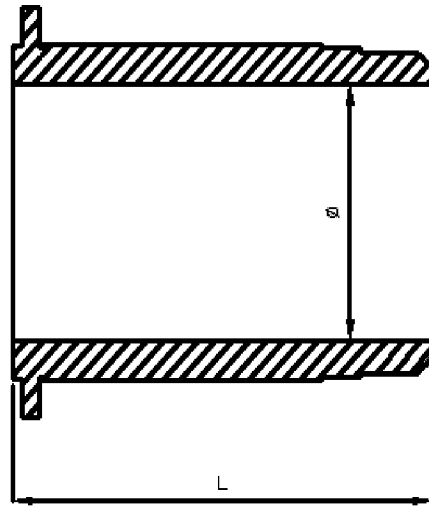


图4