



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101693971 A

(43) 申请公布日 2010.04.14

(21) 申请号 200910308916.2

(22) 申请日 2009.10.27

(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 王渠东 尹冬弟 陈长江

(74) 专利代理机构 上海交达专利事务所 31201

代理人 王锡麟 王桂忠

(51) Int. Cl.

G22C 23/00 (2006.01)

G22C 1/03 (2006.01)

B22D 18/04 (2006.01)

G22F 1/06 (2006.01)

F02F 3/00 (2006.01)

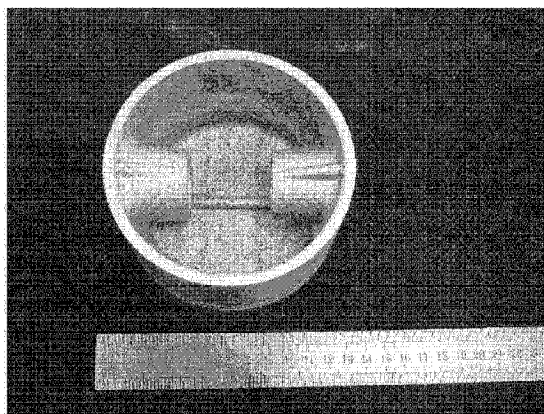
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

(54) 发明名称

耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法

(57) 摘要

一种汽车制造技术领域的耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法,包括:配取中间合金 Mg-Y、Mg-Gd 和 Mg-Zr 以及工业纯镁和工业纯锌;熔炼合金,获得镁合金熔体;对镁合金熔体进行挤压铸造处理,获得镁合金活塞初坯;将镁合金活塞初坯依次进行固溶处理、冷却处理和时效处理后得到耐热稀土镁合金发动机活塞。本发明通过施加 0.2~0.8atm 的压力并选择合适的耐热稀土镁合金、选取合适的低压铸造工艺参数以及调整相应的热处理工艺,从而制备出具备优异高温强度,疲劳强度和抗蠕变性能的活塞。



1. 一种耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

第一步、配取中间合金 Mg-Y、Mg-Gd 和 Mg-Zr 以及工业纯镁和工业纯锌;

第二步、熔炼合金,获得镁合金熔体;

第三步、对镁合金熔体进行低压铸造,得到镁合金活塞初坯;

第四步、将镁合金活塞初坯依次进行固溶处理、冷却处理和时效处理后得到耐热稀土镁合金发动机活塞。

2. 根据权利要求 1 所述的耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法,其特征是,第一步、配取中间合金 Mg-Y、Mg-Gd 和 Mg-Zr 以及工业纯镁和工业纯锌,其中:Mg-Y 为 Mg-25wt% Y 中间合金,用量 12.31 ~ 18.46kg、Mg-Gd 为 Mg-25wt% Gd 中间合金,用量 42.11 ~ 50.5kg 和 Mg-Zr 为 Mg-30wt% Zr 中间合金,用量 3.33 ~ 10kg 以及工业纯镁 22.38 ~ 43.55kg 和工业纯锌 1 ~ 3kg。

3. 根据权利要求 1 所述的耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法,其特征是,所述的熔炼合金,获得镁合金熔体,具体包括以下步骤:

2.1) 将第一步中选取的中间合金 Mg-Y、Mg-Gd 和 Mg-Zr 以及工业纯镁和工业纯锌置于烘箱中预热至 200 ~ 250°C,保温 2 小时以上;

2.2) 在 SF_6+CO_2 气体保护或覆盖剂保护条件下向熔炼炉中加入工业纯镁,加热熔炼,然后依次在 700 ~ 740°C 的温度下向熔炼炉中加入预热后的 Mg-Y 和 Mg-Gd 并待其完全熔化后,在 650 ~ 750°C 的温度下加入工业纯锌;

2.3) 将熔炼炉升温至 760 ~ 780°C 后加入 Mg-Zr 中间合金,搅拌 2 ~ 5 分钟以促使其充分熔化,然后进一步升高熔炼炉温度至 780 ~ 800°C;

2.4) 在 780 ~ 800°C 保温 20 ~ 30 分钟后降温至 740 ~ 760°C,采用镁合金精炼剂精炼 5 ~ 20 分钟。精炼后的静置时间控制在 25 ~ 40 分钟之间,待镁液冷却至 740 ~ 770°C 后撇去表面浮渣,获得镁合金熔体。

4. 根据权利要求 1 所述的耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法,其特征是,所述的对镁合金熔体进行低压铸造处理是指:镁合金熔体浇注温度为 720 ~ 740°C,砂型浇道温度为 0 ~ 150°C,金属型活塞模具温度为 200 ~ 400°C,然后依次进行升压:50 ~ 70s,0.2 ~ 0.25atm;保压:1min ~ 1min30s,0.7 ~ 0.8atm;卸压:6min ~ 6min30s,0.25atm;完毕:7 ~ 8min,实现低压铸造过程,制成镁合金活塞初坯。

5. 根据权利要求 1 所述的耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法,其特征是,所述的固溶处理是指:在 500 ~ 550°C 的环境下固溶 6 ~ 20 小时。

6. 根据权利要求 1 所述的耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法,其特征是,所述的冷却处理是指:随炉自然冷却、水淬、空气冷却。

7. 根据权利要求 1 或 6 所述的耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法,其特征是,所述的冷却处理的冷却速度为 0.002°C/s ~ 68°C/s 之间。

8. 根据权利要求 1 所述的耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法,其特征是,所述的时效处理是指在 225 ~ 300°C 的环境下进行 12 ~ 45 小时的时效处理。

耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种汽车制造技术领域的方法,具体是一种耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法。

背景技术

[0002] 活塞是发动机中最重要的部件之一,因其在高温、高压、腐蚀、磨擦、高速运动的条件下工作,对材料的性能要求很高。根据活塞的工作环境,活塞材料应具备下列条件:具有较高的机械强度,尤其是应具有较高的强度和热稳定性;具有较小的热膨胀系数,使活塞和汽缸在工作过程中保持合适的间隙,以减少机械运行时的噪声,降低油耗;吸热性要差,导热性要好,能及时将工作过程中产生的热量传递出去;比强度要大,以减少活塞重量,提高工作效率;此外还应具有良好的耐磨性、耐蚀性,以延长活塞的使用寿命;最后还要容易加工,成本较低。铝硅多元合金是目前用于制备发动机活塞的主流材料,以专利 US2004/0057865 A1 为例,它报道了一种 Si 含量介于 10 ~ 21 % wt 范围的 Al-Si-Mg-Ti-Cu-Fe-Ni-P 多元合金活塞,通过成分优化可获得显著优于传统材料的抗热机疲劳性能。

[0003] 随着全球石油资源的短缺,各国出台了日益严格的汽车尾气排放标准,生产出重量轻、油耗少、环保型的新型汽车,是汽车工业中日益严峻的话题。镁合金作为最轻的金属结构材料,在汽车工业中的应用越来越广泛。众所周知,发动机是汽车的“心脏”,而活塞则是发动机中最关键的部件。通常活塞在往复运动过程中会引起震动,并对曲轴施加较大的侧向力。在大功率发动机中,这些力通常要靠昂贵的平衡系统来平衡。因此,选用更轻的活塞除了可以减轻重量,降低油耗之外,还可以大幅减轻活塞运动过程中的震动,提高曲轴的寿命,降低噪声,增加乘坐的舒适性。与传统的铝合金活塞相比,镁合金活塞有望减轻 30% 的重量,因而开发镁合金活塞是世界汽车业亟待解决的课题。

[0004] 然而,由于镁合金低的高温强度和抗蠕变性能制约了其在活塞(包括其它发动机和动力系统零件)上的应用。近年来,随着国内外对镁合金材料的开发和应用的不断深入,尤其是耐热镁合金和镁基复合材料的发展为镁合金在汽车活塞上的应用提供了可能性。

[0005] 专利 EP499321-A1 中介绍了复合材料局部增强镁合金活塞的一种制备工艺,首先选用氧化铝、碳化硅或者氮化硅陶瓷短纤维制成一定形状的预制件,安装在活塞顶、活塞环、销孔等需要增强的部位,然后通过压力浸渍工艺注入镁合金熔体,为改善其耐热性,上述镁合金基体中含有一定量与稀土金属的化合物。尽管该工艺使活塞的耐热性得到了明显改善,但所涉及的纤维预制件、活塞模具、与基体的复合等制备过程相对复杂,不可避免地带来了成本和性能稳定性方面的问题,因而制约了其应用。

[0006] 另外,在中国专利文献号 CN1796024A 中,公开了一种镁合金发动机活塞及其制备方法,其成分含量为:Al 2 ~ 10wt%, Si 2 ~ 10wt%, 其余为镁和添加元素,所述添加元素为 Y、Sr、Ca、C、Be 及稀土类金属元素中的一种或几种;活塞的制备方法有下列步骤组成:镁合金熔炼、精炼,镁合金半固态浆料制备、镁合金半固态坯料制备、镁合金铸锭的制备、压力成

型、最终制成镁合金活塞。据报道,该工艺所制备的 Mg-Al-Si 镁合金活塞在 280℃ 条件下,屈服强度高于 200MPa。然而,该专利除工艺成本相对较高之外,还未考虑对活塞运行更为重要的蠕变性能和疲劳强度,事实上,过高含量 Al 元素的添加势必会导致镁合金蠕变性能和疲劳强度的显著下降。

[0007] 随着发动机功率的提高,活塞顶部的温度可达到 300℃,对活塞材料的要求也更为苛刻,因而如何利用耐热镁合金低成本,高效率的制备高性能的镁合金发动机活塞一直是汽车行业关注的焦点。但目前采用低压铸造方法制备高性能的镁合金发动机活塞,在国内外还未见公开报道。

发明内容

[0008] 本发明针对现有技术存在的上述不足,提供一种耐热稀土镁合金发动机活塞的低压铸造制备方法,通过施加 0.2 ~ 0.8atm 的压力并选择合适的耐热稀土镁合金、选取合适的低压铸造工艺参数以及调整相应的热处理工艺,从而制备出具备优异高温强度,疲劳强度和抗蠕变性能的活塞。

[0009] 本发明是通过以下技术方案实现的,本发明包括以下步骤:

[0010] 第一步、配取中间合金 Mg-Y、Mg-Gd 和 Mg-Zr 以及工业纯镁和工业纯锌,其中: Mg-Y 为 Mg-25wt% Y 中间合金,用量 12.31 ~ 18.46kg、Mg-Gd 为 Mg-25wt% Gd 中间合金,用量 42.11 ~ 50.5kg 和 Mg-Zr 为 Mg-30wt% Zr 中间合金,用量 3.33 ~ 10kg 以及工业纯镁 22.38 ~ 43.55kg 和工业纯锌 1 ~ 3kg;

[0011] 第二步、熔炼合金,获得镁合金熔体,具体步骤如下:

[0012] 2.1) 将第一步中选取的中间合金 Mg-Y、Mg-Gd 和 Mg-Zr 以及工业纯镁和工业纯锌置于烘箱中预热至 200 ~ 250℃,保温 2 小时以上;

[0013] 2.2) 在 SF₆+CO₂ 气体保护或覆盖剂保护条件下向熔炼炉中加入工业纯镁,加热熔炼,然后依次在 700 ~ 740℃ 的温度下向熔炼炉中加入预热后的 Mg-Y 和 Mg-Gd 并待其完全熔化后,在 650 ~ 750℃ 的温度下加入工业纯锌;

[0014] 2.3) 将熔炼炉升温至 760 ~ 780℃ 后加入 Mg-Zr 中间合金,搅拌 2 ~ 5 分钟以促使其充分熔化,然后进一步升高熔炼炉温度至 780 ~ 800℃;

[0015] 2.4) 在 780 ~ 800℃ 保温 20 ~ 30 分钟后降温至 740 ~ 760℃,采用镁合金精炼剂精炼 5 ~ 20 分钟。精炼后的静置时间控制在 25 ~ 40 分钟之间,待镁液冷却至 740 ~ 770℃ 后撇去表面浮渣,获得镁合金熔体。

[0016] 第三步、对镁合金熔体进行低压铸造,得到镁合金活塞初坯:镁合金熔体浇注温度为 720 ~ 740℃,砂型浇道温度为 0 ~ 150℃,金属型活塞模具温度为 200 ~ 400℃,然后依次进行升压:50 ~ 70s,0.2 ~ 0.25atm;保压:1min ~ 1min30s,0.7 ~ 0.8atm;卸压:6min ~ 6min30s,0.25atm;完毕:7 ~ 8min,实现低压铸造过程,制成镁合金活塞初坯。

[0017] 第四步、将镁合金活塞初坯依次进行固溶处理、冷却处理和时效处理后得到耐热稀土镁合金发动机活塞。

[0018] 所述的固溶处理是指:在 500 ~ 550℃ 的环境下固溶 6 ~ 20 小时;

[0019] 所述的冷却处理是指:随炉自然冷却、水淬、空气冷却;

[0020] 所述的冷却处理的冷却速度为 0.002℃/s ~ 68℃/s 之间;

[0021] 所述的时效处理是指在 225 ~ 300℃ 的环境下进行 12 ~ 45 小时的时效处理。

[0022] 与现有技术相比,本发明采用了比传统铝硅合金活塞材料密度更小的镁合金作为原材料,大大减轻了活塞的重量,除了可以降低油耗外,还可以大幅减轻活塞运动过程中的震动,提高曲轴的寿命,减少噪声,增加乘坐的舒适性;同时由于本发明采用了新型耐热稀土镁合金作为活塞材料,并通过成分优化和一系列工艺参数的调整,获得晶粒细小、组织致密、尺寸稳定,性能更加优异、能更好满足发动机活塞服役要求的新型耐热稀土镁合金活塞。经过固溶和时效处理后,在活塞顶部取样,测试其室温抗拉强度和延伸率分别为 275MPa 和 1.2%,高温 300℃ 测试时的抗拉强度和延伸率分别为 238MPa 和 5.2%;其室温和 300℃ 疲劳强度分别为 82MPa 和 67MPa;在 300℃ /50MPa 测试条件下,该合金仍具有非常优异的抗蠕变性能,100h 的蠕变伸长仅为 0.86%,其稳态蠕变速率为 $2.34 \times 10^{-8} \text{s}^{-1}$ 。

附图说明

[0023] 图 1 为本发明制备所得活塞示意图。

具体实施方式

[0024] 下面对本发明的实施例作详细说明,本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0025] 实施例 1

[0026] 镁合金发动机活塞的合金成分(重量百分比):10% Gd、3% Y、2% Zn、0.4% Zr,杂质元素小于 0.02%,其余为 Mg。

[0027] 该合金的熔炼工艺具体步骤为:

[0028] (1) 按照上述成分配置合金,纯镁及所用中间合金在烘箱中预热至 200℃,保温 2 小时;

[0029] (2) 熔炼 Mg:在熔炼炉中加入工业纯镁,加热熔炼,同时采用覆盖剂进行保护;

[0030] (3) 加 Y 和 Gd:在 730℃ 的温度下向镁液中加入烘干的 Mg-Y 和 Mg-Gd 中间合金;

[0031] (4) 加 Zn:待中间合金完全熔化后,在 700℃ 的温度下加入工业纯锌;

[0032] (5) 加 Zr:将镁液温度升至 760℃ 后加入 Mg-Zr 中间合金,搅拌 2 分钟以促使其充分熔化,升高镁液温度至 780℃;

[0033] (6) 精炼:在 780℃ 保温 20 分钟后降温至 760℃,采用镁合金精炼剂精炼 10 分钟。精炼后静置 30 分钟,待镁液冷却至 735℃ 后撇去表面浮渣,获得镁合金熔体,浇注准备;

[0034] (7) 低压铸造:保持镁合金熔体温度 735℃,砂型浇道 50℃,金属模具温度 350℃,进行低压铸造制成活塞,其工艺参数具体为:升压:70s,0.25atm;保压:1min30s,0.7at;卸压:6min,0.25atm;完毕:7min07s。

[0035] 将制得的镁合金活塞进行 525℃、15 小时的固溶处理、空冷以及 225℃、20 小时的时效处理,最后获得高强度耐热镁合金活塞。

[0036] 本实施例的镁合金活塞的室温抗拉强度和延伸率分别为 260MPa 和 0.89%,高温 300℃ 测试时的抗拉强度和延伸率分别为 221MPa 和 5.6%;其室温和 300℃ 疲劳强度分别为 67MPa 和 46MPa。300℃ /50MPa 蠕变条件下,其稳态蠕变速率为 $5.25 \times 10^{-8} \text{s}^{-1}$,100 小时的蠕

变伸长为 3.1%。

[0037] 实施例 2

[0038] 镁合金发动机活塞的合金成分（重量百分比）：11% Gd、2% Y、1% Zn、0.2% Zr，杂质元素小于 0.02%，其余为 Mg。

[0039] 该合金的熔炼工艺具体步骤为：

[0040] (1) 按照上述成分配置合金，纯镁及所用中间合金在烘箱中预热至 200℃，保温 2 小时；

[0041] (2) 熔炼 Mg：在熔炼炉中加入工业纯镁，加热熔炼，同时采用覆盖剂进行保护；

[0042] (3) 加 Y 和 Gd：在 730℃ 的温度下向镁液中加入烘干的 Mg-Y 和 Mg-Gd 中间合金；

[0043] (4) 加 Zn：待中间合金完全熔化后，在 700℃ 的温度下加入工业纯锌；

[0044] (5) 加 Zr：将镁液温度升至 760℃ 后加入 Mg-Zr 中间合金，搅拌 2 分钟以促使其充分熔化，升高镁液温度至 780℃；

[0045] (6) 精炼：在 780℃ 保温 20 分钟后降温至 760℃，采用镁合金精炼剂精炼 10 分钟。精炼后静置 30 分钟，待镁液冷却至 735℃ 后撇去表面浮渣，获得镁合金熔体，浇注准备；

[0046] (7) 低压铸造：保持镁合金熔体温度 735℃，砂型浇道 60℃，金属模具温度 380℃，进行低压铸造制成活塞，其工艺参数具体为：升压：70s, 0.25atm；保压：1min30s, 0.8atm；卸压：6min30s, 0.25atm；完毕：7min09s。

[0047] 将制得的镁合金活塞进行 525℃、20 小时的固溶处理、水淬以及 225℃、24 小时的时效处理，最后获得高强度耐热镁合金活塞。

[0048] 本实施例的镁合金活塞的室温抗拉强度和延伸率分别为 250MPa 和 1.5%，高温 300℃ 测试时的抗拉强度和延伸率分别为 231MPa 和 6.2%；其室温和 300℃ 疲劳强度分别为 73MPa 和 58MPa；300℃ /50MPa 蠕变条件下，其稳态蠕变速率为 $4.91 \times 10^{-8} \text{s}^{-1}$ ，100 小时的蠕变伸长为 2.88%。

[0049] 实施例 3

[0050] 镁合金发动机活塞的合金成分（重量百分比）：12% Gd、2% Y、2% Zn、0.3% Zr，杂质元素小于 0.02%，其余为 Mg。

[0051] 该合金的熔炼工艺具体步骤为：

[0052] (1) 按照上述成分配置合金，纯镁及所用中间合金在烘箱中预热至 200℃，保温 2 小时；

[0053] (2) 熔炼 Mg：在熔炼炉中加入工业纯镁，加热熔炼，同时采用覆盖剂进行保护；

[0054] (3) 加 Y 和 Gd：在 730℃ 的温度下向镁液中加入烘干的 Mg-Y 和 Mg-Gd 中间合金；

[0055] (4) 加 Zn：待中间合金完全熔化后，在 700℃ 的温度下加入工业纯锌；

[0056] (5) 加 Zr：将镁液温度升至 760℃ 后加入 Mg-Zr 中间合金，搅拌 2 分钟以促使其充分熔化，升高镁液温度至 780℃；

[0057] (6) 精炼：在 790℃ 保温 25 分钟后降温至 760℃，采用镁合金精炼剂精炼 10 分钟。精炼后静置 30 分钟，待镁液冷却至 735℃ 后撇去表面浮渣，获得镁合金熔体，浇注准备；

[0058] (7) 低压铸造：保持镁合金熔体温度 720℃，砂型浇道 100℃，金属模具温度 350℃，进行低压铸造制成活塞，其工艺参数具体为：升压：60s, 0.25at；保压：1min20s, 0.8at；卸压：6min20s, 0.25at；完毕 7min20s。

[0059] 将制得的镁合金活塞进行 525℃、20 小时的固溶处理、水淬以及 225℃、24 小时的时效处理,最后获得高强度耐热镁合金活塞。

[0060] 本实施例的镁合金活塞的室温抗拉强度和延伸率分别为 275MPa 和 1.2%, 高温 300℃测试时的抗拉强度和延伸率分别为 238MPa 和 5.2%;其室温和 300℃疲劳强度分别为 82MPa 和 67MPa ;300℃ /50MPa 蠕变条件下,其稳态蠕变速率为 $2.34 \times 10^{-8} s^{-1}$, 100 小时的蠕变伸长为 0.86%。

[0061] 如表 1 所示,为上述实施例与现有技术的性能比较

	温度	Alcan 公司铝合金活塞		本实施例 (Mg-12Gd-2Y-2Zn-0.3Zr wt% T6:525℃× 20h 水淬+225℃× 24h)
		AlSi12Cu MgNi	AlSi18Cu MgNi	
抗拉强度 UTS (MPa)	室温	200~250	180~230	275
	300℃	80~100	90~130	238
延伸率 Elongation (%)	室温	0.3~1.5	0.2~1.0	1.2
	300℃			5.2
密度 Density (kg · dm ³)		2.70	2.68	1.99 (30% off)
疲劳强度 Fatigue Strength (MPa)	室温	Number of Cycles N=5×10 ⁷		Number of Cycles N>1.09×10 ⁷
		80~120	80~110	82
	300℃			67
蠕变性能 Creep Resistance	300℃ 50MPa			$\epsilon_{100h} = 0.86\%$ $\dot{\epsilon}_{min} = 2.34 \times 10^{-8} s^{-1}$

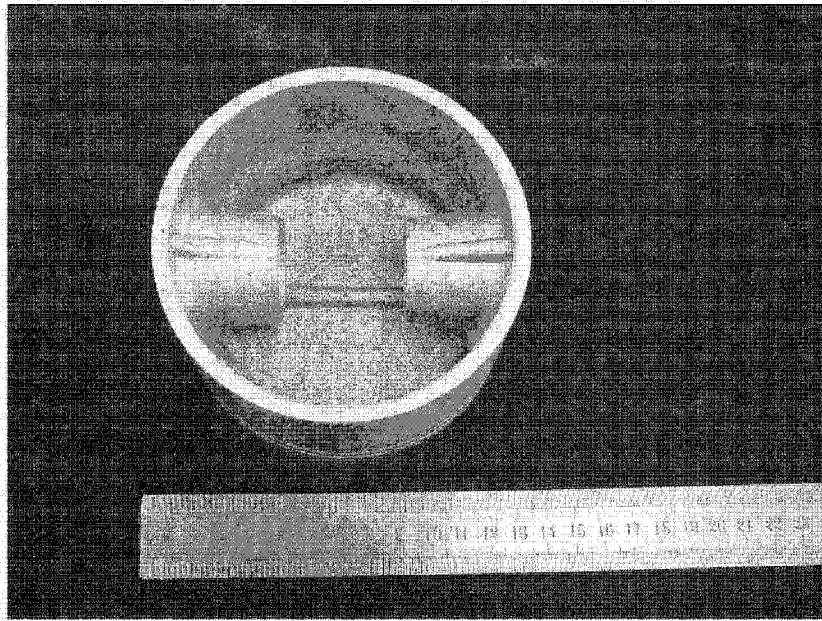


图 1