

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
C22C 21/04 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03117833.2

[45] 授权公告日 2006年9月20日

[11] 授权公告号 CN 1276109C

[22] 申请日 2003.5.7 [21] 申请号 03117833.2
[71] 专利权人 长安汽车(集团)有限责任公司
地址 400023 重庆市江北区建新东路260号
[72] 发明人 沈玲 崔容庆 罗明刚 张钊
陈兵
审查员 王怀东

[74] 专利代理机构 重庆华科专利事务所
代理人 康海燕

权利要求书1页 说明书7页

[54] 发明名称

微型汽车发动机缸盖低压铸造铝合金

[57] 摘要

微型汽车发动机缸盖低压铸造铝合金, 其主要化学成分 Si、Cu、Mg, 特别是 Cu、Mg 控制较好, 其有害杂质元素控制较严格; 合金经变质剂变质处理和(T_6)热处理后其抗拉强度 Q_b MPa \geq 300、HB 约为 110; 合金有足够的强度和刚度, 尺寸稳定性较好, 能够满足微型汽车发动机缸盖低压铸造工艺和机械加工工艺。

1、一种微型汽车发动机缸盖低压铸造铝合金，其特征是：铝合金的化学成分和百分含量为 Cu2.0-3.0%，Si8.0-10.0%，Mg 0.15-1.30%，其余为 Al 和杂质，其中杂质中 $\text{Sn} \leq 0.01$ 、 $\text{Pb} \leq 0.01$ ；合金经采用钠盐变质处理或者采用锶复合盐长效变质处理，再经 T_6 热处理，其抗拉强度 $\sigma_b \geq 300\text{MPa}$ ，硬度约为 100-120HB。

2、根据权利要求 1 所述的微型汽车发动机缸盖低压铸造铝合金，其特征是：所述杂质还有 $\text{Zn} \leq 0.30$ 、 $\text{Fe} \leq 0.45$ 、 $\text{Mn} \leq 0.30$ 、 $\text{Ti} \leq 0.20$ 、 $\text{Ni} \leq 0.20$ 、 $\text{Cr} \leq 0.20$ 。

微型汽车发动机缸盖低压铸造铝合金

技术领域

本发明涉及一种铝合金材料，尤其是能用于微型汽车发动机缸盖的低压铸造的铝合金材料。

背景技术

目前，微型汽车发动机缸盖普遍采用的是重力浇铸铸出来的；重庆长安公司九五期间规划引进日本铃木公司G系列发动机、新型面包车和轿车生产技术，它包括众多新材料、新技术和新工艺。其中十分重要的是缸体、缸盖铝合金化，以实现轻量化，达到减重、节能、减少排放污染的目的。为尽快实现发动机的批量生产，缸体缸盖总成产业化是首当其冲。其中，缸盖用低压铸造铝合金材料的研究项目是关键的項目之一。

日本铃木公司的缸盖用的是日本的AC4B铸造铝硅合金生产制造，这两种材料国内目前尚无相应的标准材料可采用。同时，经过使用发现日本AC4B铸造铝硅合金的化学成分中各元素百分含量范围大，特别是存在各有害杂质控制不严格的缺陷和把Mg元素当成杂质考虑的不足。因为在合金中，镁Mg起到时效强化作用。简单的Al-Si合金的时效硬化效果是非常不明显，加入适量的Mg，能与Si形成 Mg_2Si 强化相，会产生显著的强化效果。而且，镁Mg还可以提高铝合金的加工性能，Mg固溶于Al基体中，提高其硬度，切屑变短，不易粘刀，积屑瘤减小，加工表面质量提高，刀具的磨损降低。因此缺镁热处理效果不明显，铝合金的加工性能不理想。另外，杂质元素Sn和Pb它们能形成低熔点共晶，对热处理极为不利，极微量的Sn也能使热处理后的延伸率显著降低，同时Sn和Pb能和Mg起化学作用，减弱Mg的强化作用而使机械性能降低。因此必须还对Sn、Pb的含量进行合理限制。再者，日本进口材料价格高，长期靠进口，不能降低产品成本。

发明内容

为了克服现有微型汽车发动机缸盖的低压铸造的铝合金材料存在的上述不足，本发明提供一种微型汽车发动机缸盖低压铸造铝合金，该铝合金化学成分优化合理、力学性能较 AC4B 高、工艺性能较好，完全能够满足 G 系列发动机缸盖低压铸造工艺和机械加工工艺的需要。

本发明的铝合金材料的主要化学和百分含量为：Cu 2.0-3.0%、Si 8.0-10.0%、Mg 0.15-0.30%，其余为杂质。该合金经特殊变质剂，如一般的采用钠盐变质处理或者采用锶复合盐长效变质剂，做变质处理和 T_6 热处理后，其抗拉强度 $\sigma_b \geq 300\text{MPa}$ 、硬度约为 100~120HB。

材料中，铜 Cu 起提高热处理强化作用，在 Al-Si 合金中，加入适量的 Cu，能与 Al 形成 CuAl_2 强化相，通过热处理后可产生显著提高强化效果。本发明将 Cu 含量一般控制在 2~3%，是基于以下原因：当 Cu 固溶于 Al 基体中或以颗粒状化合物形式存在时，能显著提高铝合金的强度、硬度、高温力学性能即蠕变性能，但延伸率稍有降低；当 Cu 以网状化合物形式存在时，就会严重降低铝合金的延伸率、强度；Cu 的化学电位较 Al 高，易产生晶间腐蚀与应力腐蚀，含 Cu 铝合金的耐蚀性降低，尤其是 Cu 以化合物形式存在时，所以耐蚀性较高的铝合金往往限制 Cu 的含量；Al-Cu 合金有较宽的凝固温度区间，Cu 的加入强烈的降低铝合金的流动性能，增加铝合金的热裂倾向。因此，也需对 Cu 含量进行控制。镁 Mg 起到时效强化作用。简单的 Al-Si 合金的时效硬化效果是非常不明显，加入适量的 Mg，能与 Si 形成 Mg_2Si 强化相，会产生显著的强化效果。而且，镁 Mg 还可以提高铝合金的加工性能，Mg 固溶于 Al 基体中，提高其硬度，切屑变短，不易粘刀，积屑瘤减小，加工表面质量提高，刀具的磨损降低。Mg 降低了合金的电极电位，提高铝合金的耐蚀性。因此，本发明将 Mg 含量控制在 0.2~0.4%。

材料中杂质的百分含量为：Zn ≤ 0.30 、Fe ≤ 0.45 、Mn ≤ 0.30 、Ti ≤ 0.20 、Ni ≤ 0.20 、Cr ≤ 0.20 、Sn ≤ 0.01 、Pb ≤ 0.01 。

本发明对这些杂质的含量进行了合理的控制，具体分析如下：

钛 Ti 的主要作用是细化晶粒，提高塑性。在 655℃ 时，含 Ti 量 0.15% 的铝合金中将发生包晶反应： $L + \text{TiAl}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}$ 。由于液相中存

在 TiAl₃ 晶核，因而使 α 相细化。但含 Ti 量不能太高，否则会产生 Ti 偏析，生成游离的 TiAl₃，聚集后合金的力学性能下降，所以含 Ti 量一般控制在 0.1~0.2%。

铁 Fe 是铝硅合金中的主要杂质元素，它主要来自炉料、坩埚和熔炼工具。共晶温度下 Fe 在 Al 中的溶解度仅 0.03~0.05%，室温下更低，主要以化合物形式存在，还可能出现 α (FeSiAl) 铁相以及 β (FeSiAl) 铁相，在铸造 Al-Si 合金中 Fe 常以 β 铁相出现。 β 铁相脆而硬，往往以粗大的针状穿过 α (Al) 晶粒，大大削弱了基体，降低了合金的机械性能，尤其是伸长率和冲击值。当合金中存在含铁相时，使表面氧化膜失去连续性；在晶界上析出的 β 铁相，促使 Al-Si 合金发生电化学腐蚀，因而降低合金的抗蚀性能。基于这一点，常常通过添加某些微量元素和控制冷却速度等凝固条件来调整 Fe 相的形态。常见措施是加入 Mn、Cr、Be 等使其以汉字状复杂化合物形式存在，消除了原有针状 Fe 相削弱基体的有害作用。改善其对力学性能、流动性、加工性的不利影响。因此 Mn 和 Zn 的含量一般控制在 0.3% 左右，Fe 在 0.45 以下，Cr 和 Ni 的含量在 0.2% 左右。

其它杂质元素 Sn 和 Pb 它们能形成低熔点共晶，对热处理极为不利，极微量的 Sn 也能使热处理后的延伸率显著降低，同时 Sn 和 Pb 能和 Mg 起化学作用，减弱 Mg 的强化作用而使机械性能降低。因此必须限制 Sn、Pb 的含量在 0.01% 以下。

将本发明的铝合金材料（代号 GZL-1）与日本进口的 AC4B 进行对比如下：

化学成份对比表

牌号	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ti	AL	Ni	Cr	Sn	Pb
GZL-1	2.0~3.0	8.0~10.0	0.15~0.30	≤0.30	≤0.45	≤0.30	≤0.20	余量	≤0.20	≤0.20	≤0.01	≤0.01
AC4B	2.0~4.0	7.0~10.0	≤0.50	≤1.00	≤1.00	≤0.50	≤0.20	余量	≤0.35	≤0.20	≤0.10	≤0.20

力学性能对比表

牌号	状态	σ_b (MPa)	HB
GZL-1	T ₆	≥ 300	100~120
	F	≥ 200	80~100
AC4B	T ₆	≥ 240	约 80
	F	≥ 170	约 80

由以上对比可见：该材料的力学性能其硬度、抗拉强度 F 态和 T₆ 态都高于 AC4B。

以下是通过实验等对本材料性能的检测：

1、通过气缸盖低压铸造工艺试验生产实践表明：GZL-1 低压铸造铝合金材料的综合铸造工艺性能良好。GZL-1 合金流动性好，没有出现缩孔、疏松，合金的线收缩合理，无裂纹、变形或挠曲等铸造缺陷。生产的铸件产品充型良好，产品轮廓清晰、形状完整、成型好，浇口收缩正常，变形小，产品经三坐标和划线检查，铸件尺寸精度可达到 CT6 级。

在生产的铸件中未发现热裂现象，产品脱模型良好。

抽查产品硬度，检测结果为 98~110HB。

到目前为止低压铸造生产线累积生产缸盖铸件 5000 件，合格率达 90%左右。

2、通过机加工工艺试验验证说明：GZL-1 低压铸造铝合金材料的机加工工艺性能良好。主要表现为：

(1) 由于低压铸铝合金组织致密、均匀，与 ZL101 重力铸造铝合金相比较，加工硬度稍高一点，但易于切削加工。

(2) 试验件机加工后的表面平整光滑，表面粗糙度满足产品要求，特别是达到表面粗糙度 Rz3.2（相当于 Ra0.6）的要求，甚至有的达到 Ra0.32。

(3) 试验件机加工达到产品的高精度要求，特别是形位精度要求，凸轮轴孔的圆度达 $\phi 0.006$ ，甚至有的达到 $\phi 0.004$ 。

(4) 缸盖的螺纹孔多，以前的材料在机加时，容易出现烂牙现象，造成半成品的报废，而该材料的缸盖很少出现烂牙现象，说明该材料的强韧性良好。

3、其他方面的考核

在机加过程中还有辅助工序加工，对材料也提出了很高的要求，通过加工说明材料满足了产品、加工工艺要求：

(1) 管阀座和堵塞采用常温压入缸盖，缸盖导管阀座压入缸盖顺利。缸盖未发现变形。

(2) 缸盖进行泄漏试验，由于低压铸铝合金组织致密，并且比较均匀，泄漏检查合格率高。

(3) 缸盖由于加工工序多，产品装夹定位、加工时未发现夹压变形的情况。

新材料在批量加工的生产过程中，机加的各项指标达到产品的高精度要求，甚至高出很多，这表明 GZL-1 完全能够满足机加工的需要。该铝合金的凝固收缩状况（线收缩率和体收缩率）较好，尺寸稳定性好。强韧性良好。

4. 经 500 小时工作可靠性台架试验和装车道路运行试验，新材料合金缸体缸盖组装的发动机运转良好，缸体缸盖未发生烧蚀、变形和渗漏（油、水）现象，整机性能指标达到企业标准要求。该汽油机合格。

表明：新型合金气缸盖工作热稳定性好，热变形量小；在水、油、蒸汽等侵蚀下有较好的抗腐蚀性；具有良好的抗疲劳性；

500 小时工作可靠性台架试验：GZL-1 气缸盖在组装于发动机过程中，各组合零件尺寸配合良好，经组装于 JL472Q、JL474Q 发动机试运转磨合检查，未发现质量问题，后历经 500 小时台架运转试验，气缸盖和气缸体工作状况正常，未发生渗漏（油、水）现象，发动机运转良好。台架试验完毕后检查，气缸盖和缸体表面状态完整良好。气缸盖燃烧室平面度和曲轴箱平面度，参加试验前后的检测结果均符合产品设计图纸要求，磨损量在规定范围内，表明新型合金气缸盖热稳定性良好。另外台架试验完毕后检测气缸盖凸轮轴孔检测，磨损量基本正常。气缸盖燃烧室平面面积较大，由于在工作时承受反复的热冲击作用容易产生变形情况，影响密封性能，所以对其变形量要求十分严格，这对气缸盖用材料的热工性能是严重的考验。

装车道路运行试验：将 GZL-1 气缸盖组装的发动机并装配于长安之

星在海南试车场进行 25000 公里道路运行考核试验,在整个道路运行试验以及从重庆到海南往返途中,产品工作正常良好,从未发生渗漏现象,以及裂纹等情况,试验完成以后发动机拆卸检查,试验产品表面完整良好。气缸盖在参加道路试验前后,有关凸轮轴孔、平面度等主要尺寸都由相关部门负责检测。检测结果表明:试验以后的凸轮轴孔磨损量以及燃烧室平面变形量等主要技术指标均在产品技术条件规定范围内。

由上述的试验和检测可见本合金材料具有如下优点:合金对 Cu、Mg 控制较好,其有害杂质元素控制较严格,使合金强度高,尺寸稳定性好,具有较好的高温强度和耐热冲击性,工作热稳定性好,热变形量小,在水、油、蒸汽等浸蚀下有较好的抗腐蚀性,具有良好的抗疲劳性,能够满足微型汽车发动机缸盖低压铸造工艺和机械加工工艺。而且合金的生产成本低,可以填补国内材料的空白。

具体实施方式

例 1: 配料成份

配料按如下公式: $W_i = A_i / (1 - E_i\%) W_t$ 计算, 式中:

A_i 合金中各元素的含量 X_i (% wt);

E_i 熔炼时各元素的烧损率, 如表所示;

W_t 所熔炼合金的总重量;

W_i 一次熔炼总重中各元素的重量;

元素烧损率按下表:

元素	铝	硅	镁	铜	钛
E_i (%)	3	1	15	5	15

二、选用下列原辅材料:(假如制备 100 公斤合金)

铝锭: 工业高纯铝 90 公斤;

硅: 1# 结晶硅 9 公斤;

中间合金: Al - 50% Cu 5 公斤;

金属纯镁锭 0.3 公斤;

精炼剂 1 公斤及扒渣剂 0.5 公斤等。

三、熔炼工艺

第一步: 采用 20~30% 滑石粉 + 5% 水玻璃 + 适量水和成涂料;

第二步: 所有熔炼工具均于 250℃ 左右刷上涂料并烘干, 以防熔炼过程中增铁;

第三步: 将坩埚预热到暗红色, 然后把经预热后的铝锭取 2/3 (60 公斤) 放入坩埚中熔化;

第四步: 当铝锭熔化成浆糊状时, 把经预热的结晶硅 9 公斤压入铝液中, 并将余下的 1/3 (30 公斤) 铝锭加入到坩埚中, 抑制硅的上浮;

第五步: 待加入料全部熔化后, 再加入 Al - Cu 5 公斤中间合金, 熔清后进行搅拌;

第六步: 于 730℃ 分两次进行精炼、扒渣后, 迅速将镁块 0.3 公斤压入铝液中, 熔清后扒渣静置 5~10min 即可浇注成锭。

按上述工艺得到的合金材料的化学成份 (质量百分比) 为:

Cu 2.30、Si 8.90、Mg0.21、Zn 0.30、Fe 0.13、Mn0.17、Ti0.13、Al 87.9、Ni0.06、Cr0.004、Sn0.001、Pb ≤0.01。