

ADC12 铝合金压铸缸体硬质点分析及改进措施

印小松, 刘宏庆, 柯 研, 康忠臣

(重庆秦安铸造有限公司, 重庆 402247)

摘要:某厂生产的一批 ADC12 铝合金压铸缸体出现硬质点, 在机加工时出现打刀现象, 并使产品形成微裂纹。通过硬度检测、化学成分分析、金相检验、扫描电镜分析和能谱分析等方法, 对 ADC12 铝合金压铸缸体出现硬质点的原因进行了分析。结果表明: 由于氮气纯度较低、铝液不纯净、未及时扒渣, 造成杂质进入铝合金压铸型腔后形成硬质点, 从而在机加工时出现打刀现象。最后提出了相应的改进措施

关键词: ADC12 铝合金; 硬质点; 压铸缸体

中图分类号: TG146.1

文献标志码: B

文章编号: 1001-4012(2018)05-0339-04

Analysis and Improvement Measures for Hard Spots of ADC12 Aluminum Alloy Die Casting Cylinder

YIN Xiaosong, LIU Hongqing, KE Yan, KANG Zhongchen

(Chongqing Qin'an Foundry Co., Ltd., Chongqing 402247, China)

Abstract: Hard spots were found in the die cast cylinder block of ADC12 aluminum alloy. The knife phenomenon appeared during machining and the product formed the micro cracks. The causes of hard spots in ADC12 aluminum alloy die casting cylinder block were analyzed by methods of hardness testing, composition analysis, metallographic examination, scanning electron microscopy and energy spectrum analysis. The results show that the hard spots formed after the impurities enter into the die casting cylinder block of the aluminum alloy, cause by low purity of nitrogen, aluminum water, and not slagging in time. Therefore, the knife phenomenon appeared during machining. Finally, the corresponding improvement measures are presented.

Keywords: ADC12 aluminum alloy; hard spot; die casting cylinder

汽车发动机缸体以前多采用传统灰铸铁材料砂型铸造, 具有缸体质量大、制造过程对环境污染大等缺点。用铝合金替代钢铁, 符合汽车轻量化要求, 可使汽车零件质量减轻 65%^[1]。某厂结合国际和国内现有的条件和经验, 建成了多条先进的缸体压铸生产线, 主体材料为 ADC12 铝合金, 批量生产了多种规格的压铸缸体。具体生产工艺为: 熔炼(配料→加精炼剂、覆盖剂、通氮气除气除杂→倒入转运包→加精炼剂、覆盖剂、通氮气除气除杂→保温炉)→保温炉保温→模具安装→开模→喷离型剂吹气→合模→压铸→开模→取件。正常的铝合金压铸缸体由于其本身

的硬度普遍较低, 机加工时一般不发生打刀现象。但最近生产的一批压铸缸体出现很多硬质点, 在机加时发生打刀现象, 并使产品形成微裂纹。为了分析该批铝合金压铸缸体硬质点产生的原因, 笔者采用硬度检测、化学成分分析、金相检验、扫描电镜分析等方法对其进行了检验和分析, 并提出了相应的预防改进措施。

1 理化检验

1.1 硬度测试

在 ADC12 铝合金压铸缸体出现打刀的部位(含微裂纹)取硬度试样, 采用维氏硬度计进行检测, 结果表明试样局部硬度达 160~180 HV, 远高于缸体的硬度要求 70~120 HV。

1.2 化学成分分析

采用直读光谱仪对缸体微裂纹附近区域进行化

收稿日期: 2017-09-23

作者简介: 印小松(1987—), 男, 助理工程师, 主要从事汽车零部件热处理及失效分析工作, 314549161@qq.com

学成分分析,结果见表 1,可见该压铸缸体的化学成分符合日本工业标准 JIS H 5302:2006 技术要求。

表 1 压铸缸体的化学成分(质量分数)

Tab.1 Chemical compositions of cylinder block (mass fraction)									%
项目	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
实测值	2.86	10.90	0.25	0.92	0.89	0.45	0.41	0.11	83.21
标准值	1.5~3.5	9.6~12.0	≤0.3	≤1.0	≤1.3	≤0.5	≤0.5	≤0.2	余量

1.3 金相检验

分别在缸体未出现硬质点、出现硬质点及微裂纹处制取金相试样,经砂纸打磨、抛光后,用 0.5% (体积分数)氢氟酸水溶液侵蚀,采用奥林巴斯 GX-

51 金相显微镜观察试样的显微组织,如图 1 所示。可见正常区域的显微组织为铝硅亚共晶组织,其中细小的黑色夹杂相在基体上均匀分布;异常区域的黑色夹杂聚集呈大块或大条状分布。

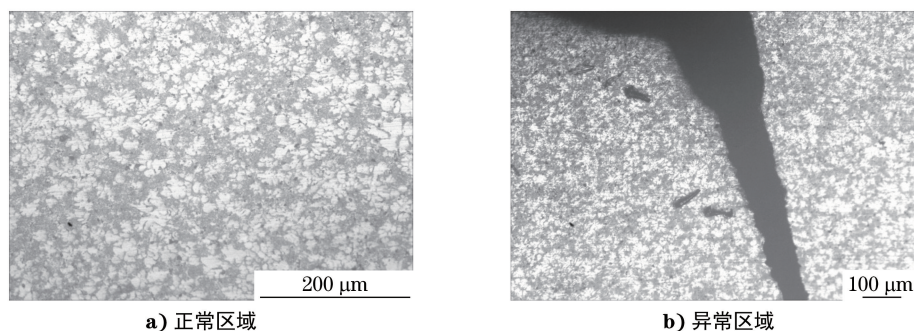


图 1 压铸缸体的显微组织形貌

Fig.1 Microstructrue morphology of the die casting cylinder: a) normal zone; b) abnormal zone

1.4 扫描电镜和能谱分析

取缸体裂纹区域,将裂纹打开,制取扫描电镜试样,采用 TESCAN VEGA3 LMH 扫描电镜(SEM)

进行微观形貌分析和微区成分分析,用扫描电镜在试样不同位置选取具有代表性的 A,B,C,D 视场,各视场的 SEM 形貌如图 2 所示,其微区化学成分

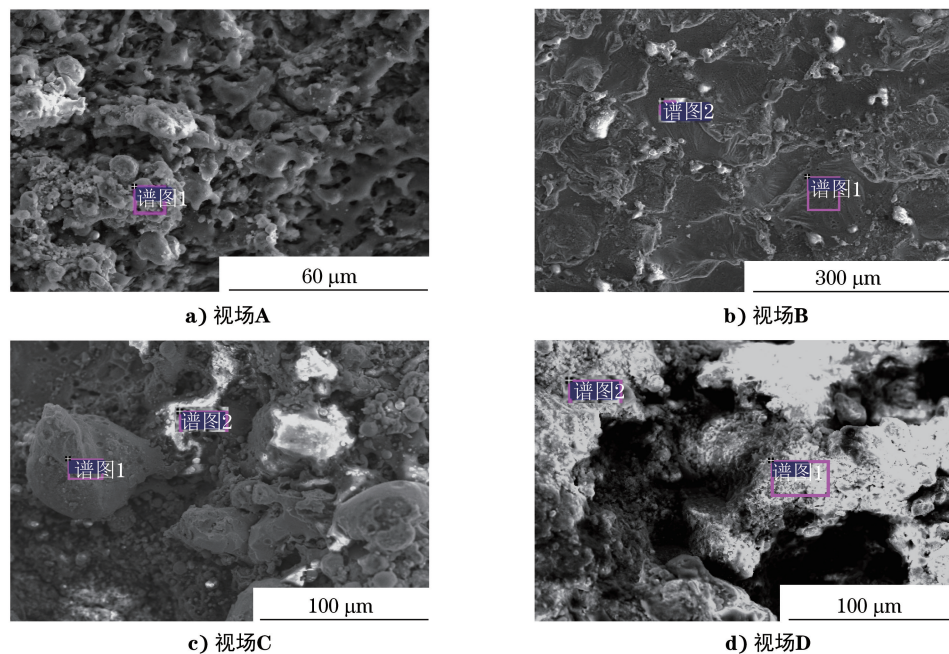


图 2 裂纹区域的 SEM 形貌

Fig.2 SEM morphology of the cracked region:

a) view A; b) view B; c) view C; d) view D

见表 2。图 2a)中 SEM 形貌显示显微组织呈多孔状,结合表 2 中的化学成分可知组织中含有 Al_2O_3 (多孔)夹杂相;图 2b)中显微组织存在大量的光滑面,含有许多白色夹杂物,结合表 2 中的化学成分可知组织中含有 Al_2O_3 (无孔), AlSiMnFe , 硅酸铝和 Al_3C_4 夹杂相;图 2c)中显微组织有灰色近球形颗粒物和白色夹杂,结合表 2 中的化学成分可知颗粒物

为 Al_2Cu ,其显微组织中也含有 Al_2O_3 (无孔), Al_3C_4 和 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂相;图 2d)中显微组织表面粗糙呈灰白色,结合表 2 中的化学成分,可知组织中含有 AlN , Al_2O_3 (无孔)和 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物。通过图 2 和表 2 可知硬质点夹杂相包含 Al_2O_3 (多孔或无孔),硅酸铝, $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, AlSiMnFe , AlN , Al_3C_4 等夹杂相。

表 2 裂纹区域能谱分析结果(质量分数)

Tab.2 Energy spectrum analysis results of the cracked region (mass fraction)

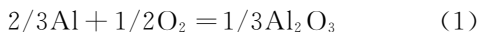
%

项目	Si	Fe	Cu	Mn	Ca	Mg	C	O	Al	S	N
视场 A 谱图 1	2.83	—	63.53	—	—	—	—	6.29	27.35	—	—
视场 B 谱图 1	4.19	2.20	2.27	1.70	7.10	—	20.88	27.98	61.65	—	—
视场 B 谱图 2	—	—	4.06	—	0.81	0.79	—	43.36	49.90	—	—
视场 C 谱图 1	—	2.52	77.99	—	—	1.05	5.11	10.08	3.25	—	—
视场 C 谱图 2	1.23	4.63	10.99	—	1.09	6.19	4.52	41.69	29.67	—	—
视场 D 谱图 1	0.51	0.82	2.07	—	0.62	10.60	22.40	42.04	20.55	0.37	—
视场 D 谱图 2	1.57	—	64.80	—	—	—	—	8.39	21.08	—	4.16

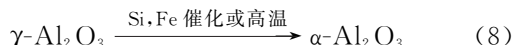
2 分析及讨论

ADC12 属铝硅铜镁型铝合金,正常的的铸造组织可形成 Mg_2Si , Al_2Cu 和 $\omega(\text{Al}_x\text{Mg}_5\text{Si}_4\text{Cu}_4)$ 等强化相和耐热相以及少量的初晶硅^[2]。但从该缸体出现硬质点位置的硬度测试和金相检验结果可知,加工异常部位出现了异常黑色夹杂,聚集呈大块或大条状分布,其硬度也远高于正常位置的,化学成分符合要求。通过扫描电镜微区成分分析可知硬质点夹杂相包含 Al_2O_3 (多孔或无孔),硅酸铝, $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, AlSiMnFe , AlN , Al_3C_4 等夹杂相。一般来说铝-硅压铸合金中测定铝基体平均显微硬度为 70 HV,共晶平均显微硬度为 118 HV,夹杂相 Al_2O_3 (多孔)显微硬度为 682 HV,夹杂相 Al_2O_3 (无孔)显微硬度为 1 354 HV,夹杂相硅酸铝显微硬度为 1 351 HV,夹杂相 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 显微硬度为 1 127 HV,夹杂相 AlSiMnFe 显微硬度为 630 HV^[3]。可以看出,压铸缸体中硬质点夹杂相 Al_2O_3 (多孔或无孔),硅酸铝, $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, AlSiMnFe 的硬度远大于铝合金基体和共晶组织的,硬质点的高硬度造成了机加工时打刀现象和微裂纹的产生。

铝合金在熔化过程中会与 O_2 , N_2 , H_2O , CO_2 , CO , C_mH_n , H_2 等气体以及溶质元素铜发生一系列的物理化学反应^[4-6],如下所示



由于铝的活泼性强于铜的,一般在铝液中铝优先被氧化,但铜的氧化依然存在,特别是在铜富集区。另外熔炼炉和保温炉炉壁及过滤板中含有 SiO_2 ,在高温下也易发生还原反应,铝氧化后一般先形成 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$,长时间保温后 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 又会转变为 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ^[6],反应过程如下所示



铝液中的 Al_2O_3 就是 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 与 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (刚玉)的混合物,呈多孔状(硬度约为 680 HV)或深蓝色无孔状(硬度约为 1 350 HV)^[7-8]。 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 为铝镁化合物即为尖晶石,其硬度约为 1 127 HV。 Al_3C_4 和碳化铝属碳化物,其硬度与刚玉的相当^[8]。碳化物夹杂 Al_3C_4 可能在铝熔炼过程中形成,经常由劣质铝锭造成,也可能是回炉料造成,由于尺寸较小,在 $1\sim 10\ \mu\text{m}$,这些碳化物一般无害^[5]。 AlN 属金刚石氮化物,硬度很高,很多复合材料用 AlN 颗粒增强,但在铝件中为硬质点。 AlSiMnFe 金属化合物,是由于铁、锰等元素有向铝液下部偏析的倾向,当铁、锰杂质元素含量较高时就形成 AlSiMnFe 金属化合物,浇铸时混入铝液形成硬质



点。铁含量和锰含量影响着铝合金的切削性能,当铁含量 $w_{Fe} > 0.4\%$ (质量分数)时,必须调整相应比例的锰含量,以使铁相的针状形态改变为球面多面体形态,但要使其分布均匀,而且数量尽可能要少^[9]。

由于在转运包、保温炉中的精炼除气过程中,不断向铝液中通氮气以除去铝液中含有的氢和夹杂物。氮气在熔体排除过程中,根据气体分压定律,氮气气泡及氢分压为零。氮气气泡与气泡附近铝液中的氢气气泡形成的分压差,造成铝液中的原子氢从液体中带出液面而排除。由于表面张力的作用,液内的 Al_2O_3 和其他夹杂物,吸附在气泡表面而随之带到液面,经清渣除去,达到除气、除渣的目的^[10]。但实际生产时氮气的纯度只有99.97%(体积分数),含有较多的杂质气体,会促使 Al_2O_3 ,碳, Al_4C_3 等种类夹杂物产生。

该压铸缸体中含有非金属夹杂物(Al_2O_3 , $MgO \cdot Al_2O_3$, AlN , Al_3C_4 , C, Cu_2O 等),金属夹杂物,且合金中含有大量的杂质元素氧、碳、氮、钙等。由上述分析可知,压铸缸体的硬质点是由铝液的不纯净,熔炼过程中除气除渣的氮气浓度较低,配汤口内铝液面夹杂含量高,未及时进行扒渣,在浇铸过程中杂质混入铝液,在压铸成型时进入压铸型腔造成的。

3 结论及建议

ADC12 铝合金压铸缸体硬质点区域存在大量的夹杂相,造成该区域硬度大幅升高,因此在机加工时出现打刀现象,甚至产生微裂纹。压铸缸体硬质点的形成与原材料的纯净度、熔炼过程和保温过程中的除气除渣以及人工扒渣有关。

建议如下:①控制原材料中杂质元素含量和原材料中元素配比在工艺要求范围内,控制回炉料的

质量,保证回炉料清洁干燥,回炉料加入比例要严格控制;②定期清理熔炼炉、转运包、保温炉的炉壁和炉底的残渣,定期检查保温炉陶瓷过滤网是否破损,如破损需及时更换,做好除气除渣工作,严格控制除气机用氮气的纯度,保证在99.99%以上;③浇铸铝液停放时间不易过长,炉底的铝液不宜浇铸,每次浇铸之前将保温炉的配汤口内表面氧化物及杂质清除,及时进行表面扒渣,并充分搅拌铝液,使合金成分均匀。

参考文献:

- [1] 兰冬云,郭敖如. 国内外汽车发动机铝缸体铸造技术[J]. 铸造设备研究,2008(4):45-49.
- [2] 董秀文,李岩. ADC10 压铸铝合金变速箱体硬质点缺陷分析及预防[J]. 理化检验(物理分册),2011,47(5):308-311.
- [3] 徐明钢,赵愉,陈敏之,等. Al-Si 压铸合金中硬质点夹杂物的研究[J]. 机械工程材料,2002,26(7):36-38.
- [4] 田素贵,张禄廷,王桂华,等. AlN 颗粒增强 Cu 基复合材料内氧化的研究[J]. 材料工程,2000(10):25-28.
- [5] 曾俊杰. 不同组分含量铝合金精炼剂对 A356 精炼效果的影响[D]. 南昌:南昌大学,2012.
- [6] 叶苗. 提高 $AlSi9Cu3$ 合金压铸件切削性能的研究[D]. 上海:上海交通大学,2003.
- [7] 李培杰,曾大本,刘群,等. 铝合金压铸件中硬质点问题的探讨[J]. 特种铸造及有色合金,2000,20(z1):29-31.
- [8] 武志刚. 铝合金压铸件中的硬质点分析探讨[J]. 铸造设备研究,2005(2):35-36.
- [9] 蔡勖勤. 铝硅系铸造铝合金中的铁相[J]. 理化检验(物理分册),2003,39(4):180-183.
- [10] 程永强,姚爱民. 铸造铝硅合金的直接熔炼[J]. 有色矿冶,2004,20(4):38-40.