

前油封法兰盘气孔缺陷分析及解决

朱洪军¹ 吕海霆¹ 周 健²

(1.大连科技学院机械工程学院; 2.大连亚明汽车部件股份有限公司)

摘 要 通过某前油封法兰盘压铸件缺陷分析,借助鱼骨图质量工具,确定气孔位置及产生的原因,并依据有关压铸理论以及数值模拟技术,优化了铸件排气系统及排溢系统。结果表明,运用数值模拟技术,合理布置排气槽与渣包可以有效地解决压铸件的气孔缺陷,解决该铸件两处气孔缺陷。

关键词 前油封法兰盘;气孔;数值模拟;鱼骨图

中图分类号 TG249.2 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.01.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Defect Analysis and Solution of Oil Seal Flange

Zhu Hongjun¹, Lü Haiting¹, Zhou Jian²

(1.School of Mechanical Engineering, Dalian Institute of Science and Technology;
2.Dalian Yaming Automobile Parts Co., Ltd.)

Abstract: Based on the defects analysis of a front oil-seal flange and using the fishbone diagram quality tool, the origination of air hole defects in the product and its location were analyzed. To solve the air hole defects, the exhausting system and overflow system were optimized according to the die-casting theory and numerical simulation analysis. The results reveal that through the numerical simulation and rational arranging exhausting system, the gas hole defects can be solved effectively.

Key Words: Oil Seal Flange, Gas Hole, Numerical Simulation, Fishbone Diagram

收稿日期:2020-08-22;修改稿收到日期:2020-09-17

第一作者简介:朱洪军,男,1973 年出生,高级工程师,辽宁大连(116052),E-mail:2410400497@qq.com

引用格式:朱洪军,吕海霆,周健. 前油封法兰盘气孔缺陷分析及解决[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(1):123-126.

ZHU H J, LÜ H T, ZHOU J. Defect analysis and solution of oil seal flange[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(1):123-126.

[4] 刘东戎,杨智鹏,王丽萍,等. 铸造充型过程数值模拟技术的发展及现状评述[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2016, 21(3): 96-100.

[5] 徐耀增. 电磁离心铸造热流磁耦合数值模拟[D]. 西安:长安大学, 2013.

[6] DABADE U A, BHEDASGAONKAR R C. Casting defect analysis using design of experiments (DoE) and computer aided casting simulation technique[J]. Procedia CIRP, 2013, 7(1): 616-621.

[7] LI C Z, TANG H Y, LI J S, et al. Numerical simulation of misrun defect of bimetallic composite pipe by investment casting[J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 251(1): 442-445.

[8] RAVI K R, PILLAI R M, AMARANATHAN K R, et al. Fluidity of aluminum alloys and composites: A review[J]. Journal of Alloys & Compounds, 2008, 456(1-2): 201-210.

[9] LEE J H, WON C W, CHO S S, et al. Effects of melt flow and temperature on the macro and microstructure of scroll compressor in direct squeeze casting[J]. Mater. Sci. Eng., 2000, 281(1-2): 8-16.

[10] 韩昌仁,周铁涛,柴增田,等. 熔模精密铸造蜡模充型过程的数值模拟[J]. 特种铸造及有色合金, 2001, 3(1): 38-39.

[11] ARNBERG L, BÄCKERUD L. Solidification Characteristics of Aluminum Alloys: Dendrite Coherency[M]. Schaumburg: American Foundrymen's Society, 1996.

[12] JAKUMEIT J, SUBASIC E, BÜNCK M. Prediction of misruns in thin wall castings using computational simulation[A]. Shape Casting, 5th International Symposium, San Diego, 2014[C]. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014.

[13] JANA S, KÄTTLITZ O, HEDIGER F, et al. Predictions of misruns using three-phase coupled mold-filling and solidification simulations in low pressure turbine (LPT) blades[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2012, 33(1): 1-8.

[14] PETROVA A V, BAZHENOV V E, KOLTYGIN A V. Prediction of misruns in ML5 (AZ91) alloy casting and alloy fluidity using numerical simulation[J]. Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2018, 59(6): 617-623.

[15] BAZHENOV V E, PETROVA A V, KOLTYGIN A V. Simulation of fluidity and misrun prediction for the casting of 356.0 aluminum alloy into sand molds[J]. International Journal of Metal Casting, 2018, 12(3): 514-522.

[16] 同洁. 基于多孔介质特征的铸造渗流有限元模型的建立[J]. 铸造技术, 2007, 28(11): 1 514-1 517.

[17] CARMAN P C. Fluid flow through granular beds[J]. Chemical Engineering Research and Design, 1997, 75(S): S32-S48.

[18] 曹流,孙飞,陈涛,等. 铸造充型过程中液固转变影响流动行为的数值计算[J]. 金属学报, 2017, 53(11): 1 521-1 531.

[19] CONSTANTIN P, FOIAS C. Navier-Stokes Equations[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1988.

[20] HIRT C W, NICHOLS B D. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries[J]. J. Comput. Phys., 1981, 39(1): 201-225.

1 前油封法兰盘结构分析

图 1 为某汽车发动机的前油封法兰盘铸件,年产量达 12 万件,轮廓尺寸为 155 mm×100 mm×80 mm,铸件质量为 0.9 kg,平均壁厚为 2.5 mm,局部厚度为 12 mm,中间孔直径为 40 mm,加工后表面气孔要小于 0.5 mm,用于安装油封,为曲轴油封孔;下平面为加工面,平面度为 0.1,是与缸体结合面;与缸体结合面垂直的侧面加工后表面不能有大于 1 mm 的气孔,是连接发动机油底壳的结合面。曲轴油封孔、缸体结合面以及油底壳结合面的气孔缺陷为关键控制点。

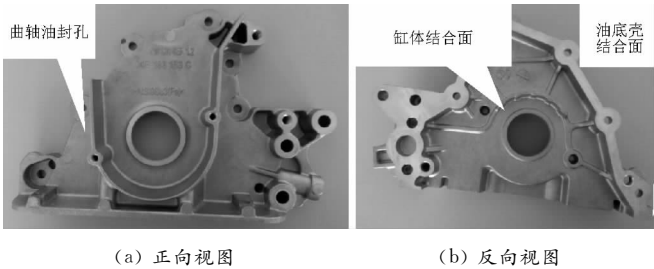


图 1 前油封法兰盘
Fig.1 Front oil seal flange

根据要求,铸件整体孔隙率需达到 VW500 97-D5/1 标准,即铸件内部任意剖切面孔隙度小于 5%,且不允许存在直径大于 1 mm 的气孔,加工后的成品需要 100% 进行气密性检测,检测条件为 0.05 MPa 压力下泄漏量小于 5 cm³/min。

图 2 为前法兰盘的浇注系统。一模两件,连同浇注系统的浇注总质量为 3.3 kg,总投影面积为 770 cm²,采用 ZDC900 型压铸机,锁模力为 9 000 kN,并采用真空保温炉通过滑槽定量输送铝液至压铸模具料缸。

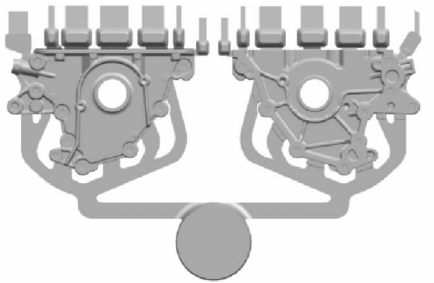


图 2 前油封法兰盘浇注系统
Fig.2 Gating system of front oil seal flange

铸件材质为 AlSi9Cu3(Fe),该合金具有良好的力学、耐腐蚀及加工性能,并具有良好的流动性、热裂倾向小、收缩率小和熔点低等特点^[1],其化学成分见表 1。

表 1 AlSi9Cu3 铝合金的化学成分

Tab.1 Chemical composition of the AlSi9Cu3 aluminum alloy %										
w _B										
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Ti	Al
9.6~11	≥1.3	2.0~3.5	0.50~0.80	0.05~0.30	≥0.15	≥0.5	≥1.0	≥0.1	0.04~0.15	余量

2 曲轴油封孔区域孔洞检测及判定

生产过程中,曲轴油封孔内表面出现大量直径大于 1 mm 的孔洞(见图 3),同时,油底壳结合面也有气孔直径大于 1 mm(见图 4),因这两个位置产生的缺陷占总缺陷的 80% 以上,从而导致合格率低于 90%。

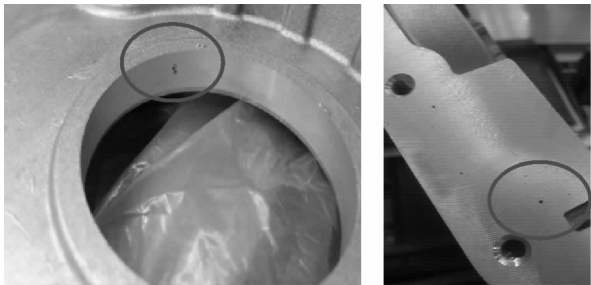


图 3 曲轴油封孔气孔缺陷
Fig.3 Gas hole defects in crankshaft oil seal hole

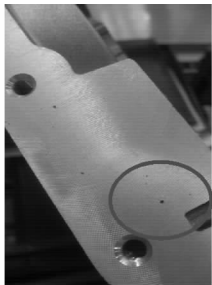


图 4 油底壳结合面气孔
Fig.4 Gas hole defect in oil sump junction plan

针对这两方面问题,对曲轴油封孔缺陷位于油封孔浇道入料方向对侧正方向(见图 5),用 XG-160S T/C 型 X 射线检测仪检验,发现铸件内部存在数个规则孔洞;而油底壳结合面的孔洞较为规则,该表面加工后有多条直径大于 1 mm 的孔,分布位置不确定,缺陷在 X 射线下显示为长条状,最大长度为 3 mm(见图 6)。

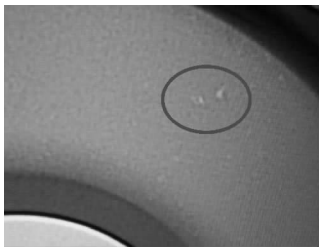


图 5 曲轴油封孔气孔, X 射线检测
Fig.5 X-ray inspection of gas hole defect in crankshaft oil seal hole (partial surface)

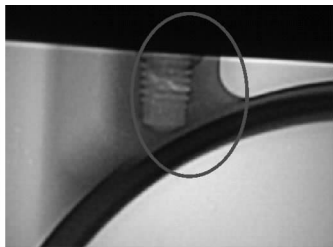


图 6 油底壳结合面气孔, X 射线检测
Fig.6 X-ray inspection of gas hole defect in oil sump junction plan (partial surface)

为制定解决措施,需要进一步从微观领域判定孔洞的性质,切片抛光后借助 AX10 蔡司金相显微镜,发现曲轴油封孔区域孔隙率为 14%,内表面近似球形,内壁光滑(见图 7),该区域没有大的热节或者壁厚的急剧变化,判定该缺陷的孔洞为气孔;同样,纵向剖切油底壳结合面及后端 M6 螺纹孔,测量的孔隙率为 16%,螺纹孔附近有多条规则气孔,同时存在较为明显的缩松状组织(见图 8),因为该处为浇注末端,同时局部有大于 10 mm 的热节,故判定该缺陷为气孔和缩孔的混合形式。

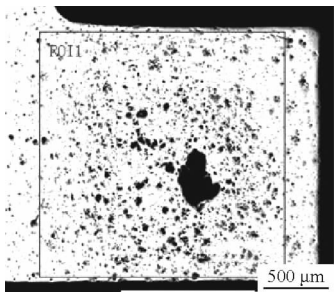


图 7 曲轴油封孔孔隙度
Fig.7 Porosity rate in crankshaft oil seal hole

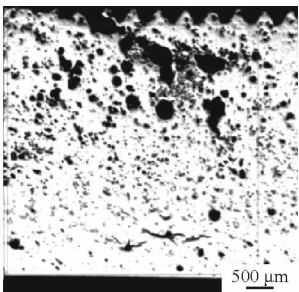


图 8 油底壳结合面孔隙度
Fig.8 Porosity defect in oil sump junction plan

3 利用鱼骨图分析气孔形成原因

从模具及铸造工艺的角度利用鱼骨图分析气孔原因,见图 9^[4]。

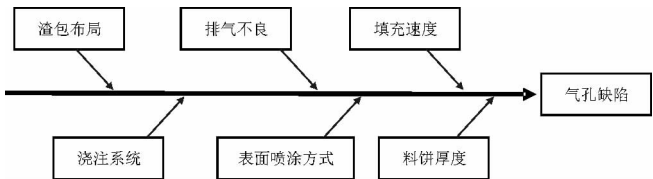


图 9 气孔缺陷鱼骨图

Fig.9 Fishbone diagram of gas porosity defect

通过模拟分析和生产实际验证,高速填充过程中浇口充型速度在 40 m/s 左右,填充时间为 70 ms,料饼厚度为 25 mm,浇道的布局、填充速度和料饼厚度基本符合该铸件工艺要求。

根据气孔集中产生的位置可知,曲轴油封孔区域气孔位于直径 40 mm 模具型芯的后端,为该模具型芯左右两侧两股铝液汇集部位,由于铝液交汇撞击包裹气体将形成气孔,即对应于鱼骨图中渣包布局不合理产生的气孔缺陷。而油底壳连接面的气孔位于远离浇道部位,靠近排气槽区域,可能是该部位排气不良而导致气体聚集、卷气形成气孔,对应鱼骨图中排气不良产生的气孔缺陷。

4 曲轴油封孔处气孔解决

由图 9 可知,曲轴油封孔气孔产生的原因可能是由于两股铝液在流动过程中交汇产生卷气未能及时排出。在压铸过程中,铝液速度过快,使型腔中气体不能完全及时排出型腔,被卷入铝液中,形成较大的气孔^[2,3]。

由于气孔缺陷位置大多存在于油封孔的正方向,借助于数值模拟分析可知,在铸件成形过程中,两股铝液环绕油封孔,自下而上顺序包覆产生油封孔的模具型芯,并最终在油封孔上端交汇,在填充第 0.705 s(见图 10)时,铝液在远离油封孔部位先结合,向内包抄卷气,

并将一部分气体卷在油封孔内环面正方向,该模拟分析合理解释了通过鱼骨图分析的假设,并在实践中验证模拟分析的准确性。

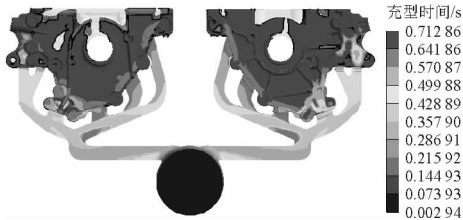


图 10 改进前的模拟分析

Fig.10 Simulation analysis before improvement

解决油封孔气孔缺陷的改进方案为在 40 mm 的型芯上增加一个渣包(见图 11 和图 12),渣包结构为圆台形状,大端直径为 30 mm,深 15 mm,起模斜度为 25°,根部圆角为 R5,且根据模拟分析结果,渣包的入料口确定在渣包正方向,入料口厚度为 2 mm,该渣包的作用为汇集气体,同时收纳高速铝液前端的夹渣。

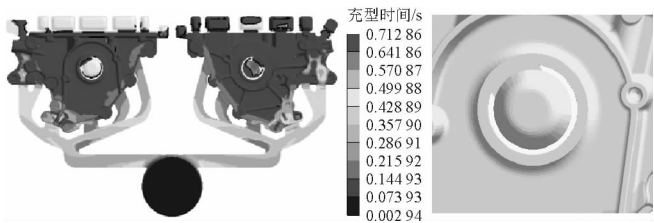


图 11 改进后的模拟分析

Fig.11 Simulation analysis after improvement

图 12 渣包

Fig.12 Overflow

5 油底壳结合面气孔解决

由图 9 可知,油底壳结合面气孔可能为浇注末端排气不良导致。该模具初始排气结构为渣包末端开排气槽的。该料缸直径为 90 mm,料缸充满度为 40%,采用低速填充+高速填充,高速压射的起点设置在浇口附近区域,高速压射时间为 70 ms。

因为模具型腔内部的空气是高速压射时通过排气槽排出,而油封法兰盘铸件与渣包的体积约为 700 cm³,每个排气道的厚度最小值为 0.1 mm,排气道总长度为 300 mm,排气道截面面积为 30 mm²。

气体的流动变化取决于管道的几何形状变化,在流动管道的收缩阶段,气体以亚音速流逐渐加速为音速流而处于临界参考状态,且临界参考状态必然出现在最小截面处,随后气流保持在音速而不再增大^[4]。在生产过程中,往往采用小于 200 m/s 作为气体排出速度,粗略校核排气槽自然排气截面积,由

$$V_{\text{型腔}} = V_{\text{排出}} \quad (1)$$

即

$700 \times 10^3 = A_{\text{排气}} \times 200 \times 0.07 \times 10^3$

得

$A_{\text{排气}} = 50 \text{ mm}^2$

显然 30 mm²排气道截面面积不能满足排气需求，自然排气能力不足。

由上述计算可知，因为排气槽尺寸不足，模具型腔内的气体难以及时排出，导致铸件末端卷气，且气孔在末端油底壳连接面处分布不均匀。

解决油底壳连接面气孔缺陷的改进方案为增大排气道截面面积，将渣包末端排气结构优化为搓衣板排气结构，该结构排气通道最小截面面积为搓衣板间隙，数值为 110 mm²。当然，如果条件允许，通过搓衣板后端增加抽真空，加强排气效果将会更好。

6 生产验证

依据上述的分析结果对该压铸模具完成设计更改，在 ZDC900 压铸机上生产，采用沃尔林编程喷涂，压铸工艺参数见表 2。

表 2 压铸工艺参数

Tab.2 Parameters of die casting process

料缸直 径/mm	二级速度/ (m · s ⁻¹)	铸造压 力/MPa	料柄厚 度/mm	增压 时间/s	冷却时 间/s	模具温 度/℃
90	4	70	25	8	20	180

带浇注系统的铸件见图 13。经生产验证，优化后的曲轴油封孔和油底壳结合面经过 X 光检验品质良好，见图 14 和图 15；同时在金相显微镜下显示孔隙度

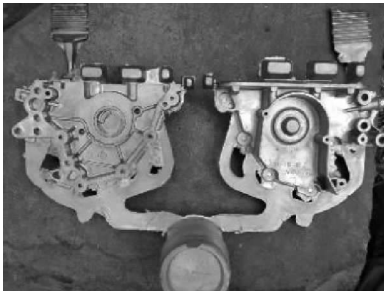


图 13 改进后的铸件

Fig.13 The oil pan based on the optimized design



图 14 优化后的曲轴油封孔 X 光检测图

Fig.14 X-ray inspection of crankshaft oil seal hole

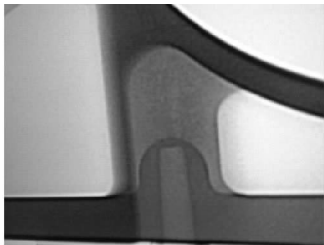


图 15 优化后的油底壳结合面 X 光检测图

Fig.15 X-ray inspection of oil sump junction plan

为 4% 和 4.5%，满足规定要求，见图 16 和图 17。批量生产合格率从低于 90% 提升到 96%。

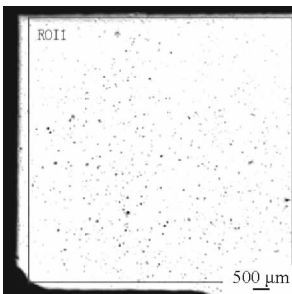


图 16 优化后的油封孔处孔隙度检验

Fig.16 Porosity rate inspection of crankshaft oil seal hole after the optimized design

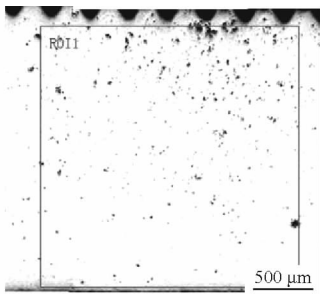


图 17 优化后的油底壳结合面孔隙度检验

Fig.17 Porosity rate inspection of oil sump junction plan after the optimized design

7 结 语

前油封法兰盘压铸件的主要缺陷形式为曲轴油封孔和油底壳结合面气孔，两处气孔产生的原因分别为渣包布局不合理以及末端排气道截面积不足。合理利用数值模拟分析和鱼骨图的品质分析工具可以有效地解决该类气孔问题。

参 考 文 献

[1] 万里,刘学强,胡祖麒,等.高真空压铸 AlSi10MnMgFe 合金的组织 和力学性能[J].特种铸造及有色合金,2014,34(5):499-503.
[2] 谢火琼,周炳海,张晓霜,等.基于 QC 的发动机缸体铸造质量问题 改善[J].机械制造,2016,54(2):19-21.
[3] 吴耀荣,岑伟明,邓宇斌,等.基于 FLOW-3D 的减震塔真空压铸工 艺设计与优化[J].特种铸造及有色合金,2019,39(6):618-621.
[4] 向东,陈晋.铝合金压铸件的气孔缺陷及压铸技术新发展[J].轻金 属,2012(11):59-62.

(编辑:张正贺)

欢迎关注
“特种铸造”
微信公众号



- 微官网
- 行业动态
- 联系我们
- 微商城
- 铸造前沿
- 免费推广
- 本刊会议
- 经典案例
- 铸造职场
- 收录动态
- 铸造学堂
- 产品库
- 稿件系统
- 专利与发明
- 企业库