

影响主轴承盖支架压铸件厚大部位成形参数研究

侯丽彬 王 健 曲太旭
(大连科技学院机械工程学院)

摘 要 介绍了汽车发动机主轴承盖支架的铸件结构及开发难点,通过对压铸过程中金属液充填和凝固收缩原理分析,确定影响铸件厚壁处内部品质的关键因素是铸造压力、压射速度和浇注温度。运用正交试验对关键性的压铸参数进行优化。优化后的压铸工艺参数:铸造压力为 100 MPa,压射速度为 3.5 m/s,浇注温度为 655 ℃。工艺优化后的压铸件经密度值检测、X 光检测及断面剖切检查,结果表明,铸件内部品质理想。

关键词 缩孔;凝固收缩;压铸工艺;正交试验

中图分类号 TG249.2;TG245 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.10.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Key Process Parameters Affecting Internal Quality of Heavy Die Castings

Hou Libin, Wang Jian, Qu Taixu

(School of Mechanical Engineering, Dalian University of Science and Technology)

Abstract: The casting structure and developing difficulties of automobile engine CAP-CSHFT BRG were analyzed. Through the analysis of liquid metal filling theory and solidification shrinkage theory in the process of die casting, the key factors affecting the internal quality of castings are determined as casting pressure, injection speed and pouring temperature. Through orthogonal test to optimize the key die-casting parameters, the optimized die-casting parameters are presented as follows: Casting pressure of 100 MPa, injection speed of 3.5 m/s and pouring temperature of 655 ℃. Through inspection by density value, X-ray and section cutting, the internal quality of the casting is desirable.

Key Words: Shrinkage Cavity, Solidification Shrinkage, Die Casting Process, Orthogonal Test

1 主轴承盖支架铸件结构及开发难点

1.1 主轴承盖支架的结构特点

主轴承盖支架是汽车发动机的组成零件,采用 ADC12 铝合金高压铸造,铸件最大外轮廓尺寸为 410 mm×184 mm×87 mm。主轴承盖支架整体结构比较复杂(见图1),铸件周边由壁厚为3mm的异形交

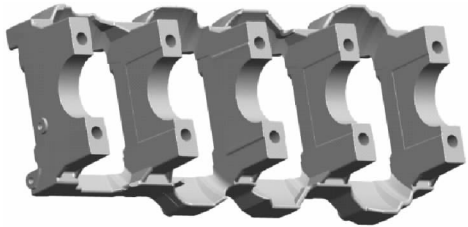


图1 主轴承盖支架

Fig.1 Bracket of main bearing cap

叉加强肋环绕,中间有 5 处体积厚大的轴承座组成,轴承座部位厚度为 22~24 mm,中心有 $\phi 55$ mm 的半圆孔,与缸体合加工后装配轴瓦,因此除了要保证加工精度以外,还要求加工表面不能有气孔、缩孔等铸造缺陷。轴承座的作用是支承曲轴,保证曲轴正常运转和动力输出,所以必须保证轴承座处的内部品质,才能满足轴承座达到要求的抗拉强度和疲劳寿命。

1.2 产品开发的难点

压铸工艺对压铸件结构的要求是壁厚尽量均匀,当壁厚不均时压铸件会因凝固速率不同在厚大部位产生内部缩孔和气孔等缺陷。根据对铸件结构及功能的分析,确定此产品开发的难点是保证 5 处轴承座的内部品质。

模具采用双向充填的浇注系统,见图 2。内浇口选择在轴承座厚壁处,厚度设定为 4 mm,有利于快速填

收稿日期:2023-01-23;修改稿收到日期:2023-03-12

基金项目:辽宁省新能源汽车轻量化铸件数字化设计及智能制造重点实验室资助项目(2022JHB/10200058);模具设计与压铸应用技术团队资助项目(KYTD202206)

第一作者简介:侯丽彬,女,1968 年出生,高级工程师,辽宁大连(116036),E-mail:houlubin_dalian@163.com

引用格式:侯丽彬,王健,曲太旭. 影响主轴承盖支架压铸件厚大部位成形参数研究[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(10):1 438-1 440.

HOU L B, WANG J, QU T X. Key process parameters affecting internal quality of heavy die castings[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(10):1 438-1 440.

充型腔并保证增压压力的有效传递。每个轴承座两侧均设计大体积的集渣包,用于汇合双向充填的金属液,同时可以存储混有气体的冷污料,并对平衡模具温度、补缩起到一定的作用。开设 4 对内浇口,最上端设置集渣包和抽真空排气道,压铸过程采用真空压铸,能够有效地减少铸件内部气孔的产生。

在合理设计模具的浇注系统、排溢系统和冷却系统的基础上,对铸造方案进行模拟分析,见图 3。发现铸件凝固时间为 20 s,在轴承座处存在孤立液相线区域,这是产生铸造缺陷的位置。在实际压铸生产中,如何进行工艺参数优化,将轴承座内部缺陷降到最低程度,是主轴承盖支架产品开发中要解决的重点问题。



图 2 铸造方案 Fig.2 Casting scheme 图 3 模拟凝固分析 Fig.3 Simulated solidification analysis

2 影响铸件内部品质的关键工艺因素

在压铸过程中,金属液的充型分 3 个阶段。第 1 阶段金属液通过内浇口,在动能的作用下^[1],快速直射,并沿型腔表面向各方向扩展,此时金属流为喷射流。第 2 阶段,喷射流所保持的动能减弱,压射充填推动金属液继续充型,直至填满型腔,这个过程的金流为压力流。第 3 阶段为金属液填满型腔到铸件凝固之前,增压压力通过尚未凝固的金属传递,对铸件进行加压补缩,此时金属流为补缩金属流。可知对压铸件品质影响最大的工艺参数为铸造压力和压射速度,且对厚壁压铸件内部品质的影响更为明显。

铸造合金的收缩分为液态收缩阶段、凝固收缩阶段、固态收缩阶段^[2]。第 1 阶段为金属液从浇注温度 $T_{\text{浇}}$ 冷却至液相线温度 T_L 这一过程的收缩。液态收缩率($\epsilon_{V\text{液}}$)的计算如下:

$$\epsilon_{V\text{液}} = \alpha_{V\text{液}} (T_{\text{浇}} - T_L) \times 100\% \quad (1)$$

式中, $\alpha_{V\text{液}}$ 为液态收缩系数。由式(1)可以看出,合金成分不变的情况下,对液态收缩率影响最大的因素是金属液浇注温度。

凝固收缩阶段,收缩主要是因为金属由液态向固态转变而发生的体积变化。金属液充满型腔后,首先冷却凝固的是与模具接触的铸件表层,而内部的金属液是在

已凝固的表层金属内凝固。由于金属由液态转变为固态后体积缩小,后凝固的位置就会因为体积缩小而产生缩孔、缩松等铸造缺陷。厚壁压铸件局部体积大,收缩缺陷会更明显。在此过程中需要继续加压,压力通过尚未凝固的金属传递,以消除或减少缩孔的产生。所以在凝固收缩阶段,铸造压力是影响压铸件内部品质的关键因素。

固态收缩阶段是指金属从固相线温度冷却至室温过程中的收缩。这个阶段的收缩一般体现在铸件尺寸的缩小,同时对铸件的应力、变形等产生影响,不会影响铸件的内部品质。

通过以上对压铸过程充填和凝固过程的研究,并结合对铝合金压铸件的失效模式分析,确定影响主轴承盖支架厚大部位内部品质的关键因素为铸造压力、压射速度、浇注温度和模具温度等。由于在压铸循环过程中,模具温度是动态变化的,通过调整模具冷却水将开模后的模具温度控制在(180±20)℃范围内进行压铸,再通过正交试验,找到铸造压力、压射速度和浇注温度最佳的工艺参数^[3]。

3 利用正交试验确定最佳工艺参数

3.1 材料与设备

主轴承盖支架材质为 ADC12 铝合金,执行 JIS H5302 标准,其具有较好的铸造性能和力学性能,适合压铸生产缸体、壳体、支架等产品。本产品根据其投影面积和锁模力计算,选择在 9 000 kN 压铸机上生产,压铸过程采用自制真空系统,真空度为 10~20 kPa。

3.2 正交试验设计

将影响主轴承盖支架内部品质的关键工艺参数:铸造压力、压射速度和浇注温度作为影响因素,每个因素取 4 个水平,依据铸造方案模拟软件分析并结合同类产品的经验数据,确定试验因素的数值范围。铸件内部品质用密度值来评价,将密度值作为评判指标^[4-6]。正交试验因素及水平见表 1。

表 1 正交试验因素表
Tab.1 Orthogonal test factor

水平	因素		
	铸造压力(A)/ MPa	压射速度(B)/ (m·s ⁻¹)	浇注温度(C)/ ℃
1	80	2.5	640
2	90	3.0	655
3	100	3.5	665
4	110	4.0	675

通过模拟分析,铸件产生缩孔的位置集中在轴承座处,密度检测取样示意图见图 4。使用锯床在两螺栓安装孔中间切割试样进行密度值检测,取样宽度约为 60 mm。试样密度越大则铸件内缩孔、缩松缺陷越少。

由于 5 个轴承座在模具内呈阶梯排列,即使同一压铸件,5 个轴承座的内部品质也不相同。实际生产中先进行 X 射线检验,取样时取内部品质较差的测试。

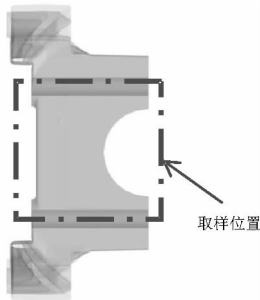


图 4 取样位置
Fig.4 Sampling position

3.3 正交试验结果与分析

主轴承盖支架正交试验表及密度值检测结果见表 2。基于数据分析,主轴承盖支架高速位置设置为 450 mm,增压位置为 600 mm,持压时间为 12 s,模具工作温度为(180±30)℃,压铸后铸件在空气中自然冷却至室温,切割试样在电子天平上称取质量,用排水法测量样块体积,并计算密度检测结果。

表 2 正交试验结果
Tab.2 Orthogonal test result

序号	A	B	C	密度/(g·cm ⁻³)
1	1	1	1	2.576
2	1	2	2	2.633
3	1	3	3	2.619
4	1	4	4	2.548
5	2	1	2	2.691
6	2	2	3	2.645
7	2	3	4	2.632
8	2	4	1	2.618
9	3	1	3	2.645
10	3	2	4	2.642
11	3	3	1	2.669
12	3	4	2	2.682
13	4	1	4	2.634
14	4	2	1	2.656
15	4	3	2	2.706
16	4	4	3	2.668

对表 2 试验数据进行统计分析,得出表 3 极差值分析表。其中 k_i 为各因素在不同水平下的密度均值分析, R 为极差。极差越大,则该因素水平对评判的指标的影响也越大,反之则影响就越小。

表 3 极差值分析表
Tab.3 Range value analysis

密度	A	B	C
k_1	2.594	2.637	2.630
k_2	2.647	2.644	2.678
k_3	2.660	2.657	2.644
k_4	2.666	2.629	2.614
$k_{\max}$	2.666	2.657	2.678
$k_{\min}$	2.647	2.629	2.614
R	0.020	0.028	0.064

通过对表 2 和表 3 的数据分析,可见铝液浇注温度是影响密度的重要因素。各试验因素对主轴承盖支架密度值的影响大小顺序为铝液浇注温度>压射速度>铸造压力。结合对密度均值 k_i 分析,铸造压力为 110 MPa,压射速度为 3.5 m/s,铝液浇注温度为 655℃时,主轴承盖支架的密度值最大,内部品质最好。

4 优化工艺参数后的验证

依据上述对正交试验结果的分析,主轴承盖支架在 9 000 kN 压铸机上进行批量压铸生产,压铸工艺参数见表 4。按此参数进行小批量生产验证,并连续抽取 30 件进行密度值检测,密度值均大于 2.65 g/cm³。对批量生产的主轴承盖支架每日首件进行密度值和断面剖切检验,均满足质量要求,批量生产所有产品均进行 X 射线检测,主轴座位置内部质量无明显的缩孔缩松,内部品质符合产品要求,一次合格率达 95% 以上。

表 4 压铸工艺参数

Tab.4 Die casting process parameters

压室直 径/mm	铸造压 力/MPa	压射速度/ (m·s ⁻¹)	料柄厚 度/mm	持压时 间/s	增压位 置/mm	模具温 度/℃	浇注温 度/℃
100	100	3.5	30	12	600	160~200	655

5 结 论

(1)ADC12 铝合金主轴承盖支架压铸件因其结构的特殊性,在轴承座处局部壁厚过大,铸件在冷却凝固过程中产生缩孔、缩松缺陷,严重影响铸件的内部品质。

(2)对于主轴承盖支架零件,影响其内部品质的最大因素是铝液浇注温度,其次是充填速度、铸造压力。主轴承盖支架最佳工艺参数是浇注温度为 655℃,充填速度为 3.5 m/s,铸造压力为 100 MPa。

参 考 文 献

[1] 江昌勇.压铸成型工艺与模具设计[M]. 北京:北京大学出版社, 2019.

[2] 陈宗民,于文强.铸造金属凝固原理[M]. 北京:高等教育出版社, 2021.

[3] 朱洪军.基于正交试验及数值模拟的下缸体压铸工艺优化[J]. 铸造, 2021, 70(6): 670-673.

[4] 方少林,程文超.基于正交试验的上壳体真空压铸工艺参数优化[J]. 中国设备工程, 2020(2): 111-112.

[5] 陈磊,游国强.复杂壳体镁合金压铸件凝固过程工艺优化[J]. 特种铸造及有色合金, 2014, 34(10): 1 073-1 076.

[6] 张双槽,米国发.滤清器壳体压铸工艺设计及数值模拟[J]. 特种铸造及有色合金, 2019, 39(7): 735-738.

(编辑:张正贺)