

铝合金支架压铸件局部增压工艺的研究

侯丽彬 曲太旭
(大连科技学院机械工程学院)

摘 要 介绍了铝合金支架压铸件结构特点及品质要求,其难点为铸件在 4 个安装支脚处的内部品质控制,要求其内部品质达到孔隙率 $D5$ 的要求。在压铸模设计中采用局部增压技术,对局部增压的工艺参数包括挤压压力、挤压时间、挤压行程,采用正交试验方法,进行工艺优化。最终确定优化的工艺参数:挤压压力为 300 MPa,挤压开始时间为 1.0 s,挤压杆的挤压行程为 8 mm。优化后的挤压参数经批量生产验证,铸件孔隙率能够满足 $D5$ 要求。

关键词 局部增压;正交试验;孔隙率;挤压压力

中图分类号 TG249.2;TG146.21 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.011.026

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Local Pressurization Process of Aluminum Alloy Support Die Casting

Hou Libin, Qu Taixu

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

Abstract: The structural features and quality requirements of aluminum alloy die castings were analyzed. The difficulty in the development of the product is the internal quality control of the castings at the four mounting legs. In order to meet the internal quality requirements of porosity $D5$, local pressurization technology was adopted in die casting design. The process parameters of local pressurization including squeezing pressure, squeezing time and squeezing movement distance were optimized by orthogonal test. The desirable squeezing parameters are determined as follows: the squeezing pressure of 300 MPa, the squeezing starting time of 1.0 s, and the squeezing movement distance of the squeezing rod of 8 mm. The optimized squeezing parameters was verified by batch of production, and the porosity of the casting can meet the $D5$ requirements.

Key Words: Local Pressurization, Orthogonal Test, Porosity, Squeezing Pressure

压铸工艺普遍应用于汽车、机械装备、家电及 3C 产品中。常用的压铸材料有铝合金、锌合金、镁合金、铜合金等,其中铝合金占 60%~80%。压铸具有铸件尺寸精度高、生产效率高,可以生产结构复杂的产品等特点,但是由于是在高温高压下成形,并且材料经过液态到固态的转变,冷却过程中会发生体积变化,因此铸件内较易产生缩孔、缩松缺陷。目前解决铸件内部缩孔的工艺方法很多,其中局部增压技术已广泛应用于压铸生产中,能够有效避免铸件局部厚大处的缩孔产生^[1-5]。本研究以一款铝合金支架压铸件为例,通过采用局部增压技术解决铸件局部缩孔和缩松缺陷,并基于正交试验的方法对其局部增压的工艺进行优化研究,为解决类似问题的提供参考。

1 铝合金支架的结构特点及品质要求

图 1 为某汽车厂配套生产的一款发动机支架,其材质为欧标 EN1706 的 AlSi9Cu3(Fe) 合金,为框架式架构,零件一般壁厚为 4.5 mm,两侧分别有不同结构的螺

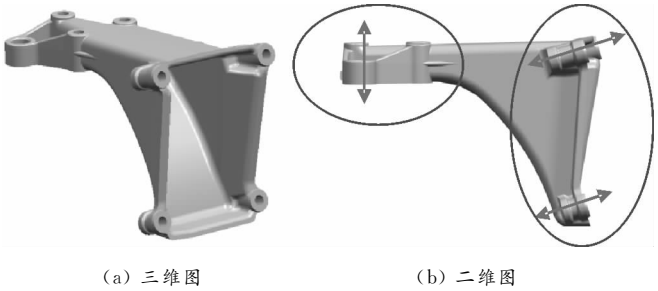


图 1 发动机支架
Fig.1 Engine bracket

收稿日期:2022-10-12;修改稿收到日期:2022-11-27
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(2022JH13/10200058);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,曲太旭. 铝合金支架压铸件局部增压工艺的研究[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(11):1 579-1 581.
HOU L B, QU T X. Local pressurization process of aluminum alloy support die casting[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43 (11):1 579-1 581.

栓安装凸台,壁厚较厚大。主要作用是将发动机连接固定在车身框架上,起到“支撑”和“隔振”作用,属于受力零件,要求铝合金支架压铸件内部组织致密,不能有缩孔缩松等铸造缺陷,要求孔隙率达到D5(VW50097 标准)。用 3 μm 的二氧化硅悬浮液抛光试样,使用 AX10 蔡司金相显微镜观察其显微组织,通过专用软件进行检测并计算孔隙率。

2 铝合金支架局部增压机构的结构及工艺

对于该发动机支架,难以达到 D5 要求的位置是两端壁厚厚大的螺栓安装凸台,可以通过设置浇道、预铸孔、调整压铸参数(铸造压力、速度)以减少缩孔、缩松的产生,满足品质要求。铸件 4 个支脚处的螺栓安装凸台,位置分散布置于侧向 4 个角,无法设置浇道,同时螺栓安装孔与侧向滑块的开模方向成 15°角,在模具结构上无法实现预铸孔侧抽芯,因此采用局部增压机构来解决支架支脚处缩孔,模具结构见图 2,采用 1 模 2 腔。为保证两腔填充条件的一致性,同时考虑每个铸件在 90°方向上有两个抽芯机构,因此两腔的布局成 90°,局部增压机构设置在铸件内腔抽芯的大滑块上,挤压缸安装在滑块后端,带动挤压杆在滑块内部运动。

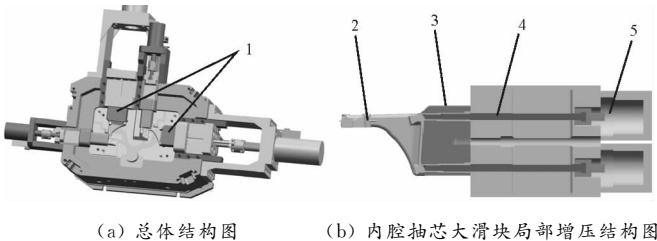


图 2 模具结构图

Fig.2 Die structure diagram

1.内腔抽芯大滑块 2.铸件 3.滑块 4.挤压杆 5.挤压油缸

局部增压技术也称局部挤压,是指在压铸过程中金属液充满型腔后,冷却凝固过程中,在厚壁处通过油缸带动挤压杆,对未凝固的金属液实施二次加压,使其局部密度提高,改善乃至消除加压部位缩孔。在局部增压技术中涉及的主要工艺参数是挤压压力、挤压体积、挤压时间。

(1)挤压压力 挤压压力的大小主要取决于油缸直径 $D^{[1]}$ 。挤压力过小,会出现压不实、铸件内部不致密;挤压力过大,会大大降低挤压杆的使用寿命。根据发动机支架支脚处的结构尺寸,设置挤压杆直径为 $\phi 11$ mm,挤压缸直径为 $\phi 60$ mm。压铸机液压泵压力为 15 MPa。根据帕斯卡原理,该挤压机构的最大挤压力为 446.25 MPa。

(2)挤压体积 其估算方法有两种,一是对规则形状,采用体积计算法:液态铝合金的密度约为

2.45 g/cm^3 ,固态铝合金的密度约为 2.65 g/cm^3 ,由液态冷却凝固为固态时,体积会缩小 7.5%。由于高压铸造在增压阶段之后,铸件在持续压力状态下冷却,在此过程会有一定的补缩,因此局部挤压的补缩体积比通常取 $>5\%$ (预留补缩体积/铸件成形局部的体积)。对于不规则形状的造型,可以采用模拟软件进行凝固分析,确定孤立液相区的体积。孤立液相区凝固后体积会减少,减少的体积最终形成了缩孔,也就是需要挤压补缩的体积。针对发动机支架,挤压体积可调整的参数就转换为挤压行程。通过 AnyCasting 软件进行凝固分析,发动机支架支脚处孤立液相区体积约为 5.2 cm^3 ,计算挤压杆的挤压行程为 6.5 mm。模具设计挤压杆行程最大为 10 mm,最终通过实际生产验证确定其最佳挤压行程。

(3)挤压时间 挤压时间包括挤压开始时间和挤压持压时间。挤压开始时间一般设定为增压后的延时时间,是挤压的关键性参数。挤压时间过早,铝液未开始凝固,不能起到补缩的作用;挤压时间过晚,金属液凝固,同样起不到补缩作用。挤压开始时间又受铝液浇注温度、模具温度及压铸机控制机构的反馈速度、挤压缸动作灵敏度等多方面因素影响,因此最佳挤压时间一般是通过工艺验证后确定。

3 利用正交试验法进行挤压参数优化

3.1 正交试验设计

通过对发动机支架挤压工艺的分析,可以确定影响铝合金发动机支架局部增压后内部品质的关键工艺参数为挤压压力、挤压行程和挤压开始时间,将其作为影响因素。每个因素取 3 个水平,通过局部增压机构结构设计时的计算以及经验数据,确定挤压压力为 200~400 MPa,挤压杆的挤压行程为 6~10 mm,挤压开始时间为 0.5~1.5 s。正交试验因素及水平见表 1。正交试验以孔隙率的检测值做为评价指标。

表 1 正交试验因素表

Tab.1 Orthogonal factor level table

水平	因素		
	挤压力(A)/MPa	挤压开始时间(B)/s	挤压行程(C)/mm
1	200	0.5	6
2	300	1.0	8
3	400	1.5	10

3.2 正交试验结果与分析

为保证试验数据的稳定性,每组工艺参数连续压铸 20 模次,取中间模次的 3 件进行孔隙率检测,并取平均值。铝合金发动机支架正交试验表及孔隙率检测结果见表 2,极差值分析见表 3。

从表 3 可以看出,挤压开始时间对铸件孔隙率影响最大,其次为挤压行程和挤压压力。为更直观反应不同因素对铸件孔隙率的影响趋势,以试验因素做为横坐标,以孔隙率平均值做为纵坐标,得出孔隙率随各试验因素变化的影响趋势,见图 3。

表 2 正交试验结果

Tab.2 The result of orthogonal test

试验组号	挤压压力(A)/MPa	挤压开始时间(B)/s	挤压行程(C)/mm	孔隙率/%
1	200	0.5	6	8.23
2	200	1.0	8	2.65
3	200	1.5	10	3.78
4	300	0.5	8	6.78
5	300	1.0	10	1.06
6	300	1.5	6	4.64
7	400	0.5	10	6.62
8	400	1.0	6	2.23
9	400	1.5	8	2.74

表 3 极差值分析表

Tab.3 Extreme value analysis

孔隙率/极差	挤压压力(A)/MPa	挤压开始时间(B)/s	挤压行程(C)/mm
K_1	4.89	7.21	5.03
K_2	4.16	1.98	4.06
K_3	3.86	5.01	3.52
R	0.73	5.23	1.51

注: K_1 、 K_2 、 K_3 为不同水平下的孔隙率平均值, R 为极差值

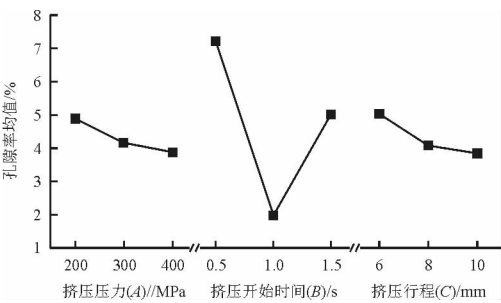


图 3 试验因素对孔隙率值的影响趋势

Fig.3 Influence tendency of test factors on porosity value

由图 3 可以看出,铝合金发动机支架支脚处孔隙率随挤压压力的增大而减小,挤压压力越大,局部的补缩效果就越好,铸件越致密^[2],当挤压压力达到 300 MPa 时,其对孔隙率的影响很小。挤压开始时间对孔隙率影响最大,挤压开始时间为 0.5 s 时,支架支脚处未开始凝固,挤压效果不佳;挤压开始时间为 1.5 s 时,支脚处凝固体积变大,即使使用最大的挤压压力,孔隙率值也偏高;挤压开始时间为 1.0 s 时,支脚处孔隙率最低,是最佳的挤压时间。挤压杆的挤压行程在 6 mm 以上,均能满足孔隙率小于 5% 的要求,与计算值基本一致。挤压

行程从 6 mm 提高到 8 mm 时,孔隙率值降低,从 8 mm 提高到 10 mm 时无明显变化。基于以上分析,结合对模具寿命的影响因素,确定铝合金发动机支架局部挤压的优化工艺参数,挤压压力为 300 MPa,挤压开始时间为 1.0 s,挤压杆的挤压行程为 8 mm。

4 批量生产验证

铝合金发动机支架在力劲 9 000 kN 压铸上进行批量生产,挤压参数采用上述最优试验结果数据,生产过程对铸件进行 100% X 光探伤,重点检测部位为支架 4 个支脚处,合格率为 100%;每班次抽检铸件,对易产生问题的 4 个支脚进行剖切取样,抛光后在金相显微镜下放大 25 倍进行孔隙率检测,均能达到 D5 以下。该模具压铸的发动机支架年产量为 20 万件,产品加工后一次合格率达 98% 以上。

5 结 论

(1) 铝合金支架压铸件在安装凸台处存在局部厚壁区域,通过局部增压技术能够有效减少缩孔产生,提高厚壁处铸件内部品质。

(2) 局部挤压的关键工艺参数是挤压压力、挤压开始时间和挤压行程,采用正交试验获得优化的挤压工艺参数。

(3) 对于铝合金发动机支架铸件,影响其挤压后内部质量的最大因素是挤压开始时间,其次是挤压压力和挤压行程。优化的挤压工艺参数:挤压压力为 300 MPa,挤压开始时间为 1.0 s,挤压杆的挤压行程为 8 mm。

参 考 文 献

[1] 贾志欣,毛杰杰,李继强,等.局部挤压辅助提高铸件质量的研究和应用[J].特种铸造及有色合金,2018,38(7):728-730.
[2] 刘后尧,万里,黄明军,等.压铸中局部加压技术的开发与应用[J].特种铸造及有色合金,2008,28(7):643-646.
[3] 杜航,张吉祥,游寿松,等.局部加压对压铸件收缩缺陷的数值模拟[J].特种铸造及有色合金,2019,39(8):866-869.
[4] 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.
[5] 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.

(编辑:张正贺)

欢迎使用在线稿件处理系统

投稿、查稿、审稿

敬请登录 www.special-cast.com