

金属3D打印及真空技术在曲轴箱开发上的应用

葛旺生¹ 安肇勇²

(1. 肇庆技师学院, 肇庆 526040; 2. 广东鸿图科技股份有限公司, 肇庆 526100)

摘要 汽车曲轴箱与滤清器连接处的密封要求相对较高, 该部位相对较厚、尺寸较大、结构复杂, 壁厚不均匀, 容易出现烧伤和气孔缺陷。因此, 此类零件经常漏气, 质量相对较差。以汽车曲轴箱的质量改进为目标, 模具使用3D打印的随形冷却镶件进行优化, 采用高真空压铸工艺, 以改善铸件缺陷区域的烧伤和气孔, 提高铸件品质。

关键词 曲轴箱; 密封要求; 3D打印; 高真空工艺

中图分类号 TG249.2

文献标志码 A

DOI: 10.15980/j.tzzz.T20240191

Application of Metal 3D Printing and Vacuum Technology in Development of Crankcase

GE Wangsheng¹, AN Zhaoyong²

[1. Zhaoqing Technician College, Zhaoqing 526040; 2. Guangdong Hongtu Technology (holdings) Co., Ltd., Zhaoqing 526100]

Abstract: In view of the high sealing requirement at the connection between automotive crankcase and filter, the features of relatively thick, large, complex, and an uneven wall thickness are prone to defects such as burns and pores. Therefore, leak air are commonly occurred in the component with poor quality. With improving quality of automotive crankcase as target, the mold was optimized by 3D printed conformal cooling inserts, and high-vacuum die-casting process was utilized to eliminate burns and pores in the defect areas of castings, thus enhancing the casting quality.

Key Words: Automotive Crankcase, Sealing Requirement, 3D Printing, High-vacuum Process

随着全球节能减排要求的不断提高和汽车技术的迅速发展, 汽车用铝合金压铸件要求功能集成化、轻量化, 导致了发动机内部的零件结构越来越复杂, 关键零件的密封要求越来越高, 出现了较多壁厚差别非常大而且密封要求高的零件。在铸造这类零件时, 壁厚的差异导致其不能顺序凝固, 常在厚壁部位出现烧伤粘铝缺陷。同时, 壁厚差异也导致填充过程中卷入气体,

造成密封区域机加工后出现密集小气孔的缺陷。由于缺陷区域范围宽, 零件结构比较复杂, 无法采用局部挤压措施来解决缺陷问题, 只能通过改善冷却系统与改善抽真空工艺解决此类缺陷。在CAE模拟软件诞生之前, 压铸改善措施及效果没有足够的数据支撑, 导致技术人员基本上凭借经验确定改善的方案, 会耗费较多的时间和资源^[1-3]。

收稿日期: 2024-05-08; 修订日期: 2024-11-09

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2023YFB2504602)

第一作者简介: 葛旺生, 男, 1980年出生, 讲师, E-mail: 447097324@qq.com

通信作者: 安肇勇, 男, 1981年出生, 正高级工程师, E-mail: anzhaoyong@ght-china.com

引用格式: 葛旺生, 安肇勇. 金属3D打印及真空技术在曲轴箱开发上的应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2025, 45(11): 1748-1751.

GE W S, AN Z Y. Application of metal 3D printing and vacuum technology in development of crankcase[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2025, 45(11): 1748-1751.

[14] COLOMBO M, GARIBOLDI E, MORRI A. Influences of different Zr additions on the microstructure, room and high temperature mechanical properties of an Al-7Si-0.4Mg alloy modified with 0.25% Er[J]. Materials Science and Engineering, 2018, A713: 151-160.

[15] RAM S, CHATTOPADHYAY K, CHAKRABARTY I. Microstructures and high temperature mechanical properties of A356-Mg₂Si functionally graded composites in as-cast and artificially aged (T6) conditions[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2019, 805: 454-470.

[16] 饶国举, 李新和, 孙晓冬, 等. A356.2铝合金高温拉伸本构行为研究[J]. 塑性工程学报, 2018, 25(3): 174-180.

[17] 孙建波, 曾广凯, 邹杰, 等. Al₃Ti/A356 铝基复合材料的显微组织及拉伸力学性能[J]. 复合材料学报, 2021, 38(9): 2989-2996.

[18] GODE C, YILMAZER H, OZDEMIR I, et al. Microstructural refinement and wear property of Al-Si-Cu composite subjected to extrusion and high-pressure torsion[J]. Materials Science and Engineering, 2014, A618: 377-384.

(编辑: 栗万仲)

本研究以某汽车铝合金零件曲轴箱的品质改善为例,以减少连接滤清器部位的烧伤及密封面气孔为目标,对改善方案进行虚拟试验。经过计算机自动运算、结果对比,分析改善方案对零件的内部品质的改善效果,从而确定最佳的改善方案,缩短零件的开发周期,提高经济效益。

1 铸件的基本情况

图 1 为某汽车铝合金零件曲轴箱的压铸方案示意图。结合铸件投影面积及设备情况,选定 IDRA 16 500 kN 压铸机。根据铸件特点,对铸件浇排和工艺参数初步计算:内浇口面积为 $1\,005\text{ mm}^2$,冲头直径为 120 mm,冲头与内浇口的面积比为 11.25。铝液填充时间为 0.058 s,铸造总质量为 9.68 kg,通过内浇口质量为 6.6 kg。冲头慢速为 0.2 m/s,快速为 4 m/s。铝液在内浇口速度为 45 m/s。压室有效长度为 700 mm,充满度为 38.3%。理论高低速切换点为 485 mm,高速区距离为 184 mm。

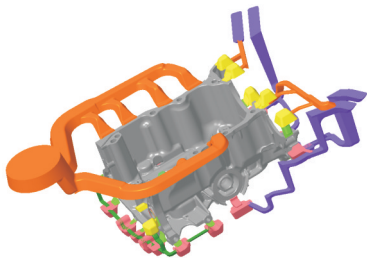


图 1 铝合金曲轴箱压铸方案示意图

Fig.1 Schematic diagram of die casting schemes for aluminum alloy crankcase

2 缺陷描述

图 2 为铸件连接滤清器局部位置图。根据初步分析,该铸件连接滤清器的部位结构较复杂,红色区域(基于原图为彩色描述,下同)较深且狭小(深 26 mm,宽 7 mm)。该位置的模具镶件用传统技术加工出来的冷却水道不能深入底部并环绕一周,冷却效果差,造成红圈区域烧伤严重并且漏气。同类型铸件不仅在该位

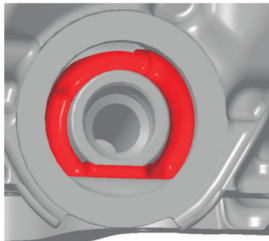


图 2 铸件连接滤清器局部位置图

Fig.2 Local position of connection filter

置的烧伤比较严重,而且有机加工后出现气孔外露的现象。图 3 为同类型铸件的缺陷图所示,红圈为气孔缺陷,蓝圈为烧伤缺陷。因此如何提高该区域的冷却效率及减少气孔是整个压铸工艺设计的难点。

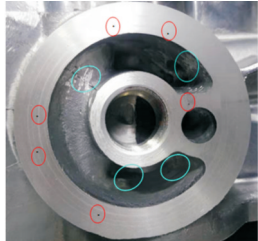


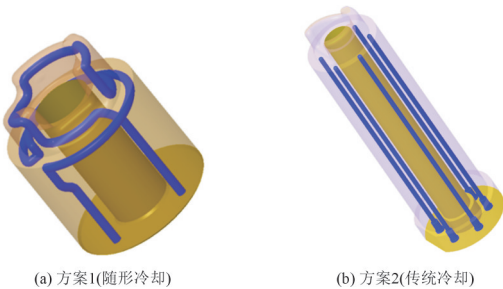
图 3 同类型铸件的缺陷图

Fig.3 Defects of the same types of die castings

3 缺陷改善

同类型铸件连接滤清器局部烧伤缺陷是模具的热量过高导致,而安装面的气孔缺陷是铝液内含气量过高造成,两种缺陷造成的因素相互独立,所以先用 Magma 软件模拟金属 3D 打印随形冷却镶件和传统冷却镶件对烧伤缺陷的影响效果,然后在冷却效果比较好的能解决滤清器局部烧伤缺陷的镶件基础上再做一个抽真空与否的模拟对比,从而得出最优的解决缺陷的组合方案。

初步确定采用金属 3D 打印工艺制造随形冷却水道的镶件,提高冷却效率以解决烧伤缺陷。为了保证设计的有效性,使用 CAD 设计了两套方案。图 4 为随形冷却镶件与传统冷却镶件图,蓝色为冷却水道。在 Magma 模拟软件导入两种镶件的压铸方案进行模拟仿真。通过模拟结果对比,分析两种方案对风险位置的影响,从而判定金属 3D 打印随形冷却镶件的方案对解决铸件连接滤清器局部的烧伤缺陷是否可行。



(a) 方案1(随形冷却) (b) 方案2(传统冷却)

图 4 随形冷却镶件与传统冷却镶件图

Fig.4 Schematic diagram of conformal and conventional cooling insert

图 5 为两个方案的镶件温度模拟对比图,表 1 为两个方案的镶件取点温度对比数据表。从仿真软件显示的镶件温度分析,铝液在型腔 100% 填充后,通过镶件

成形位置的取点测量可知方案 1 比方案 2 的温度低,温度数据差值平均低约 73.3℃。

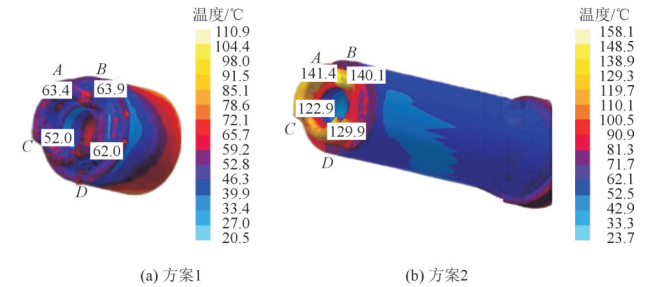


图 5 铸件温度模拟对比图
Fig.5 Temperature simulation comparison of insert

表 1 铸件取点温度对比数据表

Tab.1 Temperature comparison of selected point in insert ℃				
铸件表面取点	A	B	C	D
方案 1	63.4	63.9	52	62
方案 2	141.4	140.1	122.9	122.9
取点温度差值	78	76.2	70.9	67.9
平均温度差值	73.3			

图 6 为两个方案的热节模拟对比图,表 2 为两个方案的取点热节对比数据表。从仿真显示的铸件凝固的热节分析,通过风险位置附近的取点测量可知使用方案 1 比方案 2 的铸件热节数值低,热节数据差值平均低约 0.22 s,因热节引起的缩孔风险降低。

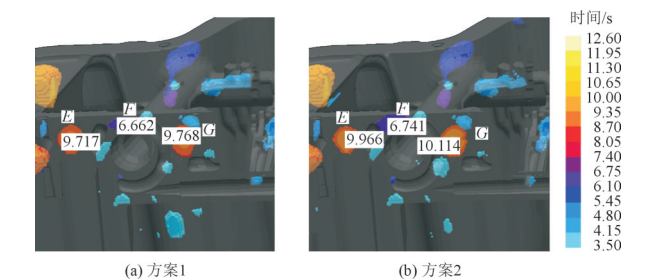


图 6 热节模拟对比图
Fig.6 Simulation comparison of hot spot

表 2 取点热节对比数据表

Tab.2 Comparison of selected hot spot s			
铸件表面取点	E	F	G
方案 1	9.72	6.66	9.77
方案 2	9.77	6.74	10.11
取点热节差值	0.25	0.08	0.34
平均热节差值	0.22		

图 7 为两个方案的烧伤粘模对比图,表 3 为取点烧伤粘模对比数据表。从铸件凝固的烧伤粘模分析,通过风险位置取点测量可知使用方案 1 比方案 2 的铸件烧伤粘模数值低,烧伤粘模数据平均低约 0.62 s,因烧伤粘模引起的风险降低。

综上,采用金属 3D 打印随形冷却铸件比传统冷却

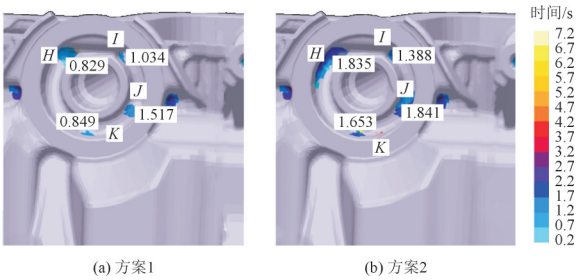


图 7 烧伤粘模对比图
Fig.7 Comparison of burnt molds

表 3 取点烧伤粘模对比数据表

Tab.3 Comparison of sampling burnt molds s				
铸件表面取点	H	I	J	K
方案 1	0.83	1.03	1.52	0.85
方案 2	1.84	1.39	1.84	1.65
取点粘模差值	1.01	0.36	0.32	0.80
平均粘模差值	0.62			

的铸件连接滤清器局部位置温度低、热节数值小、粘模数值小,对改善烧伤缺陷效果明显。

4 气孔缺陷消除措施

在采用冷却效果比较好且能解决连接滤清器位置局部烧伤缺陷的金属 3D 打印随形冷却铸件的方案基础上,在 Magma 模拟软件中增加两个边界条件,即抽真空与常规大气排气,再通过模拟结果对比来验证抽真空工艺与常规大气排气对滤清器安装面气孔的影响,从而得出优化解决两个缺陷的组合方案。

从模拟结果分析,根据铸件的填充气压对比,通过对滤清器安装面的取点测量可知使用方案 3 抽真空工艺比使用方案 4 大气排气的气压数值低,气压数值平均低约 131.8 kPa,因高压引起的气孔外露风险降低。图 8 为两个方案的气压模拟对比图,表 4 为两个方案的取点气压对比数据表。方案 3 为抽真空排气模拟,方案 4 为常规大气排气模拟。

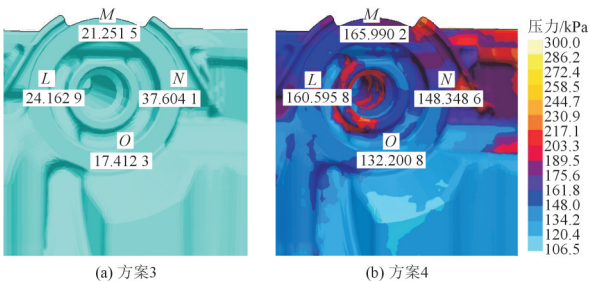


图 8 2 种方案的气压对比图
Fig.8 Pressure comparison in both schemes

综上,通过 Magma 软件的模拟结果对比可知,采用高真空工艺比采用常规大气排气工艺时滤清器安装面的气压数值低,对改善气孔缺陷效果明显。同时,采用

表 4 气压对比数据表

Tab.4 Statistical comparison of pressure kPa				
铸件表面取点	L	M	N	O
方案 1	24.2	21.3	37.6	17.6
方案 2	160.6	166.0	148.3	132.2
取点气压差值	136.4	144.7	130.7	115.6
平均气压差值	131.8			

金属 3D 打印随形冷却镶件和抽真空工艺结合是解决铸件连接滤清器局部烧伤及滤清器连接面机加工后出现气孔外露缺陷的理想组合方案。

5 生产验证

在压铸生产过程中,针对铸件连接滤清器的成形位置,决定采用高碳高合金钢 W360 为金属 3D 打印随形冷却镶件代替传统的 8418 材料的直冷镶件,冷却效果得到很好的改善,使用寿命也比传统的 8418 材料长。

为提高模具抽气效果,增强模具的密封性能,在定模模芯与模架分型处开一条密封槽,并在密封槽内加装耐高温密封圈;动模垫板后面增设一块可固定在动模垫板上的密封板,并在密封板上开设了密封槽及缓冲气槽。

使用真空性能较好的海望真空机,主机尺寸为 800 mm×1 800 mm×1 800 mm,系统工作压力为 0~0.1 MPa,抽气率 63 m³/h,压缩空气压力为 0.55~0.6 MPa,压缩空气量为 300 L/min。本设备使用气动式真空阀,工作时排气能力大、结构安装方便、不容易污染、维护周期短。

使用 3D 金属打印技术制造的随形冷却的镶件与抽真空工艺结合进行压铸试制,该铸件连接滤清器的部位的角位烧伤引起的漏气报废率跟同类型铸件相比由原来的 10% 变为 0%,加工面气孔外露的报废率跟同类型铸件相比由原来的 6% 变为 0.5%,综合报废率跟同类型铸件相比由原来的 16% 变为 0.5%,完全符合客户的使用要求。表 5 为报废率对比,图 9 为连接滤清器位置实物图。

表 5 报废率对比

Tab.5 Comparison of scrap rates			
状态	滤清器烧伤引起漏气报废率/%	滤清器面机加工后气孔外露报废率/%	综合报废率
同类型铸件	10	6	16
采用组合改善方案的铸件	0	0.5	0.5

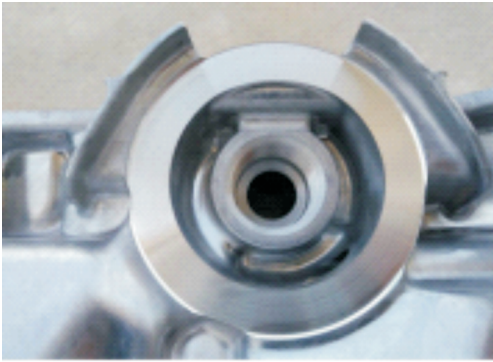


图 9 连接滤清器位置实物图

Fig.9 Product of connection position of filter

6 结 语

针对模具由于结构原因局部冷却效率低及机加工面气孔外露的问题,采用金属 3D 打印技术制造随形冷却的镶件与抽真空工艺技术组合,能大大提高模具局部的冷却效率并降低铸件的含气量,提升铸件的品质和节省生产成本,缩短铸件的开发周期,提高经济效益。压铸高真空技术比较成熟,广泛应用在压铸模具中,但 3D 打印技术目前还处于发展阶段,还有很多问题需要解决,如材料的性能、打印的精度、效率、寿命及成本等。

参 考 文 献

- [1] 张玉龙,陈国恩,朱宇,等.CAE 模拟在汽车发动机过滤器压铸中的应用[J],特种铸造及有色合金,2020, 40(12):658-661.
- [2] 吴春苗.压铸技术手册[M].广州:广东科技出版社,2007.
- [3] 陈国恩,谭小明,汪学阳,等.CAE 分析在铝合金压铸件滤清器质量提升的应用[J],特种铸造及有色合金,2018, 38(4):658-661.

(编辑:张正贺)

欢迎登陆期刊官网

投稿、查稿、审稿

2024 年起,《特种铸造及有色合金》杂志新版网站正式上线,期刊论文彩色版本均可在网站免费在线阅读或下载 pdf 文件,并可体验 AI 导读功能,网址:www.special-cast.com,欢迎访问!