

镁合金汽车抬头显示支架压铸工艺模拟与优化

张继龙¹ 陈 龙² 田晶晶¹ 甘恢琪¹

(1.万丰镁瑞丁新材料科技有限公司; 2.浙江工业大学机械工程学院)

摘 要 基于 Magma 软件对抬头显示支架(HUD)设计了 2 种浇注系统方案,通过数值模拟分析给出优化方案,在此基础上采用田口试验研究了压铸过程中浇注温度、模具预热温度及压射速度对汽车 HUD 卷气量和缩孔率的影响,得到了优化的压铸工艺参数:浇注温度为 660 ℃、模具预热温度为 200 ℃、压射速度为 6.5 m/s,并进行了压铸试模。结果表明,在优化工艺参数组合下能够有效减少汽车 HUD 的内部缩松、缩孔缺陷。

关键词 镁合金;压铸;田口试验;工艺优化

中图分类号 TG146.22;TP311;TG249.2

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.08.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Numerical Simulation and Die Casting Process Optimization of Magnesium Alloy Vehicle Head-up Display Bracket(HUD)

Zhang Jilong¹, Chen Long², Tian Jingjing¹, Gan Huiqi¹

(1.Wanfeng Meridian Lightweight Technology Co., Ltd.;

2.School of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology)

Abstract: Based on the Magma software, two kinds of gating system schemes were designed for the head-up display bracket(HUD), and a optimized scheme was given by numerical simulation analysis, on this basis, the effects of pouring temperature, mold preheating temperature and injection speed on the volume and shrinkage rate of automobile HUD in the die-casting process were analyzed by using Taguchi experiment, and the optimal process parameters of die-casting were presented as follows: pouring temperature of 660 ℃, mold preheating temperature of 200 ℃, injection speed of 6.5 m/s, and the trial production was conducted. The results show that under the optimal combination of process parameters, the internal shrinkage hole defects in magnesium alloy automotive HUD can be effectively reduced.

Key Words: Magnesium Alloy, Die Casting, Taguchi Experiment, Process Optimization

当下,如何减少资源的消耗和环境的污染已成为人类可持续发展的首要问题。为有效解决这一问题,汽车轻量化得到广泛的重视^[1-2]。实现汽车轻量化的有效途径之一就是使用新型轻量化材料来代替传统金属材料,通过先进工艺手段将新型轻量化材料加工成汽车零部件,这就给传统汽车制造行业提出了更高的要求^[3-4]。镁合金作为最轻的金属结构材料,广泛应用于汽车零部件的压铸生产中,但在实际压铸生产中会有大量缺陷产生,从而导致铸件报废,因其较低的合格率使得镁合金制造业的发展面临巨大的挑战^[5-6]。

为了进一步推动镁合金在汽车轻量化技术中的应用,开展了镁合金汽车抬头显示支架(HUD)的结构设计、模具设计以及压铸测试,以探索镁合金在汽车薄壁

结构件上应用的可行性,主要涉及计算机仿真及压铸工艺参数优化。提出以最小卷气量以及最小缩孔率为优化目标,运用 CAE 技术对汽车 HUD 填充过程进行模拟,通过 Minitab 田口试验对浇注温度、模具预热温度及压射速度等参数进行理论分析及优化,得到优化的工艺参数组合,旨在为汽车 HUD 的生产提供参考。

1 建模分析及优化

1.1 HUD 建模分析

研究材料为 AM60B 合金,其化学成分见表 1。因其较高的强度和良好的耐腐蚀性^[7],被广泛用于生产电器产品的壳体,薄型或异型支架等零件。HUD 作为汽

收稿日期:2022-10-21;修改稿收到日期:2022-11-23

第一作者简介:张继龙,男,1989 年出生,工程师,浙江新昌(312580),E-mail:jzhang1@meridian-mag.com

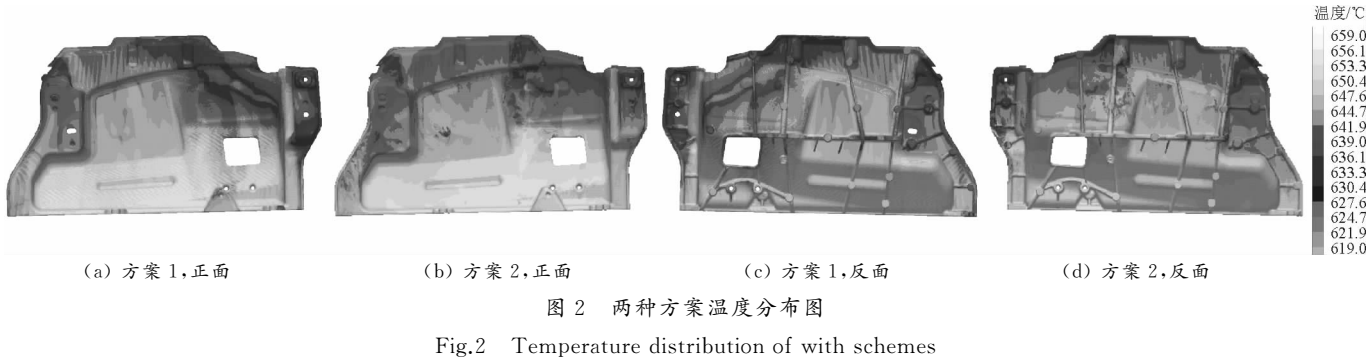
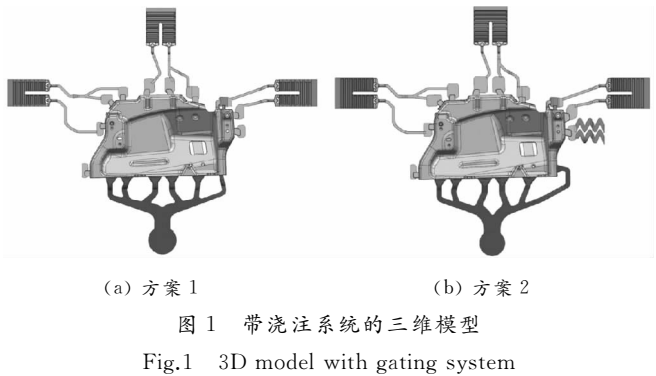
通信作者:陈龙,男,1996 年出生,硕士研究生,杭州(310023),E-mail:1456331380@qq.com

引用格式:张继龙,陈龙,田晶晶,等. 镁合金汽车抬头显示支架压铸工艺模拟与优化[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(8):1 141-1 144.

ZHANG J L, CHEN L, TIAN J J, et al. Numerical simulation and die casting process optimization of magnesium alloy vehicle head-up display bracket(HUD)[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(8):1 141-1 144.

车抬头显示支架零件,AM60B 合金完全满足其性能要求。

镁合金 HUD 因其壁厚薄且结构复杂,所以对其加工精度、表面品质都有着较高的要求。利用 UG12.0 软件设计 HUD 零件的三维模型,设计了 2 种浇注系统方案,见图 1。



陷。方案 2 的温度分布较为均匀,铸件的主体位置温差不超过 3 ℃。就填充温度来看,方案 2 优于方案 1。

1.2.2 填充速度模拟

图 3 为 2 种方案充填速度模拟结果。可以看出,当填充至 40% 时,方案 1 中 A 位置的填充速度过快,达到 50 m/s 以上,使得速度较快的金属液会优先填充铸件,

表 1 AM60B 镁合金的化学成分

Tab.1 Chemical composition of AM60B magnesium alloy %

w _B								
Al	Mn	Zn	Si	Fe	Cu	Ni	Be	Mg
5.84	0.35	0.18	0.04	0.003	0.07	0.001	0.001	余量

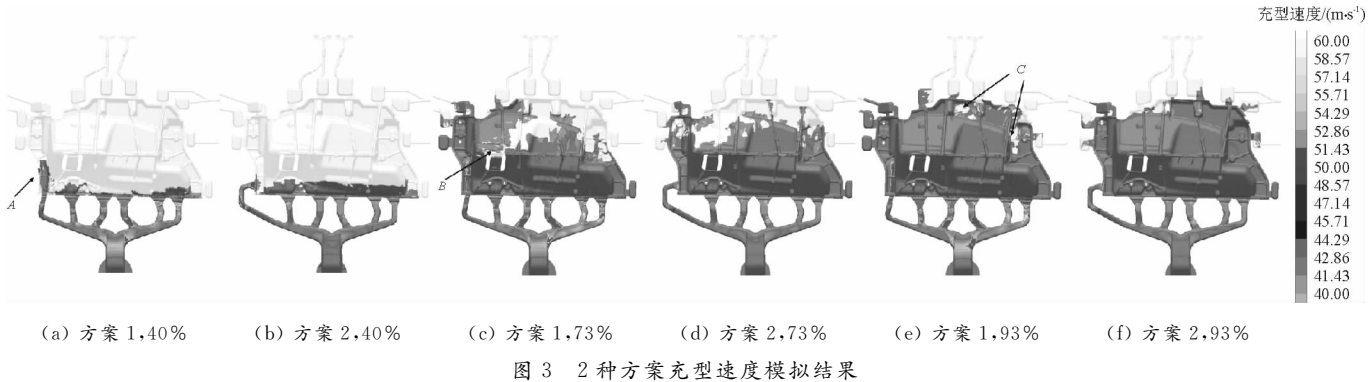
1.2 模拟分析

在模拟之前先要确定工艺参数,根据压铸手册及经验,初步设定浇注温度为 680 ℃,模具预热温度为 180 ℃,压射速度为 5.5 m/s。

1.2.1 填充温度模拟

图 2 为 2 种方案的温度场模拟结果。可以看出,方案 1 的温度分布很不均匀,靠近铸件中间区域有很大面积的温度较低,不超过 630 ℃,而其他区域的温度都达到 645 ℃ 以上,形成了较大的温度差,使得该区域在冷却过程中产生较大的应力收缩,易出现严重的缩孔缺

导致铸件填充不均匀。当填充至 73% 时,因为 A 区域的金属液填充过快,使得在与速度较慢的金属液混合时会形成未填充的空白区域,见图 3c 中 B 区域。该区域由于被两股金属液包围而后才慢慢被填充,导致该区域容易出现憋气现象。当填充至 90% 时,出现了大片容易憋气的区域,见图 3e 中 C 区域。相较于方案 1,方案



2 的充型速度模拟效果更好。

1.3 田口试验设计

在压铸生产中,工艺参数对镁液的充型与凝固有着极为重要的影响,其中浇注温度对填充过程、模具的热

状态以及操作的效率等非常重要^[8-9]。模具合理预热可避免镁液剧烈激冷而引起开裂,也可改善型腔排气条件。压射速度对填充过程中卷气的影响非常大,合理的压射速度也可改善熔体的流动性。

因此主要优化浇注温度、模具预热温度及压射速度,以卷气量和缩孔率作为优化指标,得到田口试验的因素水平表,见表 2,根据表 2 得到 $L_9(3^3)$ 正交表进行田口试验^[10]。

表 2 田口试验因素-水平表

Tab.2 Taguchi experimental factors-level table			
水平	浇注温度 (A)/℃	模具预热温度 (B)/℃	压射速度 (C)/(m·s ⁻¹)
1	660	160	4.5
2	680	180	5.5
3	700	200	6.5

2 试验结果及模拟分析

2.1 田口试验结果及分析

在方案 2 的基础上以浇注温度、模具预热温度以及压射速度为优化参数,以卷气率和缩孔率为优化指标,根据 $L_9(3^3)$ 正交表进行田口试验,得到的结果见表 3。

表 3 田口正交表及结果统计

Tab.3 Taguchi orthogonal table and result statistics				
浇注温度/ ℃	模具预热 温度/℃	压射速度/ (m·s ⁻¹)	卷气率 y_1 /%	缩孔率 y_2 /%
660	160	4.5	1.47	0.401
660	180	5.5	1.51	0.357
660	200	6.5	1.43	0.398
680	160	5.5	1.44	0.471
680	180	6.5	1.41	0.411
680	200	4.5	1.54	0.393
700	160	6.5	1.46	0.537
700	180	4.5	1.55	0.479
700	200	5.5	1.44	0.457

对于卷气率、缩孔率这两个响应目标而言,均符合田口试验质量特性中的望小特性,故信噪比 S/N 的计算公式为:

$$\frac{S}{N} = -\lg(\frac{1}{n} \sum y_i)$$

通过 Minitab 软件进行信噪比分析,卷气率的信噪比记为 S/N_1 ,缩孔率的信噪比记为 S/N_2 ,计算结果和极差分析见表 4 和表 5。

表 4 信噪比计算结果

Tab.4 Calculation results of signal-to-noise ratio				
序号	y_1	S/N_1	y_2	S/N_2
1	1.47	-3.346	0.401	7.937
2	1.51	-3.580	0.357	8.947
3	1.43	-3.107	0.398	8.002
4	1.44	-3.167	0.471	6.540
5	1.41	-2.984	0.411	7.723
6	1.54	-3.750	0.393	8.112
7	1.46	-3.287	0.537	5.401
8	1.55	-3.807	0.479	6.393
9	1.44	-3.167	0.457	6.802

表 5 极差分析表

Tab.5 Range analysis table					
因素	水平	S/N_1 均值	极差 R_1	S/N_2 均值	极差 R_2
A	1	-3.344	0.119	8.295	2.097
	2	-3.301		7.458	
	3	-3.420		6.198	
B	1	-3.267	0.190	6.626	1.062
	2	-3.457		7.688	
	3	-3.341		7.639	
C	1	-3.634	0.508	7.481	0.439
	2	-3.305		7.429	
	3	-3.126		7.042	

2.1.1 卷气率的极差分析及方差分析

在仅考虑卷气率的情况下,从表 5 可知, $C>B>A$,即压铸工艺参数对卷气率的影响程度由大到小依次为:压射速度、模具预热温度、浇注温度。可以得到,在仅考虑卷气率情况下,满足信噪比 S/N_1 最大的压铸工艺参数组合为 $A_2B_1C_3$,即浇注温度为 680℃、模具预热温度为 160℃、压射速度为 6.5 m/s。

在仅考虑卷气率的情况下,对数据进行方差分析,结果见表 6。可知,压射速度对信噪比 S/N_1 呈非常显著的关系;3 种压铸工艺参数对充型时间的显著性大小依次为:压射速度、模具预热温度和浇注温度。

表 6 方差分析表

Tab.6 Variance analysis table					
来源	自由度	偏差平方和	均方	F	显著性
浇注温度	2	0.000 622	0.000 311	0.10	不显著
模具预热温度	2	0.001 689	0.000 844	0.28	一般
压射速度	2	0.011 622	0.005 811	1.93	显著
误差	2	0.006 022	0.003 011		
合计	8	0.019 956			

2.1.2 缩孔率的极差分析及方差分析

在仅考虑缩孔率的情况下,可知, $A>B>C$,即压铸工艺参数对缩孔率的影响程度由大到小依次为:浇注温度、模具预热温度、压射速度。在仅考虑缩孔率的情况下,满足信噪比 S/N_2 最大的压铸工艺参数组合为 $A_1B_2C_1$,即浇注温度为 660℃、模具预热温度为 180℃、压射速度为 4.5 m/s。

在仅考虑缩孔率的情况下,对数据进行方差分析,结果见表 7。可知,浇注温度对信噪比 S/N_2 呈非常显著的关系。3 种压铸工艺参数对缩孔率的显著性大小

表 7 方差分析表

Tab.7 Variance analysis table					
来源	自由度	偏差平方和	均方	F	显著性
浇注温度	2	0.017 095	0.008 547	14.96	显著
模具预热温度	2	0.005 796	0.002 898	5.07	一般
压射速度	2	0.001 022	0.000 511	0.89	不显著
误差	2	0.001 143	0.000 571		
合计	8	0.025 056			

依次为:浇注温度、模具预热温度、压射速度。

在实际生产中要综合考虑以上所有因素,当卷气率、缩孔率同时考虑时,此时最优工艺组合:浇注温度为 660 ℃、模具预热温度为 200 ℃、压射速度为 6.5 m/s。

2.2 模拟分析

在最优工艺组合前提下,利用 Magma 软件对优化前后的 HUD 进行卷气率和缩孔率模拟,结果见图 4。就卷气率而言,优化前零件内部有较大区域的气压较高,主要集中在零件的右上边缘,气压超过 0.45 MPa,这使得该区域极易出现卷气。优化后零件右上边缘气压高的现象完全消除,只有左边位置及上方存在一小块区域的气压较高,但整体较优化前而言卷气改善明显。就缩孔率而言,优化前后 HUD 的缩孔位置大致相同,主要集中在零件的中部及上方,但优化后的缩孔区域较优化前少一些。

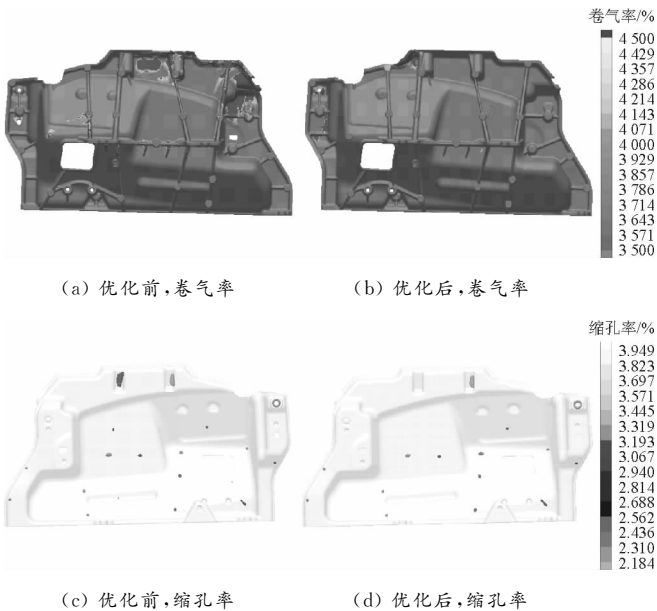


图 4 优化前后的卷气率及缩孔率对比

Fig.4 Comparison of air entrainment rate and shrinkage cavity rate before and after optimization

3 压铸试验

针对上述优化得到的最优工艺组合及方案对 HUD 零件进行压铸试模,在 DCC800M 型压铸机上进行试制,经过切边和机加工,得到最终铸件见图 5,从整体外观上看,铸件表面成形良好,无明显缺陷。

对该 HUD 零件重点部位 X 射线检测,结果表明,HUD 铸件内部品质总体良好,未发现有较大尺寸的缩松、缩孔缺陷,符合 ASTM E505 A2 级标准。



(a) 正面 (b) 反面

图 5 HUD 压铸件

Fig.5 HUD die-casting

4 结论

AM60B 镁合金汽车 HUD 支架在压铸过程中,当仅考虑卷气率时,压射速度对其影响最大,模具预热温度次之,浇注温度影响最小。当仅考虑缩孔率时,浇注温度对其影响最大,模具预热温度次之,压射速度影响最小。当综合考虑卷气率与缩孔率时,最优工艺参数组合:浇注温度为 660 ℃、模具预热温度为 200 ℃、压射速度为 6.5 m/s。

参考文献

- [1] 范叶,杨沿平,孟先春,等.汽车轻量化技术及其实施途径[J].汽车工业研究,2006(7): 40-42.
- [2] 郭径,叶兵,吴玉娟,等.高强韧压铸镁合金的研究现状和发展趋势[J].特种铸造及有色合金,2019,39(3): 254-260.
- [3] 付京京.汽车轻量化技术的发展现状及其实施途径分析[J].信息系统工程,2016(7): 79-82.
- [4] 潘复生,王敬丰,章宗和,等.中国镁工业发展的机遇、挑战和责任[J].中国金属通报,2008(2): 6-14.
- [5] 曹韩学,赵东林,郝婷婷,等.汽车镁合金控制臂挤压铸造缺陷的预测分析[J].特种铸造及有色合金,2012,32(1): 52-54.
- [6] 杨曼云,迟毅林.温度场模拟及缩孔缩松预测算法研究与实现[J].特种铸造及有色合金,2016,36(8): 803-806.
- [7] 张诗昌,段汉桥,蔡启舟,等.主要合金元素对镁合金组织和性能的影响[J].铸造,2001(6): 310-315.
- [8] 胡泊,熊守美,村上正幸,等.真空压铸工艺参数对 AM50 镁合金力学性能的影响规律[J].特种铸造及有色合金,2009,29(12): 1120-1123.
- [9] 吴伟,邹智厚,马春艳,等.工艺参数对压铸 AM50 镁合金力学性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2005,25(10): 43-45.
- [10] 何桢,潘越,刘子先,等.因子试验、RSM 与田口方法的比较研究[J].机械设计,1999(11): 起止页码

(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