

铝合金差速器壳体压铸缺陷分析及改善

廖建强¹ 管胜敏¹ 管维健¹ 黄志垣² 安肇勇²

(1.广东鸿图武汉压铸有限公司; 2.广东鸿图科技股份有限公司)

摘 要 铝合金差速器壳体是汽车传动系统的关键部件之一,其结构相对复杂,且内部品质要求较高。生产过程中,需大面积加工,因而暴露出来的内部缺陷大大增加,尤其是夹渣、气孔。为了解决缺陷带来的废品率偏高问题,通过采用数值模拟,将铝合金液充型状态与实际铸件缺陷分布位置进行对比,再对铸件结构进行剖解分析,从而优化浇注系统。通过设计合理的浇注系统从而减少缺陷,降低废品率。

关键词 差速器壳体;数值模拟;浇注系统;成形缺陷;废品率

中图分类号 TG249.2;TG146.21

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.05.027

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Forming Defect Analysis and Improvement of a Die-casting Aluminum Alloy Differential Case

Liao Jianqiang¹, Guan Shengmin¹, Guan Weijian¹, Huang Zhiyuan², An Zhaoyong²

(1.Guangdong Hongtu Wuhan Die-casting Co., Ltd.; 2.Guangdong Hongtu Technology Co., Ltd.)

Abstract: Aluminum alloy differential case is one of the key components of automobile transmission system, which has relatively complex structure and high internal quality requirements. In the process of production and manufacture, the product was processed on a large area, taking the internal defects of the product exposed to increase greatly, such as inclusion and gas hole. In order to solve the problem of high reject rate caused by molding defects, the filling process of aluminum alloy was compared with the actual casting defect location by numerical simulation method, and then the product structure was dissected and analyzed to optimize the gating system. It is concluded that more reasonable pouring can improve the risk of process exposure and reduce the reject rate.

Key Words: Differential Housing, Numerical Simulation, Gating System, Forming Defects, Reject Rate

因铝合金密度小、强度高、耐腐蚀,在汽车零部件生产中得到广泛应用^[1]。铝合金通过合金强化,其强度明显提高,满足了离合器壳体、油底壳、差速器壳体在恶劣环境下工作的要求。同时,在节能减排的需求下,扩大铝

合金应用可以明显地减轻汽车自重^[2~4]。差速器壳体作为汽车转动系统重要的组成部分,对于汽车制造的需求量越来越多,品质要求越来越高,因此在保证产品高品质的条件下,如何降低废品率是需要解决的课题。

收稿日期:2020-09-24;修改稿收到日期:2020-10-30

第一作者简介:廖建强,男,1993 年出生,工程师,武汉(430200),E-mail:jianqiang.liao@ght-china.com

通信作者:安肇勇,男,1981 年出生,高级工程师,广东高要(526108),E-mail:anzhaoyong@163.com

引用格式:廖建强,管胜敏,管维健,等. 铝合金差速器壳体压铸缺陷分析及改善[J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41(5):648-652.

LIAO J Q, GUAN S M, GUAN W J, et al. Forming defect analysis and improvement of a die-casting aluminum alloy differential case[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(5):648-652.

缺陷会随着浇注温度的升高而变少。

(2)压射速度为 2.5 m/s、浇注温度为 660 ℃、模具预热温度为 230 ℃时,生产的 ADC12 泵体铸件表面光洁,无裂痕、缺料、冷隔、飞边等缺陷,对铸件进行高压性能测试,发现铸件无爆破、无泄漏,满足技术要求。

参 考 文 献

[1] KWON H J, KWON H K. Computer aided engineering (CAE) simulation for the design optimization of gate system on high pressure die casting (HPDC) process[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2018: S0736584517300650.

[2] 宋政懿,米国发,周志杰,等. 铝合金散热片压铸工艺设计与数值模拟优化[J].特种铸造及有色合金, 2018, 38(1): 45-48.

[3] 王鹏翔,殷国富. 压铸模具设计师手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.

[4] 张国强,赵占西. 壳体压铸工艺设计及优化[J].铸造, 2020, 69(5): 501-505.

[5] 黄勇,黄尧. 压铸模具设计实用教程[M]. 北京:机械工业出版社, 2011.

[6] 徐秋湘,赵占西. 工艺参数对铝合金梯级铸件压铸过程的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2018, 38(5): 518-521.

(编辑:张正贺)

1 铸件的结构及开发技术要点

汽车差速器壳体压铸件见图 1。该零件轮廓尺寸为 236.91 mm×191.23 mm×187.41 mm, 压铸件质量为 3.35 kg, 平均壁厚为 6.2 mm, 投影面积为 97 532.21 mm², 铸件材质为 ADC12 合金。该铸件整体壁厚偏厚, 而且壁厚并不均匀, 因此在压铸过程中热节位置易造成缩孔, 且加工面积大。浇注系统设计见图 2, 要求各部分无毛刺、伤痕、飞边缺陷; 轴瓦位置取拉伸试样, 测试所得抗拉强度大于 177 MPa, 不能出现气孔、缩松等缺陷, 并且要求气密性检验, 试漏压力为 200 kPa, 允

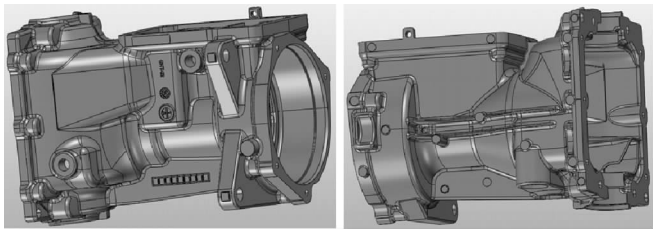
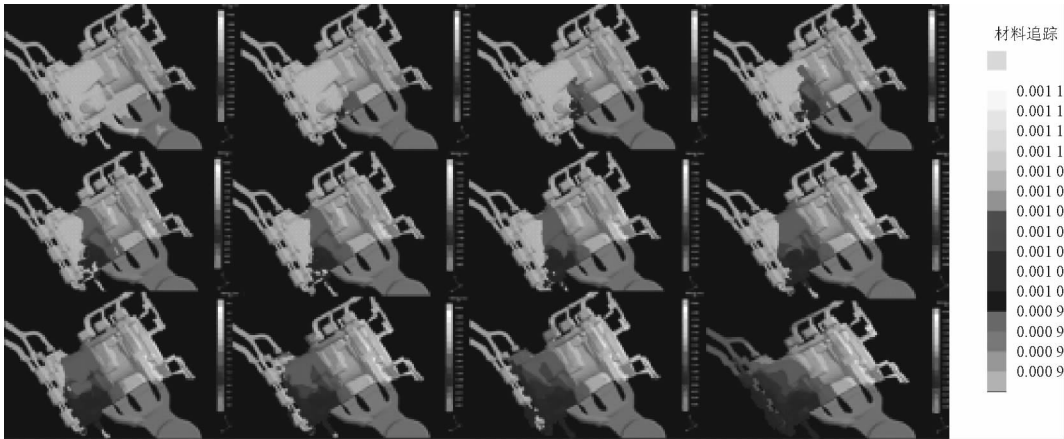
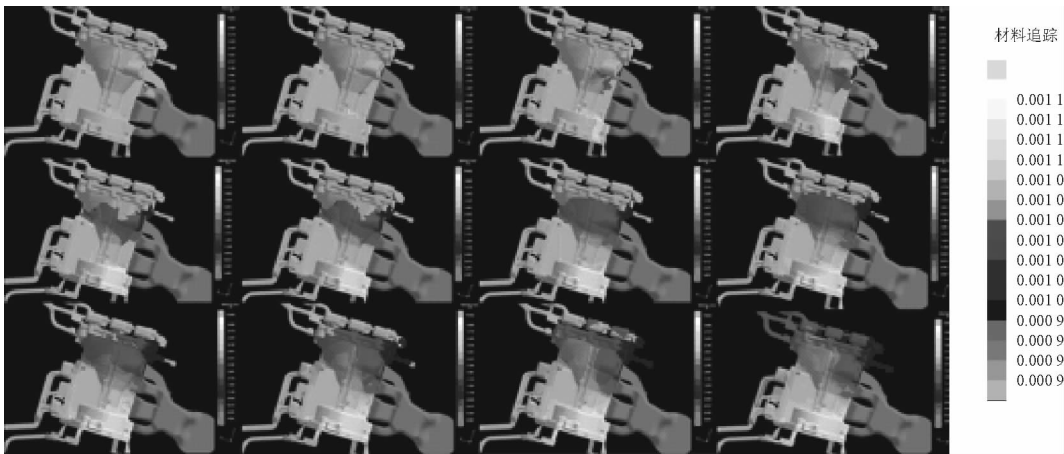


图 1 差速器壳体压铸零件
Fig.1 3D diagram of differential case



(a) 定模侧充型演示

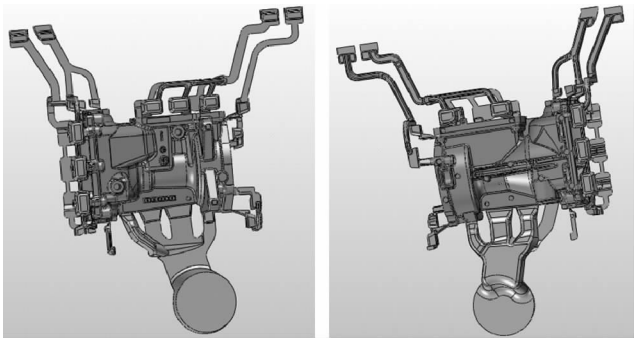


(b) 动模侧充型演示

图 3 差速器壳体充型模拟
Fig.3 Filling simulation

许泄漏量<3 mL/min。

选用宇部 8 500 kN 压铸机, 配有实时压射控制系统。为缩短开发周期, 采用 MAGMA 软件对浇注系统进行分析。由于差速器壳体整个内腔都加工, 根据壳体结构特点, 设计横放, 浇口布置在壳体一侧筋条上, 最终浇注排溢系统见图 2。

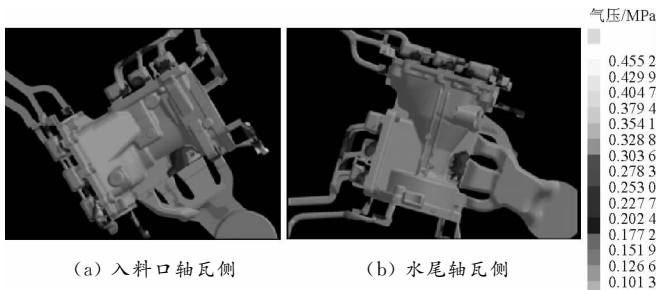


(a) 定模 (b) 动模

图 2 浇注排溢系统
Fig.2 Pouring and exhausting system

对差速器壳体充型、冷却进行模拟分析, 其结果见图3~图5。根据模拟结果可以看出, 该浇注系统基本

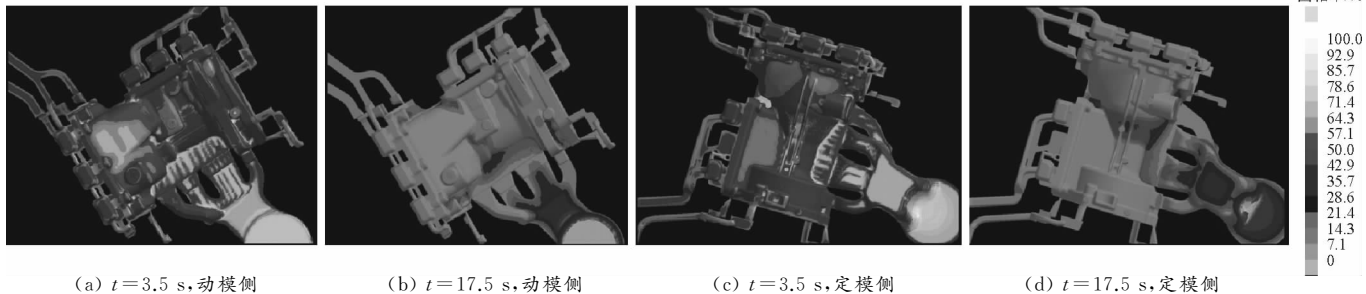
能够实现铝料的平稳充填,卷气主要集中在渣包和产品一些局部非加工死角区域。根据模拟分析,发现存在两个问题:①定模侧铝液流速较快,但定模侧有两个较厚的凸台需要更多铝料,②右侧的进浇量明显强于左侧,但左侧加工面积更多,内部品质要求较高,需保证加工区域的品质。综合考虑,该方案可行。由于壳体局部壁厚不均匀,所以局部呈现出不等速的冷却速度,以此可以设计出更合理的冷却系统。



(a) 入料口轴瓦侧 (b) 水尾轴瓦侧

图 4 差速器壳体腔气压模拟

Fig.4 Gas pressure simulation



(a) $t=3.5\text{ s}$, 动模侧

(b) $t=17.5\text{ s}$, 动模侧

(c) $t=3.5\text{ s}$, 定模侧

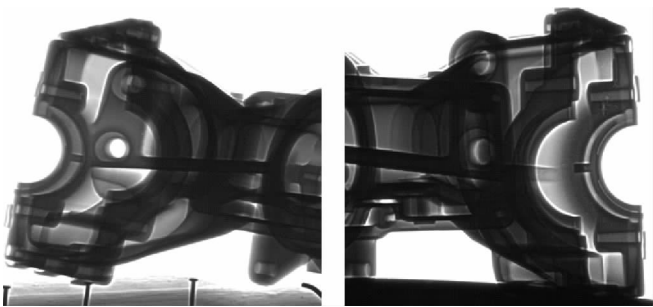
(d) $t=17.5\text{ s}$, 定模侧

图 5 差速器壳体凝固过程模拟

Fig.5 Solidification process simulation

2 压铸工艺优化

为了获得良好的生产工艺参数,选取 370、390、420 mm 的高速切换点进行试验。当高速切换点为 370 mm 时,成形良好,存在水尾冷隔、入料口内腔轻微扣模,但是入料口轴瓦有轻微气孔,水尾轴瓦位置有明显气孔,见图 6。



(a) 入料口轴瓦侧

(b) 水尾轴瓦侧

图 6 高速切换点为 370 mm 时 X 光检测结果

Fig.6 XRD results of product based on the high speed shifted to 370 mm

当高速切换点选择 390 mm 时,成形良好,入料口有轻微扣模现象,但入料口及水尾轴瓦都有少量细小气孔,见图 7。

当高速切换点为 420 mm 时,成形良好,入料口无扣模现象,入料口有轻微成形不良,但是入料口轴瓦明显有气孔,水尾轴瓦轻微存在气孔,见图 8。

经过试验,当高速切换点为 390 mm 时,能获得成形更好的压铸件。可以看出,相对于传统压铸,铝液在

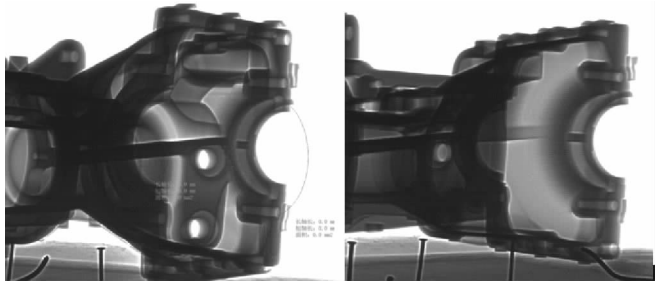


(a) 入料口轴瓦侧

(b) 水尾轴瓦侧

图 7 高速切换点为 390 mm 时 X 光检测结果

Fig.7 XRD results of product based on high speed shifted to 390 mm



(a) 入料口轴瓦侧

(b) 水尾轴瓦侧

图 8 高速切换点为 420 mm 时 X 光结果

Fig.8 XRD results of product based on high speed shifted to 420 mm

负压的作用下又被吸入型腔,易造成冷隔、麻面及切削硬质点等缺陷,所以真空压铸要适当提前高速转换位置。

3 压铸生产中的问题

对壳体件加工数据进行统计,见表 1。可以看出,

表 1 生产数据统计

Tab.1 Defect analysis in product process

加工数量	废品数量	废品率/%	不良缺陷统计及占比									
			缺陷	夹渣	气孔	漏气	凹入	崩缺	色差	撞伤	设备故障	加工不过
			数量	153	49	24	2	2	1	1	1	1
650	234	36	废品占比/%	65.4	20.9	10.3	0.9	0.9	0.4	0.4	0.4	0.4

主要报废原因分别为夹渣、气孔、漏气等缺陷。夹渣大多数在右侧圆筒抽芯靠近入料口以及动模侧，缺陷状态见图 9。

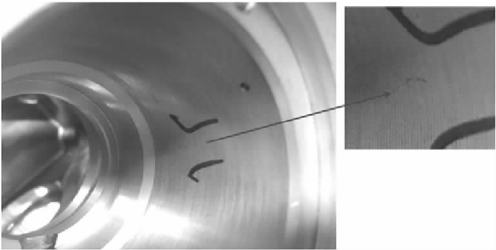


图 9 夹渣位置及形貌
Fig.9 Inclusion defects in the cavity

气孔主要在加工螺纹孔内，一部分是孔侧壁，主要集中在左侧抽芯的水尾针孔的收缩加工外露，一部分在针孔底部，主要集中在侧抽芯及上抽芯针孔螺纹孔，见图 10。



(a) 抽芯针旁缩孔 (b) 右、上抽芯孔底气孔
图 10 左侧抽芯针旁边缩孔及右、上抽芯孔底气孔

Fig.10 Shrinkage hole near core-pulling pin in left side and gas hole in pulling-core cavity at right and up position

漏气基本为上下轴瓦加工后与周边的针孔串漏，见图 11。

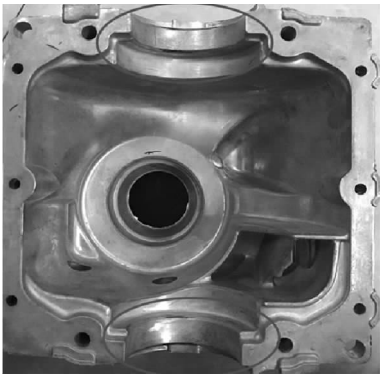


图 11 漏气位置及气孔形貌
Fig.11 Gas hole in the product with leakage gas

综上，根据缺陷分布情况，有 4 个问题需要改进：①左侧抽芯轴瓦缩松，加工后与旁边螺纹孔串通漏气；②轴瓦两侧针孔收缩加工外露；③右侧抽芯深腔内加工后

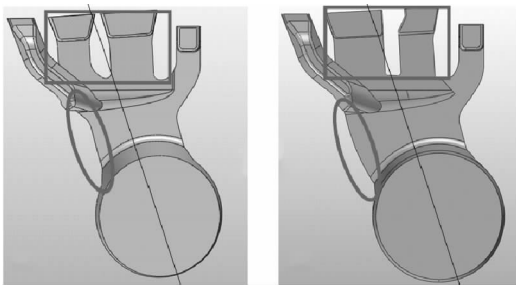
夹层外漏；④右侧抽芯针孔底部气孔。

4 缺陷的原因分析及对策

4.1 左侧抽芯轴瓦缩松

壳体左侧相对右侧需要的铝料更多，针对浇口剖析，发现左侧进浇量明显不如右侧。

解决该位置缩松可以采用两种方法，一是将轴瓦侧的渣包改为浇口，该方案只需磨开一条浇道即可，浇道打开后，进料口侧有一些改善，但不明显，水尾侧轴瓦没有得到改善；二是需要对整个浇注系统做调整，将主浇道左侧加宽，并将填充左侧的支浇道加宽，同时减小填充右侧的支浇道，以增大左侧的进浇量，减小右侧进浇量，见图 12。



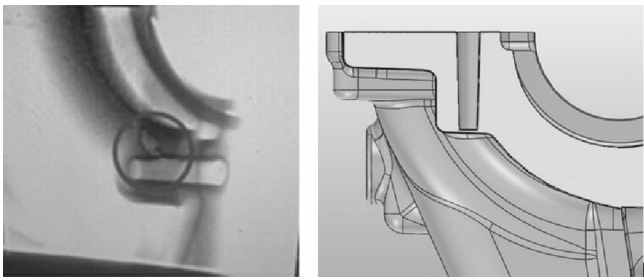
(a) 改进前 (b) 改进后
图 12 浇口改进前后对比

Fig.12 Comparison of before and after ingate modification

对改进后的浇口方案进行生产验证，发现左侧轴瓦位置的气孔有明显改善，无缩松缺陷。

4.2 轴瓦两侧针孔收缩，加工后外露

针孔收缩位置朝右侧方向，且在针孔深度 2/3 的位置，该位置壁厚较厚，极易造成缩松、缩孔缺陷，见图 13。



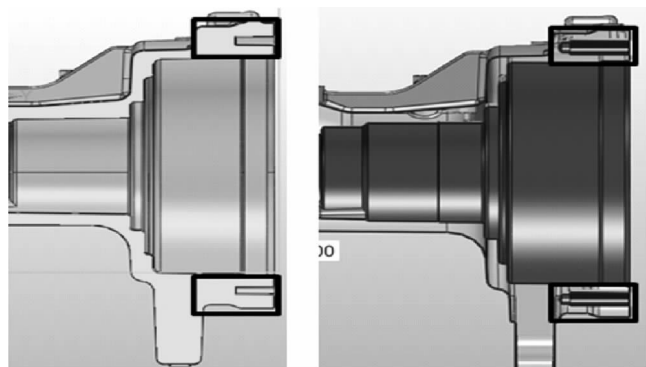
(a) 针缩孔位置 (b) 针缩孔结构
图 13 针缩孔位置及结构

Fig.13 Shrinkage hole position and structure

该位置缩孔主要在针侧边,降低针温度是解决该位置缩孔的有效方法。方法 1 增加喷涂降低针温,只需调整喷涂即可,但整体生产节拍变慢,有一定改善效果,但不太理想;方法 2 将针改为点冷针,需要更换芯针并接通运水,通过供水时间控制整个针温在生产过程的变化。按照方法 2,将针改为点冷,针孔附近的缩孔得到改善,满足产品品质要求。

4.3 右侧抽芯针孔底部气孔

初始毛坯针及加工针孔对比,可以看出,右侧抽芯针毛坯针孔明显比加工后针孔浅许多,孔加工深度较大,孔底壁厚大,极易造成缩松、缩孔等缺陷,见图 14。



(a) 初始毛坯针 (b) 加工针孔

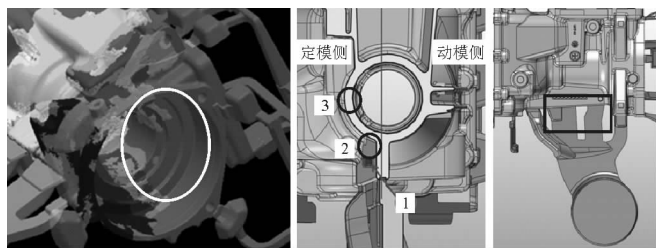
图 14 初始毛坯针及加工针孔

Fig.14 Initial pin in the blank and processed pin hole

解决该位置缩孔方法有:方法 1 将气孔外漏针加长,保证加工余量小于 1 mm,使加工时气孔不外露;方法 2 直接取消此处的针,验证缩孔加工能否加工掉。方法 1,只需更换加长芯针即可;方法 2 由于缩松和缩孔分布不规律,产品加工后缩孔依旧存在。按照方法 1 将芯针加长 10 mm,保留 1 mm 的加工余量,转移了缺陷位置,满足了品质要求。

4.4 右侧抽芯深腔内加工后夹层外漏

壳体本身加工余量正常,但加工后夹层缺陷外露,可能是铝液本身含夹渣较多,或有凝结块,或者本身产品内部包卷。针对夹层缺陷,方法 1 是对来料延长除渣除气时间,生产过程中增加捞渣频次,但该过程难以把控,且效果并不明显;方法 2 是对进入型腔前的铝料进行撞击打散,因此在浇口处布置立柱或者一条内浇口分隔为多个,这可能导致铝液紊流,效果也不明显;方法 3 是针对产品内在铝液流动进行分析,由于产品本身壁厚较厚,内部可能存在包卷,保证铝料在圆筒两侧填充速率基本一致,所以将定模侧的内浇口进行补焊,产品动模侧圆角加大,加速动模侧进浇(见图 15)。将浇口及产品按照方法 3 改善后,抽芯筒内的夹层明显减少。



(a) 内部包卷 (b) 进浇优化 (c) 合格铸件

图 15 内部包卷及浇口改变

Fig.15 Entrapped-gas and ingate modification

5 结 语

通过对差速器壳体的试制分析可以得出,数值模拟能为铝合金压铸件前期的品质控制及缺陷分析提供参考,从而设计出更合理的浇注系统,缩短开发周期;再根据实际生产过程所出现的问题与模拟状态进行对比,从而进一步优化产品的浇注系统,改善成形工艺条件,提高铸件品质。另外,修改铸件结构也对压铸品质提升有积极意义。

参 考 文 献

- [1] 张百在,万里,黄志垣.大型复杂铝合金汽车动力部件的压铸技术开发及质量控制[J]. 特种铸造及有色合金,2009,29(3):219-222.
- [2] 安肇勇,万里,黄志垣.油底壳压铸成形的缺陷分析及对策[J]. 特种铸造及有色合金,2012,32(3):250-251.
- [3] 王华侨,耿巍磷,王建国. 铝合金发动机缸体模具压铸成型中的关键技术应用[J]. 模具制造,2008,28(7):54-58.
- [4] 陈金城,翟春泉. 快速成长中的中国压铸机制造业[J]. 特种铸造及有色合金,2010,30(9):813-818.
- [5] 胡泊,熊守美. 真空压铸中高真空排气阀与薄膜通道式排气阀的排气性能对比[J]. 铸造,2006,55(4):355-359.

(编辑:张正贺)

我国一季度镁合金出口 3.69 万 t

据海关数据统计,2021 年一季度国内镁合金出口累计总量达 3.69 万 t,较去年一季度出口总量 3.73 万 t 下降 478 t,同比下降 1.28%。2021 年 3 月份我国镁合金出口总量约为 1.5 万 t,环比增长 47.3%,同比下降 80%。

分析指出,由于 2020 年一季度正处国内疫情肆虐期间,国内交通受阻,镁合金出口集中在 3 月发货,致使 2020 年 3 月镁合金出口量高于平均水平,在 2021 年 3 月镁合金出口量环比为正的情况下,出口同比仍然出现下降情况。从出口商了解,目前订单出现回暖迹象,整体出口形势向好,预计 4 月镁合金出口量将保持增长趋势。

(摘自压铸周刊)