

铝合金变速箱悬挂端盖压铸模具设计

徐善状¹ 高 健²
(1.江苏信息职业技术学院智能工程学院;2.宁波市北仑龙诚模具制造有限公司)

摘 要 以某汽车变速箱悬挂端盖为对象,研究其采用压铸时可能出现的气孔、缩松等问题。首先对零件需求进行分析,然后完成浇排方案和水路排布方案设计,形成初步模具设计方案。采用华铸 CAE 模拟及试模对模具设计方案进行验证,对气孔缺陷产生的原因进行分析。最后通过增加挤压销结构并控制冷却水温的方式成功解决了气孔、缩松等缺陷。

关键词 轻量化;变速箱悬挂端盖;华铸 CAE

中图分类号 TG249.2;TG146.21 文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.012.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Die Casting Die Design of Aluminum Alloy Transmission Suspension End Cover

Xu Shanzhuang¹, Gao Jian²

(1. School of Intelligent Engineering, Jiangsu Vocational College of Information Technology;
2. Ningbo Beilun Longcheng Mould Manufacturing Co., Ltd.)

Abstract: An automobile transmission suspension end cover was analyzed to understand the porosity defects and shrinkage porosity caused by die casting. Firstly, the part requirements were analyzed, then the gating-exhausting system and waterway layout scheme design were carried out to form the initial mold design scheme. The mold design scheme was verified by Intecast simulation and the actual production, then the causes of porosity defects were analyzed. Finally, by increasing an extrusion pin structure and controlling the cooling water temperature, the porosity defects and shrinkage porosity were successfully eliminated.

Key Words: Lightweight, Automobile Transmission Suspension End Cover, Intecast

由于环保和节能的需要,汽车的轻量化已经成为汽车行业发展的趋势^[1-2]。某汽车变速箱悬挂端盖,原生产方式为铝合金重力铸造,受浇注工艺制约,其基本壁厚为15 mm,外形粗糙,难以对各个特征数据进行精确控制,而装配特征需进行机械加工保证,导致产量低,零件单件费用高。为了满足汽车轻量化、提高生产效率、降低成本等要求,对其工艺进行改革,采用压铸方式^[3-5]进行生产。

采用压铸工艺后,零件壁厚减小为 5 mm,结构强度不变,后续机加工工序余量小,生产效率提高,成本显著降低,尺寸控制精度高,但是由于其高速、高压的充型模式,使得充填时气体极易卷入,导致气孔及氧化夹杂物存在。该零件基本壁厚为 5 mm,轮廓尺寸为 194 mm×190 mm×72 mm,零件质量为 770 g。零件要求:尺寸公差为±0.1 mm,表面无任何缺陷,允许的缩松密度标准参照 VW50093-5%-Φ2^[3]。对于大型模具,

由于导柱导套布置在模具的边缘距中心较大,在动静模受热条件不同时,其膨胀量有差异^[6]。要求静载荷 8 kN 压力试验 72 h,零件无裂纹、断裂、塑性变形;模拟装配环境,冲击载荷为 20 kN 时,零件无裂纹、断裂、塑性变形,冲击次数为 36 次。

1 零件分析

1.1 零件要求分析

零件形状及结构见图 1。该零件尺寸要求级别高,因此在保证模具加工准确的情况下,必须将零件成形阶段顶出时的变形、零件自身收缩变形、零件收缩率等加以考虑,在前期设计过程中准确判断并提前预防,避免后期尺寸无法达到要求。针对零件外观要求,需确保不出现冲料、拉伤等压铸缺陷。孔隙率标准要求极为严格,如果孔隙率无法达到预期,零件强度试验将无法通过。在保证孔隙率的前提下,需对零件气孔、缩松位置

收稿日期:2023-05-23;修改稿收到日期:2023-07-13

基金项目:广东省重点领域研发计划资助项目(2020B010186001);江苏省高校优秀科技创新团队基金资助项目(SJK201907);江苏省高水平骨干专业建设基金资助项目(SJG201717)

第一作者简介:徐善状,男,1973 年出生,副教授,江苏无锡(214153),E-mail: hcitxszz@163.com

引用格式:徐善状,高健. 铝合金变速箱悬挂端盖压铸模具设计[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(12):1 718-1 723.

XU S Z,GAO J. Die casting die design of aluminum alloy transmission suspension end cover[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(12):1 718-1 723.

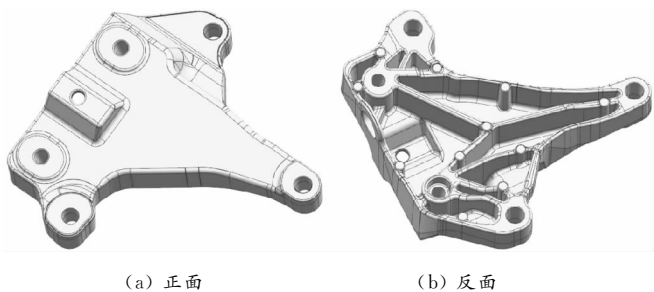


图1 零件形状及基本结构

Fig.1 Shape and basic structure of component

进行准确控制,避免缩松位置及气孔出现在结构连接关键节点,从而对零件整体性能产生极大的影响,使得零件冲击试验无法成功。悬挂端盖在三点固定的情况下,受力方向为侧偏 8.24°,固定位置见图 2,受力方向及角度见图 3。可以看出,零件固定点 3 受力远高于固定点 1,固定点 3 附近在 X 光探伤及 CT 检验时不允许有任何气孔、缩孔,切片检验时不允许有晶粒粗大情况。

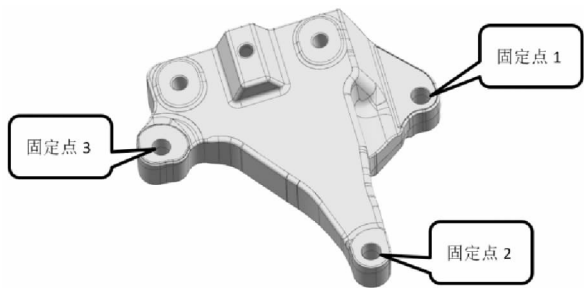


图2 悬挂端盖固定点

Fig.2 Fixed point of suspension end cover

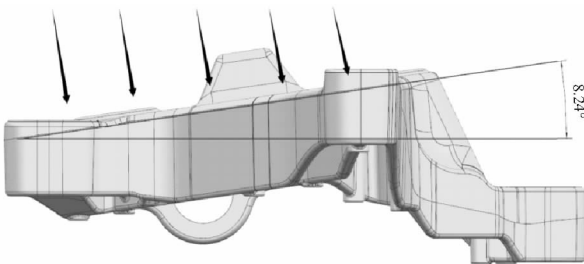


图3 悬挂端盖受力面及角度

Fig.3 Bearing surface and angle of suspension end cover

1.2 分析要求

模具定模离开时需确保不会将零件拉变形,所以将零件定模面起模斜度设置为不小于 2°,动模面斜度设置为 1°~1.5°,确保零件留在动模。根据零件壁厚,收缩率设置为 0.6%。顶针均匀排布,注意包紧力较大区域,同时兼顾其他区域,确保顶出平衡。在零件壁厚区域设置冷却水,保证零件各区域冷却速度一致,减少零件因各区域冷却时间不同所出现的扭曲变形。模具避免拉伤与冲料,模芯及其他成形零件热处理硬度(HRC)要提高至 50~52,对于浇口直接冲击位置,设置

冷却水避免此区域温度过高导致冲料。零件有多个壁厚位置,且相对分散,填充时各区域综合考虑,采用合理的浇排系统。

2 模具设计方案

2.1 设计要点

经过方案研讨后,确定模具设计初步方案为:①保证零件充填时各区域合理配置,排气顺畅,尽可能减少气体的卷入;②考虑零件特殊要求,浇排系统需设置在固定点 3 附近,确保此区域优先填充,同时流道的增压压力传导效果会保证此区域致密性;③由于压铸机的压射缸直径一定,采用小的活塞时,所产生的压力更高,采用直径为 70 mm 的活塞,尽可能增大压铸机增压效果;④压铸机增压效果提升后对锁模力要求更高,为了避免模具在生产时锁模力不足以抵消模具热膨胀及胀型力不均匀导致的飞料现象,在设计时需考虑热平衡与力平衡。热平衡要求模具在批量生产时各区域温度趋于一致,避免各区域温差过大造成膨胀不均,确保静态合模时各配合面接触良好;力平衡要求模具在动态压铸时各区域胀型力趋于一致,避免模具单边受力,使分型面轻微偏斜,造成飞料。

2.2 零件浇排设计方案

排除异常因素,铝合金压铸件缩孔的主要原因为铝液补缩不足^[7-8]。根据以上要点及零件结构特点^[9],该零件浇排设计见图 4。可以看出,①横浇道设置在零件左侧区域,对受力要求高的区域进行重点填充;②渣包环绕零件周围,确保周围区域温度一致,同时可以将零件填充时包卷的氧化物和模具表面附着的脱模剂等物质容纳在渣包内,确保零件材料的纯净度;③横浇道在零件左侧区域,增压时产品左侧胀型力会高于右侧,在右侧设置排气板,平衡两侧胀型力,同时,排气板设置在流动末端,可以提升模具排气效果,尽可能减少填充时卷气的发生。浇排系统参数见表 1。

铸造比压为 60 MPa,选取安全系数为 1.2,计算锁模力约为 4 690 kN,使用 5 000 kN 压铸机进行生产。零

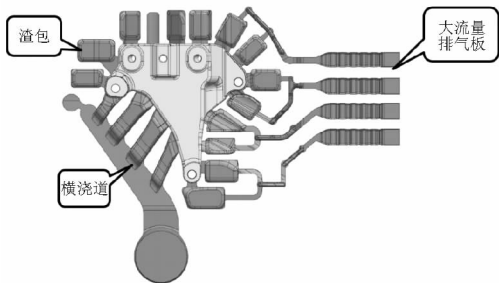


图4 浇排系统正面

Fig.4 Front view of gating-exhausting system

表 1 浇排系统参数

Tab.1 Parameters of gating-exhausting system

产品质量/g	渣包质量/g	横浇道质量/g	总投影面积/cm ²	总质量/g
770	798	774	652	2 342

件基本壁厚为 5 mm,内浇口速度选取范围为 30~40 m/s。结合浇排系统设计,铝液流程短,内浇口速度降低不会导致零件内出现冷隔,同时可以减少气体卷入,因此内浇口速度设定为 35 m/s,计算得内浇口截面积为 328 mm²,活塞直径为 $\phi 70$ mm,内浇口截面积/活塞截面积为 1:11.7。根据伯努利原理可得,当内浇口流速为 35 m/s 时,活塞速度为 2.98 m/s。

浇注系统采用多段流道进料,该系统优点有:①通过控制流道的宽度及深度,针对零件各区域不同要求进行设计,能够控制压铸时零件各区域的注射量;②流道分叉后投影面积减少,避免模具流道区域弹开,使压铸生产时无法增压;③多段流道之间较为分散,热量不集中,有助于降低模具浇口侧温度,便于控制模具热平衡。

该模具排溢系统采用渣包与大流量排气,通过渣包后面排气板的延伸,提高排气面积,从而增加排气量;渣包有助于将压铸时混进铝液中的脱模剂、润滑颗粒、与空气接触的氧化铝液、流动前端所卷入的气孔从型腔排出,存放于渣包内,保证零件的品质。

2.3 水路排布设计方案

在零件壁厚区域设置冷却水,确保壁厚区域冷却效果,避免壁厚区域出现缩松及缩孔。冷却系统设计时受顶针及型芯位置的影响,难以完全顾及零件所有壁厚区域,但仍要尽量兼顾模具热平衡与零件壁厚区域的冷却。上模冷却系统设计见图 5。

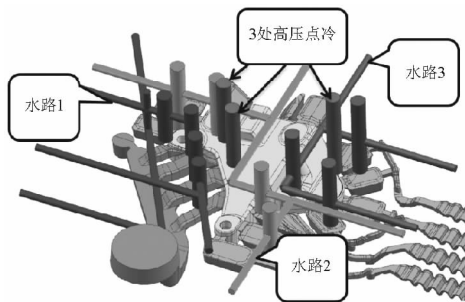


图 5 上模水路排布轴侧图

Fig.5 Axis side diagram of water channel layout in upper mold

上模水路排布采用侧面环形冷却+水井结构,共同形成针对零件形状的简易随形冷却,同时借助环形冷却管路,在厚大的渣包区域设置针对性的水井用于控制热量,确保上模各区域热量均衡;水路 1 采用环形冷却分层设计+水井结构,进水先行冷却主流道,通过水井分别冷却各个分流道;水路 2 采用环形冷却+水井结构,

冷却零件侧面,避免浇口直接冲击导致龟裂、冲料等压铸缺陷;水路 3 起冷却零件后半段的作用,由于零件有形状高低,所以增加冷却水井,确保零件冷却均匀。

环形冷却受加工限制,无法确保所有区域都达到良好的温控效果,在环形冷却无法涉及到的区域,增加了高压点冷,补充冷却。下模冷却系统设计见图 6。

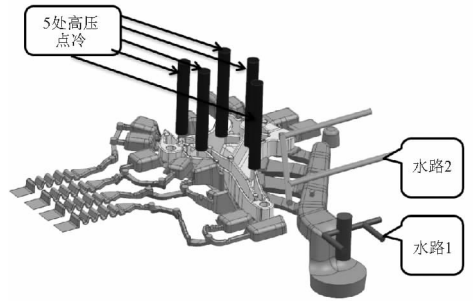


图 6 下模水路排布图轴侧图

Fig.6 Axis side diagram of water channel layout in down mold

下模水路由于顶针众多,仅流道采用环形冷却,其他位置使用高压点冷进行冷却。水路 1 作用为冷却料饼区域,此区域为整个铸型中最厚的区域,凝固最晚,增加冷却可缩短其冷却时间,提高生产效率;水路 2 作用为降低模具浇口侧温度,保证模具热平衡,高压点冷用于冷却零件内部,减轻进浇口对模具的冲蚀,同时避免零件出现拉伤、冲料等压铸缺陷,确保零件冷却均匀。

2.4 浇注设计方案调整

根据设计经验,对浇注系统进行微调,使铝液充填时着重填充热节区域,浇注系统调整见图 7。

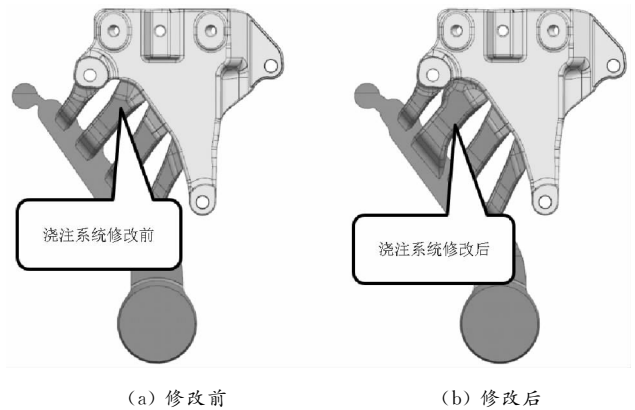


图 7 浇注系统调整示意图

Fig.7 Diagram of gating system adjustment

3 基于 CAE 分析的模具设计验证及调整

3.1 CAE 分析

模具设计完成后需通过模流分析对其进行验证,确保浇排系统能够达到设计要求^[10],根据所选压铸机及模具浇排系统参数(见表 2),确定模流分析参数^[11-12]。

表 2 压铸机及模具浇排系统参数

Tab.2 Parameters of die casting press and gating-exhausting system

合模力/kN	铸模质量/g	活塞直径/mm	内浇口厚度/mm	内浇口截面积/mm ²	慢压射速度/(m·s ⁻¹)	快压射速度/(m·s ⁻¹)
5 000	2 342	70	3.2	328	0.38	2.98

铸件材质为 AlSi12Cu1Fe, 浇注温度为 660 ℃, 模

具材质为 SKD61, 预热温度为 120 ℃, 工作温度为 200 ℃。活塞直径为 70 mm, 低速速度为 0.38 m/s, 高速速度为 2.98 m/s, 水冷却进口温度为 25 ℃。

充型过程模拟见图 8, 可见充型过程流动金属液填充顺序基本合理, 充型过程可能产生的卷气及渣能够较为顺利地流入到溢流冒口中。

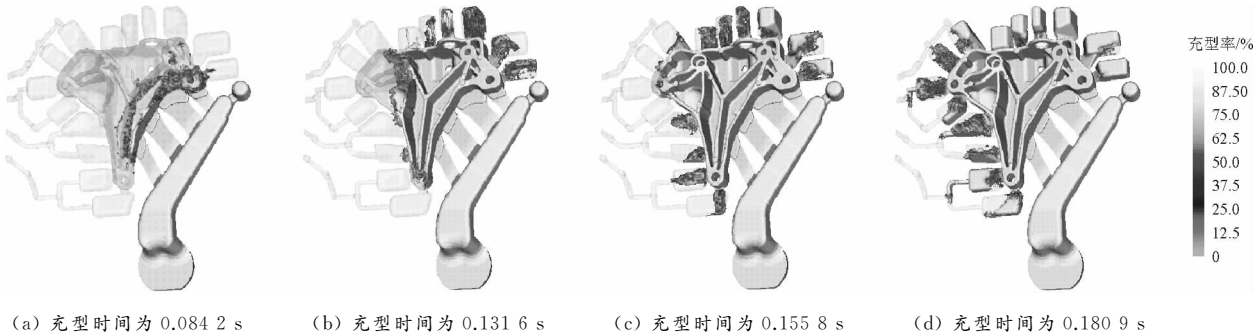


图 8 充型过程模拟图

Fig.8 Filling simulation

3.2 试模验证

模具按此设计进行试模。后续机加工及抛丸后对零件进行检验, 尺寸确认合格, 零件表面无缺陷, 在使用 CT 设备及 X 光探伤检测时^[13], 零件部分区域气孔超过规定要求, 气孔主要位置见图 9 和图 10。

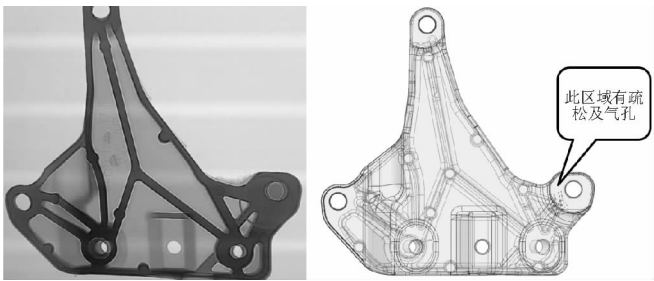


图 9 零件气孔区域位置 图 10 零件气孔区域位置示意图
Fig.9 Gas hole position Fig.10 Schematic diagram of gas hole in the die castings

由于此处为浇口位置, 压铸机行程前后会造成较大的影响, 根据与现场进行沟通, 整压铸工艺后, 孔隙率有改善, 但仍无法满足要求, 见图 11。

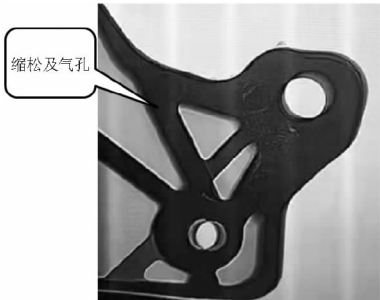


图 11 零件气孔区域位置特写
Fig.11 Close-up of gas hole area

3.3 原因分析

根据检测结果同时结合现场情况, 讨论分析认为主要存在以下问题。

(1) 进料口直接冲击模具型芯 压铸时发现型芯有粘铝现象, 零件出现拉伤, 孔部尺寸不符合要求, 所以压铸时降低了压射速度和压射压力。进料口冲击型芯模拟见图 12。

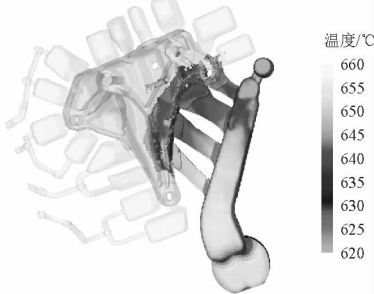


图 12 进料口直接冲击型芯模拟
Fig.12 Direct impact of feed port on core

(2) 出现浇不足 X 光探伤显示, 缩松及缩孔位置为模具型芯背面区域, 模流分析也显示模具型芯阻挡了铝液的流动, 使其背面区域出现了明显的浇不足, 可能导致了缩松及缩孔形成, 型芯阻挡铝液流动情况模拟见图 13。

(3) 致密度无法保证 该零件此处壁厚超过 15 mm, 零件结构上的填充死角导致卷气, 即使在浇口侧, 压铸机增压效果仍无法保证此处的致密度。

(4) 形成缩孔 此区域为零件壁厚最厚区域, 可能是内部冷却不完善^[14], 使得零件侧壁冷却后内部继续冷却收缩, 形成缩孔。根据模流分析结果显示, 此区域

确实为最后冷却区域。分析结果见图 14。

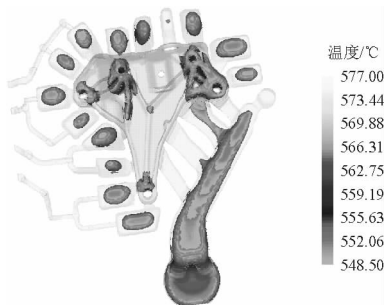


图 13 型芯阻挡铝液流动模拟

Fig.13 Simulation of core blocking the flow of liquid aluminum

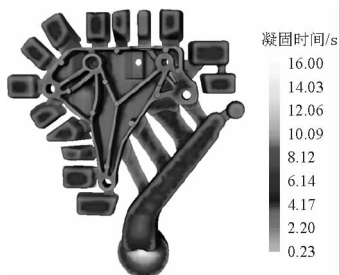


图 14 模流分析冷却顺序

Fig.14 Cooling sequence of mold flow analysis

3.4 方案修改

考虑到零件其他位置均已合格,模具试模时稳定性良好,无飞边及跑铝现象,因此不对浇注系统进行大调整。增加挤压销结构,模具在压铸时挤压销处于收回状态,避免铝液直接冲击型芯,挤压销工作状态见图 15。

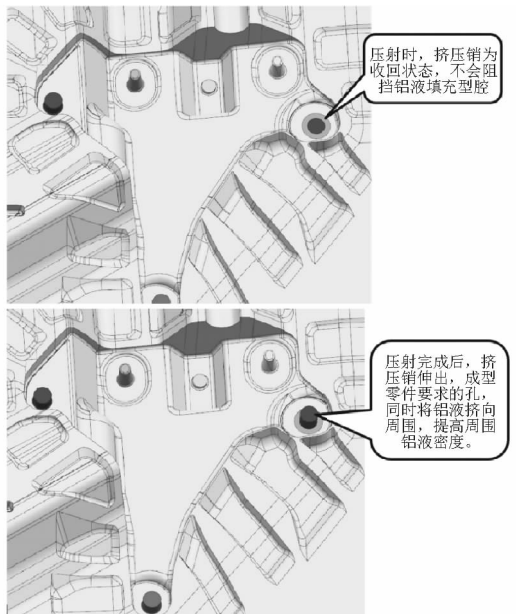


图 15 挤压销工作状态

Fig.15 Working status of extrusion pin

压铸完成后,采用挤压销进行挤压,成形零件孔的同时将铝液压缩至周边区域,避免此区域收缩时产生疏松。挤压销结构见图 16。

以上方案调整后采用模流分析验证,验证结果见图

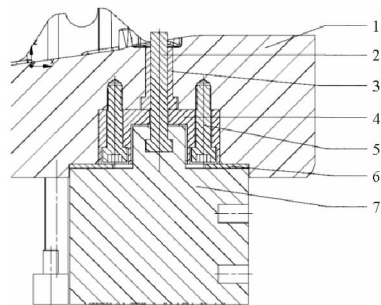
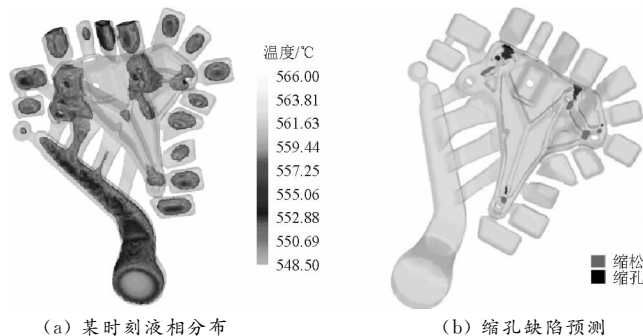


图 16 挤压销结构

Fig.16 Structure of extruded pin

- 1.上模芯 2.挤压销 3.挤压销套 4.挤压销套压块 5.固定螺丝 6.隔热垫 7.挤压油缸

17. 模拟分析结果显示,工艺修改后,铸件凝固过程的液相分布更加合理,产生缩孔缺陷的几率显著降低。但是,一些厚大部位的缩孔缺陷倾向仍较高(见图 17)。因此,在后续压铸生产时,加快冷却水流速,冷却循环增加冷却塔,控制冷却水水温。



(a) 某时刻液相分布

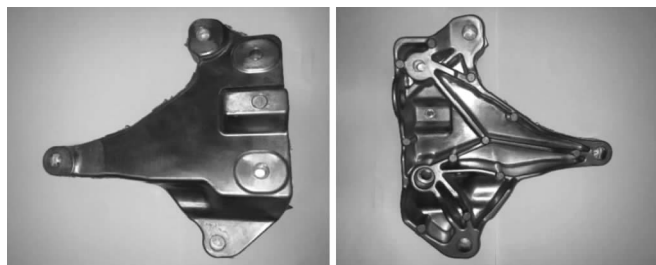
(b) 缩孔缺陷预测

图 17 浇排系统修改后模流分析验证

Fig.17 Analysis and verification of mold flow after modification of gating-exhausting system

随后再次试模,试模时采取以下措施,确保实际生产尽可能接近模拟效果:①严格控制生产工艺,铝液冲击型芯的问题解决后,压铸机快慢压射参数要符合模拟结果,仅根据现场情况进行微调;②对冷却较慢区域的点冷单独做总成控制,严格控制流入水温,同时增大这些区域的水流量;③压铸机配套挤压销结构,压铸时采用局部挤压技术。

经过对工艺及模具的修改,零件再次试模,经 CT 检验后合格。目前已通过载荷试验,正常批量生产(见图 18)。



(a) 正面

(b) 反面

图 18 合格的零件

Fig.18 Qualified parts

4 结 论

- (1)挤压销结构可以在压铸时处于收回状态,避免铝液直接冲击型芯,防止型芯的粘铝现象。
- (2)模具压铸完成后,采用挤压销进行挤压,成形零件孔的同时将铝液压缩至周边区域,可以避免此区域收缩时产生缩松。
- (3)对冷却较慢区域的点冷单独做总成控制,严格控制流入水温,同时增大这些区域的水流量,可以解决缩松及缩孔问题。

参 考 文 献

[1] 李剑.商用汽车轻量化及铝合金在现代汽车生产中的应用[J].汽车实用技术, 2020(1): 178-180.

[2] 徐善状,高健. 基于 CAE 的铝合金变速箱支架压铸工艺设计及优化[J]. 特种铸造及有色合金, 2022, 42(12): 1 577-1 580.

[3] 张洪信,姜勇,张铁柱,等.铝合金压力铸造技术的现状与展望[J].铸造,2007, 56(12): 1 247-1 250.

[4] 樊振中,袁文全,王端志,等.压铸铝合金研究现状与未来发展趋势[J].铸造, 2020, 69(2): 159-166.

[5] 黄正华,张银帅,宋东福,等.压铸铝合金的应用及研究进展[J].材料研究与应用,2017, 11(1): 1-5.

[6] 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.

[7] 杨兴国.铝合金压铸件内部缩孔分析及对策[J].特种铸造及有色合金, 2018, 38(10): 1 079-1 081.

[8] 杨宏里.铝合金压铸件常见缩孔、气孔与改进[J].模具制造, 2002, 7(7): 40-42.

[9] 周建新,廖敦明.铸造 CAD/CAE[M].北京:化学工业出版社, 2009.

[10] 殷亚军,涂志新,田桥,等.基于反热传导法的消失模铸件/铸型界面传热系数研究[J].特种铸造及有色合金, 2018, 38(4): 391-394.

[11] 殷亚军,庞楠,周建新,等.基于等效质点的铸造热应力数值模拟[J].铸造, 2021, 70(7): 833-838.

[12] 周建新,殷亚军,沈旭,等.铸造充型凝固过程数值模拟系统及应用[M].北京:机械工业出版社, 2021.

[13] 傅可清,马源,伍缘杰,等.铝合金压铸件 X 射线成像典型缺陷特征提取算法与实现[J].特种铸造及有色合金, 2021, 41(12): 1 472-1 477.

[14] 汪洪,周建新,殷亚军.铝合金感应熔炼过程传热行为的数值模拟[J].特种铸造及有色合金, 2015, 35(8): 820-823.

(编辑:张正贺)

我国首个体内可降解镁合金骨钉启动临床试验

近日,在上海交通大学医学院附属第九人民医院 3D 打印创新研究中心,可降解涂层镁合金接骨螺钉启动多中心临床试验,预计将招募超过 170 名患者,植入体内半年左右进行跟踪随访,符合相关条件后,产品有望在 1~2 年后上市应用。

“我们用外科手术治疗骨折,已经有 100 多年历史。过去,骨内材料以不锈钢为主,植入人体后会释放有毒离子,与人体长期生物相容性差,不宜在人体内长期使用,两三年后,患者往往要进行第二次手术取出骨钉,这给患者带来很大的痛苦。”中国工程院院士、上海交通大学材料科学与工程学院教授丁文江表示,国内自主研发、在人体内可降解的涂层镁合金接骨螺钉已经出现,“这是一个革命性的金属生物材料,可以帮助很多骨折患者避免二次手术。”

作为这一临床试验的主要研究者之一、上海交通大学医学院附属第九人民医院骨科主任医师郝永强表示,在过去 100 多年外科手术治疗骨折的过程中,成功应用的就只有两种材料:一是在 20 世纪 20 年代,人类用不锈钢作为骨内材料治疗骨折,但其强度高、容易造成骨质疏松,也可能产生一些对人体不利的离子,还需要再次手术取出;二是 20 世纪 70 年代开始用到现在的钛合金,尽管钛合金与人体的生物相容性较好,但也无法避免二次手术取出骨钉,因为钛合金在体内,人是无法做核磁共振的,会影响很多疾病的诊疗,因此,骨钉必须取出。

郝永强坦言,相较于上述两种材料,新研发出来的这种医用镁合金可以在人体内逐步降解,此前也已经过了大动物试验,取得了良好的实验结果。另外,镁合金还有一个生物学优点,具备抗感染、调节神经等作用,对人体有益处。

丁文江指出,镁是人体必需元素,骨组织不能缺镁,否则就容易出现骨质疏松等问题。镁在降解过程中会产生氢,镁和氢都是对人体有益的元素。

“我国每年有数百万名骨折病人,二次骨钉取出手术的费用为 1~2 万元,一旦新材料在临床上开展应用,无需二次手术取出,3~5 年可在人体内降解,患者不仅少受罪,也能减少一些医疗经济负担。”郝永强说。

据悉,该款产品为医工交叉国内自主研发产品,由沪创医疗科技有限公司参与研发,此前也得到上海申康医院发展中心创新项目的支持,于 2016 年在沪完成世界首例可降解镁合金接骨螺钉治疗骨折的病例,术后随访长达 5 年,骨钉已经完全在其体内降解。

沪创医疗科技有限公司相关负责人表示,这一产品目前适用于非关键承重部位的骨折内固定,并具有良好的支撑效果。根据实验数据显示,产品在 1 年内会降解 50%,3~5 年会基本降解完。

作为一名轻合金研究专家,丁文江也非常期待镁合金在医用领域的应用。“这种材料的应用前景其实很广泛,未来还可以用在心脏支架等不同领域,让更多患者受益。”

(摘自中国有色网)