

重型液力自动变速器印刷油路板压铸工艺及模具设计

杨 炫, 吴怀超, 赵丽梅, 罗艳蕾, 曹 刚

(贵州大学机械工程学院, 贵州贵阳 550025)

摘要: 根据印刷油路板的结构特点, 对其压铸工艺进行了设计, 通过ProCAST专业分析软件对其压铸充型凝固过程进行了数值模拟, 模拟结果显示该压铸工艺效果良好。基于该压铸工艺, 对其压铸模具进行了设计。为达到充分地排气效果且便于模具的机械加工, 模具以油路板上端面为分型面, 铸件左右外侧壁面依靠定模镶块成形, 上下外侧壁面依靠侧型芯成形, 而内腔成形分配在动模侧。该模具结构紧凑, 整体设计合理。

关键词: 印刷油路板; 压铸工艺; ProCAST; 数值模拟; 压铸模具

作者简介:

杨 炫 (1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向为铝合金成形。E-mail: 120570813@qq.com

中图分类号: TG249.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)06-0582-06

基金项目:

国家自然科学基金资助项目(51965011); 贵州省科技创新人才团队项目(黔科合平台人才[2020]5020); 贵州省教育厅创新群体重大项目(黔教合KY字[2018]011); 贵州省高层次创新型人才培养计划项目(黔科合平台人才[2016]5659)。

收稿日期:

2019-11-14 收到初稿,
2020-03-03 收到修订稿。

自动液力变速器简称AT, 是以旋转轴式机械变速器和液力变矩器两者相串联的一种以“机-电-液”一体化的变速器产品^[1], 因其具有操纵简单、换挡平顺、乘坐舒适性高等优点, 被广泛应用于车辆及工程机械等领域^[2]。印刷油路板是其液压系统安装液压元件并连接各元件的一种无管道连接式板面, 该板面具有集成化高、结构紧凑以及所占空间少等优点而被广泛应用^[3-4]。

印刷油路板面油道极其复杂, 液压元件镶嵌在板面上, 油道需满足液压油流动要求, 对整个油路板面要求严格^[5], 这对印刷油路板的成形制造提出了很高的要求。由于铝合金优异的充型性使其能够生产大型、壁薄和复杂的铸件, 而高压铸造是铝合金的常规工艺^[6], 适合印刷油路的生产。本课题以某重型液力自动变速器的印刷油路板为研究对象, 对其压铸工艺及模具进行了设计, 为该铸件的压铸生产提供了参考。

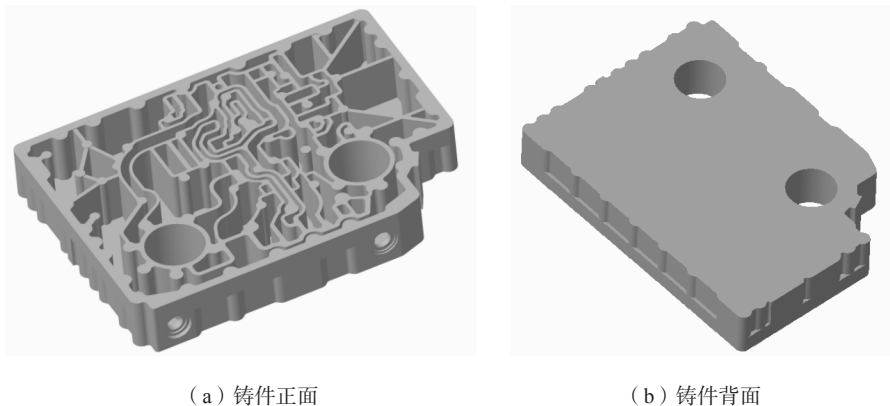
1 铸件的工艺分析

印刷油路板结构复杂, 铸件的外形轮廓尺寸为550 mm×400 mm×85 mm, 总质量为18.3 kg, 油道壁厚均为5 mm, 底面厚度为6 mm, 最大壁厚为24 mm, 其侧面有两个冷却油口, 铸件模型如图1所示。该铸件要求表面光滑, 公差需达到CT6及以上, 油路板面瞬时耐压3.5 MPa以上, 铸件本体取样力学性能要求: 抗拉强度≥230 MPa, 屈服强度≥160 MPa, 伸长率≥3%。其材质选用YL104型压铸铝合金, 属于Al-Si-Mg系合金, 有着强度高、力学性能好等优点。该合金固相线温度为571.3 ℃, 液相线温度为593.7 ℃, 化学成分见表1。由于板面有较高的密封要求, 板面上螺纹孔均不需铸出, 后期与配套零件配合加工。

2 压铸工艺设计及数值模拟

2.1 浇注系统设计

浇注系统设计包括直浇道、横浇道、内浇道及排溢系统的设计, 其中排溢系统包括溢流槽及排气道^[7-8]。浇注系统设计是压铸模具设计中的核心技术, 对压铸件质量、压铸生产效率、模具寿命及合金利用率等有重大影响。浇道各部分尺寸参数需



(a) 铸件正面

(b) 铸件背面

图1 铸件模型图

Fig. 1 3D model of casting

进行计算以确定, 铸件内浇道截面积采用流量计算法计算:

$$A = \frac{G}{\rho v t} \quad (1)$$

式中: A 为内浇道截面积, mm^2 ; G 为通过内浇道的金属液质量, g ; ρ 为金属液密度, g/cm^3 ; v 为内浇道处金属液的流速, m/s ; t 为型腔的填充时间, s 。

金属液密度取 $2.45 \text{ g}/\text{cm}^3$, 带溢流渣包的铸件质量取铸件质量的120%, 为 21.96 kg , v 取 $50 \text{ m}/\text{s}$, t 取 0.2 s , 计算可得内浇道截面积为 896 mm^2 。根据合金种类和铸件壁厚, 内浇道厚度取 3 mm , 则浇道总宽度取整为 300 mm 。

经多种方案比较, 为减少金属液进入型腔后的速度衰减, 选择底面平直的进料方式, 从而提高了离浇口较远端型腔的填充效果。为便于溢流槽及排气道的布置, 选取油道上平面作为分型面, 从而充分发挥了排溢系统的作用, 最终确定的浇注系统为图2所示方案。该方案采用多浇口进料方式, 根据各浇口需充型体积, 取浇口宽度从左到右分别为 55 mm 、 45 mm 、 60 mm 、 55 mm 、 45 mm 、 40 mm ; 针对油路板的特点, 取压射比压为 80 MPa , 铸件投影面积为 0.2129 m^2 , 计算得胀型力为 $1.7 \times 10^7 \text{ N}$, 锁模力大于胀型力的1.25倍, 则锁模力大于 $21\,250 \text{ kN}$, 选取 $25\,000 \text{ kN}$ 卧式冷室压铸机上压铸; 取料筒直径为 150 mm , 料饼起模斜度为 5° , 料饼厚度为 50 mm 。横浇道采用多流道, 金属液进入横浇道处的截面积需大于内浇道处的面积, 这样能够保证金属液在横浇道内的充满度和内浇道速度。

排溢系统包括溢流槽和排气道, 用以排除气体、冷污金属液以及氧化夹杂物的通道和储存器。溢流口长宽高分别设置为 8 mm 、 10 mm 、 1.5 mm , 溢流槽选用比较容易脱模的梯形溢流槽, 分别设置在铸件四周端面, 并在泵体安装孔端面金属液汇集处分别设置溢流槽以排气容渣, 上下及左右溢流槽长宽高分别为 $60 \text{ mm}/40 \text{ mm}$ 、 $40 \text{ mm}/30 \text{ mm}$ 、 $20 \text{ mm}/15 \text{ mm}$, 起模

斜度为 10° , 圆角为 $R5 \text{ mm}$, 排气道设计为梯形波纹式, 整体结构如图2所示。

2.2 压铸工艺参数界定

影响压铸件质量的工艺参数有很多, 主要有压射速度、浇注温度和模具预热温度等。压射速度即冲头速度, 压射速度过小会使铸件轮廓不清, 甚至不能成形; 压射速度过大会引起铸件粘型并使铸件内部气孔率增加, 从而引起铸件力学性能下降^[7]。根据压室充满度取低速压射速度为 $0.3 \text{ m}/\text{s}$, 需填充型腔的容积取铸件体积的140%, 计算可得高速压射速度为 $4 \text{ m}/\text{s}$ 。浇注温度过高使得气体在铝液中溶解度增大, 在凝固过程中, 溶解在铝液中的气体游离出来会形成气孔; 浇注温度过低使得铸件容易产生冷隔、表面流纹、浇不足等缺陷^[9]。综合考虑本文取浇注温度为 650°C 。模具

表1 YL104合金的化学成分
Table 1 Chemical composition requirements of YL104 alloy

Si	Mg	Cu	Fe	Mn	$w_B/\%$ Al
8.0~10.5	0.17~0.3	≤ 0.3	≤ 1.0	0.2~0.5	余量

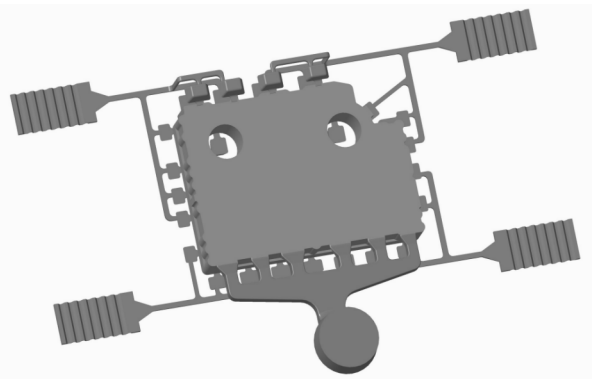


图2 带浇注系统的铸件模型

Fig. 2 3D model of casting with gating system

预热温度过高会使铝液冷却变慢,使铸件内部晶粒粗大,影响压铸件强度,延长成形周期;模具预热温度过低将影响金属液的流动,易出现填充不足或表面冷纹、冷隔等缺陷^[7],这里取180℃。主要的工艺参数如表2所示。

2.3 数值模拟

选用ProCAST软件对油路板的压铸充型凝固过程进行数值模拟。图3为压铸流场模拟图,金属液先以慢压射速度对浇道进行填充,当充型到如图3a后,压射冲头便切换到快压射速度分别从六个浇口对型腔进行填充,整个充型时间为0.68 s,凝固时间为125.3 s,充型过程平稳,排溢系统起到了很好的排气容渣的作用。图4为数值模拟充型结果预测图,分别截取了如图4a所示的油道密集面两处及油泵安装壁面共三个截面,图4c为铸件缩松缩孔的整体预测图,图4d、e、f分别为典型截面1、截面2、截面3的缩松分布,各典型部位没有出现明显的缩松缺陷。

3 模具设计

3.1 模具结构设计

基于上述浇注系统设计方案,采用ProE三维软件

表2 压铸工艺参数

Table 2 Die casting process parameters

铸件材料	铸型材料	浇注温度	铸型预热	慢压射速度	快压射速度
		/℃	温度/℃	$/(m \cdot s^{-1})$	$/(m \cdot s^{-1})$
AlSi10Mg	H13钢	650	180	0.3	4

对压铸模具进行设计。为使排溢系统达到充分的排气效果,便于清理动模腔内残留物及动模镶块的机械加工,铸件内部油道的成形分配在动模镶块,而铸件左右侧外轮廓的成形分配在定模镶块。为保证泵体安装孔处的溢流槽能顺利顶出,在定模镶块上设置了两个圆柱镶件用以成形孔壁。由于上下侧存在凹凸部位,分别设计了上滑块抽芯和下滑块抽芯,上滑块抽芯采用斜销抽芯机构,下滑块抽芯采用液压抽芯机构。模具还包括推出与复位机构、冷却水道系统等,模具装配图及各组成部分如图5所示。

上滑块抽芯如图6a所示,该抽芯机构主要的组成零件有斜导柱、滑块、挡块、压块及侧型芯组成,用以成形铸件上侧的凹陷结构以及两个冷却油口。由于侧型芯下侧设有溢流槽以及排气道,推出铸件时为避免侧型芯被划伤,计算抽芯距时还需加上排溢系统在抽芯方向上的投影高度,最终计算出抽芯距离为

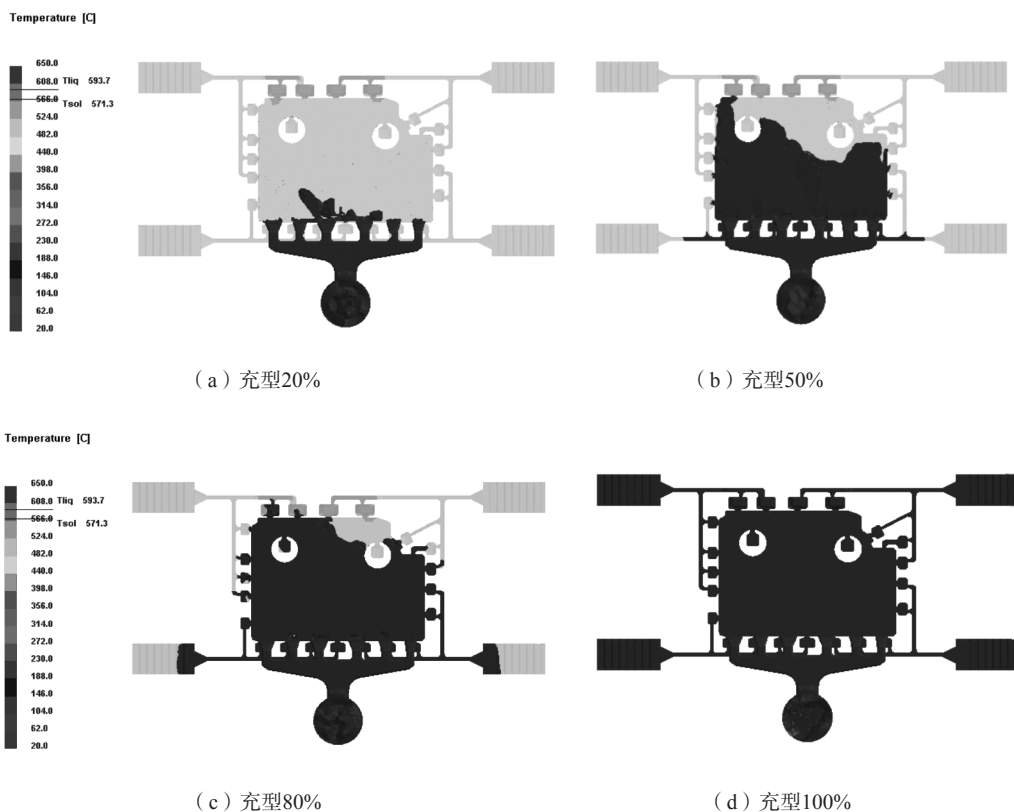


图3 压铸流场模拟

Fig. 3 Flow field simulation

110 mm。为保证开模时完成抽芯动作,需设计斜导柱,斜导柱倾角选用 20° ,斜导柱直径计算为80 mm。下滑块抽芯如图6b,该抽芯机构在模具完全开模后才开始抽芯动作,主要由液压缸、滑块、分流锥、挡

块、压块以及侧型芯组成,用以成形下侧的凹陷结构。侧型芯上设有定位孔,合模过程中与定模侧的定位销配合能保证侧型芯精确定位,分流锥锁在侧型芯上,其作用一方面对金属液起到分流导向的作用,另

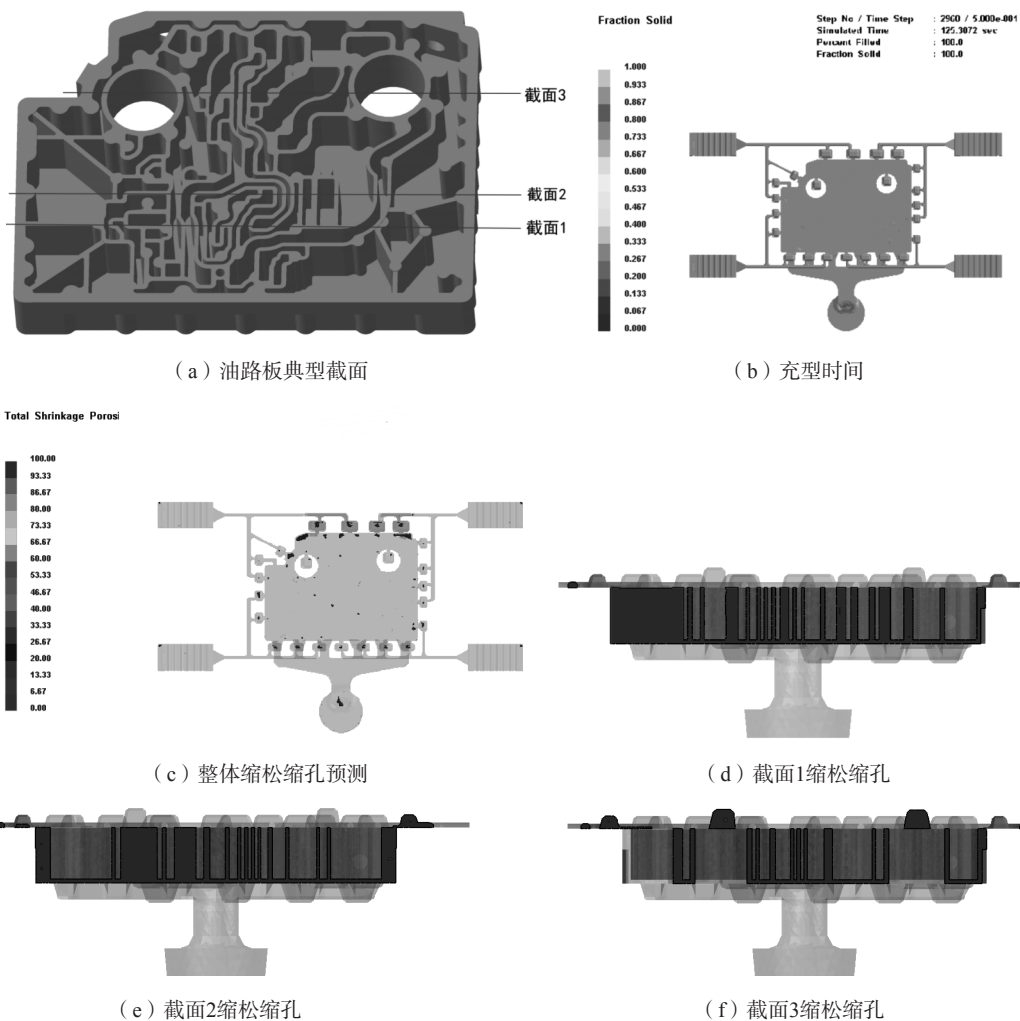


图4 充型结果预测
Fig. 4 Filling result prediction

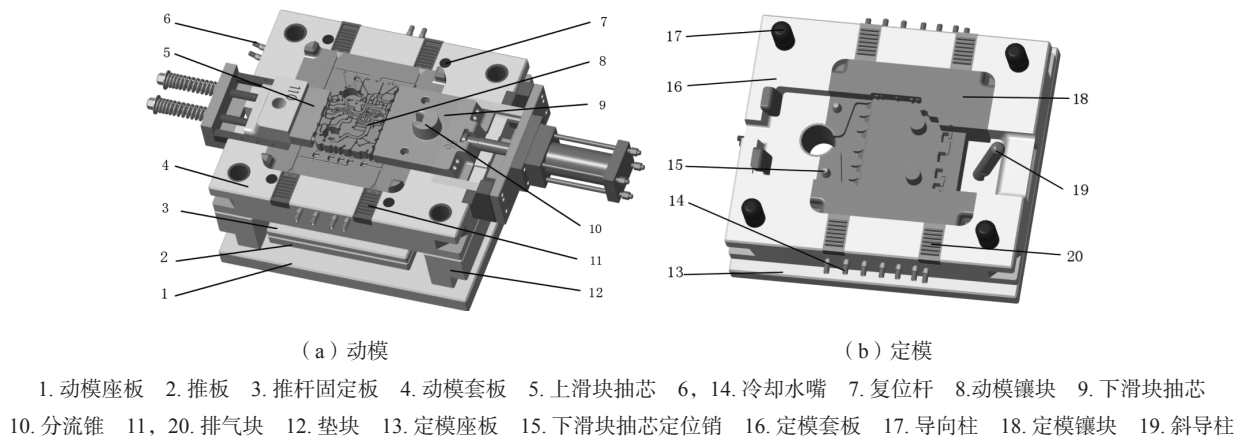


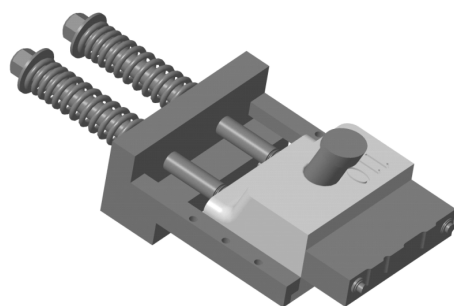
图5 压铸模具装配图
Fig. 5 Assembly model of die casting die

一方面为避免金属液对侧型芯的直接冲击,其开口部分设有 5° 的抽芯斜度,从而保证下滑块抽芯的顺利抽离。抽芯距离计算得90 mm。

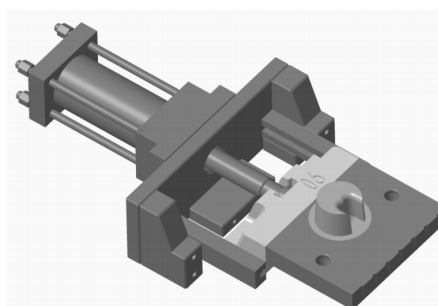
由于铝合金液在浇注时温度达到 650°C ,为提高生产效率以及保证铸件的质量和延长模具寿命,必须在型腔内温度最高以及热量集中的地方采取冷却措施,为此,模具在热量集中的直浇道处的浇口套上设计了螺旋水道(如图7a所示),并在温度最高的动模及定模镶块内设有直径为16 mm的冷却水道(如图7b、c所示)。

铝合金液在模具型腔内冷却固化成形后,由于成形收缩等原因,铸件会不同程度的包紧在成形零件的

表面,因此需要在开模后在动模一侧设置推出机构,以保证铸件能够顺利取出。图8为模具设计的推出及复位机构,图8a为推杆布置图,推杆分别设计在溢流槽、排气道以及铸件四周壁面,用以顶出排气道以及左右两侧较小溢流槽选用直径为10 mm的推杆,而顶出上下两侧较大溢流槽及铸件和排气块选用直径为16 mm的推杆。由于本模具中滞留铸件最大成形长度 H 为79 mm,推出距离应设计在 $1/3H$ 到 H 之间,此处取60 mm。图8b为推出及复位机构布置,推板以及推杆固定板利用推板导柱导向,复位杆及推杆固定在推杆固定板上,随推板及推杆固定板一起运动,顶出时复位杆随推杆一起顶出,合模时复位杆带动推板复位。



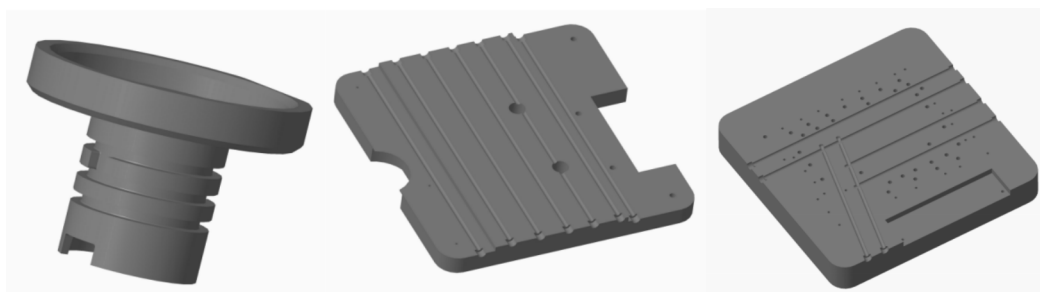
(a) 上滑块抽芯



(b) 下滑快抽芯

图6 侧抽芯机构

Fig. 6 Side core-pulling mechanism



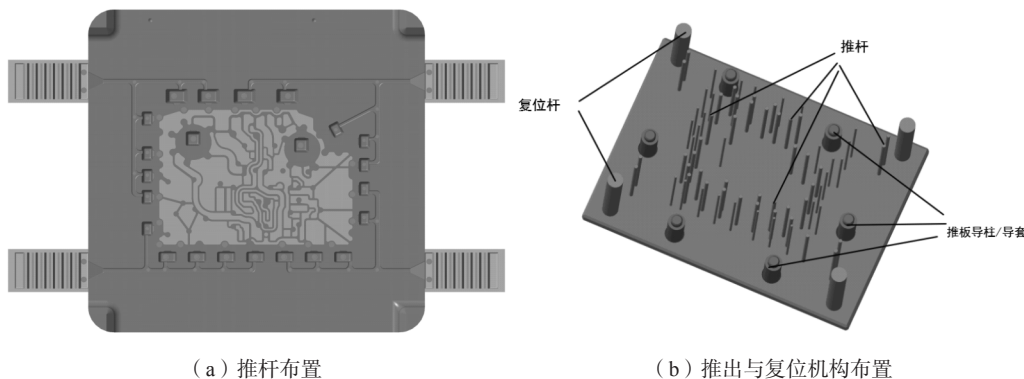
(a) 浇口套水道

(b) 定模侧水道

(c) 动模侧水道

图7 冷却水道布置

Fig. 7 Arrangement of cooling channel



(a) 推杆布置

(b) 推出与复位机构布置

图8 推出及复位机构

Fig. 8 Arrangement of pushing mechanism

3.2 模具工作过程

首先侧上滑块抽芯在斜导柱的导滑下使活动镶块进入到相应位置,下滑块抽芯在液压油缸的驱动下运动到相应位置并通过侧下滑块抽芯定位销精确固定在相应位置上,动模镶块与定模镶块通过四角的定位止口配合以保证同心度,同时复位杆在定模套板的挤压下带动推杆固定板和推板沿推板导柱进行复位,从而完成模具的合模过程。随后铝合金液以高速充填模具型腔,并在高压下凝固成铸件,然后将模具打开,上滑块抽芯在斜导柱导滑下抽离铸件,下滑块抽芯待模具完全开模后在液压缸的驱动下完成抽芯。由于该铸件复杂油道在动模一侧成形,此部分与动模型芯包紧力较大而使铸件留在动模一侧且模具完全打开后不会

掉落,接着推板带动推杆将铸件顶出从而完成模具的开模。最后对模具进行清理并喷漆,开始下一循环。

4 结语

基于油路板的工艺要求,并结合其结构特点,设计了铸件的压铸工艺,然后利用ProCAST分析软件对其充型凝固过程进行了数值模拟。充型流场及结果预测图显示,该压铸工艺效果良好。最后基于该压铸工艺设计了油路板的压铸模具,并介绍了该模具的侧抽芯机构、冷却系统、推出复位机构及工作过程。该模具结构紧凑,设计合理,对油路板的压铸开发有一定参考价值。

参考文献:

- [1] 张鹏程. 液力机械式自动变速器传动效率与整车燃油经济性研究 [D]. 太原: 中北大学, 2017.
- [2] 潘建亮, 孟岩. 几种变速器技术的比较 [J]. 汽车与配件, 2008 (44): 40-41.
- [3] 梅雪樵. 印刷油路在锻压设备中的应用 [J]. 重型机械, 1979, 4 (6): 66-71.
- [4] JIAN Hongchao, WEI Wei, LI Hongcai, et al. Optimization of a pressure control valve for high power automatic transmission considering stability [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2018 (101): 182-196.
- [5] 侯文乾. 铝合金油路板低压铸造工艺研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2015, 35 (12): 1284-1285.
- [6] 罗爱华, SACHDEV A K, POWELL B R. 汽车轻量化先进铸造技术 [J]. 铸造, 2011, 60 (2): 113-119.
- [7] 黄尧, 黄勇. 压铸模具与工艺设计要点 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
- [8] 姚杰, 王春涛, 翁辉明, 等. 无缸套铝缸体压铸浇注系统的设计 [J]. 特种铸造及有色合金, 2014, 34 (5): 489-491.
- [9] 岑尧, 高倩. 基于ProCAST的TiB₂/7075复合材料流变压铸数值模拟 [J]. 热加工工艺, 2019, 48 (7): 90-93, 97.

Design of Die-Casting Processes and Die for Heavy-Duty Automatic Transmission Oil Circuit Board

YANG Xuan, WU Huai-chao, ZHAO Li-mei, LUO Yan-lei, CAO Gang
(Guizhou University School of Mechanical Engineering, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract:

According to the structure characteristics of the oil circuit board, the die casting process was designed, the mold filling and solidification process of die casting were simulated by using ProCAST professional analysis software. The simulation results show that the die casting process is entirely adequate and efficient. Based on the die casting process, the die casting die was designed. In order to achieve sufficient exhaust effect and facilitate the machining of the die, the upper end face of the oil circuit board is used as the parting surface, the left and right outer walls of the casting are formed by the fixed die insert, the upper and lower outer walls are formed by the side core, and the inner cavity is distributed on the moving die side. The structure and overall design of the die are reasonable.

Key words:

oil circuit board; die casting process; ProCAST; numerical simulation; die casting die
