

曲轴箱体压铸模异形型芯的镶拼结构设计

程 瑞, 侯丽彬

(大连科技学院, 辽宁大连 116036)

摘要: 介绍了一款汽车发动机曲轴箱体的结构特点及技术要求, 基于其结构特点和质量要求, 在压铸模结构设计时, 针对局部区域型腔较深、结构复杂的异形部位, 采用镶拼式结构设计。同时对异形型芯镶拼结构进行了失效模式分析, 通过对模具局部冷却能力、推杆尺寸及失稳性、螺栓强度等进行设计计算和校核, 以保证模具镶拼结构设计的可靠性。

关键词: 压铸模; 镶拼结构; 失效模式; 异形型芯; 推杆失稳性

压铸模是压铸生产的重要的工艺装备, 其质量直接影响压铸件的形状、尺寸、精度, 尤其是模具的结构设计, 还能够影响模具成本以及生产效率。

压铸模成形零件的设计是压铸模设计的核心部分, 其结构主要是依据铸件的形状、结构特点及加工工艺来决定的^[1], 对于简单形状的铸件, 可以采用整体式结构的型腔, 模具结构简单, 强度、刚性高, 压铸件表面光滑, 没有镶拼痕迹。但目前压铸件已向多功能化、集成化、大尺寸方向发展, 因此压铸模型腔根据铸件结构常常采用镶拼式结构。在进行镶拼式结构设计时, 除了要满足铸件的质量要求, 更要保证模具的镶拼结构具有良好的强度、刚性、韧性及表面质量。本文以汽车发动机曲轴箱体为例, 介绍异形型芯的镶拼结构的设计方法, 通过合理的设计镶拼结构, 保证铸件质量, 延长模具寿命。

作者简介:

程瑞(1979-), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为机械制造工艺装备设计。
电话: 0411-86245040,
E-mail: 1020820198@qq.com

通讯作者:

侯丽彬, 女, 高级工程师。
电话: 0411-86245040,
E-mail: houlibin_dalian@163.com

中图分类号: TG241.9
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2023)08-1037-05

基金项目:

2022年度辽宁省教育厅基本科研项目(LJKMZ20221916)。

收稿日期:

2022-08-04 收到初稿,
2022-09-03 收到修订稿。

1 曲轴箱体的结构特点及技术要求

图1是某款汽车发动机曲轴箱体, 材料为ADC12, 铸件外形轮廓尺寸442 mm × 358 mm × 173 mm, 质量约为4.5 kg。此产品结构复杂, 箱体外部三个方向有侧向凹陷和侧孔, 法兰面有多处螺栓安装凸台, 箱体内部呈多层次不同深度的形状, 中间有镂空部位。尤其是在图示A部区域, 有两处三角形深腔, 这两处深腔对模具的制造、维护及铸件的成形不利, 铸件在三角形内部极易出现粘料、擦伤等质量问题, 会严重导致泄漏及模具损坏。

曲轴箱体产品的密封测试要求, 腔体压力为100 kPa, 泄露量小于20 cm³/min, 这就要求铸件腔体具有良好的外观质量和内部质量。

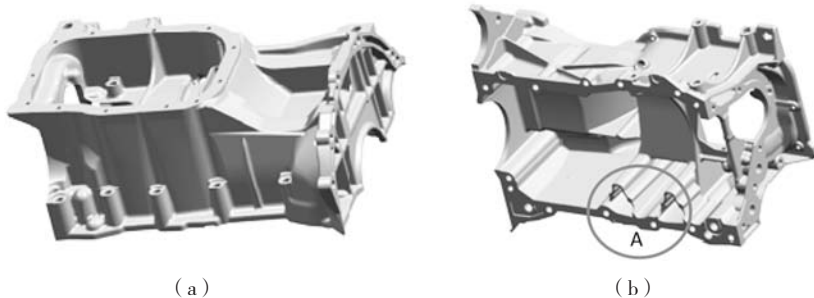


图1 曲轴箱体3D图

Fig. 1 3D models of the crankcase

2 压铸模异形型芯的镶拼结构

基于上述对曲轴箱体的结构分析及技术要求，在压铸模镶块结构设计时，重点关注图示4部区域两处异

形深腔处的结构设计。针对曲轴箱体此处型腔较深、结构复杂，压铸时热量集中且易于损坏的特点，采用镶拼式结构设计，结构形式如图2所示。

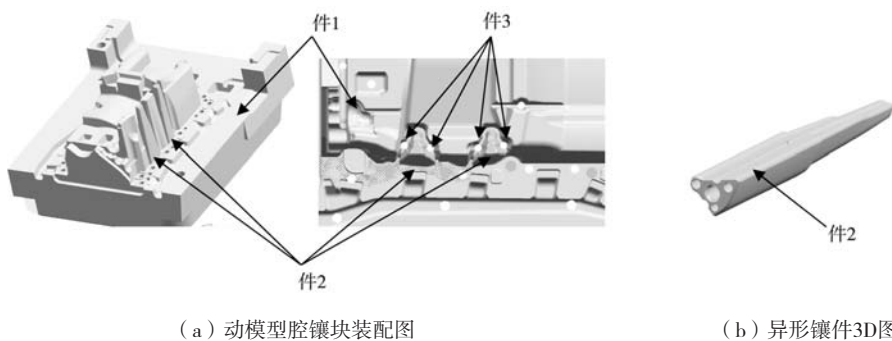


图2 异形型芯的镶拼结构

Fig. 2 The mosaic structure of the profiled core

异形型芯成形处起于模具主分型面，最大外轮廓约45 mm × 45 mm，高度154 mm，脱模斜度2.5°。由于外轮廓为不规则形状，同时侧面有两处需设计推杆孔，推杆孔占型芯边缘小半圆，为保证装配精度及推杆孔

的精度，此镶拼的异形型芯需要采用线切割加工，连接方式采用螺栓固定。由于型芯压铸时被周边金属包裹，热量很大，心部需要设计冷却水道对型芯进行冷却。镶拼的异形型芯结构图如图3所示。

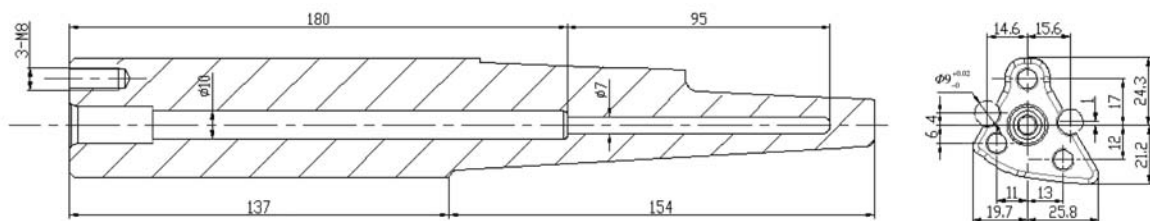


图3 异形型芯

Fig. 3 Profiled core

曲轴箱体采用镶拼结构型芯的优点如下。

(1) 制造工艺性好。由于异形深腔，刀具无法进入，只有通过电火花加工，而且抛光困难，采用镶拼结构，可以解决加工工艺性问题，方便加工，提高模具表面质量。

(2) 有利于设计独立冷却水。针对模具局部温度高的位置，采用喷管结构的单点独立冷却水，可以独立控制冷却水的流量和压力，以满足冷却要求。

(3) 有利于易损件的维护、维修和更换。

(4) 利用镶拼间隙有利于铸件排气。

3 设计计算

确定局部采用镶拼结构后，需要针对异形型芯的结构特点，并结合生产经验，对镶拼处结构进行失效模式分析，以便在模具设计中采取措施，消除隐患。曲轴箱体采用镶拼结构型芯，由于异形型芯体积小，

结构复杂，为满足铸件的质量要求必须设置冷却水道，为实现其模具使用功能，设计螺栓连接及推杆推出，因此可能存在的主要失效模式：①由于设计空间限制，冷却水道的能力不足造成型芯温度过高，铸件产生粘模、擦伤等表面质量；②局部抱紧力过大，铸件粘模、推杆断裂；③连接螺栓疲劳失效断裂等。

基于以上对模具失效分析，必须对型芯的冷却能力、推杆尺寸、螺栓强度进行相关计算和校核，避免使用中各种失效，同时结合分析试生产中存在的问题，进行设计优化，为该铸件的大批量生产提供工艺参考。

3.1 冷却水道的设计计算

压铸模具中，冷却系统的设计有利于控制模具的温度，使其内部的热量达到一个动态平衡的状态，从而保证产品的质量^[2]。压铸生产过程中型芯长时间被高

温金属液包裹，温度上升，由于铝和铁在高温下的亲和性，形成一对扩散偶^[3]，极易发生粘模，从而影响铸件质量和模具寿命，因此型芯的冷却水设计是型芯结构设计的关键要素之一。根据异形型芯结构形状，将冷却水道设计在异形型芯中心位置，成台阶孔，前端直径7 mm，距离成形表面最小距离8 mm，保证成形部位的快速冷却，后端直径10 mm，加大冷却能力。

(1) 压铸过程中传入型芯的热量

压铸过程中传入模具的热量可以用公式(1)进行估算：

$$Q_{\lambda}=mqn/3600 \quad (1)$$

式中： Q_{λ} 为传入模具型芯的热量(kW)， m 为包裹异形型芯的压铸金属质量(kg)， q 为压铸金属从浇注到推出散发出的热量(kJ/kg)，见表1^[4]， n 为每小时压铸的件数。针对曲轴箱体异形型芯局部区域， m 为0.16 kg， q 取888 kJ/kg， n 为30，代入式(1)得 $Q_{\lambda}=1.18$ kW。

表1 压铸合金从浇注到推出散发出的热量
Table 1 Heat emitted by die casting alloy from gating to ejection

参数	锌合金	铝硅合金	铝镁合金	镁合金	铜合金
$q/(kJ \cdot kg^{-1})$	208	888	795	712	452

(2) 冷却水道带出热量

$$Q_{出}=Q'L \quad (2)$$

式中： $Q_{出}$ 为冷却水道带出热量(kW)； Q' 为单位长度冷却水道从模具中带走的热量(kW/cm)，见表2； L 为冷却水道长度(cm)，如图3所示。将数值代入式(2)得 $Q_{出}=0.052 \times 8+0, 041 \times 9=1.31$ (kW)。

表2 单位长度冷却水道从模具中吸收的热量
Table 2 Heat absorbed from the mold per unit length of the cooling channel

工作区域	冷却水道直径/mm	冷却水道冷却能力/(kW·cm ⁻¹)
	13~15	0.070
型腔	9~11	0.052
	6~8	0.041

经计算，异形型芯局部区域冷却水道带出热量 $Q_{出}$ 大于传入模具型芯的热量 Q_{λ} ，冷却能力满足要求。试生产过程中使用800 kPa压力的纯净水对型芯进行冷却，通过调整型芯冷却水回水管路流量阀的阀开度控制冷却水流量，最终确定此异形型芯的水流量在0.8~0.9 L/min时，型芯在模具开模时温度控制在160~220 ℃，满足工艺要求。

3.2 推杆的设计计算及优化

压铸模设计时通常对铸件整体进行推出力的估算，从而确定选用的推杆直径和数量。对于大型压铸模具而言，为减少模具在使用过程中易损件的故障，提升设备综合效率，在模具空间允许的情况下，尽量选用大直径的推杆。而此产品结构特殊，在异形型芯处存在局部包紧力大而且推杆设计空间受限，因此需要对异形型芯局部推出力进行计算，确定异形型芯周边的推杆直径及数量是否满足要求。

(1) 局部推出力的计算

压铸件推出时的受力状况见图4，推出力的计算公式：

$$F_t=F_{阻}\cos\alpha-F_b\sin\alpha=AP(\mu\cos\alpha-\sin\alpha) \quad (3)$$

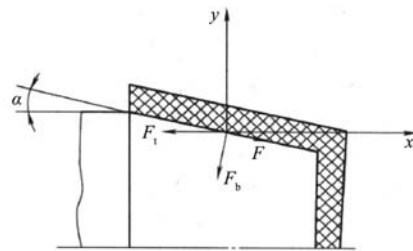


图4 压铸件推出时的受力状况图

Fig. 4 Force diagram of the die casting when pushed out

式中： F_t 为压铸件脱模时所需的推出力(N)； F_b 为压铸件对模具零件的包紧力(N)； K 为安全系数，一般取1.2； P 为挤压应力，垂直于型芯表面，对于铝合金一般 $P=10\sim 12$ MPa， A 为压铸件包紧型芯的侧向面积，曲轴箱体异形型芯的侧向面积为18 788 mm²； μ 为压铸合金对型腔的摩擦系数，取0.2~0.25； α 为脱模斜度，异形铸件的脱模斜度2.5°。将上述数据代入式(3)，得异形型芯的局部推出力 $F_t=3 878$ N。

(2) 推杆直径的计算

推杆推出机构进行推出的时候，推杆顶端面承受推出力。推杆的截面积的计算公式：

$$A \geq KF_t / (n\sigma) \quad (4)$$

式中： A 为推杆的截面积(mm²)， K 为安全系数，取值1.25； F_t 为推出力(N)， n 为推杆数量， σ 为压铸合金许用应力(MPa)。曲轴箱体异形型芯根据其形状可设置的推杆位置有两处，并且需要与动模型腔加工出推杆孔，因此 $n=2$ ；压铸合金为铝硅合金，其许用应力 $\sigma=50$ MPa。将以上数值代入式(4)，得推杆直径 $d=7.86$ mm，将数据圆整后设计两处直径为8 mm的推杆。

(3) 推杆的失稳校核

对于细长推杆，为保证推杆在运行过程中的稳定性，需要对单个推杆进行失稳校核，如果稳定性达不到要求，则需要增加推杆数量或加大推杆直径。推杆

的稳定性校核公式如下:

$$K_w = \eta EJ / (F_i L^2) \quad (5)$$

式中: K_w 为稳定安全倍数, 钢取1.5~3; η 为稳定系数, $\eta=20.19$; F_i 为单个推出力(N); E 为弹性模量(N/cm^2), 钢的弹性模量 $E=2 \times 10^7 \text{ N}/\text{cm}^2$; J 为推杆抗弯截面积(cm^2), $\Phi 8 \text{ mm}$ 的推杆抗弯截面积 $J = \pi d^2/64 = 0.049 \text{ cm}^2$; L 为推杆全长(cm), 曲轴箱体异形型芯处推杆长度 $L=52.8 \text{ cm}$ 。将以上数值代入式(5), 得 $K_w=3.66$, 大于钢的稳定安全倍数, 满足推杆运行的稳定性要求。

按此设计方案制造模具, 在小批量试生产中出现问题, 异形型芯两侧推杆发卡、推出受阻现象, 拆卸后发现推杆变形。进一步分析, 异形型芯一侧受内浇道的冲刷和冲击, 对型芯和周边推杆造成不良影响。推出力除了受铸件结构和形状影响外, 还受型芯的表面粗糙度、温度以及压铸工艺参数、推杆孔的精度等因素影响, 在多种不良因素的影响下, 需增大其安全系数。卸模后拆解模具, 将异形型芯与动模型腔装配加工异形型芯两侧推杆孔, 在零件结构允许的最大范围内由 $\Phi 8 \text{ mm}$ 加大至 $\Phi 9 \text{ mm}$ 。由于采用合加工的工艺, 推杆直径加大的同时提高了推杆孔的精度, 再生产验证推杆运行平稳可靠。

3.3 螺栓强度的校核

由于异形型芯体积小、局部包紧力大、结构复

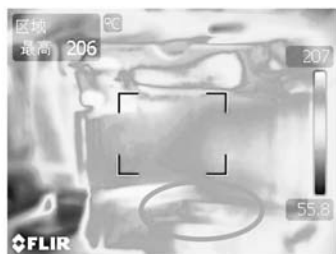
杂, 异形型芯的固定采用螺栓连接固定方式, 在型芯底部三个角方向最大可以设计出三个 $M8$ 螺栓与动模套板连接。在铸件推出过程中, 螺栓受轴向力的作用, 其强度校核公式:

$$\sigma = F / (\pi d^2/4) \leq [\sigma] \quad (6)$$

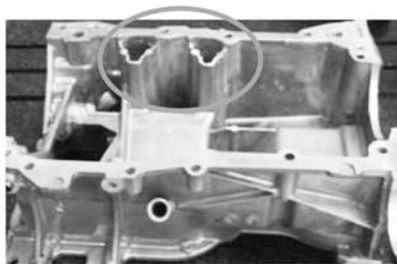
式中: σ 为螺栓实际承受的应力(MPa), F 为单个螺栓承受的轴向力(N), d 为螺栓小径(mm), $[\sigma]$ 螺栓许用应力(MPa)。按三个螺栓均匀受力计算, $F=1.3F_i/3=1680 \text{ N}$, $M8$ 螺栓小径 $\Phi 6.5 \text{ mm}$ 代入式(6)得 $\sigma=50.65 \text{ MPa}$ 。模具采用高强度螺栓, 许用应力大于 80 MPa , 螺栓强度校核满足要求, 可以避免铸件推出过程中因螺栓失效而导致的铸件变形或模具故障。

4 批量生产验证

曲轴箱体压铸模在局部深腔处采用异形型芯镶拼结构, 简化了模具制造难度, 工艺简单加工方便, 型芯抛光后表面粗糙度小于 $R_a=0.4 \mu\text{m}$, 尺寸精度及外观质量均满足要求。模具经过大批量生产验证, 异形型芯冷却效果良好, 模具温度稳定在工艺要求 $160\sim 220 \text{ }^\circ\text{C}$, 如图5a所示。铸件在局部深腔处没有因模具温度过高而产生的粘料、擦伤等外观缺陷, 如图5b所示。异形型芯的使用寿命达到8万模次以上, 降低模具维修难度和制造成本, 保证了铸件质量。按此模具结构已复制多套模具进行批量生产, 铸件品质优良, 模具运行稳定、可靠。



(a) 模具温度



(b) 铸件外观

图5 批量生产状态

Fig. 5 Mass production state

5 结论

(1) 局部深腔、结构复杂的压铸件, 模具设计时采用镶拼式结构设计, 能够优化加工工艺, 提高模具质量。

(2) 为保证设计的可靠性, 需要对镶拼结构的型芯进行相关的可靠性计算, 例如局部冷却能力、推杆尺寸及失稳性、螺栓强度等。

(3) 对局部异形长型芯, 计算局部推出力时需考虑其使用条件适当增大安全系数, 安全系数 ≥ 1.5 。

(4) 曲轴箱体异形型芯采用镶拼结构, 通过批量生产的验证, 产品质量稳定, 模具运行可靠。异形型芯的使用寿命达到8万模次以上, 减小了模具维修难度, 降低了制造成本, 保证了铸件质量。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 周倩, 任豪, 王俊有, 等. 铝合金变速箱外壳压铸模设计及工艺分析 [J]. 铸造, 2021, 70 (3): 301-305.
- [3] 王卓明. 压铸模型芯失效研究 [J]. 铸造技术, 2019, 40 (6): 693-595.
- [4] 赖华清. 压铸成型工艺与模具 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.

Mosaic Structure Design for Profiled Core of Crankshaft Case Die Casting Mold

CHENG Rui, HOU Li-bin

(Dalian University of Science and Technology, Dalian 116036, Liaoning, China)

Abstract:

This paper introduced the structural characteristics and technical requirements of an automobile engine crankshaft box. Based on its structural characteristics and quality requirements, in the structural design of the die-casting mold, the mosaic structure design was adopted for the special-shaped parts with deep cavity and complex structure. At the same time, the failure mode of the profiled core mosaic structure was analyzed. Through the design, the calculation and verification of the mold local cooling capacity, push rod size and instability, bolt strength, etc., the reliability of the mold mosaic structure design was ensured.

Key words:

die casting mold; mosaic structure; failure mode; profiled core; pusher instability
