

铝合金油底壳压铸模失效分析及提高使用寿命途径

■ 周友松, 张永亮, 熊英

摘要: 通过对神龙油底壳压铸模失效模式分析, 从模具材料、结构与制造, 以及模具的使用和维护等方面阐述提高铝合金压铸模寿命的方法。

关键词: 铝合金; 压铸; 模具; 失效; 寿命

一、前言

铝合金压铸在汽车用铝合金成形中应用广泛, 在各种汽车零部件成形工艺方法中占到近一半。压铸模由于投资大、生产周期长、制造精度高、造价高等无法回避的问题, 以及由于材料选取复杂、机加工难度大等一系列内外因素的影响, 导致模具过早失效而报废, 造成极大的损失,

使得压铸行业迫切要找到提高模具使用寿命的有效方法。我公司(东风有色铸件有限公司)作为老牌的压铸件生产专业单位, 经历了建厂早期的化油器和各种阀体本体锌合金压铸件生产, 中期的乘用车各种发动机铝合金压铸件的生产, 直至今日重型商用车发动机、变速器、车身件铝镁合金的压铸件生产。2004年开始为神龙公司

配套生产神龙油底壳: 材料为AS9U3铝合金, 最大外形尺寸为400mm×250mm×200mm, 平均壁厚为4mm, 筋和孔较多, 多个部位为安装配合面, 有严格的几何公差与密封性要求。神龙公司年最高需求量20万件。我公司生产该产品已10年以上, 总供货约140万件, 投入模具6套。其中首套模具寿命仅为6万模次; 通过改良和规范后, 第六套模具设计

断裂模式均为经典的脆性断裂, 断口表面覆盖有电解质沉积层或结晶球, 断口有沿晶开裂这一应力腐蚀开裂特点。材料断口内部出现了分布不均匀的微裂纹, 这是明显的穿晶开裂特征。采用固溶处理后, 断口出现了明显的云纹堆积, 有效地增大了断裂纹扩展的路径, 穿晶开裂裂纹明显减小, 这是固溶处理后U形管耐应力腐蚀能力提升的主要原因。此外, 经固溶处理后, 奥氏体不锈钢断口处晶粒分布更加均匀, 其组织内的缺陷明显减少, 在断口处出现了少量验证韧性断裂的

韧窝, 这是其性能提升的次要原因, 该现象与奥氏体不锈钢经固溶处理后出现相态转变和相区分布改变有关。

4. 结语

根据试验结果及分析, 可得出如下结论:

(1) U形管R段顶部是应力腐蚀裂纹产生的主要区域。

(2) 钛材U形换热管弯制后, 不经消除应力热处理, 抗应力腐蚀性能依然很优越, 在实际制造过程中, 弯制后可以不进行消除应力热处理。

(3) 对SAF2205双相不锈钢、316L、304等材料, 冷弯成形的U形管, 固溶处理后抗氯离子应力腐蚀性能明显优于未经固溶处理的U形管。因此, 在U形管弯制后, 应进行固溶处理, 以提高其抗应力腐蚀能力。

(4) SAF2205双相不锈钢材料U形管经固溶处理后, 其抗应力腐蚀性能优于固溶处理后的316L、304奥氏体不锈钢U形管。

作者简介: 赵延峰, 中国石油天然气第一建设公司。

MW 20160916

寿命为8万模次，实际使用寿命达28万模次。

二、油底壳压铸模的失效分析

1. 热疲劳龟裂损坏失效

油底壳压铸生产时，铝合金液温度控制在620~650℃，模具采用零件加工热模方式。生产中模具型腔表面温度由室温快速上升至500~600℃；在压铸结束时，需要向模具型腔喷涂涂料，造成型腔表面温度的急剧下降；模具反复受激冷激热的作用，成形表面与其内部产生变形，相互牵扯而出现反复循环的热应力，导致组织结构损伤和丧失韧性，引发微裂纹的出现，并不断扩展；熔融金属液的挤入和反复的机械应力均会使裂纹加速扩展。

2. 碎裂失效

在压射力的作用下，模具会在应力集中处萌生裂纹（如筋、槽等部位），尤其是模具成形面上的刀具轨迹痕和未被打磨抛光处及成形的清角处均可能出现裂纹，当模具材料晶界存在脆性相或晶粒粗大时，即容易断裂。

3. 熔蚀失效

铝是较活泼的金属元素，与模具材料有较好的亲和力，铝还易“咬模”。当模具硬度较高时，则耐蚀性较好，而成形表面若有软点，则对耐蚀性不利。

致使模具失效的因素很多，既有外因（浇注温度、压铸压力、是否预热、水剂涂料喷涂量、压铸机匹配、内浇口速度、冷却水开启与压铸生产同步、铸

件材料、铸件尺寸形状、壁厚大小、涂料类型等），也有内因（模具质量、坯料情况、模具结构、浇注系统、模具加工热处理，以及各种配合精度和表面粗糙度要求等）。模具若出现早期失效，则需找出具体的内因或外因，以便改进。但在实际生产中，熔蚀仅是模具的局部地方，如内浇口直接冲刷的部位（型芯、型腔）易出现熔蚀现象，以及硬度偏软处易出现铝合金的粘模。

三、提高压铸模寿命的途径

模具经历产品结构分析、模具设计、模具制造、模具使用及维护保养各个环节，因此对以上各个环节加以研究、管控是提高压铸模使用寿命的有效途径。

1. 产品结构设计

在满足产品功能的前提下，结合压铸工艺，合理设计压铸件，简化压铸模结构，减少模具缺陷和提高铸件质量。由于铸件结构设计不合理，导致模具中存在薄截面，成为断裂的根源；脱模斜度值不合理，会引起开模、抽芯、取件时的擦伤；型腔壁面交界处的倒角，稍有疏漏，即可造成应力集中裂纹。因此，

油底壳模具脱模斜度按照1.5°设计，型腔交界面倒R3mm圆角，产品法兰面安装面设计R3mm圆角（见图1），可通过后续加工法兰面消除，既保证产品功能要求，同时保证了工艺要求。

2. 模具设计

合理的压铸模设计，是保证压铸模使用寿命所必需的。压铸模由成形部分、浇注系统、溢流系统、冷却系统、模板、抽芯机构、导向机构及顶出机构等组成，严格地说，所有系统零件都对模具寿命有不同程度的影响，其中以浇注系统、冷却系统影响最大。浇注系统设计中若在流向、截面积、压射速度上控制不当，会造成对型腔、型芯的冲蚀，降低模具使用寿命。我们利用MAGMA软件对该模具进行模流模拟及分析后，加大了浇口截面积，使合金液以层流方式进入型腔，减少了高速浇注对型腔、型芯的冲击。

模具生产时，模具温度控制主要是通过冷却系统来达到的。使模具升温的热源：一是由金属液带入的热量，二是机械能转换成的热能。冷却系统的作用：提高铸件内部、表面质量；稳定铸件尺寸精度；提高压铸机生产效率；降低模具热交变应力，

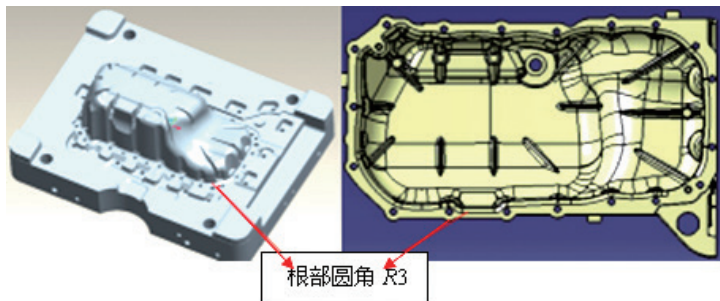


图 1

提高模具使用寿命。

油底壳冷却系统设计：

(1) 浇口套、分流锥设计水冷却系统。

(2) 浇道由于厚度、面积较大，热量易集中，采用贯穿式循环冷却系统。

(3) 在壁较厚的型腔中采用点式冷却系统。

3. 模具制造

压铸模制造的工艺流程大致为：模具材料选取→外形粗加工→型腔粗加工→淬火、回火→平磨外形→线切割型芯孔和顶杆孔→型腔数控铣精加工→型腔电火花加工→抛光→钳工装配→调试→鉴定→修模→去应力退火→渗氮→生产使用。对模具寿命影响最大的应属模具材料的选取及加工工艺的制订。

(1) 模具材料选取 模具衬模及滑块选冷疲劳抗力大、断裂韧度高、热稳定性高的8407热作模具钢，其具备下列性能：

1) 具有高的抗热疲劳龟裂和热冲击开裂能力，使模具经受激冷激热不易形成裂纹以及形成的裂纹不易扩展，避免模具失效。

2) 具有高的抗热软化能力和抗高温磨损能力，使模具保持一定的高温强度、硬度和尺寸稳定性。

3) 具有高的抗液态金属的黏附和化学冲蚀损伤能力。

4) 具有较高的淬透性，可以保证较小的热处理变形。

5) 可加工性好。

6) 修复时容易焊接。

选择性能优良稳定的模具材料是保证产品质量，提高压铸模

寿命的基础。

案例：我公司同时供货的431[#]与745[#]离合器壳体比较，产品结构与模具结构相同，生产设备相同，模具制造精度相近，而模具材料不同，431[#]选用进口瑞典一胜百8407，745[#]选用国产H13，热处理工艺相异。一胜百的模具硬度可比普通H13模具硬度提高2HRC而不会牺牲韧性，可减缓热龟裂的发生。

生产结果表明，431[#]生产效率高，工艺出品率高，模具寿命达到10万模次。745[#]模具生产时常出现溢料、勒模、型芯研死等问题，造成产品内部质量差，产品尺寸不稳定，难以连续生产，模具寿命仅为4万模次。

(2) 加工要求 除制订严格的工艺外，加工中还要求：

1) 在加工过程中，除保证正确的几何形状和尺寸精度外，还需要有较好的表面质量。在成形零件表面，不允许残留加工痕迹。

2) 由于热变形引起活动部件相互之间配合关系的改变，压铸模的抽芯机构和导向机构在实际生产中常发生卡滞现象，且模具越大卡滞越严重，甚至会出现导柱变形折断、滑块“咬死”的现象。为消除热变形对模具结构的影响，避免工作过程中卡滞现象的发生，除了正确选择各导向零件的公差配合和表面粗糙度等级外，还对压铸模的滑道和导向机构进行改进，滑块配合的侧面和底面改为导滑条（见图2），导滑条选择耐磨性和热膨胀性好的H13材料。

3) 电加工后型腔表面留有

淬硬层，应进行消除应力处理，以避免模具表面产生龟裂、点蚀和开裂。具体方法：①用磨石或研磨去除淬硬层。②退火去应力，以大幅度降低模腔表面应力。

4) 衬模、滑块镶块件，在粗加工后安排消除应力处理。

5) 成形零件出现尺寸或形状差错，需留用时，尽量采用镶拼补救的办法。焊接是压铸模修复的一种常用手段，所用焊条应同模具钢成分一致，模具与焊条一起预热，待表面与心部温度一致后，在保护气下焊接修复。

6) 在抛光过程中，对型腔中的深槽、窄缝要重点抛光，以保证整个型腔表面质量。作为模具重要的后处理工艺，抛光不仅可降低模具型腔表面的粗糙度值，减小摩擦阻力，提高抗咬合和抗疲劳能力，还可去除电火花加工后的淬硬层。

四、压铸模使用、维修和保养

根据油底壳最大投影面积计算，该产品使用950t压铸机生产。工艺参数：压室直径100mm；压室偏心-250mm；合金温度620~650℃；一快开始位置380~420mm；二快开始位置430~470mm；压射缸压

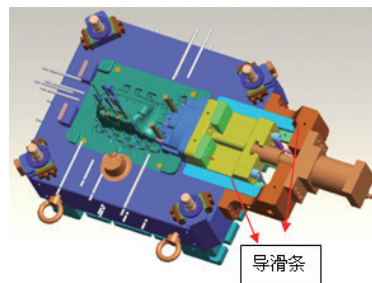


图 2

力 (30 ± 2) MPa; 留模时间15~20s; 料饼厚30~40mm; 增压开始位置570~610mm; 增压速度2~3.5圈; 快压速度2.5~3.5圈。

1. 压铸模使用、维修

(1) 将机床偏心调整到-250mm, 配好垫块。同时配齐 $\phi 100$ mm的容杯和活塞、4根非标顶拉杆、拉杆螺母及压板等。

(2) 安装模具之前, 按照压铸机日点检卡中点检内容, 逐项检查设备各工作部位是否正常, 并记录检查结果。

(3) 模具安装完毕后, 按照模具点检卡中点检内容, 逐项检查模具各工作部位是否正常, 并对模具型腔、顶杆、复位杆、导柱、导套、型芯、滑块导轨等全面刷油。检查涂料配比机是否正常, 喷涂管是否有断裂、阻塞。

(4) 按照喷涂→动插→合模→浇注→压射→冷却→开模→动抽→取件(同时顶出)→拉回→喷涂的生产程序, 运用“点动慢调”的方法, 运用手动程序操作几次, 观察模具各部位(尤其是活动部位), 确认无异常并对模具各部位进行润滑后, 进行空压射几次。

(5) 根据所用浇注勺规格和每模金属重量, 调整浇注勺的取料量。自动浇注勺一周刷一次涂料(KS-210), 刷涂料后必须在液面上烘干、预热后方可浇料。

(6) 模具试压8~12次, 对模具进行预热, 逐渐地使用冷却水, 以获得平衡状态, 如果急冷, 模具可能产生裂纹。

(7) 合金熔炼应严格控

制, 减少金属液中气体, 以避免在压铸模表面产生气蚀。

(8) 压铸过程中, 压铸模表面及抽芯滑块配合面等, 常会出现毛刺, 这样不仅影响产品质量, 也易造成模具出现故障, 所以每次都需清除铝皮、铝渣等杂物。

(9) 压铸过程中, 要求喷涂操作应合理, 不过多地喷涂脱模剂, 以减缓压铸模龟裂的发生和扩展。

(10) 压铸过程中, 保持压铸工艺的稳定和压铸周期的稳定, 不得擅自改变工艺, 以免因压射压力过大、压射速度过快而损坏模具。

(11) 压铸过程中, 如发生铸件粘在模具上, 要求操作工不能擅自处理, 需通知模修工进行处理, 并保留粘模前最后一件铸件以备分析原因。

(12) 压铸过程中, 要全程监控模具温度, 保持压铸模温度稳定, 避免过冷、过热。

(13) 随时观察模具的型芯、凸起物和顶杆是否有弯曲变形、裂纹和断裂的情况, 型腔表面是否有烧伤和拉伤现象。装有拉杆的模具, 要随时观察其复位杆是否与分型面齐平。

(14) 压铸时若发现异常, 应立即停机, 以免模具受到大的损伤。

(15) 短时间停止压铸生产时, 应合模(但不应锁紧)并调节冷却水流量, 以降低模具冷却速度, 严禁用冷水急冷模具。

(16) 长时间停止压铸生产时, 保留最后一件产品, 清除模具表面及抽芯滑块配合面的铝皮

等杂物, 并合模(但不应锁紧)和关闭冷却水。

2. 压铸模保养

新模具在试模后, 无论试模合格与否, 均在模具未冷却至室温的情况下, 进行去应力退火。当新模具使用到设计寿命的 $1/6 \sim 1/8$ 时, 即模具使用1万模次, 对模具型腔及模架进行 $450 \sim 480^\circ\text{C}$ 退火, 并对型腔抛光和渗氮, 以消除内应力和型腔表面的轻微裂纹。以后每1.2万~1.5万模次进行一次同样保养, 减缓由于热应力导致龟裂产生的速度和时间。

五、结语

神龙油底壳的多套模具实际应用结果表明: 模具结构的合理设计、优质模具材料的选取、先进的模具加工工艺, 以及正确的使用、维护和保养, 是提高压铸模使用寿命的有效途径。

参考文献

- [1] 潘宪曾, 等. 压铸模设计手册[M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 廖泽碧. 试论压铸模失效及原因分析[J]. 模具工业, 1990(1): 20-21.

作者简介: 周友松, 副教授, 湖北职业技术学院, 主要研究模具与金属材料。

张永亮, 工程师, 东风有色铸件有限公司, 主要研究压铸模铸造。

熊英, 高级讲师, 孝感工业学校, 主要研究金属材料加工。

MW 20160928