

差压铸造在铝合金后下摆臂的应用

双建伟

(威海伯特利萨克迪汽车安全系统有限公司, 山东威海 264200)

摘要: 控制臂是汽车底盘安全件, 而后下摆臂为控制臂的一种。目前, 铝合金后下摆臂主要为锻造、低压铸造、挤压铸造, 但由于锻造、挤压铸造成本较高, 主机厂选择的较少, 低压铸造力学性能偏低。为了满足车辆轻量化需求, 利用差压铸造工艺对产品进行设计、CAE分析、铸造模拟分析, 最终获得差压铸造下的后下摆臂产品, 产品屈服强度240 MPa以上, 抗拉强度310 MPa以上, 伸长率平均10%, 获得满足客户要求的产品, 并降低了制造成本。

关键词: 后下摆臂; 控制臂; 铝合金; 差压铸造

麦弗逊独立悬挂通常由减震器、弹簧、下摆臂三部分构成^[1], 下摆臂与两横臂相连, 当车在凹凸不平的路面行驶时, 保持车辆的稳定^[2], 后下摆臂的材料为A356.2, 结构为两侧双叉臂, 中间设计弹簧承载面。后下摆臂承受转向节传递的作用力以及车身弹簧的压力, 需要具有足够的强度与刚度。产品为汽车底盘的安全件, 出现失效时会引起车辆转向失控, 造成乘客的伤亡。

传统的方式为锻造成形工艺、低压铸造工艺或者挤压铸造工艺, 但锻造设备、挤压设备投资大, 工艺难度大, 而同样的结构低压铸造虽然成本低, 但同条件下力学性能较差压铸造低^[3]。

同样使用T6热处理工艺, 本企业使用低压铸造设备获得的力学性能为: 抗拉强度不足270 MPa, 屈服强度不足210 MPa, 伸长率平均10%; 而差压铸造设备可以将力学性能提高到: 抗拉强度高于310 MPa, 屈服强度高于240 MPa, 伸长率10%, 强度数值可以与挤压铸造力学性能媲美^[4]。

1 技术指标要求

1.1 力学性能要求及检验标准

后下摆臂的结构见图1。产品材料为A356.2, 力学性能要求为: 抗拉强度 ≥ 290 MPa, 屈服强度 ≥ 220 MPa, 伸长率大于8%, 硬度大于HB85, 热处理按照CQI-9 T6标准执行。

产品尺寸为: 500 mm \times 300 mm \times 45 mm (高), 产品弹簧面的平面度要求为1 mm, 产品重量3.5 kg。

1.2 内部组织及缺陷要求

后下摆臂的内部缺陷需要100%的X光检测, 按照ASTM E155进行检测, 关键区域的内部缺陷不能高于1级, 非关键区域的内部缺陷标准不能超过2级, 两枝晶间距小于50 μ m, 金相检测参照ASTM 1030执行。

2 差压铸造工艺

2.1 设备介绍

本企业采用保加利亚产差压铸造机(CPC), 该设备共有96路可以独立控制的

作者简介:

双建伟(1985-), 男, 硕士, 研究方向铝合金铸造。E-mail: 1026398772@qq.com

中图分类号: TG249.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)06-0731-05

收稿日期:

2020-12-01 收到初稿,
2021-01-23 收到修订稿。

冷却水,设备工作压力上腔可以达到0.15 MPa,下腔可以达到0.3 MPa,设备型号为CPC-1600,可安装最大模板直径为1 243 mm,最大模架高度为800 mm,铝液温度控制精度为 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,压力控制精度为100 Pa。

2.2 差压工艺步骤

差压铸造法是20世纪60年代初发展起来的铸造新方法。这种方法源于低压铸造,它兼有低压铸造和压力釜铸造的特点^[5]。

本企业使用的差压铸造机的工艺步骤如图2。上下腔同时增压(图2a)→上腔压力保持的同时,下腔按照充型曲线进行增压充型(图2b)→压力下结晶(图

2c)→上腔泄压下腔增压补缩(图2c)→冷却(图2d)→产品顶出(图2d)。

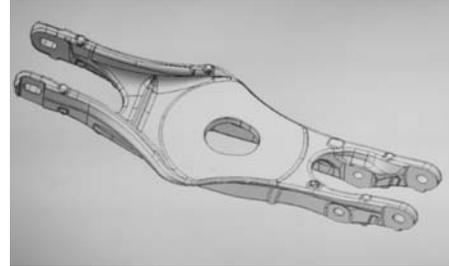


图1 后下摆臂的3D模型

Fig. 1 3D model of rear lower arm

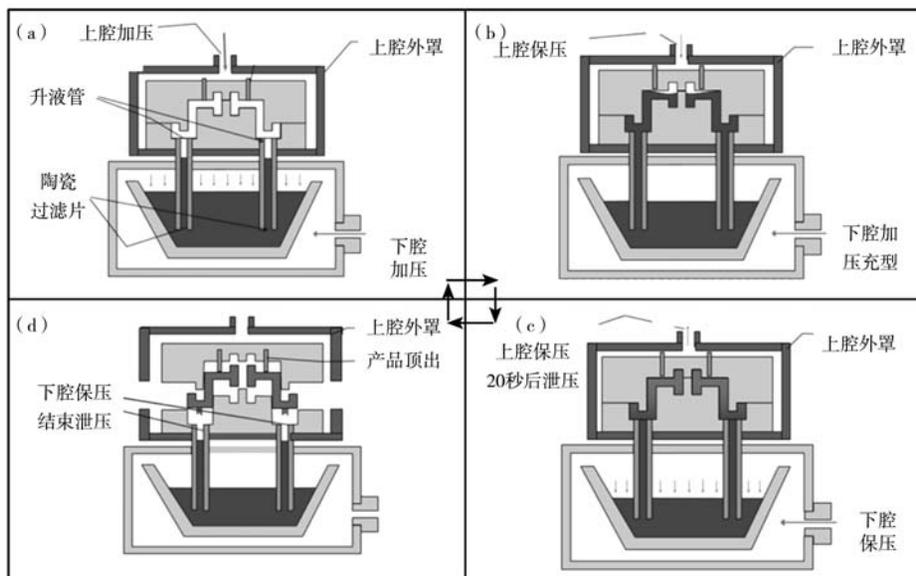


图2 拉伸试样及拉伸夹具示意图

Fig. 2 Schematic diagram of tensile specimen and fixture

差压铸造与低压铸造比主要的工艺差异为:①压力下结晶:低压铸造在大气压下进行结晶,差压铸造结晶时的压力由设备控制,本企业的结晶压力为0.15 MPa,高的结晶压力可以使产品的力学性能有一定提升;②增压补缩:差压铸造压力下结晶阶段结束后,上腔压力恢复成大气压,坩埚与上腔的压力差从0.06 MPa提升到0.21 MPa,补缩压差比设备低压模式的0.06 MPa高2倍以上,产品补缩能力进一步加强。

3 产品全寿命周期流程

根据客户提供的产品各安装面的空间装配要求以及载荷要求开始:产品设计→CAE分析→产品毛坯设计→模流分析→模具设计→产品试制→X光检测→热处理→力学性能检测。

3.1 产品结构的设计

依照产品结构特点,在设计过程中充分地考虑了差压铸造设备的特点及工艺能力,将产品的弹簧接触面设计为加工余量为2 mm的毛坯面。根据后下摆臂的产品特点,将左右件设计成同一种结构,并在产品上设计左右手凸台标识,不同机加工程序保留不同凸台标识。

3.2 产品 CAE 分析

根据客户要求对产品进行强度分析如图3、疲劳分析如图4。从分析结果上看,零件整体受力均匀,极限强度小于材料强度,从两根纵向分布的筋向周围平面过渡自然,没有应力集中的情况,强度分析和疲劳分析的结果均合格,作为底盘安全件,满足客户规定的寿命要求。经过CAE分析产品满足客户要求。

3.3 产品毛坯设计

由于产品长度达500 mm，最薄壁厚仅6 mm，同时铸件存在大量的平面结构，充型时可能会出现铝液汇流，产生气孔，所以对产品做出倾斜浇注设计。根据倾斜角度进行分型面设计以及起模斜度设计，以此保证铝液充型平稳无汇流产生气孔风险，充型模拟见图5。将产品可能产生憋气的位置增加排气网格，网格遵循铝液充型方向，网格宽度为1 mm、深度1 mm，等腰直角三角形结构，网纹设计见图6。

3.4 产品模流分析

由于产品为薄壁件，差压铸造由于上腔压力大，凝固速度较低压铸快，产品的补缩时间不足，设计时不仅要考虑近浇道区域的充足补缩，还需要考虑远浇道区域的补缩需求量，尽量将远浇道的补缩需求量降低。针对于客户对产品关键区域的内部缺陷不大于1级、非关键区域不大于2级的要求，根据模流分析结果进行结构细微调整，将铸造凝固模拟的补缩狭长位置从关键区域移动到非关键区域，保证CAE分析中的关键区域不会产生超过1级缺陷。

从模拟中可以看出产品基本按照顺序凝固，但由于产品壁厚较薄，阶段凝固部分均会产生狭长的液相区残留，如图7中标识“补缩”区域，需要在实际生产中确认是否会产生缺陷。

产品的冷却水设计如图8，CPC设备单台机拥有96路可以独立控制的冷却水，针对产品接近同时凝固的设计理念，对产品多数壁厚差异不大的位置均设计冷却水。水温设置为30 ℃，水流量为5 L/min。

3.5 产品模具设计

由于差压铸造机合模后模具处于外罩中，合模后模具紧贴合，上腔通过外罩压缩“O”型圈保持密封，但模具会受到外罩的尺寸差异以及模具温度与外罩温度差异的影响，差压机在进行大型产品生产时对模具



图4 疲劳分析
Fig. 4 Fatigue analysis

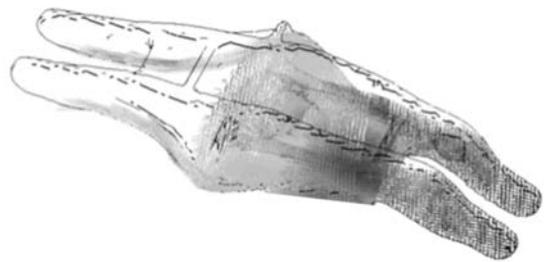


图5 充型模拟
Fig. 5 Mold filling simulation

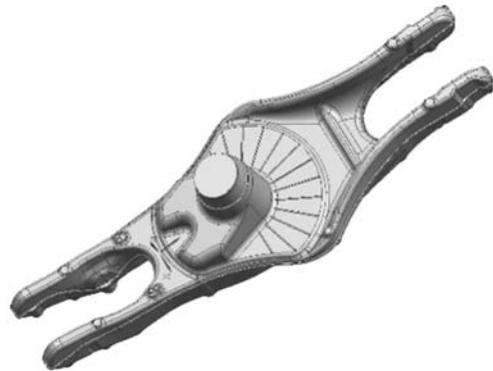


图6 网纹设计
Fig. 6 Checkered design



图3 强度分析
Fig. 3 Strength analysis

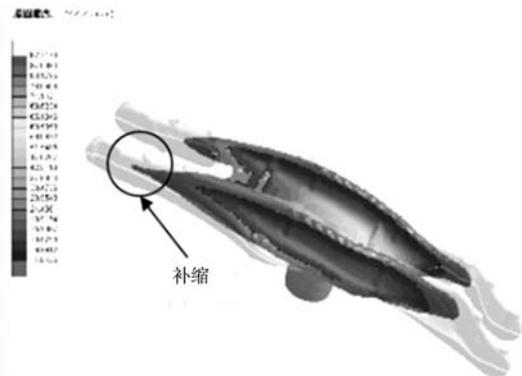


图7 产品凝固过程模拟
Fig. 7 Solidification process simulation

的合模间隙要求较低压铸更高。依照这种情况，模具设计过程中针对产品的结构特点，模具增加防漏铝结构（图9），在充型过程中可以保证不会产生持续的漏铝，防止设备无法生产的情况发生。

3.6 产品试制结果

经过完善的设计，产品试制过程较为顺利，如图10，产品整体无明显浇不足、冷隔，产品上无明显的流痕，产品的节拍时间约在240 s左右，按照差压铸机的尺寸共可以生产一模4件，平均每件节拍为60 s，基本可以达到目前挤压铸造可以达到的节拍水平。

产品尺寸采用3D扫描设备进行扫描检测，检测结果发现产品两侧支臂有一定形变，如图11，形变的原因主要来源于冷却过程中产品内部产生的组织应力，从检测结果上来看变形量小于1 mm，铸造设计加工余量为2 mm，对加工影响较小，产品轮廓度要求为3 mm，满足客户要求。

产品热处理之前硬度较低，会出现一定的变形，所以产品生产及周转过程中需要使用特殊容器。

产品内部缺陷使用X光百分之百检测，从实际产

品的X检测结果可知，缺陷等级小于1级，满足客户要求，如图12。

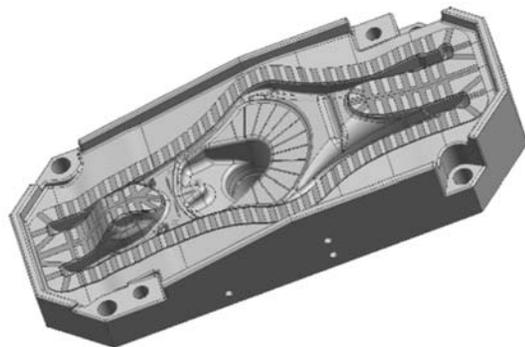


图9 模具防漏铝设计

Fig. 9 Mold design to avoid metal leaking

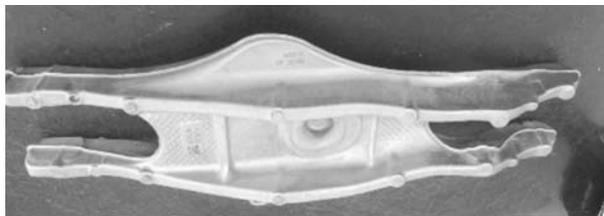


图10 产品实物

Fig. 10 Physical photo of finished product

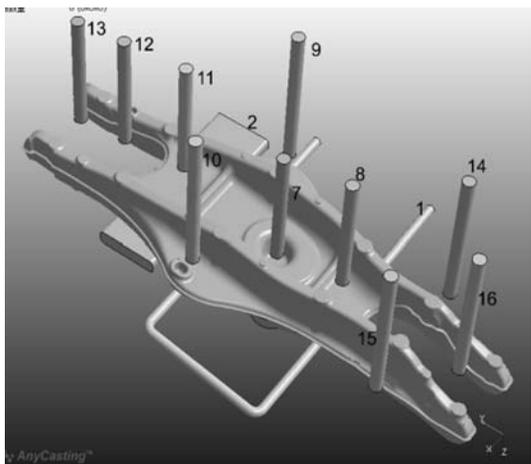


图8 产品冷却水布局

Fig. 8 Cooling water map

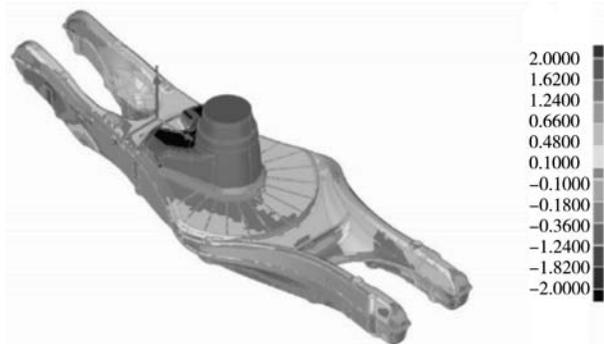
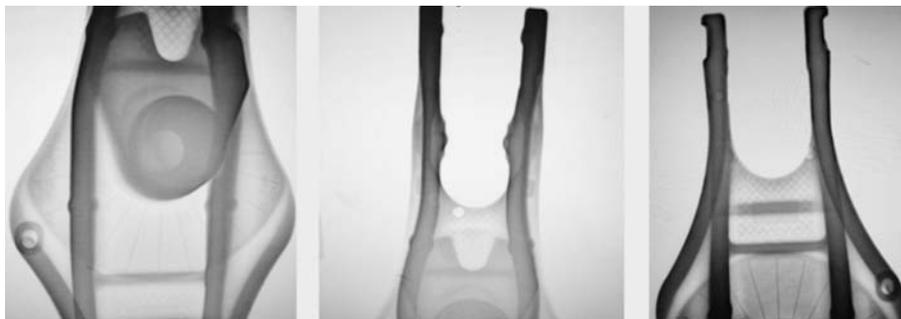


图11 3D扫描结果

Fig.11 3D scan result



(a) 弹簧安装面

(b) 转向节安装处

(c) 副车架安装处

图12 X光图片

Fig. 12 X-ray photos

产品本体化学成分如表1, 为保证较高的力学性能, 本企业采用A356.2的成分要求, 并将铁含量控制0.1%以下。产品力学性能数据经过本体取样测量见表2。

表1 产品本体化学成分
Table 1 Chemical composition of products w_B /%

Si	Fe	Mg	Ti	Sr	Mn	其他(单个)
7.1	0.095	0.395	0.185	0.014	0.003 3	<0.15

表2 产品力学性能
Table 2 Mechanical properties of products

组别	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	硬度/HB
1	317	246	10.21	101
2	322	247	11.7	104
3	315	247	9.97	102
4	312	245	13.2	101
5	315	245	11.3	103
均值	316	246	11	102

参考文献:

- [1] 田原嫫, 邵钰民. 麦弗逊式悬架三角形下摆臂对悬架特性参数影响分析[J]. 拖拉机与农用运输车, 2014, 41(3): 31-34, 39.
- [2] 林良有, 张玉秀, 朱张校, 等. 汽车下摆臂断裂失效分析[J]. 金属热处理, 2004(12): 77-79.
- [3] 杜德喜, 于宁. 铝合金汽车控制臂的低压铸造工艺研究[J]. 铝加工, 2017(3): 17-21.
- [4] 单柯日, 黄长明, 刘建平. 铝合金控制臂的轻量化设计及挤压铸造工艺[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(5): 484-487.
- [5] 毕鉴智, 曲万春, 王宏伟, 等. 差压铸造的应用及发展[J]. 铸造技术, 2000(2): 16-18.

力学性能可以达到: 抗拉强度>310 MPa, 屈服强度>240 MPa, 伸长率大于8%, 硬度达到HB100。与本公司较为成熟的转向节保持相近的力学性能, 满足客户要求。

4 结束语

后下摆臂采用差压铸造工艺具有很好的工艺可行性, 可以在综合成本与低压铸造接近的情况下将产品抗拉强度提升到310 MPa, 屈服强度提升到240 MPa, 成本上也较挤压与锻造有一定优势, 更加适合目前后下摆臂产品主要应用的小批量高价格的乘用车使用。差压铸造特有的压力下结晶以及更大的补缩压差可以提高产品的凝固速度, 达到更快的节拍。自行设计的控制臂可以根据差压铸造的特点进行强化与减重, 得到更轻量化的产品结构, 未来差压铸造在铝合金各类控制臂上的应用会越来越广泛。

Application of Counter-Pressure Casting to Aluminum Alloy Rear Lower Arm Casting

SHUANG Jian-wei

(Weihai Bethel Sakthi Automotive Safety Systems Co., Ltd., Weihai 264200, Shandong, China)

Abstract:

The control arm is a chassis safety part of car, while the rear lower arm is one type of the control arm. At present, it is manufactured mainly by forging, low-pressure casting and extrusion casting. However, due to high cost of forging and extrusion casting, there are few choices from OEM, and the mechanical properties of low-pressure casting parts are low. In order to meet the demand of vehicle light weighting, the product is conducted by using the counter-pressure casting process design, and CAE analysis and casting simulation analysis were carried out. The produced castings using the counter-pressure casting have yield strength of more than 240 MPa, tensile strength of more than 310 MPa, and elongation of 10%, which meet the requirements of products, and reduce the manufacturing cost.

Key words:

rear lower arm; control arm; aluminum alloy; counter-pressure casting