

# 铝合金发动机支架压铸工艺设计及优化

陈子业, 苏小平

(南京工业大学 机械与动力工程学院, 江苏南京 211800)

**摘要:** 根据汽车发动机支架结构进行压铸工艺设计, 利用ProCAST软件对铝合金发动机支架压铸工艺进行数值模拟, 分析了铸件缺陷产生的位置及原因, 通过对比选择出一种较优的工艺设计, 并进行改进优化。结果表明, 获得的优化方案消除了铸造缺陷, 提升了铸件品质, 经生产验证后满足技术要求。

**关键词:** 发动机支架; 压铸工艺; 数值模拟; 工艺优化

汽车发动机支架是发动机悬置系统的重要组成部分之一, 它起到了连接发动机和减振元件的作用<sup>[1]</sup>。车辆在运行过程中, 发动机支架通常要受到路面冲击和发动机振动, 因此对力学性能要求较高, 需要足够的强度、刚度和使用寿命<sup>[2]</sup>。采用压铸工艺生产的铸件尺寸精确、力学性能优良、内部组织致密, 且能大批量生产<sup>[3-4]</sup>, 因此, 可用于制造发动机支架。

在铸造生产过程中, 由于发动机支架壁厚不均, 且结构复杂, 因此容易产生缩松缩孔等缺陷, 造成强度和刚度不足, 影响汽车的行驶安全<sup>[5-6]</sup>。为提高某公司铝合金发动机支架的综合成品率, 本研究对发动机支架进行压铸工艺设计, 利用ProCAST软件进行数值模拟仿真, 通过模拟分析可能出现气孔、缩松、缩孔等缺陷的位置及原因<sup>[7-8]</sup>, 并进行工艺的改进优化, 可以有效避免铸造缺陷的产生, 降低试制成本, 提高成品率, 为该类零件的生产提供参考。

## 1 仿真模型与初始工艺设计

### 1.1 铸件结构

发动机支架结构如图1所示, 材质为ADC12铝合金, ADC12铝合金化学成分如表1所示。铸件平均壁厚6 mm, 最大壁厚22 mm, 外形尺寸为220 mm × 246 mm × 118 mm, 重量1.687 kg。铸件总体呈板状, 结构较为复杂, 局部壁厚尺寸差距较大。铸件要求去毛刺, 收缩率为0.5%, 无缩孔、缩松、裂纹和冷隔等铸造缺陷。

### 1.2 压铸工艺设计

#### 1.2.1 分型面选择

根据发动机支架结构分析, 铸件投影面积最大区域为底部安装孔所在的平面, 因此, 将该平面选择为分型面。

#### 1.2.2 内浇道设计

为了使金属液流入的流程尽可能短, 减少热量损失, 将内浇道位置设计在铸件

表1 ADC12铝合金化学成分

Table 1 Chemical composition of the ADC12 aluminum alloy

w<sub>B</sub> /%

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
1.5~3.5	9.6~12.0	≤0.3	≤1.0	≤1.3	≤0.5	≤0.5	≤0.3	余量

作者简介:

陈子业(1996-), 男, 硕士, 主要研究方向铝合金成形工艺。电话: 18752010618, E-mail: chenzye1221@163.com

中图分类号: TG249.2

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)

12-1466-05

收稿日期:

2021-08-05 收到初稿,

2021-09-07 收到修订稿。

的斜边处。同时为避免金属液正面冲击型芯，将图2中的方案二中最下部的孔改为加工孔。内浇道的截面积计算如下<sup>[9]</sup>。

$$A_g = \frac{V}{vt} \quad (1)$$

式中： $A_g$ 为内浇道的截面积， $\text{mm}^2$ ； $V$ 为通过内浇道的金属液的体积， $\text{mm}^3$ ； $v$ 为金属液流经内浇道的充填速度， $\text{m/s}$ ； $t$ 为充型时间， $\text{s}$ 。取充填速度为 $30 \text{ m/s}$ ，充型时间 $0.06 \text{ s}$ ，内浇道壁厚 $2.5 \text{ mm}$ 。计算得内浇道的截面积 $A_g=370 \text{ mm}^2$ 。

### 1.2.3 横浇道设计

横浇道的结构形式主要取决于内浇道的形状、位置、方向和尺寸。横浇道的厚度可由以下公式计算<sup>[9]</sup>。

$$D = (5 \sim 8)T \quad (2)$$

式中： $D$ 为横浇道厚度， $\text{mm}$ ； $T$ 为内浇道厚度， $\text{mm}$ 。取 $D=14 \text{ mm}$ ，为了便于铸件更好的脱模，设置横浇道的起模斜度为 $15^\circ$ 。

横浇道的结构设计如图2所示，方案一采用扩张式横浇道，方案二采用分叉式横浇道。

### 1.2.4 直浇道设计

直浇道的大小与压铸机的压室直径有关。本研究压铸机选用J114卧式冷室压铸机，压室直径选取 $80 \text{ mm}$ ，余料厚度设置为 $10 \text{ mm}$ 。

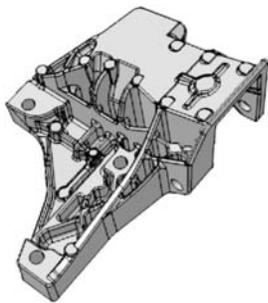
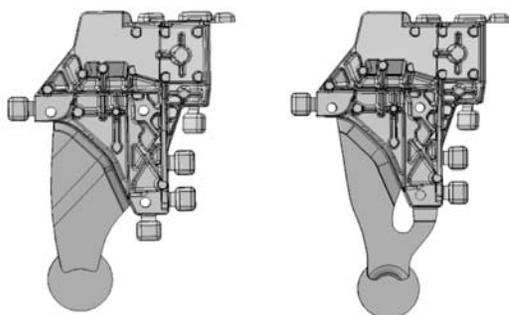


图1 发动机支架结构

Fig. 1 The engine bracket structure



(a) 方案一

(b) 方案二

图2 浇注系统结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of the gating system

### 1.2.5 溢流槽设计

孔洞周围是金属液汇流和最后充填的地方，容易裹入气体和产生涡流<sup>[10]</sup>，因此，将溢流槽设置在孔洞外侧。同时为便于溢流槽加工，将其设置在动模上。

## 2 数值模拟分析

将三维模型导入模拟软件ProCAST中进行网格划分，设置铸件网格单元尺寸为 $3 \text{ mm}$ ，模具网格单元尺寸为 $10 \text{ mm}$ ，共生成网格数量为 $2\,099\,277$ 。铸件材料选用ADC12，模具材料选用H13。铸造工艺参数如表2所示。

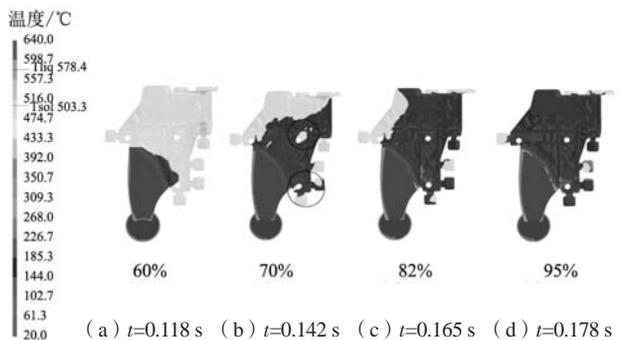
### 2.1 充型过程分析

方案一的充型过程如图3所示。金属液在通过内浇道后，首先向右侧充填，在右侧充填完成后金属液向左侧流动，直至充满，总充型时间 $0.182 \text{ s}$ 。在金属液充填时，由于型芯的阻碍，在型芯背后形成了死角区，如图3圈中所示，这可能会导致涡流和包气的产生。

方案二的充型过程如图4所示。金属液在通过内浇道后，首先向后侧充填，到达最后侧之后，开始向两

表2 铸造工艺参数  
Table 2 Casting process parameters

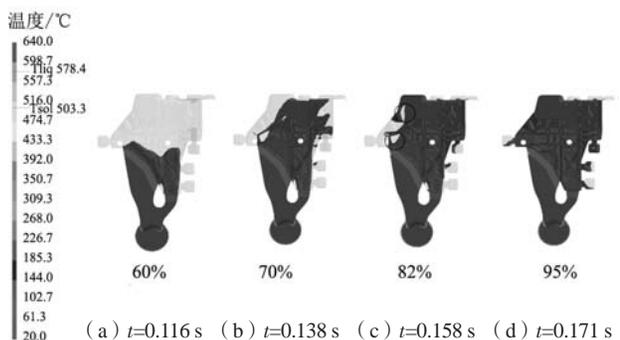
浇注温度/ $^\circ\text{C}$	模具预热温度/ $^\circ\text{C}$	压射速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	持压时间/ $\text{s}$
640	220	3	10



(a)  $t=0.118 \text{ s}$  (b)  $t=0.142 \text{ s}$  (c)  $t=0.165 \text{ s}$  (d)  $t=0.178 \text{ s}$

图3 方案一充型过程

Fig. 3 The filling process of the scheme 1



(a)  $t=0.116 \text{ s}$  (b)  $t=0.138 \text{ s}$  (c)  $t=0.158 \text{ s}$  (d)  $t=0.171 \text{ s}$

图4 方案二充型过程

Fig. 4 The filling process of the scheme 2

侧充填,直至充满,总充型时间为0.176 s。相对于方案一,金属液在流过中部的型芯后不会出现死角区,但在往左侧充填的过程中,多股金属液汇流,如图4圈中所示,易裹入气体。

两种浇注系统在充型过程中金属液流动平稳,无飞溅现象,金属液从浇注系统流向铸件,最后流向溢流槽。因此,这两种浇注系统都比较合理,但需进行进一步优化。

## 2.2 凝固过程分析

方案一的凝固过程如图5所示。凝固首先从远离内浇道处开始,即铸件右上部,之后逐渐朝浇道方向凝固。当 $t=15.54$  s时,内浇道基本凝固完成,此时铸件大部分区域已经凝固,但一些壁厚较大的部分,还未完全凝固。从整个凝固过程温度场变化来看,凝固时并没有实现顺序凝固,一些壁薄的地方先凝固,而壁厚的位置最后凝固,而且壁厚位置远离浇口,很容易在凝固时产生孤立液相,无法补缩,最终形成缩松缩孔缺陷。方案二的凝固过程如图6所示。相对于方案一,方案二的内浇道凝固完成时间更早,因此更难以对壁厚区域进行补缩。同时,在壁厚处,方案二的凝固温度也比方案一高一些,因此,也更容易产生热节。

## 2.3 缺陷分析

图7为两种方案的缩松缩孔分布图。铸件产生缺

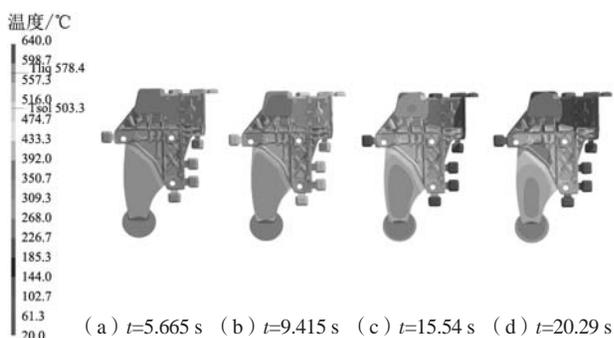


图5 方案一凝固过程温度场变化

Fig. 5 Temperature field changes during solidification of the scheme 1

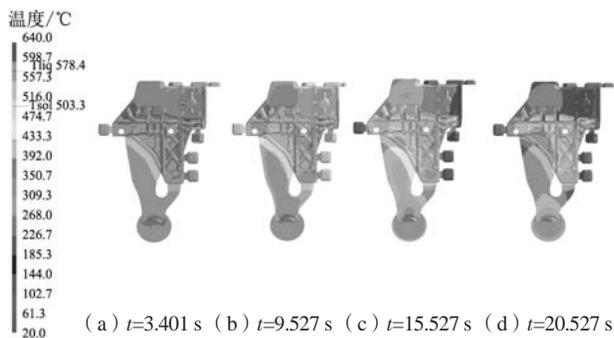


图6 方案二凝固过程温度场变化

Fig. 6 Temperature field changes during solidification of the scheme 2

陷集中的地方是铸件加强筋壁厚较大的地方,其原因是铸件在此区域凝固时温度较高,金属液凝固较慢,凝固速率不均匀,此时会造成细小的孔洞被孤立,从而在完全凝固时得不到金属液的补缩,出现缩孔、缩松缺陷。对比两种浇注系统,可以发现这两种浇注系统出现缩松缩孔位置大致相同,但在缩松缩孔体积方面,在去除溢流槽后,方案一的缩松缩孔体积为0.136 cc,而方案二的缩松缩孔体积为0.939 cc。因此,在减少缩松缩孔方面,方案一更优。

图8为两种浇注系统裹气量的分布图。裹气量的大小与充型过程密切相关。方案一在充型过程中由于型芯的阻碍,产生了死角区,特别是最下部孔洞处裹气严重,而且由于设计不当,溢流槽无法完全发挥作用。在去除溢流槽后,方案一的最大裹气量为0.002 37 g/cm<sup>3</sup>。方案二在充型过程中较为顺畅,卷入的气体较少,在去除溢流槽后,最大裹气量为0.001 09 g/cm<sup>3</sup>。因此,在减少裹气量方面,方案二更优。

综合比较两种浇注系统,虽然方案二在充型方面较方案一更优,裹气量更少,但在缩松缩孔方面,方案一产生的缺陷明显较少。因此,选用方案一作为后续工艺改进的方案。

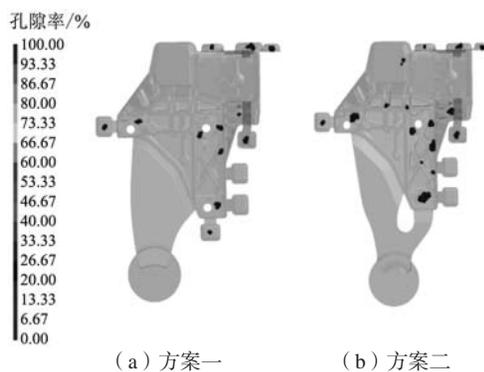


图7 缩松缩孔分布图

Fig. 7 Distribution diagram of the shrinkage cavity and porosity

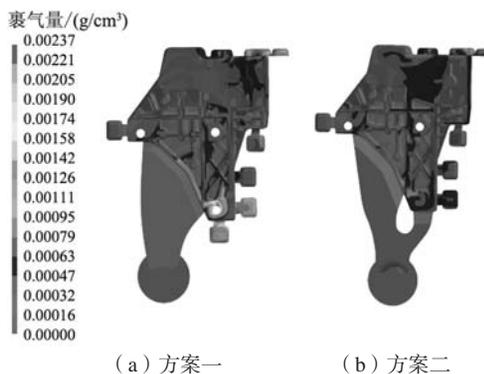


图8 裹气量分布图

Fig. 8 Distribution diagram of the air entrainment

### 3 工艺改进

#### 3.1 优化方案

由于初始工艺无法得到符合要求的铸件，需要对其进行优化，主要包括对溢流系统的优化和增加冷却系统两个方面。

在充型过程中，针对中间型芯后部产生的死角区，将中间的孔洞改为加工孔，这能使金属液的流动更为顺畅，同时也增加了局部厚度，使其最后凝固，为周围提供补缩作用，使缺陷得以转移到加工孔内。针对铸件下部裹气量严重的问题，将下部侧边的两个溢流槽合并，并且加大尺寸和容积，增强溢流作用。由于下部孔洞周围壁厚差距较大，因此将最下部的溢流槽加厚，且使用较厚的溢流口，在排除气体和夹渣的同时能转移缩松缩孔，起到冒口的作用，改善此处内部质量。溢流系统优化如图9所示。

在凝固过程中，针对壁厚处凝固温度较高且凝固慢的问题，增加冷却系统，调整凝固时温度场分布，实现顺序凝固。冷却系统采用水冷，冷却水温度15℃。冷却水管路分布如图10所示，冷却工艺参数如表3所示。

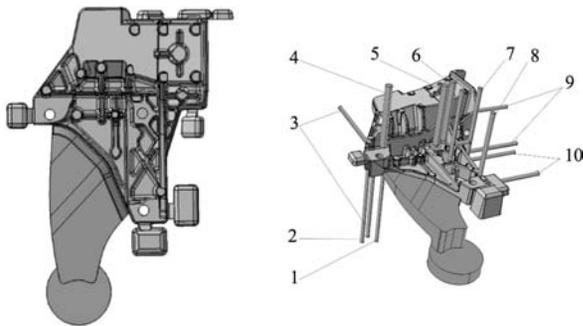


图9 改进后的溢流系统设计  
Fig. 9 Design of the overflow system after improvement

图10 冷却管路分布图  
Fig. 10 Distribution diagram of the cooling tube

表3 冷却工艺参数  
Table 3 Cooling process parameters

管路编号	管路直径/mm	冷却水流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
1	8	2
2	8	2
3	8	2
4	12	3
5	12	3
6	12	3
7	8	2
8	8	2
9	8	2
10	8	2

#### 3.2 优化方案模拟

对优化后的工艺方案进行数值模拟，充型过程及凝固温度变化如图11所示。可以看出，整个充型过程非常平稳，金属液没有出现分离回流等状态，中间部位在充型过程中也没有出现死角区。在凝固过程中，除了远端先凝固外，增加冷却系统的壁厚处表面也开始提前凝固。与此同时，中间部位变为加工孔后，局部厚度得以增加，使其相对于周围最后凝固。最下方的溢流槽由于加厚，延长了凝固时间，使其晚于铸件下部凝固。

图12为优化后的铸件裹气分布情况。可以看到，裹气基本都发生在溢流槽内，有效减少了铸件内部的裹气量。在去除溢流槽后，最大裹气量为0.001 21 g/cm<sup>3</sup>，相对于优化前降低了一半。

图13为优化后的铸件缩松缩孔分布情况。可以看出，中间部位的缺陷转移到了加工孔内，最下部的溢流槽也起到了补缩作用，使缺陷从铸件中转移出来。其他部位的缩松缩孔缺陷也因为冷却系统的作用而得到了消除。

#### 3.3 优化方案验证

为了进一步验证优化后方案的可行性，对优化后的方案进行试制，实际生产的铝合金发动机支架如图

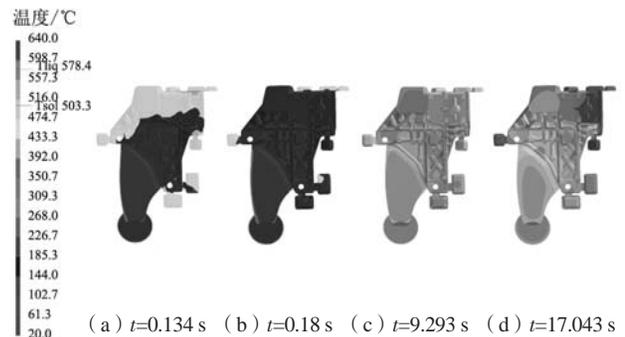


图11 优化后的充型过程及凝固温度场变化  
Fig. 11 Temperature field changes during filling process and solidification after improvement

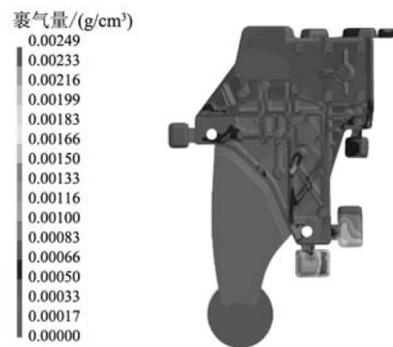


图12 优化后裹气量分布图  
Fig. 12 Distribution diagram of air entrainment after improvement

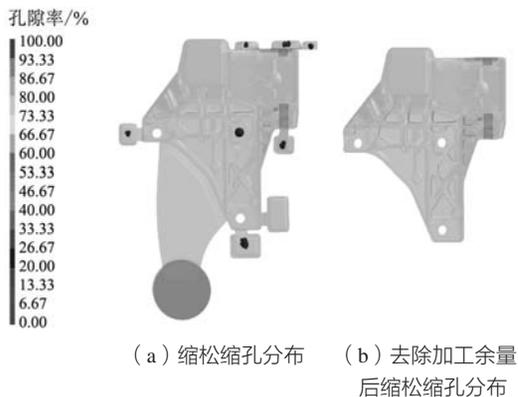


图13 优化后缩松缩孔分布图

Fig. 13 Distribution diagram of shrinkage cavity and porosity after improvement

14所示。通过X探伤及相关检测，未发现缩松缩孔、裂纹及冷隔缺陷，满足技术要求，可进行批量生产。

## 4 结束语

(1) 根据发动机支架结构，设计了两种压铸工

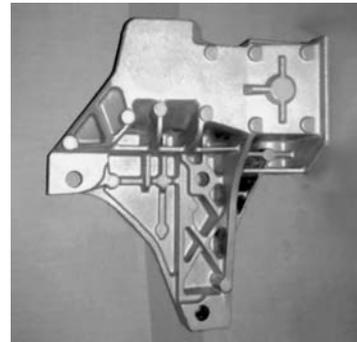


图14 发动机支架铸件实物图

Fig. 14 The picture of the automobile engine bracket casting

艺方案。通过数值模拟仿真，对充型凝固过程进行分析，对比选出一种较优工艺方案。

(2) 通过改进溢流系统和增加冷却系统，使得发动机支架铸件无缩松缩孔缺陷，裹气量大大减少，满足技术要求，可以用于指导此类铸件压铸工艺设计。

### 参考文献:

- [1] 朱洪军, 程瑞. 发动机悬挂支架压铸件的开发 [J]. 特种铸造及有色合金, 2019, 39 (1): 35-37.
- [2] 陈云, 李杰, 罗继相, 等. 铝合金发动机悬置支架挤压铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2020, 69 (2): 167-173.
- [3] 李平, 彭学周, 欧阳维强. 铝合金壳体的压铸工艺优化设计 [J]. 铸造, 2015, 64 (11): 1082-1084, 1090.
- [4] 宋政聪, 米国发, 周志杰, 等. 铝合金散热片压铸工艺设计与数值模拟优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2018, 38 (1): 45-48.
- [5] 黄丽荣, 汤宏智, 贾爽. 轿车发动机支架断裂原因分析 [J]. 汽车工艺与材料, 2009 (5): 32, 36.
- [6] 白坤海. 发动机悬置支架强度分析研究 [J]. 科学技术与工程, 2012, 12 (32): 8793-8797.
- [7] 纪小虎. 铝合金薄壁件熔模精密铸造研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2013.
- [8] 李春龙, 郑伟刚, 阳鑫, 等. 汽车发动机附件支架挤压铸造数值模拟研究 [J]. 热加工工艺, 2015, 44 (1): 63-65, 68.
- [9] 江昌勇, 沈洪雷, 姜伯军副, 等. 压铸成形工艺与模具设计 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2012.
- [10] 王再友, 王泽华. 铸造工艺设计及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.

# Design and Optimization of Die Casting Process for Aluminum Alloy Automobile Engine Bracket

CHEN Zi-ye, SU Xiao-ping

(College of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211800, Jiangsu, China)

### Abstract:

Based on the structure feature of the automobile engine bracket, the design of die casting process of the automobile engine bracket was conducted. Through numerical simulation with ProCAST software, the location and causes of casting defects were analyzed, and a better process design was selected and improved through comparison. The results show that the obtained optimization measures eliminated casting defects and improved casting quality, and the castings met the technical requirements after production verification.

### Key words:

automobile engine bracket; die casting; numerical simulation; process optimization