

A380 合金薄壁壳体压铸工艺研究

吴 玲<sup>1</sup> 于树洪<sup>2</sup> 赵 磊<sup>3</sup> 周 喆<sup>3</sup> 于瑞海<sup>3</sup> 宋利刚<sup>3</sup>

(1.燕山大学机械工程学院; 2.滨州盟威戴卡轮毂有限公司; 3.中信戴卡股份有限公司)

**摘 要** 为了生产出合格的高精度、轻量化薄壁壳体铸件,采用压铸性能好的 A380 铝合金,在冷室压铸机上,确定影响因素及水平,合理地设计试制试验。采用正交试验,确定最优工艺参数为:充型速度为 0.2 m/s,增压时间为 5 s,压射比压为 60 MPa,在此条件下可得到了合格的 A380 合金薄壁壳体铸件。

**关键词** A380 合金;薄壁壳体;压力铸造;正交试验;工艺参数

**中图分类号** TG146.21;TG249.2

**文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2022.05.027

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Production of Thin-wall Shell of Die Casting A380 Alloy

Wu Ling<sup>1</sup>, Yu Shuhong<sup>2</sup>, Zhao Lei<sup>3</sup>, Zhou Zhe<sup>3</sup>, Yu Ruihai<sup>3</sup>, Song Ligang<sup>3</sup>

(1.School of Mechanical Engineering, Yanshan University;

2.Binzhou Weiming Dicastal Wheel Hub Co., Ltd.; 3.CITIC Dicastal Co., Ltd.)

**Abstract:** A380 aluminum alloy was adopted to manufacture thin-wall shell with high precision and lightweight in LK cold chamber die casting machine. At the same time, through determing influencing factors and level, testing experiment was designed rationally. The optimized processing parameters were presnted as follows: filling velocity of 0.2 m/s, pressization time of 5 s and injection specific pressure of 60 MPa by orthogonal design to produce the qualified die casting thin-walled A380 housing.

**Key Words:** A380 Alloy, Thin-wall Shell, Die Casting, Orthogonal Experiment, Process Parameters

铸造铝合金由于其低密度和高强度,广泛应用于机电、汽车、航空、航天等领域。随着绿色、节能、环保意识的提高,以及碳中和的要求,零部件的轻量化、精密化及整体化的要求也越来越高。对于壁厚小于 4 mm,局部小于 0.5 mm 的高品质铝合金薄壁复杂铸件受到重视<sup>[1]</sup>。

1 产品概况

图 1 为某铝合金薄壁壳体的零件图。壳体厚度不一,而且有多个腔室,结构复杂,是典型的薄壁多腔室零件。铝合金薄壁壳体铸件的表面积大且平均壁厚小,表面张力极大地影响充型过程<sup>[2]</sup>,导致成形困难,易变形,且补缩通道易闭合,经常会出现浇不足、缩松及缩孔等缺陷,致使铸件品质较差。同时薄壁壳体铸件加工余量少,存在尺寸控制难度较大的特点。因此,铝合金薄壁壳体铸件采用传统的低压、差压铸造工艺困难较大。

A380 铝合金铸造性能良好,由于其 Cu 含量较高,具有较高的强度与机加工性能,在铝合金压铸件中得到

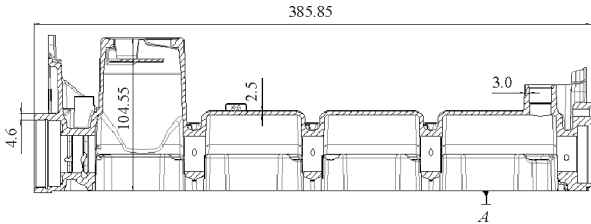


图 1 薄壁壳体  
Fig.1 Thin-wall shell

广泛应用<sup>[3,4]</sup>,其化学成分见表 1。

表 1 A380 合金的化学成分

| Tab.1 Chemical compositions of A380 alloy |      |      |      |      |      |      |      |      |      | %  |
|-------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| w <sub>B</sub>                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| Si                                        | Fe   | Cu   | Mn   | Mg   | Zn   | Ti   | Ni   | Pb   | Sn   | Al |
| 9.30                                      | 0.70 | 3.10 | 0.30 | 0.40 | 0.90 | 0.20 | 0.55 | 0.20 | 0.25 | 余量 |

为了快速获得稳定可靠的薄壁铝合金壳体制造工艺流程,通常通过试验获得准确、可靠的工艺数据,以得到理想的合格零件,随后再将工艺数据制订成工艺卡片,从而实现零件的批量化生产。

因此,为了获得高品质的 A380 合金薄壁壳体,采

收稿日期:2021-09-20;修改稿收到日期:2021-11-12

第一作者简介:吴玲,女,1969 年出生,实验师,河北秦皇岛(066004),E-mail:wlqingming@163.com

引用格式:吴玲,于树洪,赵磊,等. A380 合金薄壁壳体压铸工艺研究[J]. 特种铸造及有色合金,2022,42(5):655-657.

WU L, YU S H, ZHAO L, et al. Production of thin-wall shell of die casting A380 alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2022, 42 (5):655-657.

用压力铸造生产工艺,通过对多个关键工艺参数进行正交试验,分析关键工艺参数对薄壁壳体品质的影响。

2 压铸 A380 合金薄壁壳体工艺过程

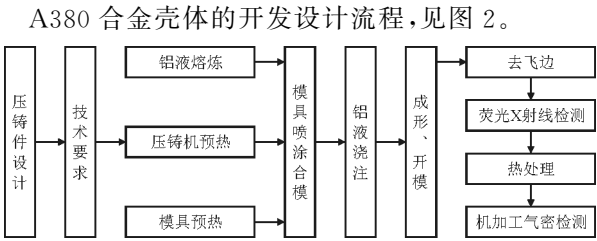


图 2 壳体设计流程  
Fig.2 Design process of alloy shell

为了得到合格的薄壁壳体零件,要对壳体毛坯进行去飞边、X 射线检测、紫外线荧光检测。其中, X 射线检测是为了检查零部件内部缩松、缩孔等缺陷<sup>[5]</sup>;紫外线荧光检测,是检查壳体表面的微小铸造裂纹;由于壳体属于功能性装配件,还有气密性检测要求,所以需要 对壳体进行泄漏检测,以保证壳体工作时,流通的高温 气体不泄露。根据薄壁壳体的投影面积,选择合模力为 3 500 kN 的冷室压铸机。

影响薄壁壳体品质的关键参数有速度、压力及时间。慢速压射速度,由  $t_0-t_1$  和  $t_1-t_2$  两段组成,用  $v_{01}$  及  $v_{12}$  表示;高速转换点  $t_2$  为开始位置(压铸最重要的参 数),高速压射区间为  $L_2(t_2-t_3)$ 。其中,  $t_0$  为充型开 始时间;  $t_1$  为慢速压射开始时间;  $t_2$  为高速转换点时间;  $t_3$  为高速转换点结束时间;  $v_{充}$  为填充速度;  $p_{比}$  为增压 比压。  $t_{充}$ 、 $t_{增}$  和  $t_{留}$  为填充时间、增压时间和留模时 间<sup>[5,6]</sup>。

实际使用的压铸主要工艺参数见表 2。

表 2 压铸 A380 合金薄壁壳体件的工艺参数

| Tab.2 Parameters of A380 alloy thin-walled shell |                                   |                 |                                  |               |               |               |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| $v_{01}/$<br>( $m \cdot s^{-1}$ )                | $v_{12}/$<br>( $m \cdot s^{-1}$ ) | $p_{比}/$<br>MPa | $v_{充}/$<br>( $m \cdot s^{-1}$ ) | $t_{充}/$<br>s | $t_{增}/$<br>s | $t_{留}/$<br>s |
| 0.1~0.3                                          | 0.2~0.8                           | 40~100          | 30~60                            | 0.01~0.16     | 1~8           | 7~30          |

3 薄壁壳体正交试验设计

针对速度、比压、时间等关键参数,采用正交试验, 以获得优化的工艺参数。采取 7 因素 3 水平  $L_{27}(3^7)$ , 正交表见表 3。正交试验表见表 4。

表 3 正交试验因素水平表

| Tab.3    Orthogonal test factors and levels |                                                 |                                                 |                        |                                                       |                      |                      |                      |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 水平                                          | $v_{01}/$<br>( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | $v_{12}/$<br>( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | $p_{\text{比}}/$<br>MPa | $v_{\text{充}}/$<br>( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | $t_{\text{充}}/$<br>s | $t_{\text{增}}/$<br>s | $t_{\text{留}}/$<br>s |
| 1                                           | 0.1                                             | 0.3                                             | 50                     | 40                                                    | 0.55                 | 3                    | 10                   |
| 2                                           | 0.2                                             | 0.5                                             | 60                     | 50                                                    | 0.70                 | 5                    | 12                   |
| 3                                           | 0.3                                             | 0.8                                             | 70                     | 60                                                    | 1.00                 | 8                    | 15                   |

表 4  $L_{27}(3^7)$  正交试验表

Tab.4  $L_{27}(3^7)$  orthogonal list

| 编号 | $v_{01}/$<br>( $m \cdot s^{-1}$ ) | $v_{12}/$<br>( $m \cdot s^{-1}$ ) | $p_{比}/$<br>MPa | $v_{充}/$<br>( $m \cdot s^{-1}$ ) | $t_{充}/$<br>s | $t_{增}/$<br>s | $t_{留}/$<br>s |
|----|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1  | 0.1                               | 0.3                               | 50              | 40                               | 0.55          | 3             | 10            |
| 2  | 0.1                               | 0.3                               | 50              | 40                               | 0.70          | 5             | 12            |
| 3  | 0.1                               | 0.3                               | 50              | 40                               | 1.00          | 8             | 15            |
| 4  | 0.1                               | 0.5                               | 60              | 50                               | 0.55          | 3             | 10            |
| 5  | 0.1                               | 0.5                               | 60              | 50                               | 0.70          | 5             | 12            |
| 6  | 0.1                               | 0.5                               | 60              | 50                               | 1.00          | 8             | 15            |
| 7  | 0.1                               | 0.8                               | 70              | 60                               | 0.55          | 3             | 10            |
| 8  | 0.1                               | 0.8                               | 70              | 60                               | 0.70          | 5             | 12            |
| 9  | 0.1                               | 0.8                               | 70              | 60                               | 1.00          | 8             | 15            |
| 10 | 0.2                               | 0.3                               | 60              | 60                               | 0.55          | 5             | 15            |
| 11 | 0.2                               | 0.3                               | 60              | 60                               | 0.70          | 8             | 10            |
| 12 | 0.2                               | 0.3                               | 60              | 60                               | 1.00          | 3             | 12            |
| 13 | 0.2                               | 0.5                               | 70              | 40                               | 0.55          | 5             | 15            |
| 14 | 0.2                               | 0.5                               | 70              | 40                               | 0.70          | 8             | 10            |
| 15 | 0.2                               | 0.5                               | 70              | 40                               | 1.00          | 3             | 12            |
| 16 | 0.2                               | 0.8                               | 50              | 50                               | 0.55          | 5             | 15            |
| 17 | 0.2                               | 0.8                               | 50              | 50                               | 0.70          | 8             | 10            |
| 18 | 0.2                               | 0.8                               | 50              | 50                               | 1.00          | 3             | 12            |
| 19 | 0.3                               | 0.3                               | 70              | 50                               | 0.55          | 8             | 12            |
| 20 | 0.3                               | 0.3                               | 70              | 50                               | 0.70          | 3             | 15            |
| 21 | 0.3                               | 0.3                               | 70              | 50                               | 1.00          | 5             | 10            |
| 22 | 0.3                               | 0.5                               | 50              | 60                               | 0.55          | 8             | 12            |
| 23 | 0.3                               | 0.5                               | 50              | 60                               | 0.70          | 3             | 15            |
| 24 | 0.3                               | 0.5                               | 50              | 60                               | 1.00          | 5             | 10            |
| 25 | 0.3                               | 0.8                               | 60              | 40                               | 0.55          | 8             | 12            |
| 26 | 0.3                               | 0.8                               | 60              | 40                               | 0.70          | 3             | 15            |
| 27 | 0.3                               | 0.8                               | 60              | 40                               | 1.00          | 5             | 10            |

4 试验结果与分析

为了获得准确可靠的数据,按照试验工艺,每一组 压铸 10 件薄壁壳体,通过田口 DOE 计算<sup>[7,8]</sup>,获得压 铸 A380 合金壳体的最优工艺参数。

优化目标是表面品质、内部缺陷及气密性。试验及 检测结果见表 5。将所有数据,输入到 Minitab 软件的 设计表中,通过软件自动获得各个影响因素对结果的均 值曲线,并根据均值曲线进行分析,以获得最优参 数<sup>[9~11]</sup>。根据表 5,通过正交计算,可以得出试验均值 响应表和信噪比响应表,见表 6 和表 7。

可以看出,  $p_{比}$  与试验均值呈正相关且为线性关系, 即随着  $p_{比}$  的增加,试验均值也显著增加。这是因为高 的  $p_{比}$  能推动金属液充满型腔,同时高的比压会使金属 的内部组织更为细密,从而使铸件的品质显著提高;但 是  $p_{比}$  太大会出现跑铝、损坏模具、压铸机的现象,所以 实际生产中,  $p_{比}$  尽量选取中间值。另外,  $v_{01}$  对试验均 值的响应曲线变化较大,当  $v_{01}$  从低到高时,会得到外形 轮廓清晰度好的铸件,同时铸件表面品质高;但是, 过高的  $v_{01}$  会使铝液在压室出现卷积现象,造成铸件表

表 5 正交试验结果

Tab.5 The results of orthogonal experiment

| 编号 | 表面无裂纹/个 | 内部无缺陷/个 | 气密成品/个 |
|----|---------|---------|--------|
| 1  | 6       | 5       | 5      |
| 2  | 6       | 5       | 4      |
| 3  | 5       | 5       | 5      |
| 4  | 6       | 5       | 5      |
| 5  | 7       | 6       | 5      |
| 6  | 5       | 5       | 5      |
| 7  | 7       | 6       | 6      |
| 8  | 7       | 6       | 6      |
| 9  | 6       | 5       | 5      |
| 10 | 9       | 8       | 8      |
| 11 | 5       | 5       | 5      |
| 12 | 9       | 8       | 8      |
| 13 | 9       | 9       | 9      |
| 14 | 7       | 7       | 7      |
| 15 | 9       | 8       | 8      |
| 16 | 7       | 6       | 6      |
| 17 | 6       | 5       | 5      |
| 18 | 7       | 6       | 6      |
| 19 | 7       | 6       | 5      |
| 20 | 8       | 7       | 7      |
| 21 | 8       | 7       | 7      |
| 22 | 6       | 5       | 5      |
| 23 | 7       | 6       | 6      |
| 24 | 7       | 7       | 7      |
| 25 | 6       | 5       | 5      |
| 26 | 8       | 7       | 7      |
| 27 | 9       | 8       | 8      |

表 6 均值响应

Tab.6 The response data of the mean value

| 水平 | $v_{01}$ | $v_{12}$ | $p_{比}$ | $v_{充}$ | $t_{充}$ | $t_{增}$ | $t_{留}$ |
|----|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | 14.12    | 15.32    | 14.62   | 15.89   | 15.35   | 16.06   | 15.58   |
| 2  | 16.58    | 15.83    | 15.66   | 14.98   | 15.09   | 16.24   | 15.02   |
| 3  | 15.91    | 15.46    | 16.33   | 15.74   | 16.17   | 14.30   | 16.00   |
| 极差 | 2.47     | 0.50     | 1.71    | 0.91    | 1.08    | 1.94    | 0.98    |

表 7 信噪比响应

Tab.7 The response data of the signal-to-noise ratio

| 水平 | $v_{01}$ | $v_{12}$ | $p_{比}$ | $v_{充}$ | $t_{充}$ | $t_{增}$ | $t_{留}$ |
|----|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | 5.111    | 6.000    | 5.444   | 6.444   | 6.000   | 6.444   | 6.111   |
| 2  | 6.889    | 6.333    | 6.222   | 5.667   | 5.778   | 6.667   | 5.778   |
| 3  | 6.333    | 6.000    | 6.667   | 6.222   | 6.556   | 5.222   | 6.444   |
| 极差 | 1.778    | 0.333    | 1.222   | 0.778   | 0.778   | 1.444   | 0.667   |

面出现叠皮。当  $t_{增}$  时间长时,铝液已经凝固,对于薄壁壳体,会造成壳体表面裂纹。因此,薄壁壳体的  $t_{增}$  要做到薄、厚兼顾。时间太短,厚壁处因补缩不足,会出现缩孔、缩松等缺陷;时间过长,会造成薄壁表面开裂。所以,对于体积大、形状复杂的薄壁壳体铸件,  $t_{增}$  要选择适中。而  $v_{12}$ 、 $v_{充}$ 、 $t_{充}$  和  $t_{留}$  基本是围绕着试验均值的中线波动,因此可以认为这 4 个因素对试验均值响应影响较小。

通过极差分析可以看出,最主要的因素是  $v_{01}$ ,水平

2 的工艺参数对信噪比的响应最敏感;其次是  $t_{增}$ ,水平 2 的工艺参数对信噪比的响应最敏感;然后是  $p_{比}$ ,水平 3 的工艺参数对信噪比的响应最敏感,但是,根据经验,过高的  $p_{比}$  会对模具及设备造成破坏性影响,因此,推荐  $p_{比}$  的工艺参数也选择水平 2。按照这个方法,针对这 3 种参数的响应因素,选择水平 2 会得到较好的望大特性。

5 结 论

采用压力铸造生产 A380 合金薄壁壳体零件,用正交试验算法,给出了优化的工艺参数:充型速度为 0.2 m/s,增压时间为 5 s,压射比压为 60 MPa,得到了合格的零件。

参 考 文 献

[1] 李美兰. 复杂薄壁铝合金铸件差压铸造工艺设计[J]. 热加工工艺, 2007, 36(21): 56-58.

[2] 孙昌建,舒大禹,王元庆,等. 大型复杂薄壁铝合金铸件真空增压铸造特性研究[J]. 铸造, 2008, 57(5): 442-445.

[3] 董乐,刘鹏,盛捷,等. 小批量多品种气缸盖试制方法[J]. 汽车工艺师, 2020(12): 49-5.

[4] 金柱,陈娟. A380 铝合金齿轮室压铸件开裂机制分析及改善[J]. 铸造工程, 2021, 45(3): 1-5.

[5] 郑卫东,潘俊杰,黄永庆,等. 精密铸造复杂薄壁铝合金支架[J]. 特种铸造及有色合金, 2017, 37(5): 512-514.

[6] 王尚林. 卧式冷室压铸机用壳体压铸模设计[J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40(1): 50-52.

[7] 杨世全,拜云山,郭锋,等. 基于正交试验方法的杆式射流成型和侵蚀性能影响因素敏感性分析[J]. 振动与冲击, 2021, 40(11): 240-247.

[8] 孔建涛,庄英萍,郭美锦,等. 基于 DOE 设计和氨基酸补加策略提高 CHO 细胞表达抗 CD20 单克隆抗体[J]. 中国生物工程, 2020, 40(12): 41-48.

[9] 谭瑶,何军,丁亚红,等. 2024-T3 铝合金板材表面缺陷的成因分析及解决措施[J]. 轻合金加工技术, 2020, 48(10): 25-30.

[10] 吕金旗. 低压铸造轮毂缺陷 X 射线检测系统的原理及应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2013, 33(2): 155-156.

[11] 吕金旗,杜一武. 车用铝合金零部件气密性检测方法及泄漏率计算[J]. 上海计量测试, 2016, 43(3): 34-36.

(编辑:张正贺)

欢迎使用在线稿件处理系统

投稿、查稿、审稿

敬请登录 [www.special-cast.com](http://www.special-cast.com)