

复杂薄壁铝合金精铸件浇铸工艺研究

Research for Foundry Process of Complicate Thin-Wall Aluminum Alloy Castings

洪润洲 (北京航空材料研究院, 北京 100095)

HONG Run-zhou (Institute of Aeronautical materials, Beijing 100095, China)

摘要: 以某一复杂、薄壁零件为对象, 根据铸造过程数值模拟的结果, 优化工艺参数和浇注方案, 采用真空吸铸、加压凝固技术, 研制出形状完整、冶金质量符合要求的铸件。

关键词: 铝合金铸件; 精密铸造; 真空吸铸; 加压凝固; 数值模拟

中图分类号: TG244+.3; TG244+.4; TG249+.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381 (2000) 08-0047-02

Abstract: This paper studied a complicate, thin-wall aluminium alloy casting, according to the solution of the numerical simulation of foundry process, the best parameter and process of pouring had been studied out. With the technique of vacuum suction and solidification under pressure, the casting was shaped with high metallurgical quality conforming to the standards demand.

Key words: aluminium alloy castings; precision casting; vacuum suction and solidification under pressure; numerical simulation

复杂薄壁铝合金精铸件由于重量轻、尺寸精密、可靠性高, 在航空、航天中的应用越来越广泛, 而其铸造成形问题是研制该类铸件的关键技术之一^[1]。某 ZL101A 合金的铸件, 具有大型复杂薄壁件的典型特征: 外廓尺寸为 $\phi 300\text{mm} \times 300\text{mm}$, 内外三层结构, 集近乎封闭的大尺寸型腔和具有复杂空间结构、变截面的细长管路于一体, 两端壁厚为 25mm, 其余部分平均壁厚为 3mm。如图 1 所示。由于铸件壁薄, 金属液

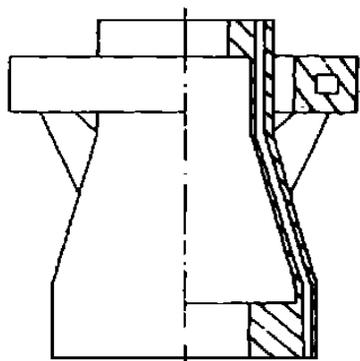


图 1 铸件的结构示意图

Fig 1 Sketch of the casting

的热含量少; 尺寸大、结构复杂, 导致金属液的流程变长, 热损失大, 金属液在充型过程中很容易凝固, 所以普通的重力浇注的方法难以获得形状完整的铸件, 只有采用反重力充填技术才可使之成形。反重力充填可以提高金属液的充型能力, 增强金属液对铸件的补缩效果, 获得平稳的液流^[2]。这种技术包括差压铸造、

真空吸铸、低压铸造等。

由于铸件的复杂性, 采用常规的串行方式来摸索其工艺方案势必导致研制周期长、消耗大^[3]。运用比较成熟的铸造过程模拟软件对不同的浇注方案进行模拟, 根据模拟结果比较优化, 选择合理的浇注方案进行成形工艺研究。本研究模拟所用的软件为 Pro-CAST。

1 研究方案

本拟采用真空吸铸, 加压凝固技术, 选择两种不同的浇注方案, 即金属液从顶端引入和从底端引入。

根据模拟结果, 选择一种较好的方案, 并采取相应措施, 以寻求获得形状完整, 冶金质量合格的浇注成形工艺及参数。

2 数值模拟的结果

由于该铸件尺寸大、壁薄、结构复杂, 且采用真空吸铸、加压凝固技术, 所以模拟所需的边界条件和初始条件的获得以及模型的前处理都具有较大的难度; 另外, 金属液的充型和凝固过程变得复杂, 充型过程不是单纯地考虑流动, 而是流动和凝固的耦合^[4]。根据模拟的结果, 两种浇注工艺到凝固终了时在铸件顶端和底端的厚大部位以及内腔的凸台处均产生比较严重的缩松, 金属液从底端引入的浇注方式在四周的叶片根部也产生缩松, 而这种缩松难以采取

工艺措施予以解决。比较而言,金属液从顶端引入的浇注方案比较合理。

3 成形工艺研究

选择金属液从顶端引入的浇注方案和真空吸铸、加压凝固技术。真空吸铸、加压凝固技术具有以下优点:

(1) 金属液的充型阻力小; (2) 金属液的充型能力明显提高; (3) 金属液的补缩能力增强; (4) 可以获得平稳的充填效果。

根据模拟的结果,为增强冷却作用,将形成内腔的砂芯改为激冷砂吹制;浇注系统中,处于内圈的为四个内浇口,外圈是八个内浇口,金属液的浇注温度为 $700 \sim 710$,成形后内腔凸台处的缩松消失,而铸件底端厚大部位处仍有较严重的缩松,且形成细长管路型芯受到冲蚀。

铸件底端的缩松是由于此处远离内浇口,且和其相连的部分壁薄,造成金属液的补缩困难所致;由于从内圈浇口进入型腔的金属量较大,而且形成细长管路的型芯一端刚好处于内浇口附近,不断受到热冲击和剧烈的机械冲刷,导致型芯被冲蚀。和模拟的结果相比,铸件的顶端并未产生缩松,这是由于顶端处于内浇口的最近处,得到金属液有力的补缩的结果。

为解决以上问题,采取以下工艺措施:

(1) 在铸件底端放置两个随形冒口,以增强凝固时的补缩;四周放置两个半圆形冷铁。

(2) 将内圈的内浇口减少为三个截面积较小的半圆形的内浇口,并和细长管路的端头错开。

其它工艺参数不变。通过以上改进,获得了形状完整,冶金质量符合要求的铸件。

4 分析和讨论

4.1 真空吸铸、加压凝固技术

真空吸铸过程中,金属液在充型前已具有一定的真空度,铸型中受热气体的反压大大降低,金属液的充型阻力减小;通常浇注时的真空度为 $-0.002 \sim -0.004$ MPa,相当于一重力浇注时 $0.74 \sim 1.58$ m高的铝液压力头,这是一般重力浇注所难以达到的;另外,真空吸铸时有利于铸型中气体的排除,抑制紊流及卷气的产生,这几方面因素使金属液的充型能力明显提高。正因为如此,真空吸铸时,金属液的浇注温度可以比重力浇注时低 $20 \sim 30$ 。

金属液在充型完毕后即进入补缩状态,补缩时的压力一般为 $0.5 \text{ atm} \sim 2 \text{ atm}$,根据缩松形成的新山判据为^[5]:

$$\frac{G_{sc}}{R_{sc}} < K_c \quad (1)$$

其中, G_{sc} 为对应于临界固相率的温度梯度;

R_{sc} 为对应于临界固相率的冷却速度;

K_c 为缩松判据临界值。

$$\frac{G_{sc}}{R_{sc}} \frac{P_{sc}}{K_c} < K_c \quad (2)$$

考虑压力时的判据为^[6]:

其中, P_{sc} 为对应于临界固相率的压力;显而易见,对于相同的合金,在压力下金属液的补缩能力显著提高。

真空吸铸时,金属液的充型可以近似为射流过程^[7],此时金属液的充填状态取决于射流的宽度,射流宽度和金属液的粘度、金属液进入型腔的速度、内浇口的尺寸和分布、型腔的尺寸有关,在内浇口的尺寸和分布及型腔的尺寸确定后主要取决于金属液进入型腔的速度 v ,

$$v = K d P / dt \quad (3)$$

其中, K 是和升液管及坩埚截面积有关的常数;

dP/dt 为真空度的变化率;

所以,通过选择合适的真空度变化率,来控制金属液进入型腔的速度,就可以获得平稳的充填效果。

4.2 内浇口、冒口和冷铁的设置

真空吸铸、加压凝固技术中,通过内浇口对铸件的补缩是凝固补缩的重要方式。多数情况下,适当增加内浇口的数量和大小对形成致密组织有利,但局部内浇口数量和大小偏大会使流经此处的金属液过多,导致铸型和型芯等过热,使型芯受到损害,而且在补缩无力时会产生非热节缩松。

对壁厚悬殊的复杂铸件,远离内浇口的厚大部位难以受到压力的补缩,适当安置冒口和冷铁是在此处获得致密组织的重要手段之一。真空吸铸时,远离内浇口处的温度一般较低,但由于比较厚大,金属液的热含量高,不会在短时间内凝固。在大小适当的冒口中,由于自然对流的作用,会形成对补缩有利的温度分布,配合冷铁的使用,可以消除此处的缩松等缺陷。

5 结论

(1) 铸造过程的数值模拟结果对实际成形工艺的制订具有一定的指导作用;

(2) 真空吸铸、加压凝固技术是形成复杂、薄壁铝合金铸件的有效方式之一;

(3) 合理的内浇口大小及分布对金属液的充型状态及铸件的温度分布具有重要影响;

表3 热震试验结果

Table 3 Thermal shock experiment result

样品	初始质量/g	试验后质量/g	增重率/%	试验时间
涂 B _h 2 涂层样 1 [#]	0.9153	0.9260	1.20	50+ 5+ 3
涂 B _h 2 涂层样 2 [#]	0.9062	0.9197	1.49	50+ 5+ 3
涂 B _h 2 涂层样 3 [#]	0.8849	0.8941	1.03	50+ 5+ 3
无涂层样	0.8682	0.1535	- 82.32	50+ 5+ 3

表4 恒温氧化结果 (900 氧化)

Table 4 The result of constant temperature oxidation (900)

样品	初始质量/g	试验后质量/g	增重率/%	氧化时间/h
涂 B _h 2 涂层样 1 [#]	0.8925	0.9040	1.29	3
涂 B _h 2 涂层样 2 [#]	0.8918	0.9026	1.21	3
涂 B _h 2 涂层样 3 [#] 并浸入人造海水 10min 取出	0.9189	0.9380	1.98	2
涂 B _h 2 涂层样 4 [#] 并浸入人造海水 10min 取出	0.9354	0.9558	2.20	2
无涂层样	0.8694	0	- 100	3

带 B_h2 号涂层的试样在氧化时, 涂层中的某些成分与氧作用, 形成自愈合性能良好的 B₂O₃ 等高温软化成分, 因而带涂层的试样氧化时表现出增重, 待这些软化物质形成后, 涂层组分和结构稳定。通过观察, 发现这种涂层致密性良好, 涂层不仅与 C/C 复合材料结合性良好, 而且涂层与基体成互相交错的形式, 亦即部分涂层还能渗入 C/C 复合材料孔隙之中, 有效隔绝了 C/C 复合材料表面与氧的接触。由于 B_h2 号涂层具有自愈合裂纹、致密、稳定与基体结合牢固等特点, 使得它具有良好的抗氧化效果。

3 结论

(1) 快速化学气相沉积 C/C 复合材料氧化起始点高达 672 , 抗氧化性能好。

(2) 这种材料线性氧化阶段 Arrhenius 曲线由折点为 700 的两条直线组成, 对应的氧化表观活化能分别为 80, 121kJ/mol。

(3) 氧化从材料原有孔隙处开始, 伴随着碳纤维与基体碳同时氧化。

(4) 为这种材料研制出了一种涂刷工艺简单、成本低廉的氧化防护涂层, 经检验防护效果良好。由于涂层氧化后成分、结构稳定, 与基体结合牢固以及自

愈合性能良好, 因而其氧化防护性能好。

参考文献

- [1] Quangui Guo, Jinren Song. Fractors influencng oxidation resistance of BaC/C composites with self-healing properties [J]. Carbon, 1998, 36 (11): 1597 ~ 1601
- [2] Savage G. Carbon-carbon composites [M]. London: Chapman & Hall, 1993, 193 ~ 225
- [3] 过梅丽, 刘士昕, 孙宏荣. 碳/碳复合材料抗氧化涂层的研究 [C]. 中国航空科技文献, HJL930107, 1 ~ 4
- [4] 罗瑞盈. 碳/碳复合材料快速 CVD 工艺、结构、性能及应用研究 [D]. 西北工业大学博士论文, 1995, 68 ~ 82
- [5] 朱小旗. 抗氧化 C/C 复合材料制备、性能及其机理研究 [D]. 西北工业大学博士论文, 1995, 33 ~ 42

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (59682007)

收稿日期: 2000-03-28

作者简介: 罗瑞盈 (1963-), 男, 副教授, 博士, 长期从事航空发动机用 C/C 复合材料及民航飞机碳刹车盘制备、再生修复、氧化防护等新技术研究工作。联系地址: 北京航空航天大学理学院材料研究中心 (100083)。

本文编辑: 解 宏

* * * * *

(上接第 48 页)

(4) 在局部厚大部位设置冒口和冷铁是在此处获得致密组织的重要手段。

参考文献

- [1] 叶荣茂. 有色合金薄壁精密铸造工艺的发展和特点 [J]. 特种铸造及有色合金, 1995 (2): 33 ~ 34
- [2] 曾建民, 周尧和. 薄壁铸件及其反重力成形技术. 航空精密制造技术 [J]. 1999 (3): 17 ~ 19
- [3] 王贵, 郭必超. 在并行工程环境下开发复杂铸件 [J]. 特种铸造及有色合金, 1999 (4): 47 ~ 51
- [4] Z. A. Xu, F. M. ampae. Experimental and Simulation Study on Modle Filling Coupled Heat Transfer [J]. AFS Transaction, 1994: 181 ~ 185
- [5] 张毅. 铸造工艺 CAD 及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1994
- [6] 闻星火, 何丙军, 董本行, 柳百成. 压力条件下缩松判据的研究 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 1999 (8): 54 ~ 56
- [7] 吕衣礼, 张启勋, 周尧和. 薄壁件反重力铸造中流体充填形态 [J]. 特种铸造及有色合金, 1994 (4): 1 ~ 4

收稿日期: 2000-05-08

作者简介: 洪润洲 (1972-), 男, 在职硕士研究生, 助理工程师, 主要从事铝合金精密铸造工艺及铸造铝合金的研究。联系地址: 北京 81 信箱 2 分箱 (100095)

本文编辑: 解 宏