

ZL114A 尾减机匣铸件铸造工艺研究

李华文¹, 岳野², 阮明², 辛仕伟², 李笑², 车昶³, 李雪辰⁴

(1. 中国航发中传机械有限公司, 湖南长沙 410200; 2. 高端装备轻合金铸造技术国家重点实验室, 辽宁沈阳 110022; 3. 空军装备部驻沈阳地区军事代表局驻辽阳地区军事代表室, 辽宁辽阳 111000; 4. 陆军装备部驻沈阳地区第三军代室, 辽宁沈阳 110022)

摘要: 尾减机匣是直升机尾减速器上的关键部件, 铸件材质为ZL114A合金。根据尾减机匣的结构特点, 对其进行铸造工艺设计并基于ProCAST数值模拟软件进行工艺优化。结果表明, 在铸件的关键区域放置冒口、浇道并配合冷铁设计, 能较好保证铸件厚大凸台补缩, 生产出具有较好内部铸造质量的合格尾减机匣铸件。

关键词: 尾减机匣; 铸造工艺; ZL114A; 低压铸造; 数值模拟

直升机尾减速器用传统铝合金机匣铸件普遍具有优质、薄壁(大部分铸件壁厚5~7 mm)、复杂(多曲面、多凸台、多封闭腔)、精密(铸件尺寸精度达到CT7-CT8级)等特点。采用传统重力铸造已经难以满足铸件设计指标要求。近年来, 低压铸造工艺在此类高端铝合金铸件成形方面表现出的作用越发突出^[1-2]。尾减机匣铸件是我国某型号直升机尾减速器的关键配套铸件, 本文以其为研究对象, 综合考虑合金特性和铸件的结构特点、服役要求, 进行铸造工艺开发, 可为其他航空发动机机匣类铸件的铸造工艺开发提供参考。

1 铸件结构特点及要求

尾减机匣铸件外轮廓尺寸为482 mm×446 mm×434 mm, 主体壁厚7.0 mm。其内部冶金质量要求达到HB5480 I类铸件要求, 超过铸件总面积70%的部位均为关键区域, 且不允许进行缺陷焊补修复。铸件存在较多厚大凸台及壁厚突变部位, 通常的补缩措施很难奏效, 容易产生缩孔、缩松缺陷^[3-4]。另外, 铸件内部有1条封闭油道管路, 当成形该管路的砂芯被铝合金熔体完全包裹时, 将产生大量气体, 而这些气体很难顺利排出, 极易导致铸件形成呛火缺陷。该铸件管路需进行0.6 MPa气密性试验, 而铸件内腔还需进行煤油渗漏试验, 当铸件内部存在超标缺陷时, 极易产生漏泵及煤油渗漏问题。

2 铸造工艺方案设计

由于尾减机匣铸件存在多处关键区域(图1), 这些关键区域均不允许焊补, 只要存在超标缺陷, 则铸件直接报废。因此, 首先要保证这些关键区域的内部冶金质量。

对于区域1-3的四个关键承力的“支撑腿”以及筋板, 采用了不同的工艺措施保证其铸造质量。上面的2个“腿”由于其与浇注方向一致, 设置冒口(图2a)可以起到较好的补缩作用, 同时配合筋板部位冷铁的激冷作用, 形成较好的温度梯度, 进一步提高了冒口的补缩作用。对于底下两个厚大的“腿”, 为了保证其内部质量采用了双重冷铁激冷(图2b), 保证其能快速冷却, 实现局部顺序凝固, 并与薄壁区域整体同时凝固。而且, 底部辅以随形浇道, 强制补缩, 保证铸件“腿部”内部铸造质量。另外, 由于圆角根部砂型散热较慢, 容易形成新的热节, 产生缩松缺陷,

作者简介:

李华文(1976-), 男, 硕士研究生, 主要从事航空铝、镁合金机匣铸造及机械加工研究。E-mail: 570585972@qq.com

中图分类号: TG242

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)

08-0976-04

收稿日期:

2021-06-28 收到初稿,

2021-07-13 收到修订稿。

所以在“腿”与筋板根部的圆角部位放置了随形冷铁（图2c），从而保证“腿部”内部组织的致密性。

其余非关键区域的厚大凸台及小法兰，虽然允许焊补，但是其焊补面积及处数均有严格的规定限制。因此，这些区域的内部铸造质量也必须保证。基于此，在铸件中部及厚大部位科学合理设计冷铁以及冒口调温补缩系统，实现“铸件上下/不同位置温度分区”等新思想，使铸件获得合理的温度场，达到“整体同时凝固，分区局部顺序凝固”。具体为以冷铁为分界的上部温度场呈现上高下低的状态，形成了合理的温度梯度，有效提高了反重力铸造顶部补缩能力，成功解决了反重力浇注铸件上部补缩不足的关键问题，极大地提高了铸件上部内部组织的致密度。同时，以冷铁为分界的下部，形成下高上低的温度梯度，仍然可以充分利用反重力铸造原有的下部浇口补缩能力强的特点，保证铸件下部内部组织致密，进一步提高了铸件整体内部质量及其组织致密程度。

3 铸造工艺方案数值模拟

为了验证设计的铸造工艺是否合理，借助ProCAST计算机数值模拟分析技术，对上述设计的浇注及调温系统进行充型及凝固过程模拟^[5]。在进行数值模拟之前需要对铸造模拟参数进行设置。考虑到铸件主体壁厚7.0 mm，铸件表面积11 791 cm²，属于中型铸件，并根据以往制造这种传动类机匣铸件的经验对铸造模拟参数进行设置，具体如表1所示。

图3为数值模拟结果。由充型过程模拟结果可以看出（图3a），合金熔体充型较为平稳，且能完整成形；由凝固过程模拟结果可以看出（图3b），合金熔体的凝固顺序较为合理，实现了合金熔体整体同时凝固，局部分区顺序凝固。

但是，从最终的收缩缺陷结果（图3c）可以看出，铸件在关键区域承力的“腿部”仍存在较严重

的缩松缺陷。而该区域缩松缺陷要求达到I级标准，且不允许焊补。另外，在铸件筋板部位也存在少量的缺陷。由上述结果可知，设计的初始工艺充型过程较平稳且凝固顺序也与设计思路能保持一致，但是内部存在一定的缩松缺陷。因此，该工艺还需要进一步优化。基于上述模拟结果，分析得出在铸件“腿部”产生缩松的原因主要是由于冒口较小，冒口的根部几乎与铸件同时凝固，导致冒口顶部的金属液难以对铸件进行补缩。由此也说明设计的冒口尺寸有点小，冒口凝固速度较快（图4a）。至于筋板部位少量的缩松缺陷，主要是由于筋板两面放置了冷铁，而在筋板的端面却未放置冷铁。导致端面部位凝固较慢，形成孤立的热节，而又没有冒口补缩，最终形成缩松（图4b）。

4 铸造工艺方案优化

基于上述的模拟结果及铸件缺陷产生原因分析，对初步设计的工艺进行了调整，将“腿部”的冒口尺

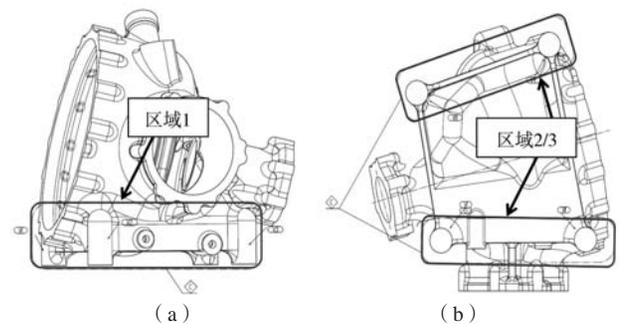
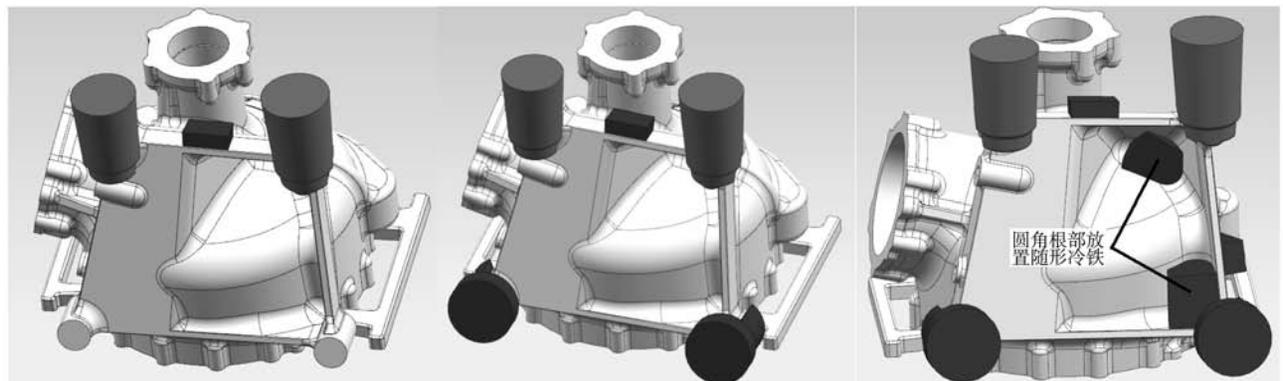


图1 尾减机匣铸件关键区域示意图

Fig. 1 Schematic diagram of key areas of tail reducer casing

表1 铸造模拟参数
Table 1 Casting simulation parameters

充型速度	结壳增压压力	结壳增压时间	结晶增压压力	结晶增压时间
50 mm/s	1 kPa	25 s	5 kPa	500 s



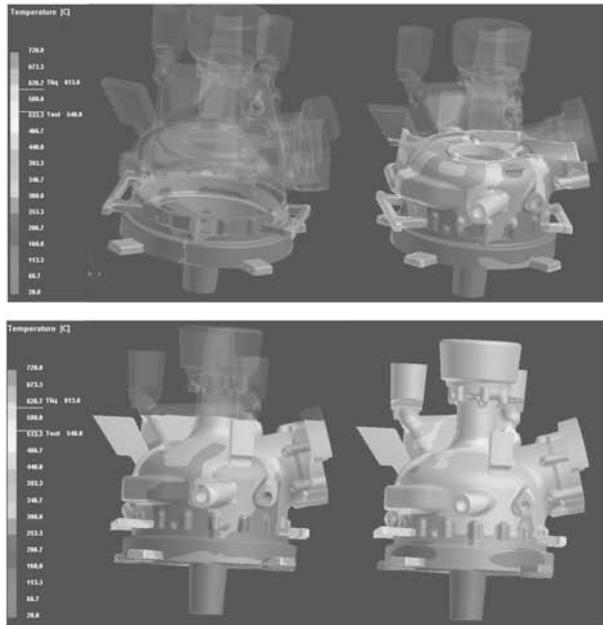
(a) 上面的2个“腿”放置冒口

(b) 下面的2个“腿”放置双重冷铁

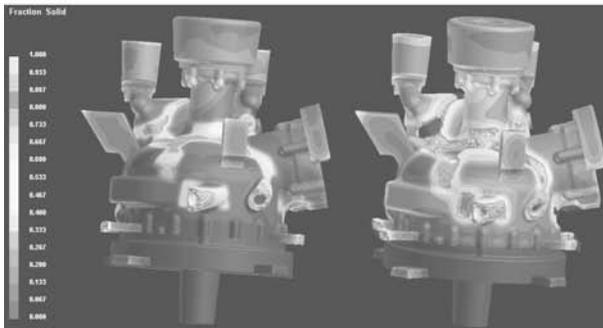
(c) 腿与筋板圆角根部放置随形冷铁

图2 控制关键区域1-3的内部铸造质量所采取的工艺措施示意图

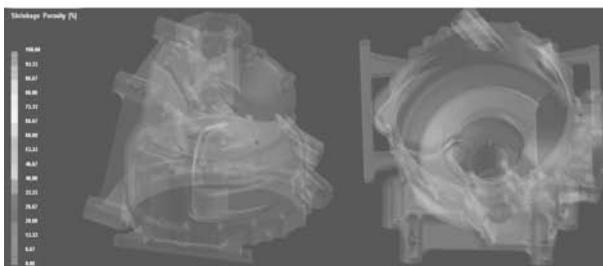
Fig. 2 Schematic diagram of process measures taken to control the internal quality of casting in the key areas



(a) 充型过程模拟



(b) 凝固过程模拟



(c) 收缩缺陷模拟

图3 尾减机匣充型及凝固过程模拟结果

Fig. 3 Simulation results of filling and solidification process of tail reducer casing

寸加大,在筋板的端面放置随形冷铁,加强筋板局部冷却速度,使其能顺序凝固,如图5所示。

基于上述优化改进的工艺,借助ProCAST计算机数值模拟分析技术对优化的工艺进行了模拟。其中铸件充型速度仍然设置为50 mm/s,浇注温度仍然设置为725 ℃。

经过工艺优化后,铸件内部几乎没有缩松缺陷了,说明优化之后的工艺较好,可以初步满足生产需求。

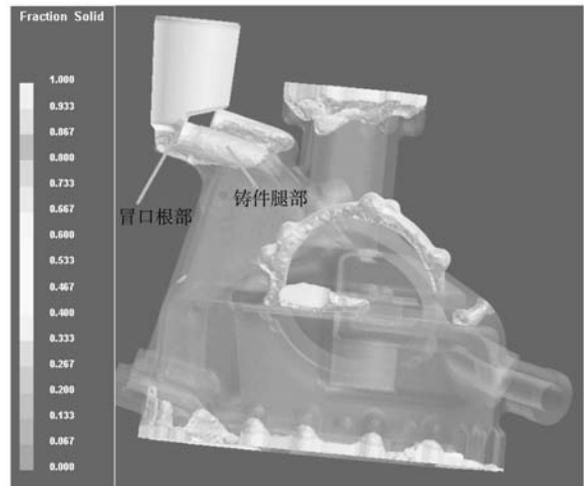
5 铸件研制结果

对优化后铸件进行了全面检测,结果如下。

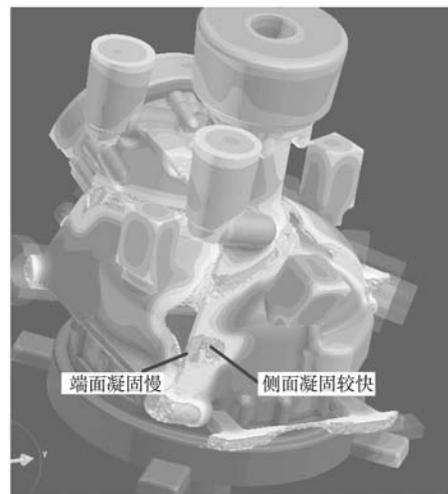
(1) 内部质量。铸件经X光检测,铸件内部无明显疏松缺陷,内部质量达到技术指标要求。

(2) 尺寸控制。采用三维扫描仪对铸件进行尺寸检验,所有尺寸合格,扫描结果如图6所示。

(3) 铸件性能。铸件本体切取试样,获得性能如表2所示,满足技术指标要求。



(a) 铸件腿部凝固顺序



(b) 铸件筋板凝固顺序

图4 铸件凝固顺序示意图

Fig. 4 Schematic diagram of solidification sequence of casting

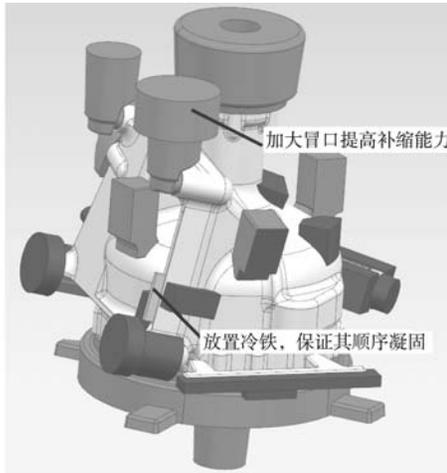


图5 工艺优化示意图

Fig. 5 Process optimization diagram

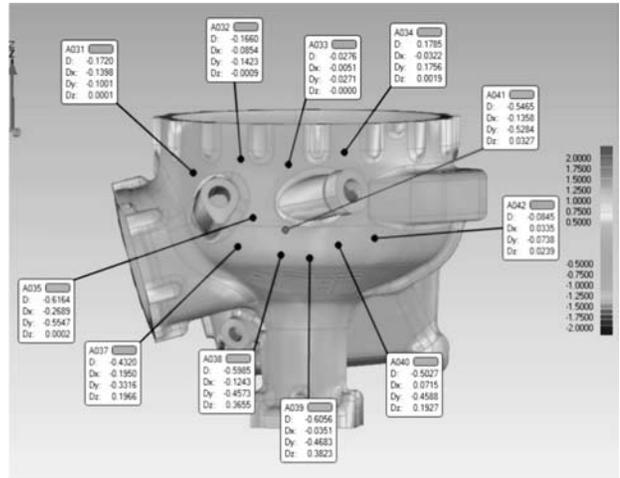


图6 铸件尺寸扫描结果示意图

Fig. 6 Schematic diagram of scanning results of casting size

表2 20根试样平均力学性能
Table 2 Average mechanical properties of 20 samples

	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%
20根试样平均性能	345.4	295.5	7.2
试棒最低性能	340	265	6
技术指标要求	340	265	6

6 结论

针对尾减机匣铸件不同位置设计出一种能较好保证铸件厚大凸台补缩的随形冒口及浇道，并基于ProCAST模拟计算结果，进一步优化铸造工艺方案，最终生产出合格的尾减机匣铸件。

参考文献:

- [1] 唐多光. 21世纪低压铸造技术的展望 [J]. 特种铸造及有色合金, 1998 (4): 28-31.
- [2] 冯志军, 翟虎, 闫卫平, 等. 薄壁铝合金铸件铸造技术的进展 [J]. 航空制造技术, 2009 (21): 32-34.
- [3] 曾建民, 周尧和. 薄壁铸件及其反重力成形技术 [J]. 航空精密制造技术, 1999, 35 (3): 23-24.
- [4] 董秀琦. 低压及差压铸造理论与实践 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [5] 柳百成, 荆涛. 铸造工程的模拟仿真与质量控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

Casting Process Design of ZL114A Tail Reducer Casing

LI Hua-wen¹, YUE Ye², RUAN Ming², XIN Shi-wei², LI Xiao², CHE Chang³, LI Xue-chen⁴

(1. China Aviation Development Zhongchuan Machinery Co., Ltd., Changsha 410200, Hunan, China; 2. State Key Laboratory of Light Alloy Foundry Technology for High-End Equipment, Shenyang 110022, Liaoning, China; 3. Military Representative Office of the Military Representative Office of the Air Force Equipment Department in Shenyang Region in Liaoyang Region, Liaoyang 111000, Liaoning, China; 4. The Third Army Generation Office of the Army Equipment Department in Shenyang, Shenyang 110022, Liaoning, China)

Abstract:

The tail reducer casing is a key component of helicopter tail reducer. Its material is ZL114A alloy. In this work, according to the structural characteristics of the tail reducer casing, the casting process was designed and optimized based on the ProCAST numerical simulation results. The results show that, putting the risers, runners and chills at the key areas of the casing can better ensure the feeding effects of molten metal on the thick and large bosses of the casting, and the qualified tail reducer casings with better internal quality can be produced.

Key words:

tail reducer casing; casting process; ZL114A; low pressure casting; numerical simulation