

# 复杂铝合金结构件复合型整体精密铸造方法研究

## Study of Composite Mould Integral Precision Casting of Aluminium Alloy Complex Structure

周永江, 洪润洲, 姚惟斌, 张喆

(北京航空材料研究院, 北京 100095)

ZHOU Yong-jiang, HONG Run-zhou, YAO Wei-bin, ZHANG Zhe

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

**摘要:** 以某电子舱铸件为例, 阐述了一种复合型芯整体精密铸造方法。铸造时, 壁薄难成形的部位采用熔模壳型, 保证其充型完整; 其他部位采用树脂砂型, 保证其冶金质量和尺寸精度, 从而获得了外形完整、组织致密、尺寸精度高的整体电子舱铸件。

**关键词:** 复合型; 整体精密铸造; 铝合金

**中图分类号:** TG146.2<sup>+</sup>1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-4381(2007)07-0048-03

**Abstract:** Use the illustration of the casting process of electronic cabin, the method of composite mould integral precision casting is studied. In casting process, the thin wall part which is difficult to cast form use the invested mould, so it can be formed integrally; and the other part use the resin sand mould, which guarantees its dimensional accuracy and internal soundness. And then, the electronic cabin with integral external form, compact grain structure and accurate dimension is produced use this method.

**Key words:** composite mould; integral precision casting; aluminium alloy

随着航空航天工业技术的发展, 各种优质、复杂、整体的铝合金精铸件的应用越来越广泛。由于这些铸件结构复杂, 尺寸精度、内部质量和性能要求较高, 铸造工艺难度很大, 主要体现在铸件的成形、内部质量和尺寸精度的控制等方面。<sup>[1]</sup> 对于大型、复杂薄壁的铸件来说, 结构特点之一是结构功能一体化。以前, 这种结构件的制造方法, 是不同功能部分分体铸造, 然后将其焊接或装配到一起。当其要求整体铸造时, 采用树脂砂型铸造可满足铸件尺寸精度和性能的要求, 但是局部细小结构难以整体成形。采用复合型芯精密铸造方法, 即铸造时, 壁薄难成形的部位采用熔模壳型, 保证其充型完整; 其他部位采用树脂砂型, 保证其冶金质量和尺寸精度, 是一种有效、可行的方法<sup>[2]</sup>。某航空用电子舱铸件即是典型例子。

某航空用电子舱是典型的薄壁复杂铸件, 轮廓尺寸为  $\phi 396\text{mm} \times 440\text{mm}$ , 分上、中、下三层, 其结构如图 1 所示。上下两层各有许多复杂的凸台, 壁厚不均, 中间一层两侧各有 26 个薄壁散热片, 散热片壁厚 3mm, 最高处有 66mm, 长 270mm, 如图 2 所示

该电子舱铸件采用 ZL114A 合金, 为 HB 963 II 类铸件, 受力区要求没有疏松、缩孔、气孔等铸造缺陷。

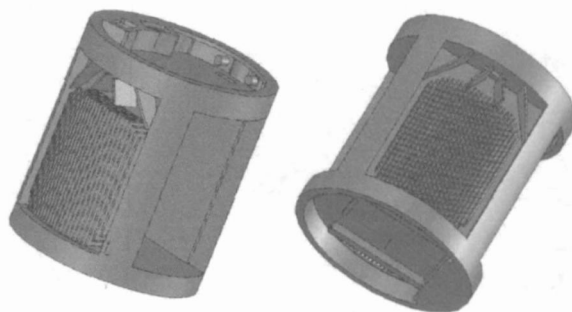


图 1 电子舱的结构模型

Fig. 1 The model of electronic cabin

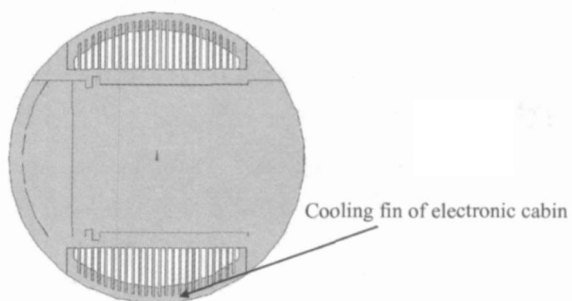


图 2 电子舱散热片

Fig. 2 The cooling fin of electronic cabin

尺寸精度要求达到 CT7 级。

电子舱铸件结构复杂,壁厚不均,冶金质量要求高,铸造难度大,以前,电子舱铸件是分体铸造的,即散热片和非散热部分分开铸造,然后将其装配到一块。本研究根据电子舱铸件的特点,采用了复合型精密铸造的方法,整体铸造了合格的电子舱铸件,保证了铸件的整体成形,散热效果也大大提高。

1 实验方法及过程

针对电子舱铸件的特点,本研究采用复合型整体精密铸造方法来铸造电子舱,即电子舱散热片部分采用熔模壳型、其他部位用树脂砂型的方法来铸造。

1.1 制作铸型

根据电子舱铸件的特点,设计模具,散热片部分采用熔模铸造,其余部分采用树脂砂铸造,要注意树脂砂型部分和熔模型壳部分的装配。采用常规熔模铸造的方法,压制蜡模、涂壳、脱蜡、烧结,形成散热片部分的型腔。采用大林擦洗砂和自硬树脂造型,形成电子舱其他部分的型腔,将其组合。

1.2 合金熔炼

采用 99.96% (质量分数,下同) 的高纯铝锭、Si 含量为 12% 的高纯铝硅中间合金和 99.6% 的镁配置合金,用 AFT-B 中间合金进行晶粒细化处理,采用 C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub> 精炼。

1.3 浇注

采用真空吸铸、加压补缩凝固的浇注方法<sup>[3]</sup> 浇注铸件,真空度 - 0.04 ~ - 0.06MPa,补缩压力为 0.1MPa。

2 实验结果

2.1 浇注系统的设计

本实验设计的浇注系统如图 3 所示。造型、制壳、组合,所得的复合型芯如图 4 所示。

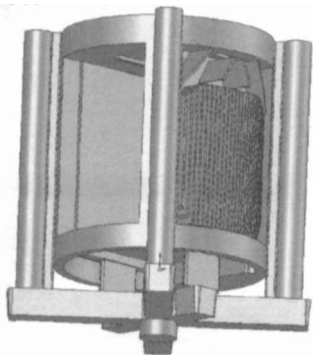


图 3 电子舱铸件浇注系统的设计

Fig.3 The gating system of electronic cabin

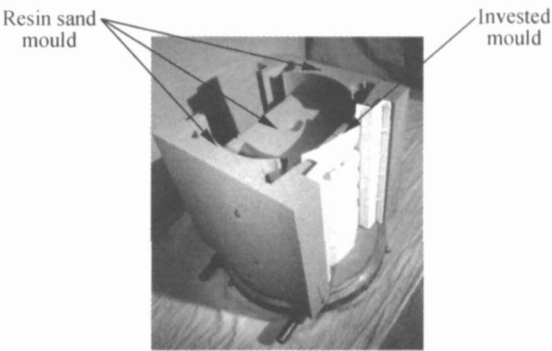


图 4 电子舱铸件树脂砂型与熔模壳型复合

Fig.4 Assemblage of resin sand mould and invested mould of electronic cabin

2.2 浇注时散热片型壳温度的调整

本研究探讨了型壳温度在 200, 300, 350, 400℃ 下电子舱铸件的成形及内部质量情况,当型壳温度为 200, 300℃ 时,散热片缺的较多,且不易补焊打磨;当型壳温度为 350℃ 时,中间较高的散热片有小部分未成形,但缺的较少,可以补焊打磨,铸件经 X 光检验,组织也很致密;当型壳温度为 400℃ 时,散热片成形较好,但 X 光检验时,铸件两端有疏松,难于补救。

2.3 浇注时铝液温度的调整

本研究探讨了 700, 710, 720, 730℃ 的铝液浇注温度下,电子舱铸件的成形及内部质量情况,当铝液温度为 700, 710℃ 时,散热片的成形情况较差,不易补焊打磨;当铝液温度为 720℃ 时,大部分散热片都成形较好,虽然中间较高的散热片有小部分未成形,但缺的较少,可以补焊打磨,且经 X 光检验,铸件组织也很致密;当铝液温度为 730℃ 时,散热片成形较好,但 X 光检验时,铸件两端有疏松,难于补救。从上述情况可知,当浇注时铝液温度为 720℃,散热片成形较好,内部组织致密。

2.4 实验结果

采用如图 3 的浇注系统设计方案,散热片用熔模壳型,壳型预热,其他部位采用树脂砂型腔(型腔温度室温),采用真空吸铸、加压补缩凝固的方法,散热片型壳温度预热至 350℃,铝液浇注温度 720℃,可得到完整铸件,经 X 光和尺寸检验,铸件的内部冶金质量、尺寸都满足要求。研制的铸件照片如图 5 所示。

3 分析讨论

3.1 浇注方案的确定

如图 1 所示,电子舱的铸造难点主要表现在:

(1) 电子舱的结构及尺寸精度要求决定了该铸件不能用熔模铸造,因为采用熔模铸造,蜡模很难制作,

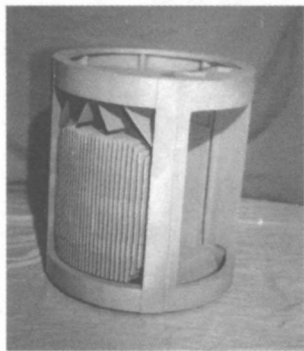


图 5 研制出的电子舱铸件

Fig. 5 The electronic cabin that was produced

即使制成,也会有不同程度的变形,尺寸精度难以保证。

(2) 电子舱散热片壁薄,且面积较大(66mm × 270mm),采用常温铸型很难成形。而普通的湿型砂铸造铸型温度只能是室温;树脂砂砂型烘烤的温度也不能超过 150℃,达不到该散热片成形的要求,而且,该铸件散热片部分采用树脂砂铸造,取模也很困难。

(3) 电子舱两端法兰上都有较厚大的凸台,这和薄的散热片形成矛盾,要散热片成形,需要铸型温度很高,势必导致两端厚大处出现疏松等铸造缺陷。

基于上述考虑,本研究采用复合型精密铸造的方法,散热片壁薄、成形困难,采用熔模壳型,型壳温度可以按要求提高。其他成形比较容易的部位,用树脂砂型,室温浇注,可以充分保证其尺寸精度<sup>[4]</sup>。铸件采用底注式,采用真空吸铸、加压补缩凝固的浇注方法,可提高金属液的充型能力,使金属液平稳的充填型腔,并对铸件厚大部位提供有力的补缩<sup>[3]</sup>。所设计的浇注系统如图 3 所示,铝液由 4 个较大的缝隙浇道引入,从底部再引入两个片状直浇道,对两侧散热片进行液体补充,同时还可对铸件底面较厚大的凸台起补缩作用。另外,通过调节金属液凝固温度场,使铸件凝固过程中厚大部位有足够的金属液补缩,形成组织致密的铸件。

### 3.2 散热片型壳温度的确定

电子舱铸件的成形,其散热片是关键,但由于铸件两端法兰的部分型腔是由熔模型壳形成(对着散热片部分),因此,如果型壳温度过高,则影响铸件两端的冶金质量。因此,需找到一个好的契合点,兼顾散热片的成形和铸件两端的冶金质量。所前所述,当型壳温度很低,比如 200℃时,散热片成形很差,叶片成形高度只有 20~30mm;当型壳温度达到 300℃时,两侧较矮的散热片成形较好,但中间较高的散热片(散热片圆弧状结构见图 2)则成形较差,由于散热片之间距离只有 6mm,叶片成形太矮,不易补焊打磨。当散热片型壳温度达到 350℃时,散热片成型较好,中间缺的只是几

个小角,易于补焊打磨,而且,经 X 光检查,铸件两端没有疏松等铸造缺陷产生。型壳温度提高到 400℃时,散热片的成形较好,但铸件两端法兰型腔由型壳形成的部分,出现疏松,难于补救。因此,散热片型壳温度为 350℃时,可兼顾散热片的成形和铸件两端的内部质量。

### 3.3 浇注时铝液温度的确定

采用如图 3 的浇注方案,型壳温度为 350℃,确定浇注时最佳的铝液浇注温度。当铝液温度为 700℃时,铸件的散热片成形很差,大部分都未成形,只有 10~20mm,当铝液温度为 710℃时,散热片成形有所改善,但几乎每一片都有浇不足的现象,中间较高的散热片缺的比较多,由于散热片间距小,不易补焊打磨。当铝液温度达到 720℃时,散热片成形较好,只是中间较高的散热片有小部分浇不足,可以补焊打磨。当铝液升到 730℃时,虽然散热片成形好,但铸件两端出现大面积疏松。当温度较低时,一方面铝液流动性较差,另一方面,虽然铸件的散热片是壳型,但其横浇道、直浇道都是树脂砂型,型温是室温,铝液流经时也会降低温度,影响散热片的充型,而铝液温度过高时,原浇注方案设计的金属液凝固温度场会被破坏,铸件厚大处容易产生大面积疏松。

## 4 结论

(1) 复合型整体精密铸造方法对于局部壁薄、尺寸较大的复杂铸件,可以使其整体成形,并保证其尺寸精度和内部质量。

(2) 实验证明,采用复合型整体精密铸造方法,真空吸铸、加压补缩凝固的浇注方法,当散热片型壳温度为 350℃,浇注温度为 720℃时,可铸造出外形完整、冶金质量好、尺寸精度高的整体电子舱铸件。

### 参考文献

- [1] 叶荣茂,王惠光,田竞,等. 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] 熊艳才,洪润洲,葛来春,等. 一种大型薄壁复杂铝合金结构件树脂砂复合精密铸造方法[P]. 中国专利: 03105643. 1, 2006
- [3] 熊艳才,葛来春,洪润洲,等. 铝合金结构件真空吸铸加压凝固浇注方法[P]. 中国专利: 03105628. 8, 2005.
- [4] 洪润洲,周永江,姚惟斌,等. 某航空发动机用铝合金壳体树脂砂精铸工艺的研究[J]. 材料工程, 2004, (增刊): 20—22.

收稿日期: 2007-01-19; 修订日期: 2007-03-29

作者简介: 周永江(1974—),男,硕士,工程师,从事铸造铝合金及铝合金精密铸造工艺的研究和开发工作,联系地址:北京市 81 信箱 2 分箱(100095)。