

薄壁铝合金铸件铸造技术的进展

Processes of Thin-Wall Aluminum Alloy Casting

沈阳铸造研究所 冯志军 翟 虎 闫卫平 宋国金 李宇飞



冯志军

沈阳铸造研究所研究员, 铝合金技术产业部主任, 主要从事铝合金材料和铸件成形工艺研究开发及组织领导军品铝合金铸件的生产。

近年来, 国内外航空、航天、汽车、船舶、兵器、电子等行业为追求零部件的结构合理、质量轻量化等, 将原来由几个简单铸件、锻件、机械加工零件组合而成的部件改用一个整体铸件来代替。这些铸件具有如下特点: (1) 复杂。轮廓结构复杂, 存在厚薄断面过渡急剧、凹凸过渡突然等现

象。(2) 薄壁。最小壁厚一般为 2~4mm, 局部甚至 1mm 以下。这些薄壁部位往往是铸件的内腔部分, 由复杂曲面构成, 无法加工成形。(3) 精密。铸件内腔和外形一次成形, 使其接近零件或部件的最终形状, 实现少加工或不加工, 该方法称之为近净形或近无余量铸造技术。

浇注时, 复杂、薄壁、精密整体铝合金铸件壁薄、充型面积大, 由此导致散热面积大、冷却速度快、温度降低显著, 使得液态金属粘度增大、粘滞力和表面张力增加, 充填阻力增大, 这就要求金属液在型腔中的平均充型速度比一般铸件要快。存在的问题是: 金属液的充型速度小会产生浇不足、冷隔等缺陷, 从而无法得到完好的铸件; 而充型速度过大将使充型过程不平稳、紊流加剧, 甚至会产生金属液的飞溅裹气、形成氧化夹杂等缺陷。因此传统重力铸造难

以满足要求, 需采用特种铸造成形工艺。目前复杂、薄壁、精密整体铝合金铸件的铸造成形工艺主要有砂型铸造、石膏型铸造、熔模精密铸造等。

砂型铸造

对于复杂薄壁铝合金铸件, 传统的砂型重力铸造不具备优势, 其不足之处在于: (1) 依赖于重力充型, 充型速度低; (2) 砂型、砂芯尺寸精度低, 组型、组芯过程易导致尺寸超差; (3) 表面粗糙度高。但是砂型铸造也有其他铸造不具备的优点: (1) 砂型透气性好, 铸件气孔、针孔少; (2) 退让性好, 热裂倾向低; (3) 铸件力学性能及内部质量高; (4) 不受铸件尺寸限制, 可生产超大型铸件; (5) 成本极低。

为提高铸件质量、扩大砂型铸件技术使用范围, 近年来研究开发出了一些新的反重力砂型铸造技术, 如差

压铸造和调压铸造。

差压铸造是保加利亚索非亚铸造研究所 1961 年在低压铸造基础上开发的一种铸造工艺,用于制造壁厚差异很大的薄壁零件,其优点为:(1)充型速度可控。差压铸造既可调节铸型与坩埚内的压差值,又能控制铸型内反压力,故能避免重力及低压铸造时液流的冲击和紊流,获得平稳充型状态和最佳充型速度。(2)优质充型金属液。金属液从坩埚中心获得,由升液管输送到铸型,避免外来夹杂物和液面上方气体进入型内,从而保证最优质金属液充型。(3)获得致密的铸件。差压铸造的补缩压力是低压铸造的 4~5 倍,金属液在较大压力作用下结晶和凝固,具有极强的补缩能力,凝固过程中形成的缩孔易被浇注系统、暗冒口内的金属液补缩;同时,可通过调节真空罩阀力增强铸型排气能力,大大减少侵入性、析出性气孔的数量,因此可明显减少大型复杂铸件的缩孔、缩松。(4)加快凝固速度。压力下结晶可减少凝固时间 20%~25%,相应减少凝固期的变质衰退现象,晶粒也有所细化^[1]。

调压铸造是我国曾建民、周尧和在差压铸造基础上开发的一种铸造工艺,主要用于整体薄壁零件。不同的是,调压铸造不仅能实现正压的控制,还能实现负压的控制,对控制系统控制精度的要求更高^[2]。西北工业大学掌握了反重力铸造设备制造的核心技术,差压、调压铸造设备研制、生产方面在国内处于领先地位。

近年来,沈阳铸造研究所原有砂型铸造技术基础上,将差压铸造、调压铸造应用于砂型铸件生产,已建设成国内一流的铝合金砂型差压铸造、调压铸造生产线。此外,西北工业大学、北京航空材料研究院、首都航天机械公司等也开发了相关的技术,用于砂型铝合金超薄壁铸件的研制生产。

石膏型铸造

石膏型可用以制成尺寸精度高、表面粗糙度及残留应力低的铸件,具有许多其他铸型不具有的特点:(1)能精确复制模样,可使铝合金铸件的表面粗糙度值达到 0.8~3.2 μm ;(2)热导率低,薄壁部位易完整成形,最薄可铸出 0.5mm 的薄壁;(3)可用硅橡胶或硫化橡胶镶制作模样,制造形状复杂的铸件。同样,石膏型铸造也有其缺点:(1)石膏型激冷作用差,当铸件壁厚差异大时,厚大处容易出现缩松、缩孔等缺陷;(2)石膏型透气性极差,铸件易形成气孔、呛火等缺陷。

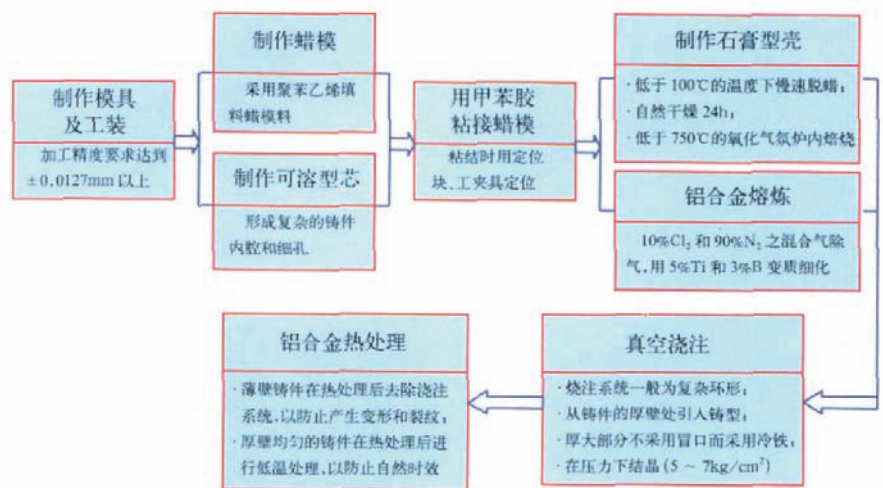
铸造用石膏型主要有以下 3 种:

(1)不发泡石膏型。制造不发泡石膏型所用的石膏料中,半水石膏所占的质量分数约为 45%~55%,其余为耐火材料填料和其他添加剂。制成的石膏型致密,强度较高,抗压强度约 2~3MPa。但是透气性很差,用测定铸造型(芯)砂透气性的装置测得的透气性只有 1~2 个单位。目前,这种石膏型主要采用低压铸造生产铸件^[3]。

(2)发泡石膏型。发泡石膏型所用的石膏料中除耐火材料填料外,还加有表面活性剂。混水后,借助于强烈的搅拌,其中卷入的大量空气

形成微小的气泡,硬化后存在许多相互连接的大小孔洞。这些孔洞成为导出气体的主要通道,而使其具有透气性。浆料的体积约增加 50%~100%。制成的石膏型强度低于不发泡石膏型,抗压强度约 0.2~0.6MPa;透气性较好,可达 10~30 个单位。20 世纪 70 年代,英国的硅橡胶模-发泡石膏型-低压铸造工艺技术获得专利,并成功地应用于增压器压气机铝合金叶轮生产中^[4]。20 世纪 80 年代初,中国兵器工业第七零研究所经过 10 余年的研究,实现了压气机叶轮铝合金铸件国产化,产品成品率达 85% 以上^[5]。

(3)熔模精密铸造用石膏型。这种用途的石膏基本特性与不发泡石膏型相同,但是铸型凝结、硬化后需在热水(90~95 $^{\circ}\text{C}$)或热空气(250~300 $^{\circ}\text{C}$)中脱蜡,有时烘干后的铸型浇注前还要经 700~750 $^{\circ}\text{C}$ 焙烧,以脱除型腔内残留的蜡,因而要特别注意防止石膏型开裂。出于这种考虑,石膏胶结料中耐火材料填料及其他添加剂的含量较高,半水石膏所占的质量分数约为 25%~37%。从 20 世纪 80 年代后期,为减少石膏型制造成本、提高铸件质量、缩短制造周期、减少人员投入、降低石膏型在制造过程中对环境温度的要求(温度高会导致蜡模变形,



美国泰克 (TEC) 公司熔模石膏型铸造工艺

温度低会导致蜡模脆裂,而自然环境温度变化对硅橡胶模几乎无影响),国外的公司开始采用硅橡胶模替代蜡模。美国泰克(TEC)公司采用熔模石膏型铸造生产的薄壁、复杂、无余量优质铝合金整体铸件,其尺寸精度一般可达 $\pm 0.254\text{mm}$,最高可达 $\pm 0.076\text{mm}$,最小壁厚可达 0.8mm ^[6]。

我国在复杂薄壁铝合金精铸件方面做了大量的工作。1982年原三机部科技局组织部属114厂(现中国航空工业庆安集团有限公司)、西北工业大学、北京航空材料研究院(621所)、第四设计院(现中国航空工业规划设计研究院)等8个单位成立石膏型熔模精铸攻关组,以2种军品复杂薄壁铝精铸件作为目标进行研制。在2年时间内,利用国产原材料研制出适用于石膏型精铸用的模料、石膏型材料、合金等,同时自行设计制造

将石膏型熔模铸造技术与激光烧结快速成型技术相结合生产形状复杂的铝合金铸件已取得了显著效果。20世纪90年代,济南银轮机电有限责任公司采用调压铸造取代真空吸铸,提高薄壁复杂铝合金精密铸件厚大部位力学性能,生产了轮船用涡轮增压器铝叶轮($\phi 180\text{mm}$)、火车用涡轮增压器铝叶轮($\phi 310\text{mm}$)、闭式排风轮($\phi 509\text{mm}$)、以及离心制冷机闭式压缩机铝轮($\phi 500\text{mm}$)等^[9]。430厂已为国内外许多单位生产数10种复杂薄壁铝合金精铸件,有的铸件单位价格上万元。兴光厂利用本省石膏矿研制成优质 α -半水石膏,生产多种石膏型精铸件,产值已达数十万元^[7]。

熔模铸造

熔模铸造技术为:用易熔材料(例如蜡料或塑料)制成可溶性模型(简称熔模或模型),上方涂覆若干层

接焙烧),铸型或型壳经焙烧后,向其中浇注熔融金属而得到铸件。

熔模铸造具有以下几个优点:(1)熔模铸件有着很高的尺寸精度和表面粗糙度水平,尺寸精度一般可达CT4~6(砂型铸造为CT10~13,压铸为CT5~7);(2)设计灵活,为铸件结构设计提供了充分的自由度,可以通过泡沫塑料模片组合铸造出高度复杂的铸件;(3)清洁生产,型砂中无化学粘结剂,低温下模料对环境无害,旧砂回收率95%以上。同时,熔模铸造存在以下几个缺点:(1)原材料价格昂贵,铸件成本较高;(2)工艺过程复杂,流程长,生产周期长(4~15天);(3)铸件性能一般不高。

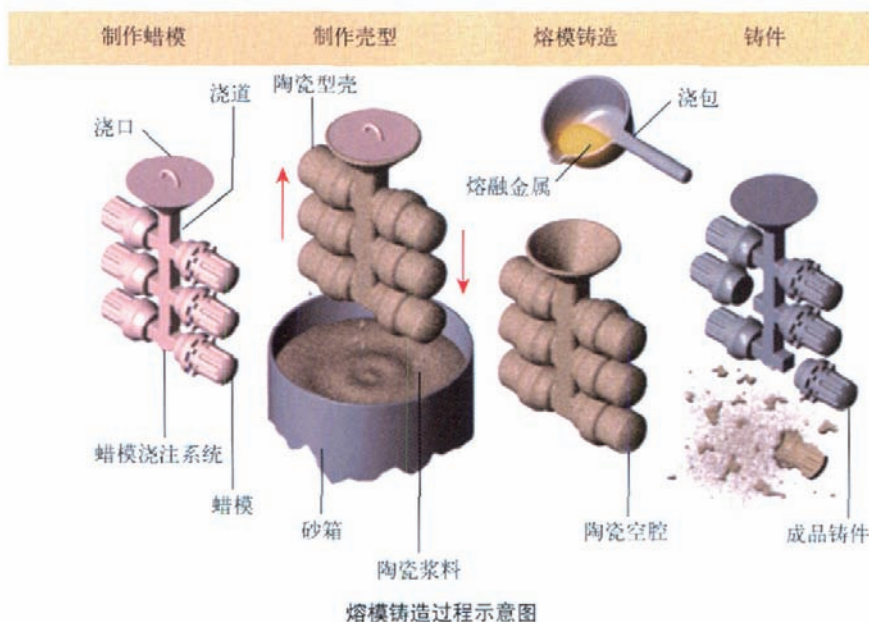
美国Howmet Aluminum Casting公司在20世纪80年代就开始开发快速凝固的熔模铸造系列技术制造高强度的薄壁铝合金铸件,并取得成功,开发出薄、厚壁铸件都适用的快速凝固技术,用于波音飞机舱门及航空机匣铸件制造。

近年来,国内外都采用热等静压处理来提高熔模铸件的力学性能。热等静压利用高温高压,靠金属蠕变和塑性变形使铸件内部缩松、热裂等缺陷愈合。该技术已被广泛应用于涡轮叶片及其他熔模铸件上,可使铝合金铸件的高低温疲劳性能提高3~10倍,并可使铸件性能分散程度降低为原料的1/6。

结束语

我国在复杂薄壁铝精铸件研究及生产方面已取得很大进展,但与国外先进水平相比,差距仍很大。我国目前尚难生产大型、极复杂的铸件,另外生产工艺不够稳定,成品率不高。

本文有参考文献9篇,由于篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 小颖)



真空搅拌、灌浆等设备,成功地浇出2种复杂薄壁铝精铸件^[7]。河南平原光电有限公司(中国兵器工业集团公司所属军工企业)1984年从美国泰克(TEC)公司引进了石膏型熔模铸造全套设备及技术^[8]。20多年来,经过对引进技术的消化、吸收和国产化,

特制的耐火涂料(如陶瓷浆料),经过干燥和硬化形成一个整体型壳后,再用蒸汽或热水从型壳中熔掉模型,然后把型壳置于砂箱中,在其四周填充干砂造型,最后将铸型放入焙烧炉中经过高温焙烧(如采用高强度型壳时,可不必造型而将脱模后的型壳直