

# 铝合金复杂管路的石膏型预埋铸造工艺

杨林杰<sup>1</sup>, 周志杰<sup>2</sup>, 王狂飞<sup>1</sup>, 陈富锟<sup>1</sup>, 高沛莹<sup>1</sup>, 程玉洁<sup>1</sup>

(1. 河南理工大学 材料学院, 河南焦作 454000; 2. 河南平原光电有限公司, 河南焦作 454000)

**摘要:** 针对内部存在复杂管路的铝合金铸件, 采用常规预埋型芯方法, 铸件中管路无法满足要求。通过提前在蜡模内预埋钢管, 将钢管两端加长固定等方法, 成功铸出薄壁、复杂管路铸件, 从而为带有复杂管路铝合金薄壁铸件的石膏型铸造问题提供了一种解决办法。

**关键词:** 石膏型; 预埋管; 复杂管路; 铝合金

铝合金由于其密度低、比强度高、耐腐蚀性好、易成形、成本低等优点, 在航空、航天、兵器、汽车等领域得到了广泛应用<sup>[1]</sup>。近年来, 随着航空航天技术的发展, 对一些零部件制造提出了更高要求, 要求所铸零件质量轻、整体结构性好, 而且可将铸件和机加工件冶金结合进行镶铸或复合铸造, 整体实现无余量铸造, 从而减少零件壁厚和加工余量。

石膏浆料流动性好, 复型能力强, 石膏型保温效果好, 为铝合金中小型复杂薄壁零件铸造提供了一种选择。但是, 对于一些内部存在复杂管路的铝合金铸件, 由于管路细长, 容易出现一些问题, 如石膏芯易断, 造成铸造后管路不通; 铸件管路清理困难; 管道壁很薄时, 力学性能难以保证等。本试验采用预埋管件方式进行石膏型熔模铸造, 研究了预埋钢管的石膏型铸造工艺<sup>[2-4]</sup>。

## 1 复杂细孔成形

### 1.1 机械加工成形细孔技术

在传统工艺中, 铸件中孔的制造通常只能靠机械加工成形, 而铸件中细长孔的加工给机械加工造成一定困难。由于车床刀具细长、刚度差、强度低, 容易引起刀具发生偏斜和散热困难等问题, 从而难以加工出符合要求的管路。一些复杂的细长孔道即使勉强可以机加, 但费用高, 而且难以实现批量生产。

### 1.2 预埋型芯技术

图1给出了某铸件中需要铸出的管路。由图可见, 管路部分细长且中间存在弯曲, 机械加工很难完成。在实际生产中, 对于这类铸件, 生产者往往采用预埋型芯方法铸造。由于管道长且直径小, 一般型芯很难满足浇注时对其力学性能的要求,

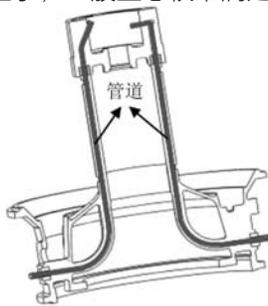


图1 铸件管路示意图

Fig. 1 Diagram of casting pipe

作者简介:

杨林杰(1996-), 男, 硕士生, 研究方向为金属凝固理论与成形技术。E-mail: 602123490@qq.com

通讯作者:

王狂飞, 男, 教授, 硕士生导师。电话: 13639624287, E-mail: wkf-12@hpu.edu.cn

中图分类号: TG249.9

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2022)

07-0906-05

收稿日期:

2021-11-04 收到初稿,  
2022-01-09 收到修订稿。

且铸造后清理困难。因此，需要寻找其他工艺方法。本试验中，尝试采用预埋复杂管路进行解决。

## 2 试验方法

### 2.1 铸件及型芯材料

某铝合金铸件结构如图2所示，材料为ZL101A，该铸件大部分壁厚为4 mm，镶管处铸件壁厚度仅为2.5 mm，属于薄壁复杂铸件，因此，可采用石膏型熔

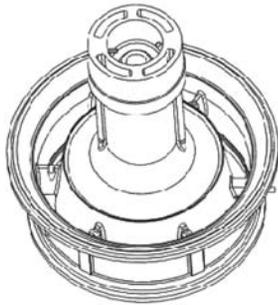
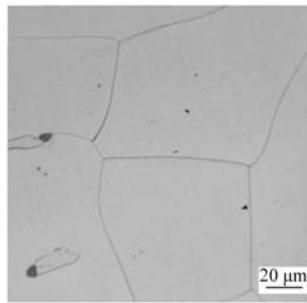


图2 铸件结构图

Fig. 2 Drawing of casting structure



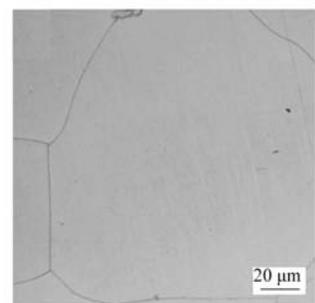
(a) 管件成形模具



(b) 管件显微组织



(c) 一次高温去应力退火后的管路



(d) 二次退火后管件的显微组织

图3 管件的成形模具及管件的显微组织

Fig. 3 Forming mold and microstructures of the pipe fitting

### 2.2 镶管处理

#### 2.2.1 焙烧降温工艺

在石膏型壳焙烧过程中，管路长时间置于密闭高温环境，气氛中很难有水分存在。但在焙烧结束后的石膏型降温过程中，有冷空气进入焙烧炉，由于管路

模铸造。蜡模内预埋钢管在脱蜡、焙烧等工艺环节，长时间置于潮湿、高温环境，且焙烧环节温度达到700 ℃，很容易发生电化学腐蚀、高温氧化等。因而，预埋管路应选用耐腐蚀、抗氧化的材质，并考虑管路的实际用途，最终确定镶管的材质选用00Cr19Ni10不锈钢。

图3给出了管路成形模具及管路的显微组织。由图3a可见，模具虽然较为简单，但由此形成的管路可以满足外形尺寸要求。由图3b可见，管件的显微组织为奥氏体。由于管路是通过冷变形的的方式弯曲成形，制作时，管路内部会产生一定的内应力，如果不加以去除，会在石膏型焙烧过程中因应力释放而发生变形。因此，在铸造前，先需要对管路进行高温去应力退火（700 ℃ × 5 h）。图3c给出了一次退火后的管路，可见发生了变形，因而需要对管路反复矫正，且矫正后需要再一次去应力退火，经过两次矫正-退火后的管路尺寸稳定，满足管路尺寸要求。图3d给出了二次退火后管路的显微组织，明显可见奥氏体组织发生了长大，但仍然完全满足管路的力学性能要求。

热扩散能力强，比石膏型降温速度快，冷空气中的水分很容易在管路表面发生冷凝，若选择石膏型型壳温度在200~300 ℃浇注，在钢管和铝液的结合面处容易形成气孔（图4）。为防止上述情况发生，需要对冷空气进行干燥处理，主要防止管路表面发生冷凝。

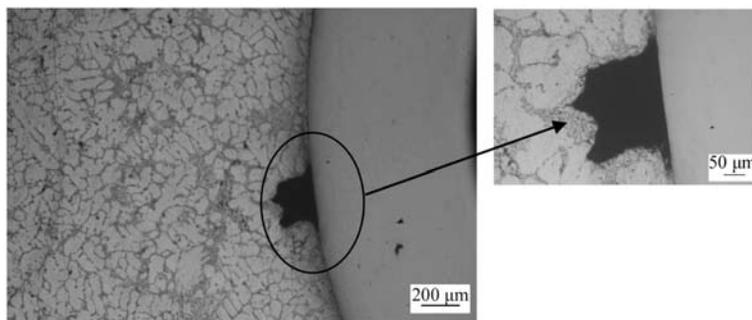


图4 钢管和铝液的结合面处形成的气孔

Fig. 4 Pores formed at the joint surface of steel tube and aluminum liquid

### 2.2.2 镶管端口处理

镶管端口处理不当会造成后期镶管通路被堵死，为防止蜡液或合金液体流入到管道内，先将钢管两端焊死（图5a），再在铸件成形后切除两端端口焊死部分（图5b），很好地解决了管件被堵死的问题。

### 2.3 镶管的定位

本铸件生产采用的是石膏型熔模铸造工艺，在

后期焙烧的过程中，由于石蜡流失，钢管周围出现空隙，位置将会发生偏差，因此在制作蜡模时应考虑对蜡模中的钢管进行定位。将钢管的端口部位加长30~50 mm，使两端加长部分裸露在蜡模外，并将加长部分用石膏包裹固定。在石膏型壳焙烧后，钢管两端加长部分被蜡模外面凝固的石膏充分固定，而加长的钢管铸件清理后期直接切除，见图6，通过试验证明该方法是可行的。

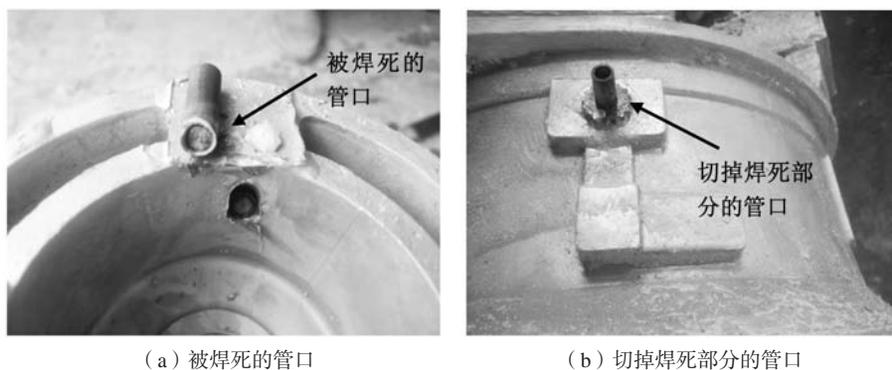


图5 管路端口处理

Fig. 5 Pipeline port handling

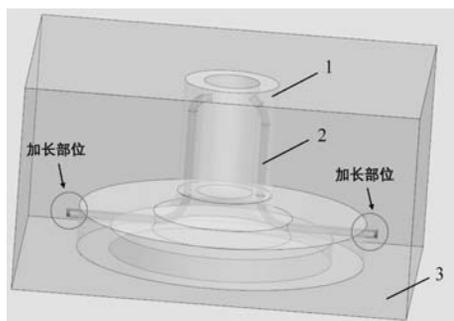


图6 管路加长部分示意图

Fig. 6 Schematic diagram of pipeline extension

## 3 型壳温度及试验结果

### 3.1 型壳温度

由于该铸件大部分壁厚为4 mm，而镶管周围的铸件壁厚度为2.5 mm，所以属于薄壁铸件。铝液浇注温度为735 ℃。根据实际经验，型壳温度很大程度决定了铸件能否完整成形，进而影响镶管的成形。因此此次试验设置了三种型壳温度：180 ℃、230 ℃和300 ℃，实际浇注试验结果见表1。

当石膏型壳温度设定为180 ℃时，镶管部分出现局部浇不足现象，这是由于型壳温度低，预埋的钢管有激冷作用，合金液凝固速度快且流动性差，补缩能力不足，尤其是薄壁部分，因此镶管部分形状不完整。当石膏型壳温度设定为230 ℃和300 ℃时，均未出现浇

表1 实际浇注铸件结果  
Table 1 Casting results

型壳温度/℃	图片	现象
180		局部出现浇不足现象
230		铸件管道部分完好
300		铸件管道部分完好

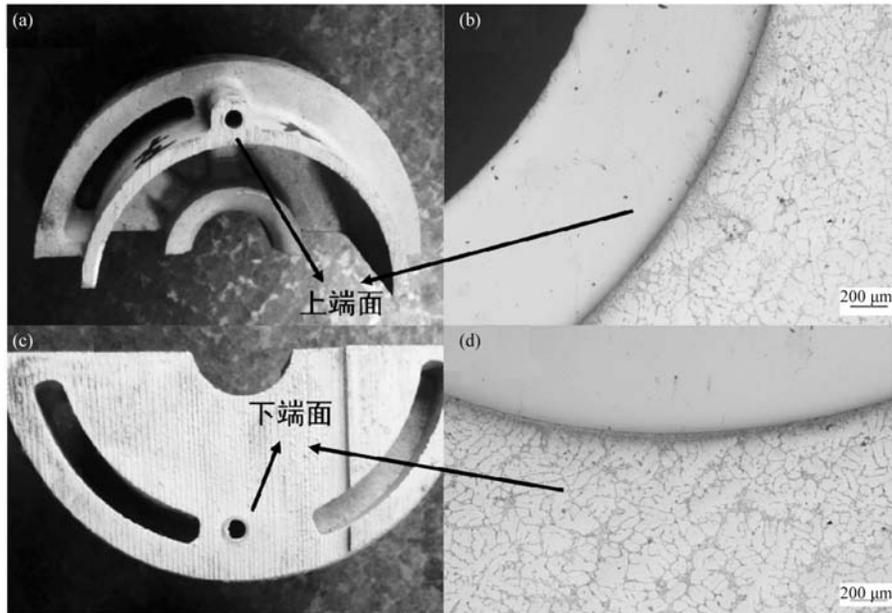
不足现象。最终选择石膏型壳预热温度为230 ℃，因为型壳温度越低，凝固时间越短，合金晶粒越细小，铸件的内部组织就会越好。因此，选择石膏型壳预热温度为230 ℃。

### 3.2 钢管与铝的接触

钢管和铝合金物理性质和力学性能存在差异，在受热膨胀和凝固过程中，两种材质的收缩率也不一样。浇注过程中，钢管在高温合金液体的包裹下迅速

升温，而钢管的激冷作用导致镶管部位的铝液凝固速度较其他部位更快。降温收缩的铝合金和与升温膨胀的钢管之间产生包紧力，结合更加紧密，且二者在达到平衡温度后，共同收缩冷却至室温。钢管收缩率为1.18%，铝合金收缩率为1%，二者数值相近且镶管径向

尺寸较小，对镶管部位界面结合影响不大。图7给出了钢管和铝合金件的界面结合情况，由图7可见，钢管和铝合金之间界面无缝隙（图7a、c）。经过金相组织观察，发现镶管结合处无气孔和夹杂等，界面结合较好（图7b、d）。



(a) 铸件上端面结合处；(b) 铸件上端面结合处的金相组织；(c) 下端面结合处；(d) 下端面结合处的金相组织

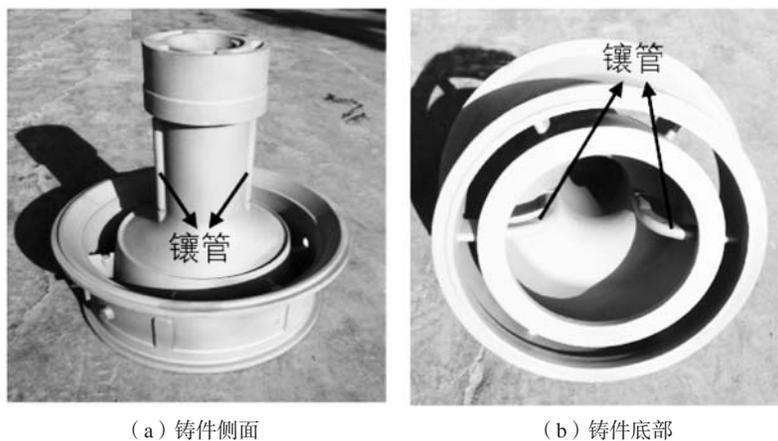
图7 铸件上、下端面的镶管结合处状态

Fig. 7 Joint state of the insert tube on upper and lower sides of the casting

#### 4 实际应用效果

采用石膏型预埋管铸造复杂管路铝合金铸件的方法，既保证了能得到表面质量好、尺寸精度高且具有复杂通路的铸件，又保证暴露铸件外部分管路满足耐腐蚀的要求（因覆盖一层铝合金）以及符合管路内部

的技术要求，所铸铸件如图8所示。按所述改进工艺生产9件，经检测合格8件，满足了技术使用要求，从而为带有复杂管路铝合金薄壁铸件的石膏型铸造问题提供了一种解决办法。



(a) 铸件侧面

(b) 铸件底部

图8 铸件实物

Fig. 8 Castings

## 5 结束语

采用提早在蜡模内预埋钢管并将钢管两端加长固定的方法,成功铸出薄壁、复杂管路铸件,预埋钢管预处理工艺为:两次矫正-退火,石膏型浇注工艺参数

为:浇注温度730 ℃,石膏型壳预热温度230 ℃,很好地解决了复杂管路成形和铸造后清理困难等问题,为带有复杂管路铝合金薄壁铸件的石膏型铸造提供了一种有效解决办法。

### 参考文献:

- [1] 武彬杰. 铝合金壳体的细孔铸造工艺 [J]. 特种铸造及有色合金, 2008, 28 (3): 216-218.
- [2] 李育才. 铝合金细孔件铸造工艺实践 [J]. 特种铸造及有色合金, 1989 (6): 29, 38-39.
- [3] 毛翰元, 孙正华. 铸钢件的细孔铸造 [J]. 特种铸造及有色合金, 1997 (3): 39-40.
- [4] 王汉江. 大型柴油机汽缸体镶铸油管工艺及缺陷防止 [J]. 热加工工艺, 2001 (4): 67-78.
- [5] 王东军, 王伟, 原建明, 等. 大型铝合金箱体中的深孔铸造技术研究 [J]. 铸造技术, 2020, 41 (4): 331-333.

---

## Plaster Mold Embedded Casting Process for Complex Pipeline Aluminum Alloy

YANG Lin-jie<sup>1</sup>, ZHOU Zhi-jie<sup>2</sup>, WANG Kuang-fei<sup>1</sup>, CHEN Fu-kun<sup>1</sup>, GAO Pei-ying<sup>1</sup>, CHENG Yu-jie<sup>1</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan, China; 2. Henan Pingyuan Photoelectrical Co., Ltd., Jiaozuo 454000, Henan, China)

### Abstract:

For aluminum alloy castings with complex internal pipelines, the piping in the casting cannot meet the requirements by using the conventional pre-buried core method. By pre-buried the steel pipe in the wax pattern in advance and fixing the steel pipe by lengthening both ends, thin-walled and complicated piping castings were successfully casted, providing a solution to the problem of plaster casting of thin-walled aluminum alloy castings with complicated piping.

### Key words:

plaster mold; embedded pipe; complex piping; aluminum alloy