

Sn-Bi 合金的性能及其在砂型铸造叶轮中的应用

纪洪双¹, 曹 峤¹, 于汇峰²

(1. 江苏万恒铸业有限公司, 江苏盐城224500; 2. 大连深蓝泵业有限公司, 辽宁大连 116031)

摘要: 介绍了Sn-Bi合金的工艺性能和物理性能, Sn-Bi合金熔模叶片的制备及其在砂型铸造叶轮中的应用。在砂型铸造叶轮过程中, 传统的叶片起模方式和叶片组芯造型工艺等都会使叶片尺寸产生偏差, 导致泵的气蚀、扬程等性能指标不能满足使用要求。由于Sn-Bi合金熔模叶片具有强度高、尺寸稳定、制作速度快等优点, 应用在热固树脂砂芯中, 在高温环境下砂芯得到硬化; 同时Sn-Bi合金通过模具孔洞熔化流失, 使砂芯得到精确的叶片形状尺寸, 从而得到符合水力尺寸和性能的叶轮铸件。

关键词: Sn-Bi合金; 性能; 砂铸叶轮; 应用

在现代高端泵的制造中, 对泵的效率 and 性能要求十分严格, 叶轮作为其核心部件起到至关重要的作用。叶轮中的叶片对泵的性能起到主要的作用, 叶片的形状和尺寸与泵的性能有着密切的关系。叶轮采用铸造的方式进行制造, 叶轮的铸件质量直接决定了泵的性能。大型高端泵叶轮铸件由于尺寸、重量等条件的约束, 需要采用砂型铸造的方式进行生产。

在砂型铸造过程中, 叶轮叶片的形状尺寸容易产生偏差变形, 这种偏差主要是由于模具制芯起模过程中起模变形, 以及叶片组芯造型过程导致的叶片厚薄不均等。在叶片起模过程中, 叶片位置发生变化, 叶片越高、扭曲角度越大, 产生的变形量也越大。叶片组芯造型虽在制芯环节避免了尺寸变形, 但在后序的合箱组芯过程中, 人为操作影响较大, 砂芯间的组合间隙导致尺寸精度难以保证。传统的叶轮模具和组芯工艺在制造高端泵叶轮铸件存在尺寸偏差导致的效率和性能不合格的风险, 往往铸造出来的叶轮会与设计出来的存在较大的偏差, 成为核电、军工及石化项目中高端泵的制造难题。因此, 消除铸造过程叶片的尺寸偏差对攻克高端泵叶轮的制造具有重要意义。

熔模铸造Sn-Bi合金叶片, 具有制造周期短、强度高、尺寸稳定、合金可回收利用等优点。可以制作出扭曲度大, 高度高的叶片模型。铸造出来的叶轮叶片水力尺寸与设计要求趋于一致, 特别在制造高端泵叶轮领域具有广阔的应用前景。本文介绍了Sn-Bi合金的工艺性能和物理性能, Sn-Bi合金熔模叶片的制备及其在砂型铸造叶轮中的应用。

1 Sn-Bi合金

1.1 合金性能

Sn-Bi合金在常温下呈固态、银白色, 熔点较低, 约138 °C。Sn-Bi合金的固液相间接收率极小, 具有固液相体积不变的特点。Sn-Bi合金制备的工艺相对较为简单, 按一定百分比均匀混合后, 放入已加热到350 °C的坩埚或其他加热容器内, 在不断熔化过程中不断地搅拌至均匀。在铸造模具的制作、检验等方面得到广泛的应用。

作者简介:

纪洪双(1986-), 男, 学士, 工程师, 研究方向为金属材料熔炼及铸造工艺设计。E-mail: jihongshuang@sina.com

中图分类号: TG146.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)

08-1050-04

收稿日期:

2021-12-22 收到初稿,
2022-02-12 收到修订稿。

1.2 合金成分配比

根据Sn-Bi合金二元相图(图1),可以得出Sn-Bi二元合金在Bi含量达到58%时为共晶合金。在生产验证过程中,分别对Sn-53%Bi合金、Sn-58%Bi合金、Sn-63%Bi合金进行配制,并对其抗拉强度、硬度等性能进行比较,见表1。从表中可以看出,Sn-58%Bi合金的抗拉强度和硬度指标为最佳,力学性能研究表明,合金的抗拉强度随Bi含量的降低呈先增大后减小的趋势。

Sn-58%Bi合金为二元共晶合金,其金相组织见图2,其显微组织为共晶组织,冷型浇注的液态金属,由于冷却速度快,其共晶组织较细。共晶组织中白色为富Bi区,是由Bi和少量的Sn组成的Bi基固溶体;黑色为富Sn区,是由Sn和少量的Bi组成的Sn基固溶体;Sn-Bi共晶合金中富Sn相和富Bi相交替呈连续的网状分布,基体中不存在亚共晶和过共晶的枝晶初生相^[1]。Sn-58%Bi合金的应力指数 $n=14.7$,变形位错滑移机制得到控制,位错缠绕导致合金强度大幅提高,合金蠕变性小。制作出的模型尺寸稳定,制作速度快,不需要特殊的设备进行加工,即可制造出复杂的水力叶片模型,该合金摩擦系数小、表面光洁、耐磨。因此,该组分配比的合金具有最佳的强度和硬度值,成为制作消失模叶片的最佳成分配比。

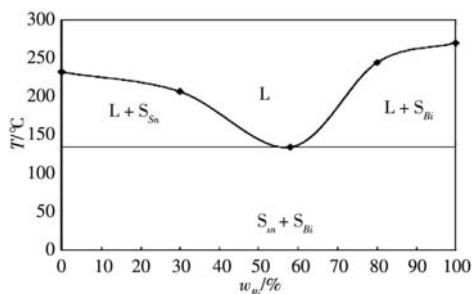


图1 Sn-Bi合金二元相图

Fig. 1 Binary phase diagram of the Sn-Bi alloy

表1 不同配比的Sn-Bi合金强度和硬度值

实验项目	Sn-53%Bi合金	Sn-58%Bi合金	Sn-63%Bi合金
抗拉强度/MPa	52.4	55.3	53.1
硬度HBS	21	22	20

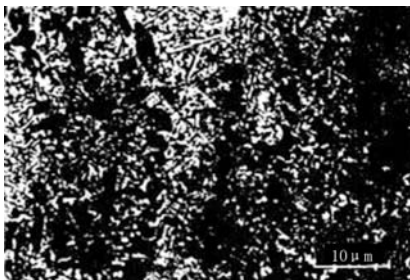


图2 Sn-58%Bi合金的金相组织

Fig. 2 Metallographic microstructure of the Sn-58%Bi alloy

2 Sn-Bi合金在砂铸叶轮中的应用

Sn-Bi合金在砂铸叶轮中的应用流程见图3。

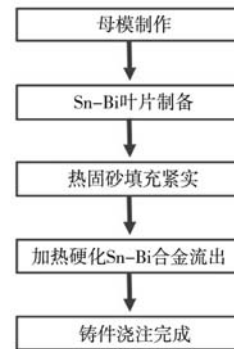


图3 Sn-Bi合金在砂铸叶轮中的应用流程

Fig. 3 Application process of the Sn-Bi alloy in the sand casting impeller

2.1 Sn-Bi合金熔模叶片母模

制作Sn-Bi合金的母模材料软化点要高于合金的浇注温度,即160~240℃,且易加工成形,一般选用ZL104材质作为模具制作的材料。该材料具有一定的强度,可以保证在浇注Sn-Bi合金时,母模不变形。

母模的制作过程,需要在母模上开设合金浇口,对于较大Sn-Bi合金的母模还需在其上端开设排气孔,母模的上下模需设置定位及锁紧装置,见图4。



图4 Sn-Bi合金熔模叶片母模

Fig. 4 Master mold of the Sn-Bi alloy blade

2.2 Sn-Bi合金熔模叶片制备

2.2.1 合金浇注

将Sn合金、Bi合金破碎成50 mm以下的金属小块,按照成分42%Sn、58%Bi的比例配制后,将金属坩埚置于2 kW的电阻炉上,使容器加热到350℃进行熔化,在熔化过程中要不断搅拌至均匀。熔化过程中若产生浮渣,要及时进行去除。熔化搅拌过程持续10 min左右,合金化清后把金属坩埚从电阻炉上取下,用测温仪测量合金的液态温度,当达到要求温度时准备进行浇注。

要得到理想的消失模叶片必须严格控制合适的浇注温度,若浇注温度偏高,容易使上、下模在分型面处熔焊在一起,当叶片母模的分型面不在一个平面,在高低起伏的位置,以及局部的尖角、凸台位置更容

易发生熔焊, 经过生产实践的反复验证, 需将浇注温度控制在 $160\sim 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[2]。

浇注合金前, 对母模进行紧固, 并将浇口位置朝上。并对母模进行预热处理, 使母模的预热温度达到 $(80\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。母模的加热必须做到均匀, 预热的主要目的是防止浇注过程中合金叶片产生冷隔和浇不足的情况。将熔化好的合金对准母模的浇口位置, 以较快的浇注速度进行浇注, 浇注过程防止断流。待合金冷却后, 打开上下模, 修整分型面, 确保分型面处于母模的最大截面处, 将合金消失模叶片取出, 见图5。必须将合金残留物从浇注后的模具型槽中清理干净, 便于后续生产使用。

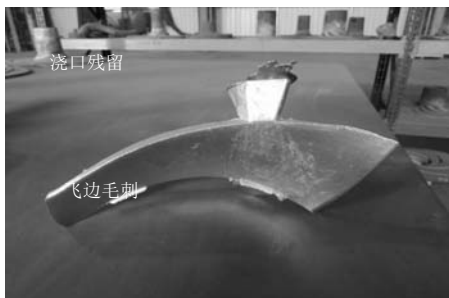


图5 叶片浇注后状态

Fig. 5 State of the blade after casting

2.2.2 熔模叶片的修整

熔模叶片从母模取出后, 会存在一定的飞边和毛刺、浇口部位残留金属等, 均需要在后期处理中进行去除。经处理后的Sn-Bi合金熔模叶片表面光洁、定位准确, 将叶片放入叶轮芯盒中, 确保叶片在芯盒中的位置准确和均匀分布。准备投入制芯的生产, 见图6。

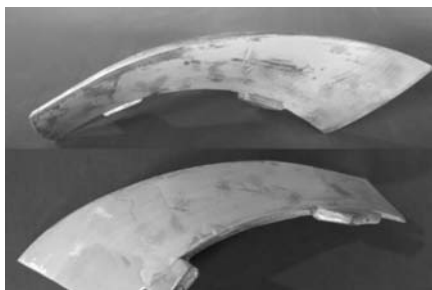


图6 修整后的Sn-Bi合金熔模叶片

Fig. 6 Sn-Bi alloy blade after trimming

2.3 芯砂填充紧实

将处理好的Sn-Bi合金熔模叶片, 按顺序放置在芯盒内, 芯砂混碾使用宝珠砂作为原砂, 热固酚醛树脂作为粘结剂, 芯砂的树脂加入量为芯砂重量的1.1%。制芯过程中设置气道、芯骨等必需材料, 将混碾好的热固砂填充到芯盒内, 填充紧实, 提高砂芯表面紧实度。Sn-Bi合金叶片用于采用热固酚醛树脂工艺制备的砂芯中, 在制芯舂砂过程中, 由于合金具有较高的强

度, 叶片不会产生任何变形。

2.4 芯砂加热硬化

将制备好的热固酚醛树脂砂芯随模具托芯板工装放入到箱式电炉中, 升温至 $180\sim 220\text{ }^{\circ}\text{C}$, 经过 $2\sim 5\text{ h}$ 加热(视砂芯厚度决定), 砂芯产生硬化, 并具有极高的强度。期间可随时对砂芯的硬化程度和Sn-Bi合金消失模叶片的熔化流失程度进行检测, 符合要求即可断电出炉。

在砂芯硬化过程中, 由于Sn-Bi合金的熔点较低, 合金熔化逐步变成液态, 并在模具下方设置的孔洞中流失。在加热的开始阶段, 热固酚醛树脂在砂芯中立即产生网状交联反应, 并且已经具备一定的型砂强度。当达到Sn-Bi合金熔化的过热温度后, 逐步熔化, 此阶段砂芯不会产生任何的变形。采用Sn-Bi合金熔模叶片制备的叶轮砂芯叶片几何形状完好、尺寸精确, 砂芯表面光洁度要远高于实型叶片, 见图7。

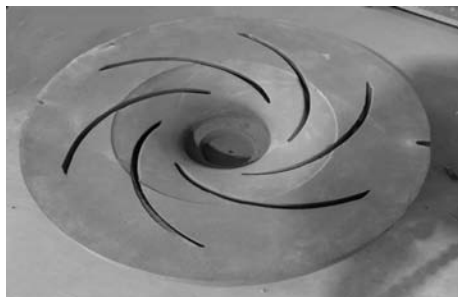


图7 叶轮砂芯

Fig. 7 Impeller core

3 试制结果

对采用Sn-Bi合金熔模叶片的叶轮铸型进行浇注, 生产过程严格按照工艺技术要求。经过清理、打磨、抛丸处理后, 铸件的叶片外观质量良好, 见图8, 图中所示的叶轮为双吸叶轮, 盖板直径为 920 mm , 材质为CF8M。通过三维激光扫描仪对叶轮铸件生成的三维模型进行水力尺寸检测, 见图9。结果显示, 叶片分布均匀、厚薄均匀、叶片形状和水力尺寸与设计研发数据符合率达到97%, 远远高于传统手工叶片起模方式和叶片组芯工艺。



图8 采用Sn-Bi合金叶片工艺的铸件

Fig. 8 Casting obtained by the Sn-Bi alloy process

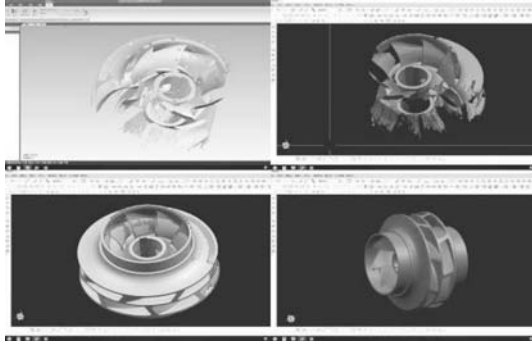


图9 三维激光检测结果
Fig. 9 3D laser detection results

4 结束语

采用Sn-Bi合金叶片制芯工艺可以保证叶轮铸件的水力精度和尺寸，消除传统手工起模和组芯工艺带来的尺寸偏差，降低泵的效率 and 性能不合格风险。Sn-Bi合金还具有制造周期短、强度高、尺寸稳定、合金可回收等优点，它与尺寸稳定的宝珠砂及酚醛热固型树脂作粘结剂的型砂配合使用，可以铸造出复杂的型腔、叶片角度大的高难度铸件。铸造出来的叶轮叶片水力尺寸与设计要求趋于一致，特别在制造高端泵叶轮领域具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 贾红星, 黄金亮, 张柯柯. Ag对Sn-57Bi无铅钎料组织和性能的影响 [J]. 河南科技大学学报, 2004, 25 (3): 10-11.
- [2] 韩福忠. 锡铋合金压型在熔模铸造中的应用 [J]. 山西煤炭, 2003, 23 (3): 51-52.

Properties of Sn-Bi Alloy and Its Application to Sand Casting Impeller

Ji Hong-shuang¹, CAO Qiao¹, YU Hui-feng²

(1. Jiangsu Wanheng Casting Co., Ltd., Yancheng 224500, Jiangsu, China; 2. Dalian Deepblue Pump Ltd., Dalian 116031, Liaoning, China)

Abstract:

The technological and physical properties of Sn-Bi alloy, the preparation of Sn-Bi alloy blade and its application to sand casting impeller were introduced. In the process of the sand casting impeller, the traditional way of blade mold pulling and the core molding process of the blade will cause the deviation of blade size, which leads to the performance indexes such as cavitation and head of the pump that cannot meet the requirements. The Sn-Bi alloy has the advantages of high strength, stable size and fast fabrication speed. It is used in thermosetting resin sand cores to harden the sand cores at high temperatures, and the Sn-Bi investment alloy was melted and lost through mold holes to obtain accurate blade shape and size. Thus, the impeller castings that conform to the hydraulic size and performance were obtained.

Key words:

Sn-Bi alloy; properties; sand casting impeller; application