

锡青铜大口径薄壁导套的离心铸造及工艺改进

刘海娜¹, 王彦婷¹, 杨为勤², 刘领兵³

(1. 黄河交通学院, 河南焦作 454950; 2. 武昌船舶重工集团有限公司, 湖北武汉 430064;

3. 泰鑫机械制造有限公司, 河南焦作 454450)

摘要: 大口径薄壁导套材质为ZCuSn5Pb5Zn5, 质量要求较高, 采用了大型滚轮式离心机生产。根据估算铸型最高温度, 给出了对铸型是否需要采用水冷措施的判断条件。在大型滚轮式离心机上浇注直径大且长度短的套类时, 铸型可采用垫空补足方法。对于大口径薄壁铸件, 重点要防止铸件内产生夹杂。首件采用缝隙式浇道浇注, 加工后产品因有夹杂而报废。经工艺改进后, 采用双排雨淋式浇道, 8件产品组织致密, 无夹杂缺陷, 质量良好。

关键词: 锡青铜; 大口径薄壁导套; 离心铸造

1 铸件特性分析

1.1 化学成分及力学性能

大口径薄壁导套用于导弹发射车上, 材质为锡青铜ZCuSn5Pb5Zn5, 订货数量8件, 产品质量要求高, 不能有气孔、疏松及夹杂等铸造缺陷, 不允许补焊。ZCuSn5Pb5Zn5的化学成分及力学性能的要求见表1^[1], 从表1中可看出, ZCuSn5Pb5Zn5的化学成分中, 不含P, 且在所有锡青铜牌号中, ZCuSn5Pb5Zn5的含Sn量是相当低的。但含Pb量在锡青铜中还是比较高的, 为(4.0~6.0)%。

表1 ZCuSn5Pb5Zn5的化学成分及力学性能

Table 1 Chemical composition and mechanical property of the ZCuSn5Pb5Zn5

化学成分/%				室温力学性能(离心铸造), 不低于			
Cu	Sn	Pb	Zn	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	伸长率 A /%	布氏硬度HB
其余	4.0~6.0	4.0~6.0	4.0~6.0	250	100	13	635

1.2 铸造特性

锡青铜的结晶范围非常宽, 因此, 它的特点是糊状凝固, 流动性差, 补缩困难, 容易产生枝晶偏析和分散的微观缩孔(即缩松)。其结果具有较小的体收缩率和形成较小的集中缩孔。利用这一特点, 可以设置较小的冒口, 铸造厚薄不均匀而形状极复杂的铸件。但是由于容易形成缩松, 不易得到组织致密的铸件。锡青铜的吸气倾向较大, 气渣往往相伴, 易产生夹杂^[2]。

锡青铜ZCuSn5Pb5Zn5大口径薄壁导套反偏析是铸件浇注后, 在已凝固的表面或皮下冒出低熔点的白色液态金属——富锡相, 这种现象称为“冒锡汗”。产生反偏析的机理为: 当锡青铜铸件浇注后尚未全部凝固时, 在枝状结晶骨架之间还存在有低熔点的富锡相, 这时温度较低, 氢在铜液中的溶解度降低, 它被析出来跑入尚未凝固的液相中形成小气泡, 在气体的压力作用和铸件收缩力的作用下含气泡的液相便被挤出铸件表面或皮下, 造成锡汗。锡汗的冒出使铸件内外的成分不均匀, 并在铸件内部造成许多小孔洞, 严重影响铸件的致密性及力学性能。含P锡青铜的反偏析

作者简介:

刘海娜(1984-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为智能制造、特种加工。电话: 15839129017, E-mail: 493815668@qq.com

中图分类号: TG249.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)12-1642-07

基金项目:

河南省智能制造技术与装备工程技术研究中心(编号: 3118210370)。

收稿日期:

2022-12-20 收到初稿,

2023-03-05 收到修订稿。

倾向,比普通锡青铜要大^[2]。

故该铸件反偏析倾向主要考虑以下因素:一是ZCuSn5Pb5Zn5化学成分中不含P,反偏析倾向比磷青铜(即含P锡青铜)要小;二是ZCuSn5Pb5Zn5化学成分中Sn含量很低,反偏析倾向相应也小;三是该铸件壁厚很薄,且又是在离心铸造条件下,在铸型的激冷作用下,凝固时间很短,反偏析倾向也极低。因此对于本铸件,可以不用考虑减少铸件“反偏析”缺陷的工艺举措。事实上,对于普通锡青铜离心铸件(包括厚壁件),我们在长期的生产实践中,很少出现过“反偏析”缺陷。

此外,还要注意,ZCuSn5Zn5Pb5为含铅锡青铜,铅的比重(11.3 g/cm³),含铅的锡青铜容易产生比重偏析,因而在浇注前必须注意充分搅拌。

1.3 铸件形状参数分析

大型导套在放了加工余量之后,铸件尺寸如图1,铸件壁厚为48 mm;外径/内径1.11;高度/外径=0.584。该铸件外径大,表面积较大,壁厚薄,铸件质量为652 kg。

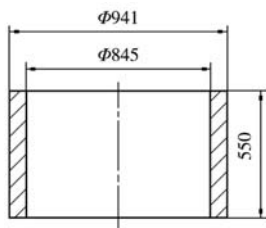


图1 大型导套铸件尺寸简图

Fig. 1 Dimension diagram of the large nut casting

2 两种铸造方案的比较与讨论

2.1 立式离心铸造方案

对于大型锡青铜套类铸件,一般情况下,其高度直径比小于0.3,采用立式离心机铸造则能充分发挥其优点^[3]。对于本例导套,一方面,高度/外径=0.584 > 0.3,且高度为550 mm,而现有的大型立式离心机能够容纳的最大铸件高度为540 mm。另一方面,对于这么高的铸件,导套上、下两个端面的半径差会较大。

在立式离心铸造时,金属液自由表面的形状如图2所示,即形成一抛物面,垂直剖面则为抛物线,用曲线1表示,可求得抛物线方程为 $y=\omega^2 \frac{x^2}{2g}$ 。

所产生的铸件上、下端内表面半径差为^[4]

$$k=r_0-r_{01}=r_0-\sqrt{r_0^2-\frac{2gH}{\omega^2}}=r_0-\sqrt{r_0^2-\frac{0.18H}{n}} \quad (1)$$

式中: k 为铸件上、下端内表面的半径差, m; r_0 为铸件

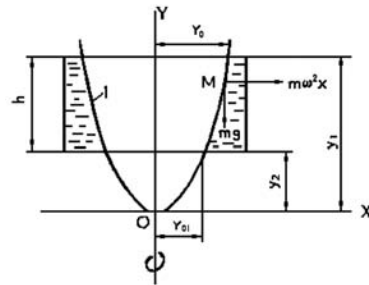


图2 立式离心铸造时金属液自由表面形状图

Fig. 2 Shape of the molten metal free surface in the vertical centrifugal casting

上端内表面半径, m; r_{01} 为铸件下端内表面半径, m; H 为铸件高度, m; n 为离心转速, r/min。

根据以往类似高度(540 mm)的铸件,在铸型转速为400 r/min时,所产生的铸件上、下端内表面半径差为7~8 mm^[5],这对于壁厚仅为48 mm的导套来说,成本代价也是很高的。

综上所述,故不能在大型立式离心机上生产。

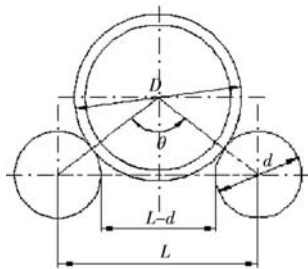
2.2 卧式离心铸造方案

如采用大型卧式离心机铸造,则要观察本铸件是否在设备允许的最大外径和最小长度的范围内。

现有的大型滚轮式离心机是自行设计制造的,该离心机滚轮的直径 $d=450$ mm,两支承轴轮心距的最大极限值 $L=1\ 170$ mm,两支承轴轮间距的最大值 $L-d=720$ mm。要考虑以下两个问题。

一是铸件长度是否满足离心机的要求。该离心机上主动轴(或从动轴)上布置了三个支撑轮,生产短铸件时只需用到前面两个支撑轮,因这两个支撑轮相互之间的距离为500 mm,考虑到碘销孔的位置要避开铸型的滚道和止挡圈,可以计算出铸件的长度要大于772 mm。而本例导套长度为555 mm(含1%收缩率),显然不满足要求,况且这么大直径(1 100 mm左右),却长度这么短(830 mm左右)的铸型,放在大型滚轮式离心机上,稳定性也令人担忧。但我们还是找到了解决方法,就是将铸型的外形按常规设计,但铸型的内腔工作尺寸按铸件长度设计,不足的部分采用垫套和底板补足。

二是铸型的中心夹角是否安全。铸型轴心与支承轴轴心连线的夹角 θ (简称为中心夹角)是保证滚筒式铸型安全、平稳转动的重要参数,如果 θ 过小,高速转动的铸型会从支承轮上跳落;如果 θ 过大,则支撑轮与铸型滚道(与支撑轮相接触的铸型表面)之间的摩擦力会太小,主动支撑轮无法靠摩擦力带动铸型旋转,如图3所示。手册及教科书上一般介绍 $\theta=90^\circ\sim 120^\circ$ 。根据多年实践经验和从安全角度考虑,特别是对于大型滚轮式离心机,一般 θ 取 $110^\circ\sim 115^\circ$ ^[4, 6]。

图3 中心夹角 θ 计算简图Fig. 3 Included angle of the center θ computing model

中心夹角 θ 与轮心距 L 、铸型滚道直径 D 及支承轮直径 d 的关系如下:

$$\cos \frac{180^\circ - \theta}{2} = \frac{\frac{L}{2}}{\frac{D+d}{2}} = \frac{L}{D+d} \quad (2)$$

取 $\theta=110^\circ$ 进行试算, 最大轮心距 $L=1\ 170$ mm, 支撑轮直径 $d=450$ mm, 则铸型滚道直径为

$$D = \frac{L}{\cos \frac{180^\circ - \theta}{2}} - d = \frac{1\ 170}{\cos 35^\circ} - 450 = 978 \text{ (mm)}$$

而铸件外径为941 mm, 放1%收缩率后, 铸型的工作内径为950 mm, 铸型的壁厚为 $(978-950)/2=14$ mm, 显然, 这是不可能的。我们只能根据铸型工作内径950 mm, 尽量把铸型的壁厚设计得薄一点, 让中心夹角 θ 不要太小, 否则铸型会有从支撑轮上跳落的安全隐患。

因铸件壁厚为48 mm, 将铸型滚道处壁厚设计为60 mm, 对于直径这么大的铸型, 这个壁厚已经很薄, 铸型滚道直径为 $D=950+60+60=1\ 070$ (mm), 计算中心夹角 θ 。

$$\cos \frac{180^\circ - \theta}{2} = \frac{L}{D+d} = \frac{1\ 170}{1\ 170+450} = 0.769\ 7$$

故中心夹角 $\theta=100.6^\circ$, 虽然不在 $110^\circ \sim 115^\circ$ 的期望范围内, 但在教科书上介绍 $\theta=90^\circ \sim 120^\circ$ 的范围内, 对于大型铸型来说, $\theta=100.6^\circ$ 还算比较安全的。

综上所述, 采用大型滚轮式离心机方案。

3 铸型的设计

3.1 设备技术参数

本导套采用自制的滚轮离心机来浇注, 离心机电动机功率为30 kW, 电动机允许最大电流为63 A, 电动机最大转速为720 r/min。大型离心机有五档转速 $n_{\text{主动轴}}=1.4n_{\text{电机}}$, 电机各档转速 $n_{\text{电机}}$ 分别为430、460、500、670、720 r/min。主动轮直径 $d=450$ mm, 铸型滚道处直径 $D=1\ 070$ mm, 两支撑轴轮间距的最大值 $L-d=720$ mm。

3.2 铸型的设计

由于铸件材质为锡青铜, 铸型工作内腔尺寸, 在铸件轴向、径向尺寸的基础上加放1%的收缩率, 工作内腔直径为950 mm, 长度为555 mm。铸型内腔设计时不放起模斜度。从安全角度考虑, 铸型的材质取ZG270-500, 铸型质量为2 510 kg (不含底、盖板及垫套质量)。

铸型轴向游隙(铸型止挡圈与支撑轮的间隙)的确定, 我们自制的滚轮离心机前端两轮间的距离为500 mm, 支撑轮厚度为135 mm, 故将铸型止挡圈的内侧距离设计为480 mm, 小于离心机两轮内侧距离500 mm; 止挡圈的外侧距离设计为780 mm, 大于离心机两轮外侧距离770 mm。这样能保证始终有动态间隙, 使得铸型不会被离心机的支撑轮所卡死。铸型尺寸如图4。

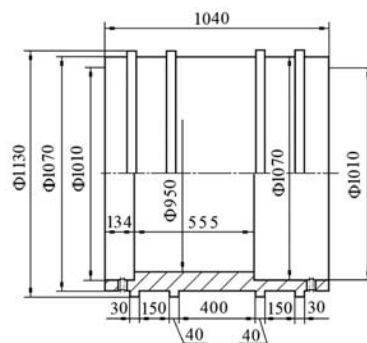


图4 铸型尺寸简图

Fig. 4 Schematic diagram of the mold size

3.3 铸型垫空段设计及装配

由于离心机的两个支撑轮相互之间的距离为500 mm, 考虑到楔销孔的位置要避免铸型的滚道和止挡圈, 在正常情况下, 这台离心机上的铸件长度要大于772 mm才利于设计铸型, 而现铸件长度为555 mm, 不足的尺寸217 mm (称之为垫空段), 可以采用增加1块底板(厚度为45 mm)和1个垫套(长度为172 mm)进行补足。

底板、盖板及垫套的设计。底板、盖板的尺寸均为外圆 $\Phi 1\ 005$ mm/内圆 $\Phi 650$ mm, 厚度为45 mm。垫套尺寸为外圆 $\Phi 1\ 005$ mm/内圆 $\Phi 945$ mm, 材质取ZG270-500。铸型装配及浇注系统简图如图5。

3.4 铸型最高温度确定

金属液浇入后, 铸型温度的升高值可用公式(3)估算^[7]。

$$\Delta T = \alpha \cdot \frac{M_{\text{件}}}{M_{\text{型}}} \quad (3)$$

式中: ΔT 为金属液浇入后, 铸型温度的升高值, $^\circ\text{C}$;

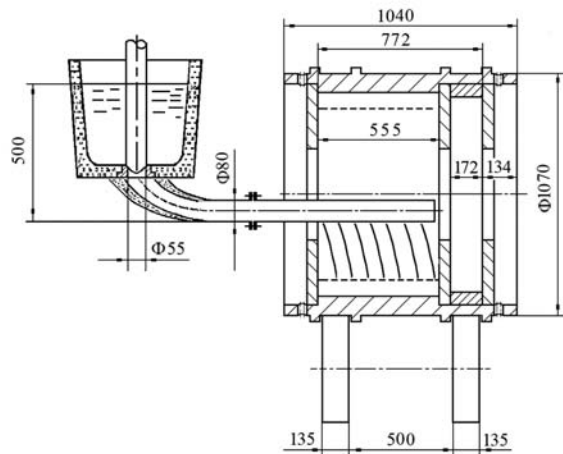


图5 铸型装配及浇注系统简图

Fig. 5 Schematic diagram of the mold assembly and gating system

$M_{\text{件}}$ 为铸件质量, kg; $M_{\text{型}}$ 为铸型质量, kg。其中 α 可从不同铸件材质与铸型材质搭配时的 α 值在表1中查得^[7]。

一般地, 由于不同温度下铸型的固态比热容不同, 导致系数 α 值相应也不同, 公式(3)则为不定方程, 故需要对不定方程进行求解, 可采用逐次逼近算法能得到较为准确的结果: 将铸型最高温度的估算值与初次假设的铸型最高温度相比较, 若其差值超出温度档差值的一半时, 则需进行修正, 即要用与初算值相差25℃以内的温度档的 α 值代入公式重新计算^[8]。

导套材质为锡青铜, 铸件质量 $M_{\text{件}}=625$ kg, 铸型材质为ZG270-500, 铸型质量 $M_{\text{型}}=2\ 510$ kg (不含底、盖板及垫套质量), 卧式铸型可以不考虑底、盖板及垫套质量。

表1 不同铸件材质与铸型材质搭配时的 α 值(节选)Table 1 Value table α when difference casting material collocate with difference mold materials

铸型		铸件材质					
铸型 材质	铸型 温度	铜合金		铸铁		碳素铸钢	
		锡青铜	铝青铜	黄铜	灰铁球铁	低碳钢	中碳钢
碳素铸钢	300℃	635.28	705.88	596.36	797.42	1 216.94	1 069.45
	350℃	616.47	684.97	578.70	773.80	1 180.90	1 029.98
	400℃	590.74	656.39	554.54	741.51	1 131.61	1 000.10
	450℃	567.07	630.09	532.33	711.80	1 086.27	959.18
	500℃	534.52	593.92	501.77	670.94	1 023.92	903.02
	550℃	501.21	556.91	470.50	629.13	960.11	848.13
	600℃	472.43	524.93	443.49	593.01	904.99	827.77
	650℃	443.42	492.70	416.26	564.37	849.42	799.54
	700℃	418.27	464.75	392.64	525.02	801.22	761.12
	750℃	394.05	437.83	369.90	540.34	754.83	846.91
	800℃	392.48	413.87	349.66	556.59	713.51	954.50

我们注意到 $M_{\text{型}}/M_{\text{件}}=2\ 510/625=4.02$, 即铸型的蓄热能力很大, 铸型最高温度不会高。先假设的铸型最高温度为300℃, 从表1可知, 当锡青铜铸件与碳素铸钢铸型搭配时, 与300℃对应的 $\alpha=635.28$, 从公式(3), 铸型温度的升高值(初算值) $\Delta T_1=\alpha M_{\text{件}}/M_{\text{型}}=635.28 \times 625/2\ 510=158$ (℃)。对于锡青铜铸件, 铸型的工作温度设为70℃, 故铸型最高温度 $T_2=\Delta T_1+T_{\text{工作温度}}=158+70=228$ (℃)。

显然, 最初假设的铸型最高温度为300℃, 而计算出的铸型最高温度 T_2 为228℃, 两者相差较大, 故要用与初算值温度档差值的一半(即相差25℃)以内的温度档的 α 值代入公式重新计算, 与228℃相差小于25℃的温度为250℃, 由于该温度太低, 表

1中没有, 可外推得到250℃对应的 $\alpha=650$, 200℃对应的 $\alpha=665$ 。将250℃对应的 $\alpha=650$ 代入公式, 有 $\Delta T_2=\alpha M_{\text{件}}/M_{\text{型}}=650 \times 625/2\ 510=162$ (℃)。

故铸型最高温度 $T_3=\Delta T_2+T_{\text{工作温度}}=162+70=232$ (℃), 算出的 T_3 和第二次假设的铸型最高温度250℃相差小于25℃, 故可认为铸型最高温度为232℃。

根据上述计算, 可以得到结论: 对于这么低的铸型最高温度, 根本就不需要增加辅助冷却。

从该案例可以看出, 计算铸型最高温度还是有些不便, 其实, 在第一步计算出 $T_2=\Delta T_1+T_{\text{工作温度}}=228$ (℃)。就可以知道铸型最高温度就在228℃左右, 离最终认定的 $T_3=232$ ℃相差无几, 就能判断铸型最高温度低于250℃, 可以直接作出不需要采用水冷措施的结论了。

4 浇注系统的设计

由于本例的铸型内腔的工作长度只有555 mm, 浇注小车上拔塞围包中装满合金液时的静压头高度 $H=670$ mm, 若采用端注式浇道, 根据计算可知, 合金液的抛物线落点大约在离盖板400~450 mm左右的地方, 即合金液都集中在铸型的尾部, 这对于均匀铺型十分不利, 造成合金液的飞溅和翻滚, 对锡青铜而言, 容易产生氧化夹杂和卷入气体。故在浇注系统设计时, 要注意: ①拔塞围包中装合金液时不要装满, 使静压头高度控制在 $H=500$ mm左右; ②采用缝隙式浇道(端头封死), 缝隙宽度为12 mm, 沿程铺型。缝隙式浇口管及位置示意图如图6。

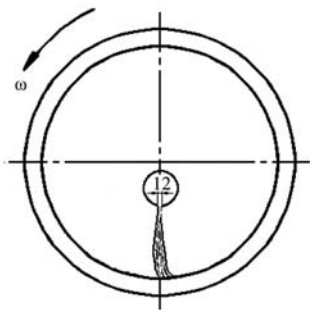


图6 缝隙式浇口管及位置示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the gap gate pipe and its position

5 离心铸造工艺参数

5.1 铸型的离心转速

可根据康氏转速公式计算铸型所需要的转速为^[3]:

$$n = \frac{55\ 200}{\sqrt{\gamma \cdot R_0}} \beta \quad (4)$$

式中: n 为铸型转速, r/min; γ 为浇注合金的重度, N/m^3 ; R_0 为铸件的半径, m; β 为调整系数, 对铜合金的离心铸造, 取 $\beta=1.2\sim 1.4$ 。

对于锡青铜ZCuSn5Pb5Zn5, $\gamma=8.62 \times 10^4 \text{ N/m}^3$, $R_0=0.4225 \text{ m}$, 铸型所需的离心转速为:

$$n = \frac{55\ 200}{\sqrt{\gamma \cdot R_0}} \beta = \frac{55\ 200}{\sqrt{8.62 \times 10^4 \times 0.4225}} \times (1.2\sim 1.4)$$

$$= 289.3 \times (1.2\sim 1.4) = (347\sim 405) \text{ r/min}$$

$$n_{\text{型}} = d \cdot n_{\text{主动轴}} / D = 450 \times 1.4 n_{\text{电机}} / 1\ 070 = 0.589 n_{\text{电机}}$$

当取四挡转速 $n_{\text{电机}}=670 \text{ r/min}$ 时, 铸型转速为 $n_{\text{型}}=395 \text{ r/min}$, 可以满足要求。

当三挡转速 $n_{\text{电机}}=500 \text{ r/min}$ 时, 铸型转速为 $n_{\text{型}}=295 \text{ r/min}$, 此时 $\beta=1.02$, 铸件质量为652 kg, 而铸型质量为2 510 kg, 激冷足够强, 可以采用, 但从提高离心转速、有利于获得较为致密的锡青铜组织的角度考虑, 取四挡转速对保证产品质量更好。

此外, 因导套外径/内径 $=1.11 < 2$, 在浇注过程中铸型采用等离心转速运转。

5.2 烘型工艺及涂料

将加工后的铸型进行高温烘干, 烘型温度为 $460\sim 480 \text{ }^\circ\text{C}$, 保温时间为6~7 h。此后, 将出炉后的铸型放在空气中冷却, 当铸型温度降低到 $280\sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 将外购的超细复合耐火骨料的水基涂料, 呈雾状喷到铸型工作表面, 喷涂厚度约为 $0.9\sim 1.3 \text{ mm}$ 。喷涂涂料时应逐层进行, 力求均匀光洁。这样大大降低铸件表面产生气孔及皮下气孔、针孔等缺陷发生的概率^[9]。

5.3 铸型工作温度

将喷完涂料的铸型继续空冷到铸型的工作温度时才能进行浇注, 对于锡青铜ZCuSn5Pb5Zn5而言, 取铸型工作温度为 $50\sim 90 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

由于铸件质量为652 kg, 而铸型质量为2 510 kg, 前面已进行了详细分析, 铸型有非常高的蓄热能力, 不需要采用水冷措施, 这对于防止铸件产生裂纹缺陷是很重要的。

5.4 浇注温度

对于锡青铜ZCuSn5Pb5Zn5, 铸件的长度较短, 不容易产生冷隔缺陷, 适当降低浇注温度, 有利于提高铸件组织的致密性, 取浇注温度为 $1\ 110\sim 1\ 130 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

5.5 浇注时间

开始浇注时, 浇注速度控制在 35 kg/s , 浇注过半后, 控制在 25 kg/s , 浇注时间约为21 s。

5.6 脱模温度

脱模温度控制在低于 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

6 首件失败的原因分析

该导套的订货数量为8件, 在生产了首件后就进行粗加工以验证工艺, 发现在粗加工件的内外圆表面有夹杂无法去除, 首件只能报废处理。针对整个工艺和施工过程进行分析, 要防止夹杂产生, 原因无非如下几个: 铸型工作表面的洁净度; 合金液中的含气量; 合金液对铸型工作表面的冲击而产生紊流。

从第一点来看, 一次烘型工艺是没有问题的; 第二点, 只能在后续的生产中, 在合金液浇注前一定要对合金液进行充分搅拌, 一方面尽可能减少合金液中的含气量, 另一方面避免铅的析出而形成偏析; 第三点, 是讨论的焦点, 以前生产壁厚较厚的锡青铜铸件, 端注式浇道、缝隙式浇道、端注+缝隙式浇道,

这三种形式的浇道都用过，合金液在铸型中产生紊流，导致气体卷入，这是很难避免的，但对于壁厚大的铸件则影响很小。

这次在导套产品上出现这么严重的缺陷，经过对导套产品的个性分析，发现一方面导套的直径很大，故表面积就相对较大，气体卷入铸型中未凝固合金液的概率也较大。另一方面导套的壁厚很小，只有48 mm，但铸型壁厚有60 mm，铸件质量只有652 kg，但铸型质量有2 150 kg。显然合金液浇入铸型中，温度下降很快，如果浇注系统中浇入的合金液对铸型的冲击力较大，紊流现象较为严重，从而卷入气体。合金液中，气渣往往相拌，而浇入铸型的合金液冷却较快，变得较为稠厚，导致夹杂难以浮到铸件的內表面，故无法通过加工而去除。

7 工艺改进及结果

根据以上分析，从浇注系统入手，尽量减小合金液对铸型的冲击力，通过减轻紊流现象，减少卷入的气体，从而尽量避免气渣相拌。具体方法如下。

一是设计出一种全新的浇注系统，即采用端头封死的双排雨淋式浇道，雨淋孔径为10 mm，同一排上孔间距为32 mm，相邻两排之间距离为16 mm，两排雨淋孔的位置相互交错布置。这种浇注系统既能保证合金液均匀地沿程铺型，又能使得合金液分为多股细流进入铸型，冲击力明显降低。

二是调整浇道的位置。降低浇道高度，使浇道离铸型底部更近一点，进一步减小合金液的冲击力，并且浇道放在顺旋转切线位置，使合金液的注入方向和铸型旋转方向一致，使合金液能随铸型平稳地旋转，以减轻合金液的飞溅和翻滚^[9]。

双排雨淋式浇道切线位置示意图如图7。

另外，对出炉后的合金液进行了充分搅拌。改进浇注系统后，浇注时间约为34 s。加工后的导套再没有出现过夹杂情况，8件产品质量均良好。

8 结论

(1) 锡青铜ZCuSn5Pb5Zn5化学成分中不含P，Sn

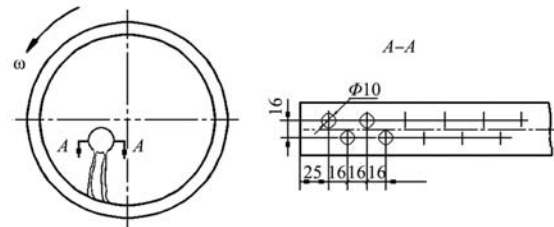


图7 双排雨淋式浇口管切线位置示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the tangent position of the double row deluge gate pipe

含量也很低，且导套铸件壁厚很薄，在离心铸造下，凝固时间很短，故不需考虑减少铸件“反偏析”缺陷的工艺措施。但ZCuSn5Zn5Pb5为含铅锡青铜，凝固时铅容易析出，形成偏析，在合金液出炉后一定要注意充分搅拌。

(2) 离心铸造时，对铸型是否需要采用水冷措施，可估算离心铸型最高温度来确定。在估算铸型温度升高值公式中，由于不同温度下铸型的固态比热容不同，导致系数 α 值相应也不同，估算公式则为不定方程，可采用逐次逼近算法能得到较为准确的结果。

(3) 在大型滚轮式离心机浇注直径较大且长度较短的套类铸件时，一是要注意铸型的中心夹角是否安全，将其控制在 $100^{\circ}\sim 110^{\circ}$ 较为合适；二是若铸件长度不能满足铸型对最短铸件要求时，可将铸型的外形按常规设计，而铸型的内腔工作尺寸按铸件长度设计，不足的部分采用垫套和底板补足。

(4) 对于表面积大的锡青铜薄壁离心铸件，由于铸型较厚，合金液在铸型中冷却较快，变得较为稠厚，如果浇入的合金液对铸型的冲击力较大，很容易产生紊流，从而卷入气体，气渣往往相拌，从而导致夹杂难以浮到铸件的內表面、通过加工而去除。

(5) 对于表面积较大的锡青铜薄壁铸件，要防止铸件内产生夹杂，一是采用双排雨淋式浇道，减小合金液对铸型的冲击力，尽量避免气渣相拌；二是调整浇道的位置，即降低浇道高度，且浇道放在顺旋转切线位置，使合金液的注入方向和铸型旋转方向一致，以减轻合金液的飞溅和翻滚。

参考文献:

- [1] 机械工程学会铸造分会组编. 戴圣龙主编. 铸造手册第3卷: 铸造非铁合金 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [2] 《铸造有色合金手册》编写组. 铸造有色合金手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [3] 杨为勤, 党旭亮. 大型锡青铜厚壁蜗轮的离心铸造工艺研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2012, 32 (10): 975-978.
- [4] 林柏年. 特种铸造 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2004.
- [5] 滕冠, 杨为勤. 大型高锰铝青铜轴套的立式离心铸造工艺研究 [J]. 铸造技术, 2016, 37 (5): 1053-1057.
- [6] 机械工程学会铸造分会. 铸造手册第6卷, 特种铸造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.
- [7] 杨为勤. 离心铸造时铸型最高温度的估算方法 [J]. 铸造技术, 2013, 34 (12): 1719-1719.
- [8] 杨达飞, 谢帮灵, 杨为勤. 大型厚壁护套的离心铸造工艺及铸型强度校核 [J]. 铸造, 2016, 65 (5): 459-462.
- [9] 杨为勤. 大型锡青铜轴套的离心铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2010, 59 (10): 1007-1011.

Centrifugal Casting of Large Diameter and Thin Wall Tin Bronze Guide Sleeve and Its Process Improvement

LIU Hai-na¹, WANG Yan-ting¹, YANG Wei-qin², LIU Ling-bing³

(1. Huanghe Jiaotong University, Jianzuo 454950, Henan, China; 2. Wuchang Shipbuliding Industry Co., Ltd., Wuhan 430064, Hubei, China; 3. Jiaozuo Taixin Machinery Manufacturing Co., Ltd., Jianzuo 454450, Henan, China)

Abstract:

The large-diameter thin-walled guide sleeve, made of ZCuSn5Pb5Zn5, has high quality requirements, and was produced by a large roller centrifuge. According to the estimation of the maximum temperature of the mold, the judgment conditions of whether the mold needs to be water-cooled were given. When large diameter and short length sleeves on the equipment was casted, the method of filling up the gap can be used for the casting mold. For the large diameter and thin wall castings, it is important to prevent inclusions in the castings. The first piece was poured by slot pouring pipe, and the processed product was scrapped due to inclusion. After the process improvement, the double-row deluge pouring pipe was adopted, and the 8 products were compact in structure, free of inclusion defects and good in quality.

Key words:

tin bronze; large guide sleeve; centrifugal casting