

组合机床 Y 向滑台体交错筋部位铸造工艺探究

张健月¹, 陶应啟¹, 唐晓章², 王吉应¹, 陈华强¹, 邹捷³

(1. 浙江省冶金研究院有限公司, 浙江杭州 310011; 2. 杭州汽轮铸锻有限公司, 浙江杭州 311100;
3. 浙江鸿峰重工机械有限公司, 浙江湖州 313000)

摘要: 组合机床Y向滑台体(以下简称滑台体)的交错筋部位在铸造过程中易形成局部热节, 不利于铸件顺序凝固。对比了交错筋部位放置冒口和放置冷铁两种工艺方案后发现, 采用后者不仅简化了工序, 而且提高了工艺出品率约3%。通过铸件凝固过程数值模拟与超声波探伤验证了冷铁工艺方案的合理性。

关键词: G20Mn5; 滑台体; 铸造工艺; 交错筋

大型煤矿机械、冶金机械及电站设备等, 通常在高温、高湿或者高粉尘的环境中进行高速、重载、振动、冲击与摩擦等不同工况作业^[1]。因此, 设备在结构设计上, 通常采用较多交错分布的十字加强筋设计来进一步保证其强度和刚性需求。

从结构设计角度来说, 交错筋的每条边必须加上脱模斜度以减少脱模顶出时的摩擦力, 底部相连接产品的位置必须加上圆角以消除应力集中的问题(图1)。使用多条矮的交错筋比使用单一平行的加强筋更有优势^[2-4]。但是此种厚大的结构设计, 增加了局部的热节, 不利于结构上的补缩。同时加强筋与本体连接的R角部分包裹型砂, 不利于铸件散热, 易导致粘砂缺陷, 增加铸件清理工作量。武玉平^[5]认为, 厚大部位的热节, 在补缩不畅通的情况下, 可以采用在钢液充型平行方向放置内冷铁的方式消除热节处凝固后遗留的缩松等缺陷。而引入内冷铁时如果浇注温度不当或内冷铁尺寸选择过大也会造成未熔合的缺陷。本研究针对滑台体交错筋的厚大部位铸造工艺方案探究, 旨在寻找即经济又合理的工艺方案。

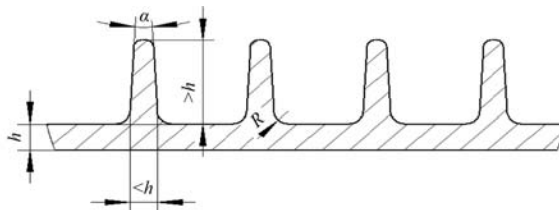


图1 加强筋的结构设计

Fig. 1 Structural design of the stiffeners

作者简介:

张健月(1986-), 女, 硕士生, 中级工程师, 主要从事金属材料铸造及热处理的研究工作。E-mail: zhangjianyue5711@163.com

中图分类号: TG24

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2023)

05-0598-05

收稿日期:

2022-08-23 收到初稿,

2022-10-12 收到修订稿。

1 滑台体结构及材质

具有典型多条厚大十字交错筋结构的滑台体铸件结构如图2所示。铸件外形几何尺寸为2 072 mm × 1 165 mm × 992 mm, 壁厚为60 mm, 交错筋当量尺寸为Φ80 mm × 120 mm, 筋板壁厚为50 mm。铸件交货重量为4 386 kg。滑台体材质为G20Mn5低合金铸钢, 化学成分如表1所示。

表1 G20Mn5的化学成分
Table 1 Nominal chemical composition of the G20Mn5

						$w_B / \%$
C	Si	Mn	S	P	Mo	Fe
0.21	0.56	0.81	0.015	0.025	0.54	余量

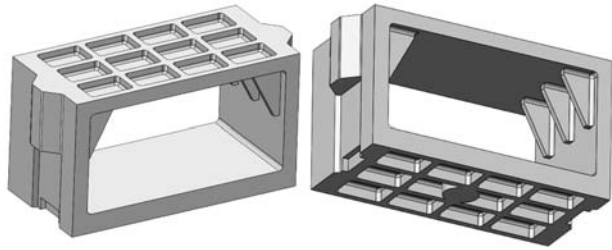


图2 滑台体结构
Fig. 2 Structure of slide body

2 滑台体交错筋部位铸造工艺方案

从铸造工艺角度出发,滑台体结构将分型面设置在十字交错筋所在的面较为合理(图3)。交错筋为厚大部位,为解决其凝固补缩不畅通的问题,有两种铸造工艺方案。

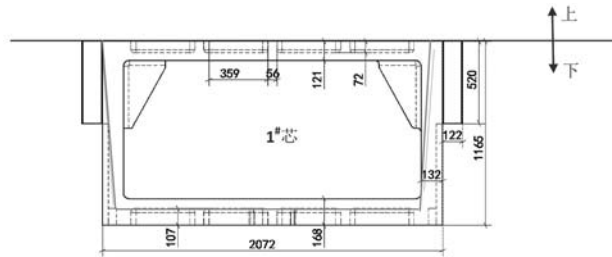


图3 滑台体结构铸造工艺方案简图
Fig. 3 Schematic diagram of the casting process of the slide body

方案1:在交错筋的部位单纯的放置冒口,多数情况下,从模数角度考虑:冒口的大小通常要大于十字交错筋位置的大小,盖箱上的冒口,从浇注温度过高、型砂砂层过薄、强度不足角度考虑,其下方砂子通常需全部铲掉,铲掉砂子的部分将被作为冒口脚进行补缩,这样就导致铸件后续清理阶段,需增加工序,通过碳弧气刨修整出交错筋的轮廓(图4)。

方案2:从无损探伤角度出发考虑,通常机床或煤矿机械的交错筋部分无损探伤要求基本满足国标GB/T

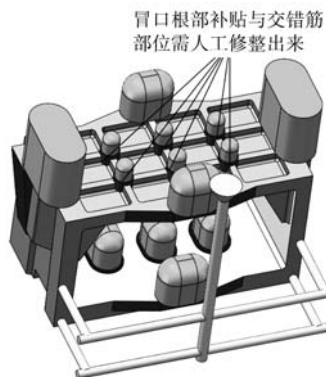


图4 滑台体结构铸造工艺方案1
Fig. 4 Casting process scheme 1 of the slide body

7233.1—2009《铸钢件 超声检测 第1部分:一般用途铸钢件》探伤等级Ⅱ级即可。因此,通过放置外冷铁的方式来加快局部冷却速度,实现铸件顺序凝固,可以有效避免出现缩孔及密集型缩松等较大缺陷,同时减少铸件清理工作量。(图5)。

原来放冒口的方案改为单纯放外冷铁实现顺序凝固

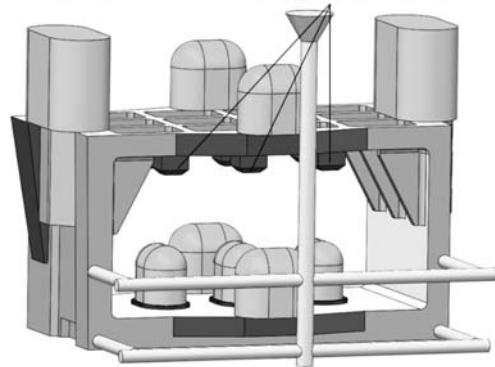


图5 滑台体结构铸造工艺方案2
Fig. 5 Casting process scheme 2 of the slide body

综合考虑实际生产的需要及成品交货的验收标准,不难发现,选择在交错筋的部位放置外冷铁的工艺方案,不仅为模具制作、切割冒口和清理打磨提供便利,而且可以缩短产品交货周期。两种铸造工艺方案的出品率对比(表2),不难发现,采用交错筋部位放置冷铁工艺出品率提高将近3%,显著降低了制造成本,提高了市场竞争力。但是针对交错筋部位所放置外冷铁的位置、大小及激冷效果,这些具体的冷铁激冷工艺参数还需要做进一步量化的分析。否则冷铁位置不当,冷铁尺寸过小或者过大,带来的激冷效果不显著以及对铸件激冷过度等问题会严重影响产品质量^[6-7]。

表2 两种铸造方案的工艺出品率对比
Table 2 Comparison of the yield of two casting process schemes

铸造工艺	毛坯重量/kg	工艺重量/kg	工艺出品率/%
方案1	5 088.5	9 489.2	53.62
方案2	5 088.5	9 012.1	56.46

3 交错筋部位冷铁激冷工艺方案

3.1 外冷铁的位置

铸件分型面确定以后,冷铁的位置有上下两个面可以选择,放在交错筋的上端面中心处,即放在分型面的上部。那么涉及两个不利因素:第一,如果理论计算出的外冷铁体积过大,为防止吊装过程中及高温钢液填充铸型时温度过高导致树脂及固化剂的粘结力下降,外冷铁与其接触的型砂摩擦力不足,从而存在

外冷铁从盖箱掉落的可能性,同时还需考虑外冷铁在盖箱上的固定问题;第二,如果放置明冷铁在铸件的上端面中心处,可能会阻碍整个型腔的排气问题,造成铸件上端面气孔的产生。同时,上端面放外冷铁其效果等效为有气隙外冷铁的效果,相当于在原有砂型散热表面积上净增了一倍的冷铁工作面积,比在底端面放外冷铁的效果(无隙外冷铁)减弱一半^[8]。因此,确定冷铁的位置,将其放在交错筋部位的底面中心处。

3.2 外冷铁的大小

外冷铁放置在十字交错筋的底面中心处,除交错筋以外,其余均为等壁厚,所以为了使整个平面实现顺序凝固,即采用冷铁后,交错筋部位模数降低,冷却加快。可通过模数法较为准确的计算出外冷铁的大小及冷铁与铸件接触的工作面积,进而求出外冷铁厚度。

根据已有的计算外冷铁重量的公式^[9],对于铸件,假设钢液充型温度为1 550 ℃,设置冷铁部位铸件凝固结束时的冷铁平均温度为600 ℃,则可推导出冷铁重量公式(1)。

$$G_{\text{ch}} = 7.4V_0 \frac{(M_0 - M_1)}{M_0} \quad (1)$$

式中: V_0 为设置冷铁部位的铸件体积, dm^3 ; M_0 为设置冷铁部位铸件几何模数, dm ; M_1 为与设置冷铁相邻部位的铸件模数, dm ; G_{ch} 为冷铁重量, kg 。

根据式(1),交错筋部位铸件等效体积 $V_0 = \pi R^2 h = 3.14 \times 0.82 \times 1.2 \approx 2.412 \text{ dm}^3$;对于冷铁相邻部位的铸件,可近似为板件,板件模数为板件厚度一

半,即 $M_1 = 0.6/2 = 0.3 \text{ dm}$;根据杆-板连接接头模数计算公式(2)。

$$M_0 = \frac{da}{2(d+a-b)} \quad (2)$$

式中: d 为热节圆直径, b 为板厚, a 为杆-板高度,可求出 $M_0 = \frac{(0.8 \times 1.2)}{2 \times (0.8 + 1.2 - 0.6)} \approx 0.3439 \text{ dm}$ 。根据公式(1)

$$\text{求得 } G_{\text{ch}} = 7.4 \times 2.412 \times \frac{(0.3439 - 0.3)}{0.3439} \approx 2.279 \text{ kg}$$

研究使用的冷铁为无间隙外冷铁,其使用效果相当于在原有砂型散热表面积上增加了两倍的冷铁工作表面积($A_s = A_0 + 2A_c$)^[8],其中 A_s 为砂型等效面积, A_0 为铸件被激冷处的表面积, A_c 为冷铁工作面积。应用外冷铁使铸件凝固时间缩短,相当于使铸件模数由 M_0 减少为 M_1 ,由此可导出外冷铁工作面积 A_c ,即:

$$A_c = \frac{A_s - A_0}{2} = \frac{\frac{V_0}{M_1} - \frac{V_0}{M_0}}{2} = \frac{V_0(M_0 - M_1)}{2M_0M_1} \quad (3)$$

根据(3)式可以求出, $A_c = \frac{2.412(0.3439 - 0.3)}{0.3439 \times 0.3} \approx 1.026 \text{ dm}^2$

3.3 交错筋部位冷铁激冷效果

根据求得放置在交错筋部位的冷铁尺寸,采用计算机凝固数值模拟软件——华铸CAE,对滑台体工艺方案(带有冷铁)进行凝固动态分析^[10-12]。通过模拟软件分析交错筋部位放置冷铁后的激冷效果,确定交错筋部位铸造工艺方案的可行性。具体模拟结果如图6所示。

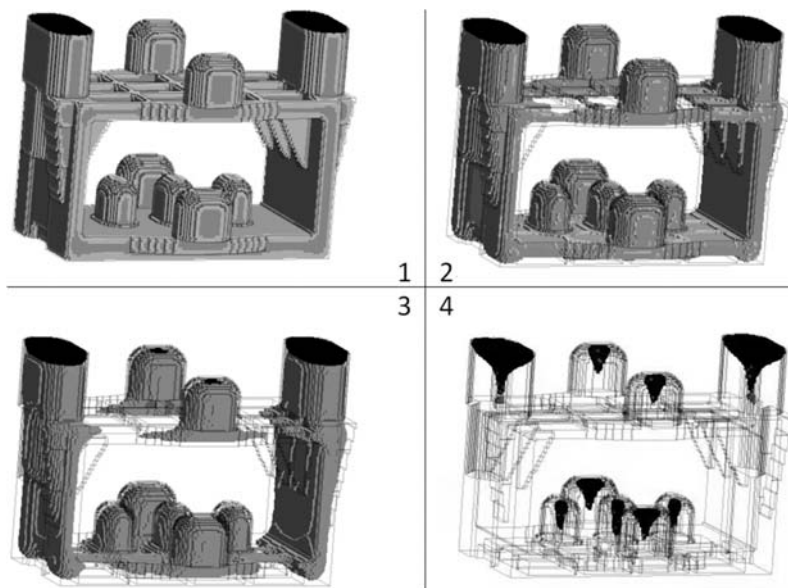


图6 机床Y向滑台体4个阶段的计算机凝固数值模拟图

Fig. 6 Computer solidification numerical simulation diagram of four stages of the machine Y-direction slide body

通过模拟结果可以看出，交错筋处的冷铁激冷效果显著，此铸造工艺方案切实可行。后续产品粗加工结束后，通过在交错筋上定点定面进行超声波检验（图7），进一步验证冷铁激冷方案的优劣。

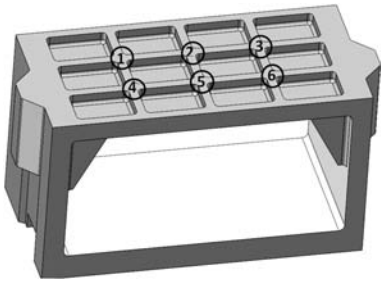


图7 超声波定点检测位置示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the ultrasonic fixed-point testing position

在前期造型过程中，先对指定尺寸的冷铁进行表面处理，使其符合工艺规范要求。在交错筋底面放置冷铁时，需要先在芯盒中精准定位冷铁，防止冷铁在制芯过程中发生跑位现象，影响冷铁激冷效果的发挥。具体措施可通过在芯盒中特定位置特定深度处增设样板，通过样板的定位来实现冷铁的精准定位。

4 试验结果

基于上述交错筋部位铸造工艺方案的研究，造型制芯时采用增设样板精准定位冷铁，充分保证冷铁激冷效果。试生产一炉低合金铸钢材质的滑台体结构2件，经过机加工后超声波检验验证，铸件的终检合格率均为100%，对交错筋冷铁激冷部位的超声波检查结果如表3所示。

表3 超声波定点检测结果简要评价
Table 3 The brief results of the ultrasonic fixed-point testing

炉号	检查部位序号	缺陷情况			评定等级	检查结果
		缺陷深度/mm	单个点状不连续缺陷当量直径/mm	密集型点状不连续缺陷当量直径/mm		
H6235-1	1	15.3	3.3	-	国标2级	合格
	2	-	-	-	-	合格
	3	21~25	-	3.2	国标2级	合格
	4	-	-	-	-	合格
	5	-	-	-	-	合格
	6	-	-	-	-	合格
H6235-2	1	18.4	3.2	-	国标2级	合格
	2	-	-	-	-	合格
	3	23~26	-	3.4	国标2级	合格
	4	-	-	-	-	合格
	5	-	-	-	-	合格
	6	17.5	3.1	-	国标2级	合格

注：依据GB/T 7233.1—2009《铸钢件 超声检测 第1部分：一般用途铸钢件》

5 结束语

在满足滑台体铸件交货技术条件前提下，采用在铸件交错筋部位放置冷铁工艺不仅减少了清理工作量、预防粘砂等缺陷，而且提高了铸件工艺出品率3%左右，数值模拟分析及铸件超声波探伤结果验证了上述方案可行性。

虽然理论推导了冷铁的尺寸，通过计算机软件凝

固数值模拟展示了冷铁激冷效果，但是实际铸造生产中还有很多不确定因素，包括冷铁的使用次数，以及造型用砂的状态，春砂的紧实度，这些因素都一定程度影响了冷铁的激冷效果。而对于交错筋放置冷铁部位的实际金相组织及孔隙率大小（致密性）的问题，由于受到产品交货周期及验收标准等多方面的限制，未进行进一步的理论探究。

参考文献:

- [1] 韩发朝. 煤矿机械设备的故障和维修探究 [J]. 企业研究, 2013 (6): 174.
- [2] 季学荣, 丁晓红. 板壳结构加强筋优化设计方法 [J]. 机械强度, 2012, 34 (5): 692-698.
- [3] 丁晓红, 林建中, 山崎光悦. 利用植物根系形态形成机理的加筋薄壳结构拓扑优化设计 [J]. 机械工程学报, 2008, 44 (4): 201-205.
- [4] 李蕾, 张葆, 李全超, 等. 基于灵敏度数的薄板结构加强筋布局优化设计 [J]. 中国机械工程, 2016, 27 (9): 1143-1149.
- [5] 武玉平, 陈志军, 李爽, 等. 2PL04 连续运煤机履带板铸造工艺优化 [J]. 铸造, 2021, 70 (12): 1471-1475.
- [6] 张吉雁, 刘仲礼, 张彬. 铸造隔断冷铁的设计与实践 [J]. 铸造技术, 2020, 41 (11): 1030-1033.
- [7] 纪汗成. 浅谈铸造激冷系统的设计和冷铁标准化 [J]. 铸造工程, 2019, 43 (4): 28-38.
- [8] 王文清, 李魁盛. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [9] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册: 第五卷 铸造工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [10] 王成军, 洪维立, 白东明, 等. 矿用平板车车轮铸件铸造过程模拟及优化 [J]. 铸造, 2022, 71 (5): 650-655.
- [11] 唐方艳, 梅益, 薛茂远, 等. 大型机床底座铸造工艺设计与优化 [J]. 铸造, 2022, 71 (1): 103-108.
- [12] 徐恩献, 魏加赞, 贾冠飞, 等. 大型旋回破碎机架体铸造工艺优化与生产应用 [J]. 铸造, 2022, 71 (7): 915-918.

Research on Casting Process of Cross Ribs of Combined Machine Tool Y Direction Slide Body

ZHANG Jian-yue¹, TAO Ying-qi¹, TANG Xiao-zhang², WANG Ji-ying¹, CHEN Hua-qiang¹, ZOU Jie³

(1. Zhejiang Metallurgical Research Institute Co., Ltd., Hangzhou 310011, Zhejiang, China; 2. Hangzhou Steam Turbine Casting & Forging Co., Ltd., Hangzhou 311100, Zhejiang, China; 3. Zhejiang Hongfeng Heavy Industry Machinery Co., Ltd., Huzhou 313000, Zhejiang, China)

Abstract:

Local hot spot is easy to form at the cross rib part of the Y-direction sliding table body of the modular machine tool (hereinafter referred to as the sliding table body) during the casting process, which is not conducive to the sequential solidification of castings. After comparing the two process schemes of placing riser and chills at the cross ribs, it is found that the latter not only simplified the process, but also improved the process yield by about 3%. The rationality of the chills process was verified by numerical simulation of the casting solidification process and ultrasonic flaw detection.

Key words:

G20Mn5; slide body; casting process; cross ribs