

内圆磨床工作台铸件结构与工艺优化

崔希文

河南工业大学工程训练中心 河南郑州 450001

摘要: 介绍了工作台铸件原工艺方案, 并指出该方案在生产中出现的问题。经分析认为, 改进铸件结构是解决问题的最佳途径。在不改变外形机械加工尺寸的前提下, 改进铸件结构, 调整工艺方案, 使诸多问题得以解决, 生产出合格的工作台铸件, 从而达到降低生产难度、节约金属材料、降低生产成本, 以及提高成品率的效果。

关键词: 工作台; 模板造型; 粘砂; 共晶度; 成品率

Optimization of the structure and technology of the worktable of internal grinder

CUI Xiwen

Henan University of Technology Engineering Training Centre, Zhengzhou 450001, Henan, China

Abstract: The original process scheme of worktable casting was introduced, and the problems in production were pointed out. It is considered that the best way to solve the problem is to improve the casting structure. On the premise of not changing the external machining dimension, improve the casting structure, adjust the process plan, so that many problems can be solved, produce qualified table casting. Thus the production difficulty is reduced, the metal material is saved, the production cost is reduced, and the finished product rate is increased.

Keywords: table; template modeling; clay sand; eutectic degree; inished product rate

1 序言

工作台作为M2210型半自动内圆磨床的关键部件, 对铸件的内在质量、尺寸精度、整体强度及刚度等都有较高的要求, 尤其是2条导轨, 为保证其耐磨性, 还要求具有较高的硬度($>190\text{HBW}$), 不允许有任何铸造缺陷。因此, 本文针对工作台铸件在生产中出现的问题, 优化设计结构和铸造工艺, 保证铸造质量, 具有重要意义。

2 工作台结构与生产状况

铸件重 190kg , 材质HT200, 轮廓尺寸为 $1400\text{mm} \times 300\text{mm} \times 100\text{mm}$, 三维结构如图1所示。原工艺生产时存在一些非常棘手的问题, 如主砂芯

制作难度大, 耗费工时多; 虽然导轨硬度合格, 但矩形方框边缘、导轨侧边缘、淌水孔沿(见图2)等薄壁处出现麻口或白口组织, 致使加工难度大, 以及工作台内腔靠近平导轨一侧粘砂严重、清理难度大等。为得到力学性能优良、无铸造缺陷的机床工作台铸件^[1], 多年来一直进行着各种尝试, 效果不甚理想。经研讨、分析认为, 改进铸件结构是解决上述问题的最佳途径。征得设计人员同意, 在不改变外形尺寸的前提下, 改进铸件结构, 调整工艺方案, 使诸多问题得以解决, 生产出合格的工作台铸件, 从而达到降低生产难度、节约金属材料、降低生产成本, 以及提高成品率的效果。

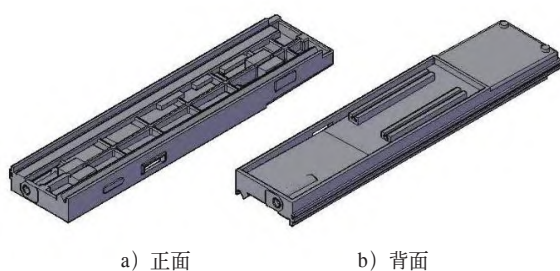


图1 工作台三维结构

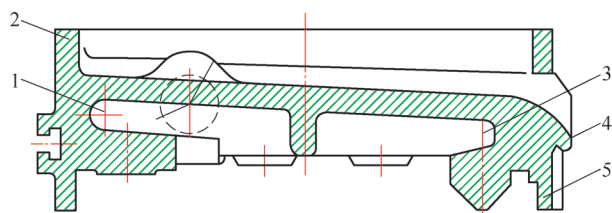


图2 工作台内腔结构

1—内腔左侧区域 2—矩形方框沿 3—内腔右侧区域
4—淌水孔沿 5—导轨侧沿

3 原铸造工艺方案及存在的问题

3.1 原铸造工艺方案

原铸造工艺(见图3)采用粘土砂、两箱分模造型,导轨面朝下,干型干芯,分模面、分型面为同一平面,位置如图4所示。上下模做成模板形式,以保证其刚度,减少变形。工作台内腔形状复杂,共由3个砂芯形成。1[#]、2[#]砂芯(见图5)长675mm,拼到一起形成工作台内腔的主体部分。3[#]砂芯为淌水孔砂芯。

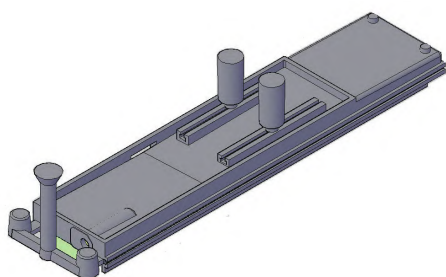


图3 原铸造工艺

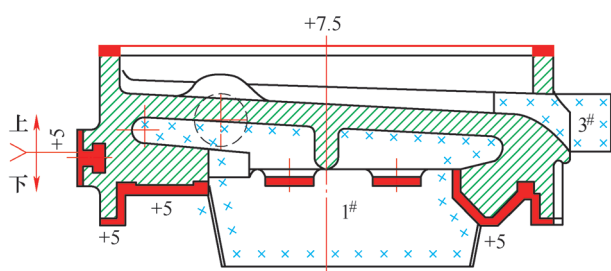
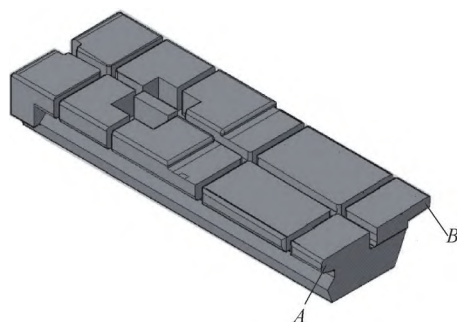
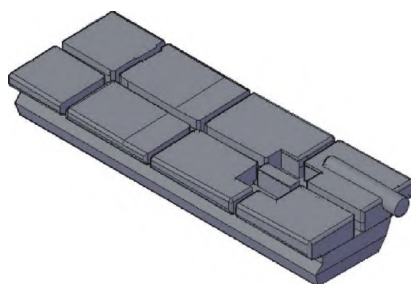


图4 分模面与分型面位置



a) 1[#]砂芯



b) 2[#]砂芯

图5 1[#]、2[#]砂芯

浇注系统设置在工作台的端头,内浇道正对着2条导轨开设,充型更为顺畅。横浇道设置在上型,横浇道与内浇道之间设置一离心式集渣包,以增强除渣效果。上型2个380mm×44mm×(45~49)mm矩形凸台(中间铣有梯形槽)是磨架的安装基础,该部位截面厚大,易产生缩松、缩孔等收缩缺陷。凸台上各设置1个 $\phi 70\text{mm} \times 200\text{mm}$ 明冒口,对该部位进行补缩(见图3)。

铁液成分为: $w_{\text{C}} = 3.35\%$, $w_{\text{Si}} = 1.8\%$, $w_{\text{Mn}} = 0.9\%$, $w_{\text{S}} = 0.05\%$, $w_{\text{P}} = 0.1\%$ 。出铁槽75SiFe孕育处理。浇注时间为30s,浇注温度为1400~1450℃。

3.2 生产中存在的问题及产生原因分析

(1) 生产中存在的问题

1) 问题1: 导轨部位达到硬度要求,而其他薄壁部位,如矩形方框沿、导轨侧沿、淌水孔沿、尾部2个 $\phi 30\text{mm} \times 50\text{mm}$ 工艺台部位,出现麻口甚至白口组织,造成后道工序机械加工困难的现象,废品率近15%。

2) 问题2: 1[#]、2[#]砂芯两翼部(见图5中A、B区域)截面厚度小,尤其是平导轨一侧(B部位)截面厚度仅16~18mm,强度较低,制芯及烘干时很容易断掉,往往要多准备1~2个砂芯,以备合箱时替换。

3) 问题3: 工作台内腔,尤其是内腔左侧区域

很容易出现粘砂缺陷。工作台左侧内腔区域最小空间高度仅为16~18mm,清理工具很难进入操作,芯砂清理难度大,耗费工时多。

(2) 产生原因分析

1) 由于冷却速度的差异,因此铸件上不同壁厚部位力学性能是不同的。导轨是工作台最关键的部位,导轨的硬度等性能指标必须优先保证。因为壁厚悬殊,确定化学成分时若保证了导轨的硬度要求,其他薄壁部位就容易出现麻口或白口组织,所以会造成加工困难或无法加工^[2]。

根据原铁液化学成分,铁液的共晶度 Sc 值可由公式 $Sc = C / [4.3 - 0.3 (Si + P)]$ 计算得出,共晶度 Sc 值为0.9。共晶度 Sc 与铸件形成白口组织的临界壁厚之间的关系如图6所示^[3]。由图6可看出,随共晶度值增加,铸铁材料形成麻口组织、白口组织的临界壁厚逐渐减小。当共晶度 Sc 值为0.9时,铸件形成灰口组织的临界值为15mm,形成白口的临界值为10mm。也就是说,共晶度为0.9时,铸件的壁厚>15mm,即可得到灰口组织;壁厚<10mm时,铸件将会产生白口组织;壁厚在10~15mm,会形成麻口组织。工作台矩形方框沿厚度为12mm,导轨侧沿(含加工余量5mm)厚14mm,均处在麻口区域,会产生麻口组织;滴水孔沿厚8mm,小于白口临界值10mm,显然会产生白口组织,出现无法加工的现象。好在滴水孔沿高度不大,仅20mm高;尾部2个 $\phi 30\text{mm} \times 50\text{mm}$ 工艺台,散热面积相对较大,偶尔也会出现加工困难现象,这些与实际情况比较吻

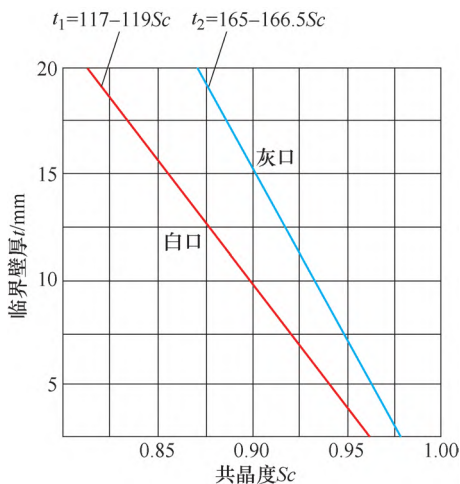


图6 共晶度 Sc 与铸件形成白口间的关系

注: t_1 为铸件形成白口组织的临界壁厚, t_2 为形成灰口组织的临界壁厚。

合。金属液熔炼完成,浇注前进行的孕育处理确实起到了很好的作用,可有效地避免薄壁部位的过硬现象。但在实际生产中,由于炉料成分、熔炉温度的波动,以及孕育失效等情况的影响,因此仍会出现薄壁部位过硬现象,废品率达15%左右,造成一定的经济损失。

2) 芯砂烧结到铸件上,清理不掉,即产生粘砂缺陷。铸件两壁之间的砂芯厚度,一般应当不小于两边壁厚的总和,以免两壁熔接在一起^[4],这是铸件结构设计的一般原则。工作台内腔左右侧区域高度尺寸小(见图2),尤其是左侧区域,高度尺寸仅有16mm左右(宽度近70mm),远小于两边壁厚的总和。形成此局部内腔的1[#]、2[#]砂芯的悬伸部分形状扁薄,且该部位还处于厚大金属截面的包围之中,使砂芯局部热量集中,其正常的性能因而受到破坏^[5]。砂芯表面提前溃散,使金属或金属氧化物易于渗入,从而形成粘砂。况且落砂清理时,由于该部位内腔高度过于狭小,清理工具无法操作,芯砂很难清理出去,清理工作量很大。这种未清理彻底的工作台,一旦装到机床出厂使用,砂粒受到振动而脱落,溅到导轨面或浸入液压缸,将会造成机床导轨面或油缸研损。

由以上分析可看出,问题1是铸件壁厚悬殊所致,问题2、问题3是内腔空间高度偏小造成的,这些均与铸件的结构设计有关。经征得设计人员同意,决定在外形机械加工尺寸保持不变的前提下,对铸件结构进行改进,使铸造生产中出现的各种难题得以解决。

4 结构改进及工艺方案调整

4.1 工作台结构改进

1) 导轨部位(包括平导轨、 Δ 导轨)厚度偏大,在外形机械加工尺寸保持不变的情况下,适当增大内腔左侧区域高度尺寸,使导轨部位变薄,平导轨厚度由原尺寸减为14mm;内腔右侧区域随着 Δ 导轨外形作出相应的改变,保证其垂直壁厚为14mm,改进结构如图7所示;安装齿条的基准面——3个小平台(见图1)局部加厚,保证应有的强度。这样改进之后,导轨壁厚19mm(含加工余量)与矩形方框沿、导轨侧沿及其他薄壁部位的厚度就比较接近了,使原设计的壁厚悬殊情况得以改善。工作台内腔高度最小区域尺寸由原来的16~

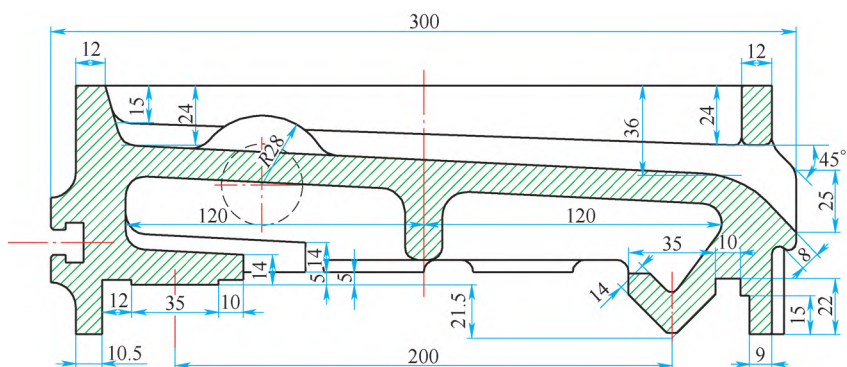


图7 改进结构

18mm增加到30~32mm（平导轨侧）。砂芯截面增大后，强度得到保证，制作时也会更容易，包括砂芯用的芯骨，制作难度也大幅降低。

2) 工作台尾部2个 $\phi 30\text{mm} \times 50\text{mm}$ 工艺台，改为宽30mm、高50mm，且与两圆台中心距等长的矩形凸台，以延缓该部位的冷却速度，避免造成过硬，改善机械加工性能。

4.2 结构改进后的工艺方案

铸件结构改进后，改善了铸件壁厚悬殊状况，其铸造工艺方案也随之作出相应的调整，如图8所示。

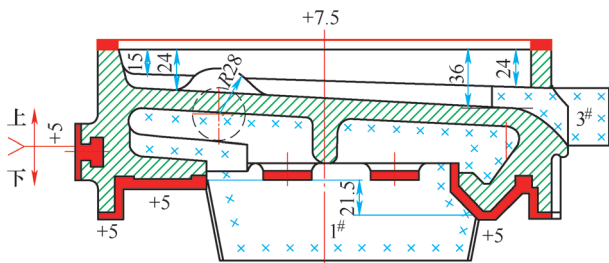


图8 结构改进后的铸造工艺

在原铸造工艺基础上，做出如下调整。

1) 形成工作台外部轮廓形状的造型、模板等，均维持原状。

2) 形成工作台内腔形状的3个砂芯中，仅对1#、2#砂芯的芯盒进行相应改造。平导轨对应部位内腔高度增大，使导轨部位减薄至19mm；△导轨部位内腔随着导轨外形作出相应改变，保证其垂直壁厚为19mm，芯盒中该部位采用活块结构。

3) 造型时，在工作台960mm $\times$ 280mm矩形方框边沿（滴水孔一侧）、纵向中点处设置1个鸭嘴形溢流冒口^[6]（冒口尺寸50mm $\times$ 50mm $\times$ 200mm，冒口颈截面50mm $\times$ 8mm，颈部高8~10mm），以排出型腔内气体，同时可溢出矩形方框边沿（滴水孔

附近）部位的冷铁液。在冷铁液由方框边沿溢出的同时，加热了该部位的型砂，减缓了附近区域铁液的冷却速度，对避免麻口或白口组织产生有一定的作用。

4) 铸铁成分调整。结构改进之后，工作台铸件各部位壁厚悬殊状况得以改善。在成分确定时既要保证导轨部位的硬度要求，同时又要兼顾薄壁部位的加工性能。最终选用化学成分为： $w_C=3.4\%$ ， $w_{Si}=1.8\%$ ， $w_{Mn}=0.85\%$ ， $w_S=0.05\%$ ， $w_P=0.1\%$ ；孕育处理分2次进行，第一次为75SiFe随流孕育，粒度2~5mm，出铁时在铁液槽内进行，加入量0.1%~0.2%；第二次采用SiFe75浮硅孕育，加入量0.2%左右，块度30~60mm，放入浇包远离包嘴的后侧，覆盖珍珠岩保温、集渣，形成保温层后切勿搅动，使其在浇注的中后期缓慢熔化形成富硅层，在第一次孕育衰退时发挥作用，以保证孕育效果良好。

5 工艺生产验证

首批投产数量5件。

准备好工装、型砂、芯砂，按工艺要求进行造型、制芯（1#~3#砂芯），3#芯湿态安装至上型滴水孔位置，并挤紧两芯头；砂型、砂芯涂刷铅粉涂料后装窑烘干；清理型腔、清扫砂芯表面浮灰，检查外形、尺寸；下芯、验箱、放置芯撑、合型及卡紧等，完成合型操作；熔化金属液，出铁温度1490℃，出铁槽75SiFe孕育处理，炉前三角试片检测，白口5~6mm；浇注温度1400~1450℃，浇注时间25s，浇注时应作好挡渣、引火；冷凝、落砂清理，得到工作台铸件5件。

交检工作台5件，逐一进行导轨硬度检测，在导轨全长上抽检任意3点硬度，实测值为192~215HBW，符合设计要求。抽检工作台矩形方

框沿、导轨侧沿等薄壁部位硬度，最高硬度值为238HBW。对工作台各部位的形状误差、尺寸精度进行检测，均在误差技术要求范围内，合格。

后又生产多批，效果良好，废品率基本控制在3%以内。

6 生产效果

1) 结构改进后，工作台铸件导轨硬度符合设计要求，各部位硬度相对比较均匀。对机械加工过程进行跟踪了解，发现导轨面组织致密，金属光泽理想，矩形方框沿及其他薄壁部位加工性能良好，未出现加工困难或无法加工现象。

2) 结构改进后，工作台铸件重量由原来的190kg变为145kg，每件减重45kg，按每吨5000元计，每件节省225元。

3) 结构改进后，铸件内腔空间高度增大，1#、2#砂芯两翼部位增厚，强度增高，制作更容易。另外，内腔高度增大后，砂芯清理更方便，制芯、清理工时明显减少。

7 结束语

1) 改进不合理的铸件结构，可降低铸造生产的

难度，降低生产成本。

2) 在结构设计中，应尽量避免壁厚厚薄悬殊情况的出现，尤其是对硬度有严格要求的机床类铸件。

3) 设计的铸件内腔，要便于铸件型芯制作，易于砂芯清理；内腔的高度（即砂芯的厚度）应大于两边壁厚的总和。

参考文献：

- [1] 李彬，蔡良福，张光政，等. 机床工作台铸造工艺设计及优化[J]. 铸造，2020，69（7）：764-768.
- [2] 徐兴卫，毛进学. 铸件结构设计对铸件质量的影响[J]. 现代铸铁，2017（4）：67-70，74.
- [3] 茅庆余. 灰口铸铁的牌号、化学成分、机械性能、铸件壁厚间的关系[J]. 机车车辆工艺，1965（2）：1-8.
- [4] 施延藻. 铸造实用手册[M]. 沈阳：东北工学院出版社，1988.
- [5] 美国铸造师协会. 铸件缺陷分析[M]. 武达兼，陈嵩生，译. 北京：机械工业出版社，1982.
- [6] 隋进. 湿型砂灰铁件冒口设计[J]. 铸造技术，1993（S1）：11-13.

MW 20240410

（上接第131页）

经过以上工艺调整，杜绝了齿轮箱合箱面浇口处粘砂的现象，合箱面缩松问题也得到彻底解决。

5 结束语

1) 采用低压铸造工艺与树脂砂造型，通过优化设计浇注系统、合理设置冒口和冷铁，成功开发出内部质量高、力学性能优异的高速动车组铝合金齿轮箱。

2) 通过采取增设溢流冒口、优化冷铁使用和增强排气效果等措施，显著降低了气孔缺陷比例。

3) 通过提升浇口附近型砂紧实度、加厚涂料层厚度，以及降低浇注过程中的保压压力等措施，成功解决了合箱面缩松问题。

参考文献：

- [1] 金思勤，赵永强，李枫，等. 高速动车组齿轮箱加载试验及故障诊断研究[J]. 机车车辆工艺，2014（4）：1-3.
- [2] 张建超，陈湘松，郝如江，等. 高速动车齿轮箱故障诊断技术研究[J]. 综述机械传动，2023，47

（3）：133-140.

- [3] 李秋泽，单巍，张英春，等. 中国高速动车组转向架技术发展及展望[J]. 机车电传动，2023（2）：14-35.
- [4] 邵帅，张开林，姚远，等. 动车组锥齿轮箱飞溅润滑特性及箱体结构改进[J]. 浙江大学学报（工学版），2024，58（5）：1060-1071.
- [5] 陈红圣，徐贵宝，董雯，等. 高速动车组铝合金齿轮箱低压铸造工艺研究[J]. 铸造，2017（1）：6-10.
- [6] 徐贵宝，马俊成，梁超. 孔洞缺陷对高铁动车组铝合金齿轮箱疲劳性能的影响[J]. 失效分析与预防，2021（5）：333-338.
- [7] 金泰木，高艳丽，黄粒，等. ZL101A 合金摇枕座铸件铸造工艺研究[J]. 铸造技术，2020，41（6）：640-644.
- [8] 冀晓磊，郝圆亮，孟晓东，等. 铝合金某薄壁壳体件铸造工艺数值模拟及优化[J]. 铸造，2023，72（10）：1363-1368.

MW 20240516