

大型机床底座铸造工艺设计与优化

唐方艳, 梅 益, 薛茂远, 李国其, 甘盛霖

(贵州大学机械工程学院, 贵州贵阳 550025)

摘要: 分析某大型机床底座铸件的结构特点, 发现该铸件尺寸较大、铸件内部结构复杂、腔体较多。对铸件内部结构及流道系统进行分块砂芯成形, 同时为了限制砂芯的自由度, 设置了芯头与定位装置, 有效避免了铸型错位。利用ProCAST软件模拟分析底注式浇注系统与顶注式浇注系统的缺陷形成, 最终选择底注式浇注系统的砂型铸造工艺。针对底注式浇注系统的缺陷, 在相应位置设计了冷铁与冒口, 通过冷铁与冒口的补缩作用, 很大程度上减少了该铸件的缺陷, 这为后期生产出高精度及高质量的铸件提供一定参考。

关键词: 机床底座; 砂型铸造; ProCAST模拟; 工艺设计; 冷铁与冒口

砂型铸造在目前制造业中应用广泛, 相对于其他制造方法, 砂型铸造成本低、工艺简单、生产周期短^[1]。机床底座主要用于承担机床工作载荷以及其自身重量, 由于机床运作情况越来越复杂, 故对机床底座的强度及精度要求越来越高, 需要拥有耐磨损、耐潮湿、耐热性及较好的耐腐蚀性^[2]。笔者通过对机床底座结构进行分析, 设计了其砂型铸造工艺, 同时通过比较不同浇注系统, 对浇注系统进行优化设计, 以期为高质量机床底座铸件的生产提供参考。

1 机床底座的结构及工艺分析

1.1 机床底座的结构

图1为机床底座铸件结构, 尺寸为1 390 mm × 1 145 mm × 880 mm, 最大壁厚为95 mm, 最小壁厚10 mm, 质量达到2 159.51 kg。铸件整体结构对称, 属于大型铸件, 但内部含有很多腔体区域, 内部形状较为复杂, 孔和槽较多, 以至于砂芯形状大小不一, 铸造较为困难。该铸件属于机床用铸件, 主要承担机床重量及运作过程中交变振动载荷, 故该铸件对强度有很高要求。根据技术要求: 该铸件要求树脂砂造型, 公差按照GB/T 6414—2017 CT12级, 加工后铸件表面不能出现缩松、缩孔、夹砂、夹渣等缺陷, 去应力退火, 产品需要喷漆后包装。铸件含有尺寸较小的多个微孔, 不直接铸出, 后续机加工成形。

1.2 铸件材料选择

铸件材料选择为HT300, 耐磨性及强度较好, 表1为HT300的主要化学成分,

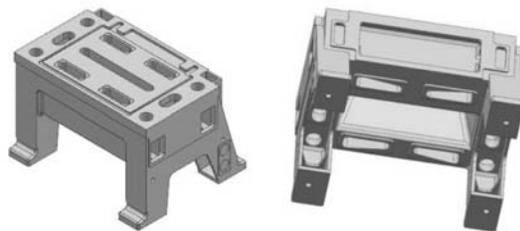


图1 机床底座铸件结构

Fig. 1 Casting structure of the machine tool base

作者简介:

唐方艳(1996-), 女, 硕士生, 研究方向为材料成形计算机仿真技术及应用。E-mail: 582257411@qq.com

通讯作者:

梅益, 男, 教授, 研究生导师。E-mail: mei_yi@163.com

中图分类号: TG251

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2022)

01-0103-06

基金项目:

贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2019]2019); 贵州省科技支撑计划(黔科合支撑[2018]2175)。

收稿日期:

2021-04-14 收到初稿,

2021-08-02 收到修订稿。

表1 HT300 主要化学成分

Table 1 The main chemical components of the HT300 $w_B/\%$

C	S	Mn	P	Si
2.8~3.4	≤0.12	0.8~1.2	<0.5	

通过热风冲天炉熔化。铸造方式为树脂砂型铸造，一模一件，小批量生产。选用石英质砂作为铸造造型材料，石英砂纯度及耐火度较高，且价格较低、来源广泛。砂芯造型材料选用低氮呋喃树脂自硬砂，低氮呋喃树脂自硬砂主要用于中大型铸件铸造，铸造出的铸件尺寸精度及强度较好^[3]。

2 机床底座铸造工艺设计

2.1 铸件分型面的选择

分型面的选择十分重要，分型面选择不当，会严重影响铸件尺寸精度、生产效率及成本^[4]。由铸件的结构特点大致可以确定下面三种分型方案。如图2，方案1中，在铸件中部分型，上下箱中都有铸件，这种分型方法刚好从中间较大砂芯中间进行分型，降低了下砂箱的高度及砂铁比，砂芯安装固定较为方便，同时中间较大砂芯可以从侧表面排气，可以解决铸件毛面呛气孔缺陷等问题，还可以较好保证铸件顶部稍下的空腔及孔质量，但分型时，此位置铸件容易产生较多的毛刺与飞刺，清除较为困难，故排除方案1。方案

2中，铸件全部在上箱，铸件的重要平面朝下，型腔薄壁部分垂直放置，易于安放冒口，但上砂箱过高，砂铁比过大，且分型面处于重要平面，此分型位置也会产生较多毛刺，会严重影响铸件重要平面的尺寸精度，也应该排除。方案3中，铸件全部在下箱，这种分型方法较优，铸件尺寸能较好得到保证，且分型面处于四个支撑脚，就算产生毛刺等缺陷，此位置留有加工余量，属于不重要位置，较容易去除，可以保证铸件质量与精度，提升生产效率。

2.2 浇注位置的选择和浇注系统设计

通过分析选择了铸件的分型面（方案3），此时可以选择顶注与底注两种浇注方式，顶注式浇注系统金属液从铸件顶部流入型腔，优点为金属液较容易充满型腔，对于薄壁浇不足及冷隔等方面的缺陷^[5]可以对铸件进行顺序凝固与冒口补缩。浇注系统也比较容易去除。但金属液在重力作用下的下落过程中可能由于遇到空气，造成氧化、激溅、卷入空气，从而影响充型平稳性。底注式浇注系统金属液从底部流入型腔，充型过程较为平稳，可以减小金属液的氧化、激溅、卷入空气等现象，型腔内多余气体便于排出。通过ProCAST软件对这两种浇注方式进行模拟分析对比，主要通过残余熔体模数来评价铸件概率缺陷参数，如图3（剖面后），可以看到：顶注式浇注系统的概率缺

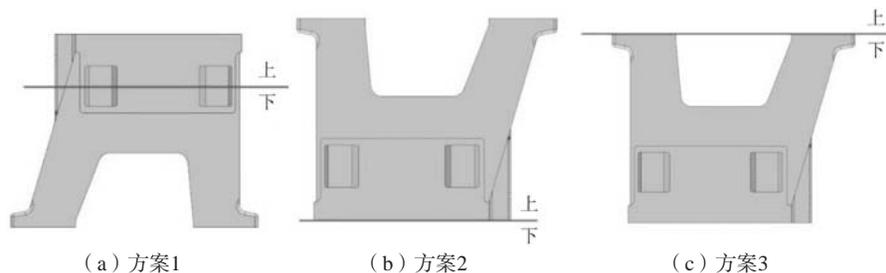


图2 分型面方案

Fig. 2 Parting surface schemes

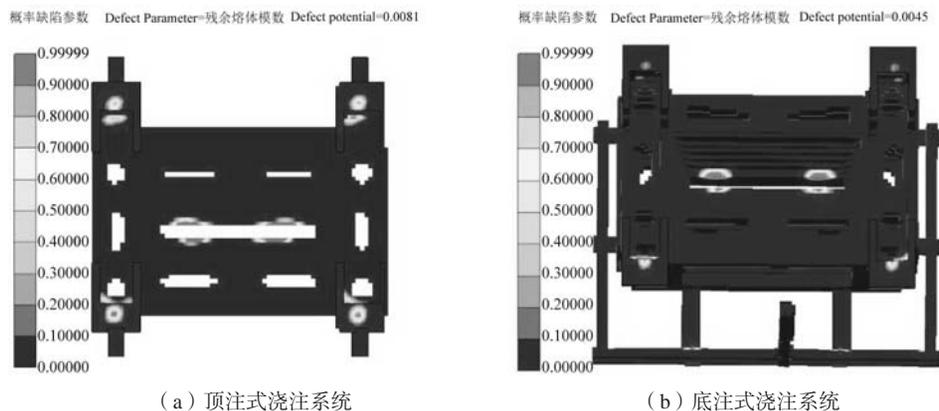


图3 两种浇注系统残余熔体模数对比

Fig. 3 Comparison of residual melt modulus of two gating systems

陷参数为0.008 1, 而底注式浇注系统的概率缺陷参数为0.004 5, 相对较小, 故选择底注式浇注系统。

对于底注式浇注系统设计, 浇口杯设计成盘型浇口杯, 具有挡渣效果, 可以较方便分离渣滓和气泡。通过计算, 内浇道截面积为 18.92 cm^2 , 根据文献[6], 直浇道截面积: 横浇道截面积: 内浇道截面积为 $1.4:1.2:1$, 故直浇道截面积为 26.488 cm^2 , 横浇道截面积为 22.704 cm^2 , 计算出浇注时间为70 s。内浇道设计成等腰梯形, 横浇道也设置为等腰梯形, 顶部倒圆角。直浇道设置为圆柱形。最后在直浇道底部位置设计一个过滤网, 以达到排渣作用。

3 砂芯工艺设计

3.1 砂芯设计

铸件的内腔、孔以及铸件外形出现困难部位, 都需要设置砂芯, 该机床底座铸件内部以及外形都比较复杂, 加上浇注系统所需要的砂芯, 一共需要9块砂芯, 如图4合箱图。1#砂芯总共四个, 用于成形机床底座顶部圆形孔与侧面矩形凹坑, 设置有芯头。2#砂芯用于成形机床底座顶部往下空腔区域。3#砂芯成形机床底座顶部侧面凹形区域, 为了限制其自由度, 也建立了芯头。4#、6#砂芯搭配使用, 成形机床底座下部往上悬空部位。5#砂芯成形四个支撑脚凹陷部位。7#、8#、9#砂芯用于成形浇注系统, 主要包含直浇道、横浇道与内浇道, 浇口杯的成形设置在上砂箱。

3.2 砂芯的排气

砂芯在成形过程中会由于高温物化产生大量气

体, 会造成铸件质量及精度不够, 故需要将这些气体排除, 在砂芯内部设置随形蜡线, 在高温作用下, 随形蜡线熔化, 就可以得到相应排气道, 中间砂芯通过通气针扎出排气道, 9个砂芯都需要设置排气孔。

4 铸造工艺模拟分析

4.1 模拟前处理

通过NX12.0建立铸件、流道、内浇口及浇口杯模型, 分别导出为igs格式, 最终导入ProCAST软件对整体进行模拟分析。浇注温度设为 $1380 \text{ }^\circ\text{C}$, 浇注时间为70 s, 计算得到的浇注流量为 30.81 kg/s 。铸件的尺寸较大, 参考文献[8]选择HT300材料的体积收缩率为0.9%, 模拟分析结束条件为铸件完全凝固。

4.2 模拟充型过程分析

图5为铸件模拟充型过程, 充型模拟时间为70 s, 选择不同充型时间(18.77 s、43.95 s、63.22 s、70 s)观察流体充型情况。可以看到: 充型时间到达18.77 s时, 金属液已经开始填充机床底座的顶部空腔区域, 色带整体均匀, 无较大温差变化, 没有出现飞溅、卷气等现象; 充型时间到达43.95 s时, 金属液开始填充机床底座中部区域, 此时温度色带明显发生变化, 至上而下的空缺区域可能由于温度差引起体积收缩不均, 造成缩松、缩孔等缺陷; 充型时间为63.22 s, 金属液已经开始填充机床底座的四个支撑角, 一直到70 s, 金属液完全充满型腔, 总体来说, 充型效果较好。

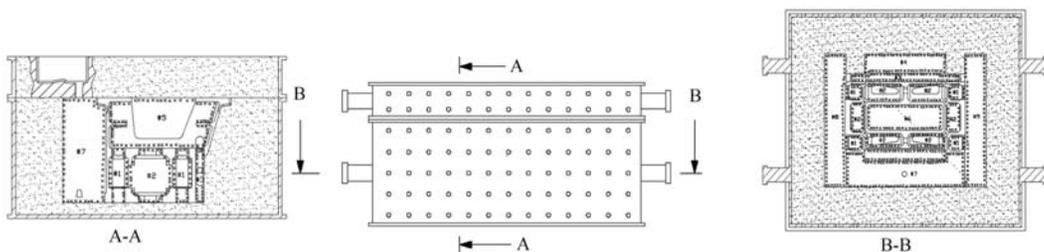


图4 合箱图
Fig. 4 Closed box diagram

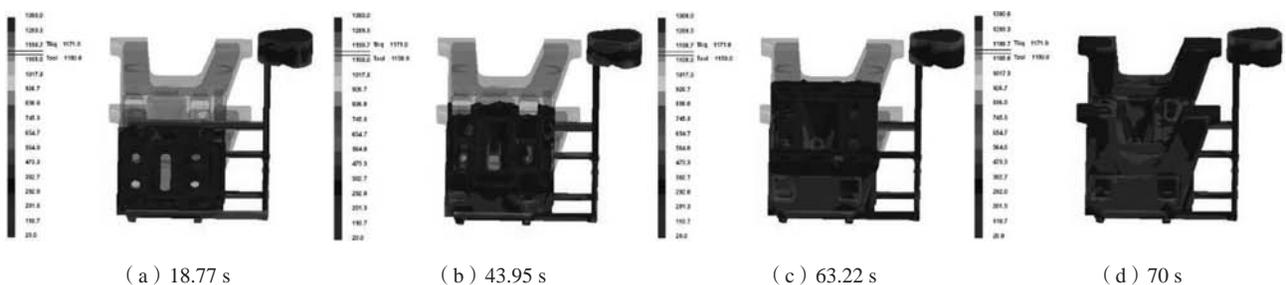


图5 充型过程温度场
Fig. 5 Temperature fields of the mold filling process

4.3 凝固过程分析

图6为铸件凝固过程固相率，图7为铸件凝固过程温度场。可以看到：图6a、图7a的横浇道、内浇口、直浇道及机床底座的四支撑角优先凝固，机床底座四支撑角结构单一，凝固速度较快，但在支撑脚完全凝固时，支撑角底部存在色带差，存在较大热节圆，该区域可能出现缩松、缩孔缺陷；图6b、图7b中，铸件顶部、顶部空腔区域开始凝固，凝固方式由外往里，此区域结构较为复杂，且壁厚不均，故凝固时间较长；图6c、图7c为铸件最后凝固区域，为机床底座自上而下的空缺区域，凝固方式也为由外往里，有较大的温差带，冷却速度不够，存在较大热节区域，可能出现缩松、缩孔等缺陷；在14 703 s时，零件完全凝固。整体来说：凝固过程顺序较紊乱，可能由于冷却速度、冷却时间不够，造成铸件缺陷。

5 铸造工艺优化

5.1 铸造工艺优化

与图3底注式浇注系统的概率缺陷参数分析对比，通过ProCAST中Microstructure model activation模块对铸铁件的缺陷进行模拟，图6、7分析出铸件缺陷可能出现的地方，图8为铸铁件缩松，主要缩松缺陷的区域为机床底座自上而下空缺区域的台阶部分及四个支撑脚。所以需要设置冒口或者冷铁对这些区域进行补缩，降低缺陷出现可能性。自上而下空缺区域的台阶部分处于铸件内部，不便设置冒口，故选择使用外冷铁10块。支撑脚部分设置4个冒口，处于分型面，也较容易去除。冷铁及冒口设置如图9。再分别导入ProCAST软件进行分析，得到图10优化后铸件的残余熔体模数，明显看到缺陷减少很多，概率缺陷参数由原来的0.004 5变为0.002 7。

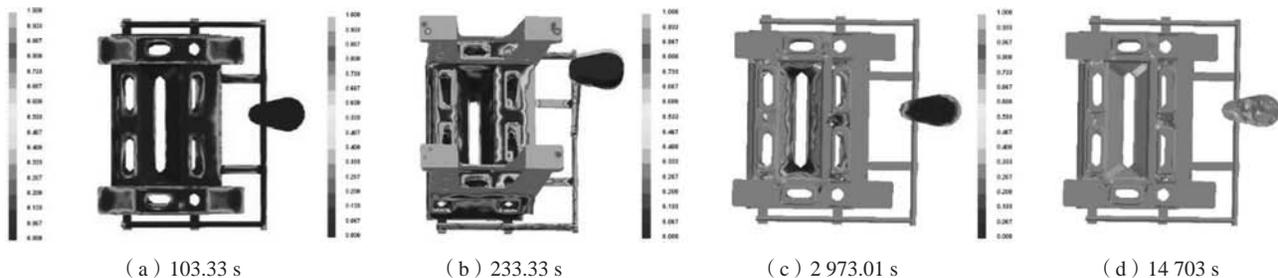


图6 凝固过程固相率

Fig. 6 Solid rate of the solidification process

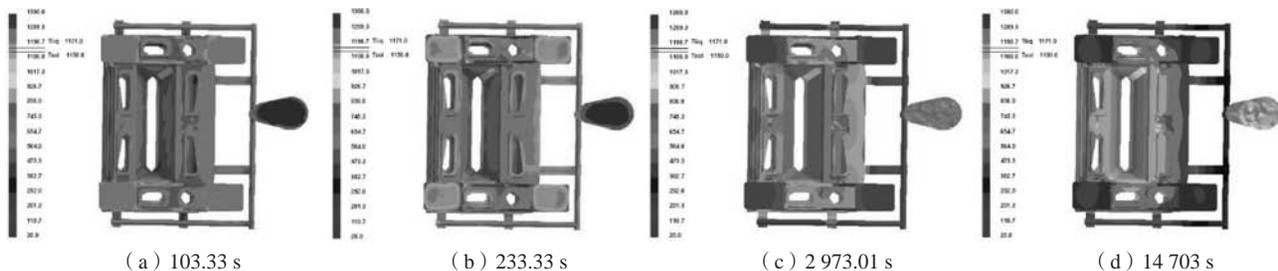


图7 凝固过程温度场

Fig. 7 Temperature fields of the solidification process

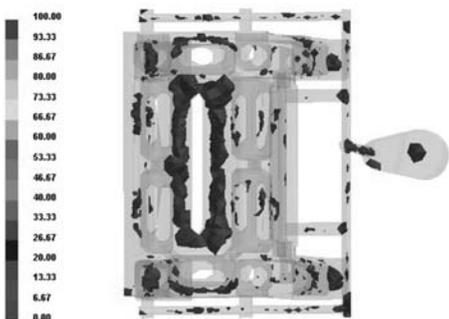


图8 铸铁件缩松

Fig. 8 Dispersed shrinkage of the cast iron parts

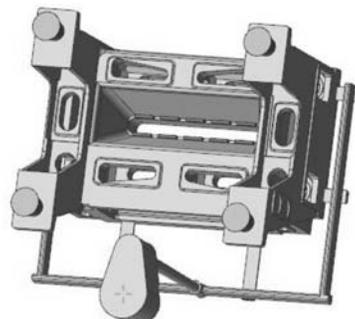


图9 冷铁及冒口设置

Fig. 9 Chill and riser settings

5.2 铸造工艺优化分析

图11为铸件优化后的充型过程温度场，充型模拟时间为70 s，选择不同充型时间（18.77 s、43.95 s、63.22 s、70 s）观察流体充型情况。可以看到：在设置冷铁、冒口后，金属液在整个填充过程中，温度场色带均匀，充型过程较为平稳，充满型腔后没有出现卷气、飞溅等现象。同时观察铸件凝固过程中固相率及温度场变化，如图12、图13所示，与优化前对比，铸件的凝固顺序较为清晰，首先是流道系统，接着是铸件的四个支撑脚，最后凝固铸件顶部，实现了顺序凝固。由前面分析知铸件出现缺陷的区域为其自上而下空缺区域的台阶部分及四个支撑脚，通过优化后，如图12c所示，铸件自上而下空缺区域的台阶部分由于冷铁的冷却作用，加快该部分冷却，减少残余热量，温度分布均匀，热节得到明显改善。铸件的四个支撑脚

由于冒口的凝固时间较长，对铸件起到补缩作用，使温度场分布均匀，从而有效减少铸件支撑脚缺陷。

概率缺陷参数 Defect Parameter=残余熔体模数 Defect potential=0.0027

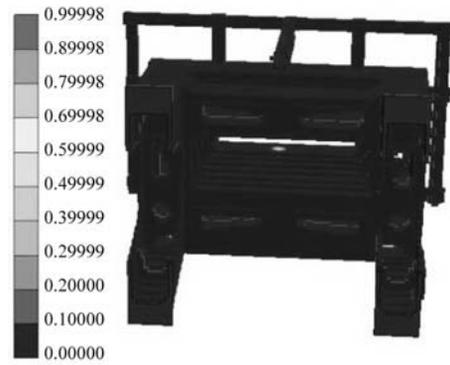


图10 优化后铸件的残余熔体模数
Fig. 10 Residual melt modulus of the casting after optimized

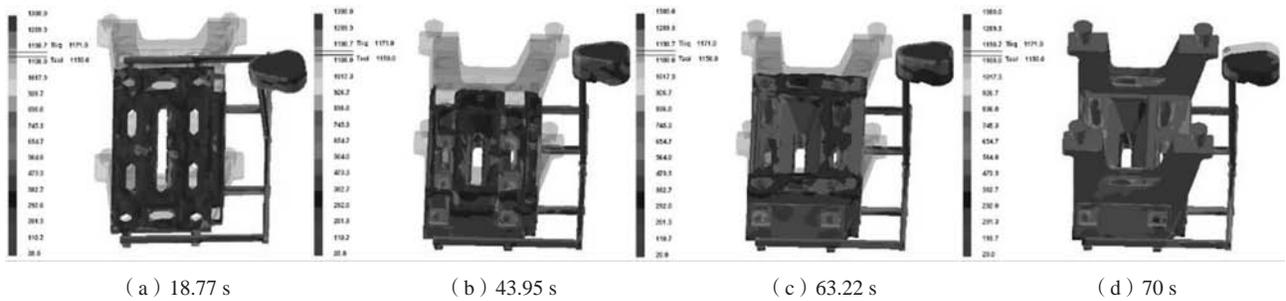


图11 优化工艺充型过程温度场
Fig. 11 Temperature fields of the mold filling process after optimized

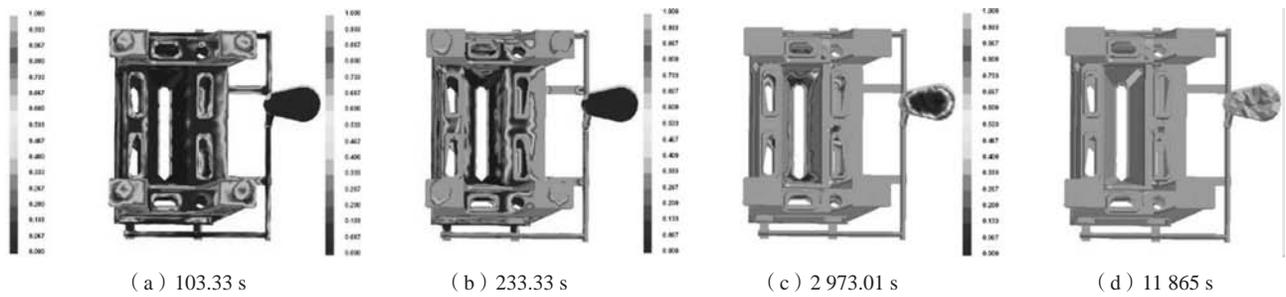


图12 优化工艺凝固过程固相率
Fig. 12 Solid rate of the solidification process after optimized

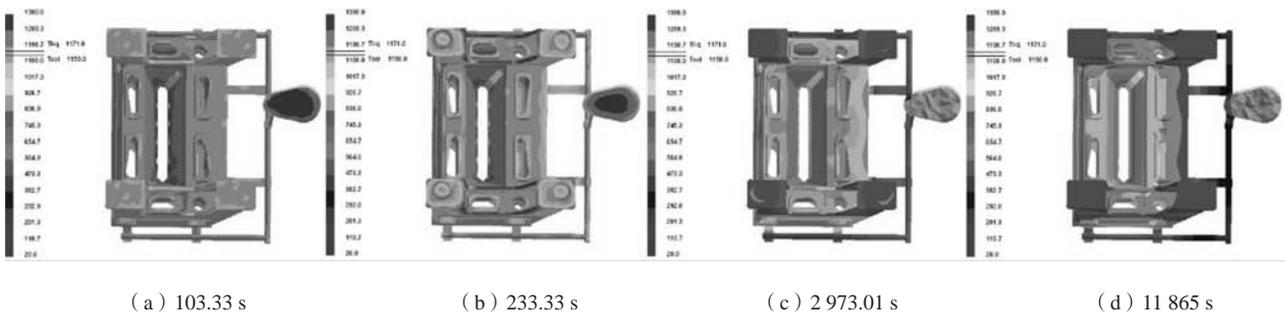


图13 优化工艺凝固过程温度场
Fig. 13 Temperature fields of the solidification process after optimized

6 结论

(1) 机床底座铸件基本尺寸较大,且内部结构较为复杂,通过分块砂芯组形成铸件及浇注系统,同时进行砂芯定位、开设砂芯排气,保证了铸件成形质量,为了保证加工精度,也在相应面预留加工余量。

(2) 通过对比不同分型面优缺点,最终选择合适的分型方案(方案3)。在选择分型面的基础上,利用

ProCAST软件比较底注式浇注系统与顶注式浇注系统的缺陷形成。最后选择了底注式浇注系统。

(3) 根据底注式浇注系统的缺陷,在相应热节部位合理设置了冷铁与冒口,最终通过充型过程中的温度场与凝固过程中的温度场分析,铸件实现了顺序凝固,原来铸件的缺陷在很大程度上得以减少,提升了铸件合格率与成形质量。

参考文献:

- [1] 李思,申荣华,肖华强,等.大型轴承座砂型铸造工艺设计及优化[J].铸造技术,2016,37(4):802-804.
- [2] 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.
- [3] 陈超英,张梦娟.大型铸铁薄壁型架底座的铸造工艺[J].铸造,2019,68(7):769-772.
- [4] 于宁波,王伟奇,刘忠国.ZG270-500大臂架铸造工艺优化[J].铸造,2019,68(5):495-500.
- [5] 陈宗民.铝合金U形外环框架砂型铸造工艺设计及仿真模拟[J].热加工工艺,2019,48(19):87-91.
- [6] 中国机械工程学会铸造分会.铸造手册:第5卷 铸造工艺(精)[M].2版.机械工业出版社,2003.
- [7] 李华文.GB/T 6414—1999《铸件尺寸公差与机械加工余量》的理解与实施[C]//中国航空学会机械动力传输学术研讨会暨湖南省航空学会机械动力传输学术年会.2005.
- [8] 叶荣茂.铸造工艺课程设计手册[M].哈尔滨工业大学出版社,1995.

Design and Optimization of Casting Process for Large Machine Tool Base

TANG Fang-yan, MEI Yi, XUE Mao-yuan, LI Guo-qi, GAN Sheng-lin
(College of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract:

The structural characteristics of a large machine tool base casting were analyzed. It is found that the casting has large size, complex internal structure and many cavities. The internal structure and flow channel system of the casting were formed by block sand core. At the same time, in order to limit the freedom of the sand core, the core head and positioning device were set to effectively avoid the dislocation of the mold. The defect formation of bottom pouring system and top pouring system was simulated and analyzed by ProCAST software, and the sand casting process of the bottom pouring system was finally selected. In view of the defects of the bottom casting gating system, the chill and riser were designed at the corresponding position. Through the feeding effect of the chills and risers, the defects of the casting are reduced to a great extent, which provides a certain reference value for the later production of high-precision and high-quality castings.

Key words:

machine tool base; sand casting; ProCAST simulation; process design; chill and riser
