

铲板槽帮消失模铸造过程数值模拟及工艺优化

李平¹ 樊帅奇¹ 李欣然² 赵俊岩³

(1.河南理工大学材料科学与工程学院; 2.哈尔滨工业大学材料科学与工程学院;
3.焦作神华重型机械制造有限公司)

摘 要 针对刮板输送机中部槽铲板槽帮消失模铸造常出现缩松、缩孔、浇不足、冷隔等缺陷,运用华铸 CAE 软件对铸钢铲板槽帮消失模铸造过程进行了数值模拟和工艺优化。结果表明,原始工艺方案的缩松缺陷主要分布在铲煤板与 M 型槽连接部位,尤以铲板基座与筋板连接部位缩松缺陷较多,筋板厚大处以及两端推移耳部位可能会出现缩孔缺陷;优化工艺后充型过程平稳,凝固过程中冒口/浇口对铸件的补缩效果好,铸件重要部位无缩孔、缩松缺陷。采用优化工艺批量生产,铲板槽帮铸件没有出现明显缩孔、缩松、气孔和浇不足等缺陷。

关键词 铲板槽帮; 消失模铸造; 工艺优化; 铸造缺陷

中图分类号 TG249.6; TP311 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.02.023 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



Numerical Simulation and Process Optimization of Lost Foam Casting
Process for Rump Pan

Li Ping¹, Fan Shuaiqi¹, Li Xinran², Zhao Junyan³

(1.School of Materials Science and Engineering, Henan Polytechnic University;
2.School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology;
3.Jiaozuo Shenhua Heavy Machinery Manufacturing Co., Ltd.)

Abstract: Aiming at the quality problems such as shrinkage porosity, misrun and cold shut often occurs during the development of lost foam casting rump pan assembled on the middle trough of the scraper conveyor, numerical simulation and process optimization of cast steel rump pan produced by lost foam casting were carried out by the InteCAST software. The results indicate that for the original process scheme, shrinkage porosities are mainly distributed in the connection positing between the shovel plate and the M-shaped groove, especially in the connection position between shovel plate base and the ribs, which is likely to appear in the thick parts of the ribs and thrust lugs at both ends. For the optimized process scheme, the mold filling process presents stable, and the riser/gate has a satisfied feeding effect on the casting during solidification with absence of shrinkage porosity defects in major parts of the casting. The optimized process was adopted for batch production and verification, and absence of defects such as shrinkage porosity and misrun were observed.

Key Words: Rump Pan, Lost Foam Casting, Process Optimization, Casting Defects

铲板槽帮是刮板输送机中部槽上的关键部件,其品质关系到刮板输送机的正常运行和煤矿生产的安全性及可靠性。因此,对槽帮结构设计、材料性能与表面品质等有极高要求,铸造工艺和热处理方法是保证槽帮品质的关键环节^[1-9]。以往铲板槽帮等中部槽零部件的生产大多采用砂型铸造方法^[5-7],近年来,逐渐采用消失模铸造工艺生产铸件^[10-11]。与砂型铸造相比,消失模铸造工艺具有以下特点^[12-16]:①型砂不添加粘结剂,落砂、旧

砂回收便利,铸件表面清理方便;②无需砂芯,对于形状结构复杂铸件优势明显,生产工序少、成本低、效率高;③铸件表面粗糙度低、尺寸精度高;④污染少,生产环境和劳动条件得到明显改善等。利用数值模拟技术对铸造过程进行可视化操作,预测铸造过程中可能出现的铸造缺陷,对铸造工艺进行优化,从而提高铸件品质和缩短开发周期。本研究针对消失模铸造铲板槽帮铸件生产过程中的品质问题,运用华铸 CAE 软件对铲板槽帮

收稿日期:2022-02-10;修改稿收到日期:2022-08-04
基金项目:河南省高校基本科研业务费专项资金资助项目(NSFRF170502)
第一作者简介:李平,男,1968 年出生,教授,河南焦作(454003),E-mail:leeping68@163.com
引用格式:李平,樊帅奇,李欣然,等. 铲板槽帮消失模铸造过程数值模拟及工艺优化[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(2):259-262.
LI P, FAN S Q, LI X R, et al. Numerical simulation and process optimization of lost foam casting process for rump pan[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(2):259-262.

铸造过程进行数值模拟及铸造工艺优化,为铲板槽帮及类似产品的实际生产提供参考。

1 铲板槽帮结构特点及分析

铲板槽帮的三维模型见图 1,属 E 形槽帮钢^[1]。其轮廓尺寸为 1 590 mm×370 mm×285 mm,最小壁厚为 25 mm(见图 1a 中 M 型槽一侧顶部截面),最大壁厚为 60 mm,壁厚相差较大,M 型槽中间和基座处存在热节。铸件材质为 ZG30SiMn,质量约为 37 kg。铲板包括两端配合哑铃销孔耳以及中间主体部位。M 型槽中部焊接中板、底部焊接封底板,其直线度要求高,由于铸件较大,要防止铸件变形;M 型溜槽及中板为主要工作面,要求强度、韧性高,耐磨性能好。

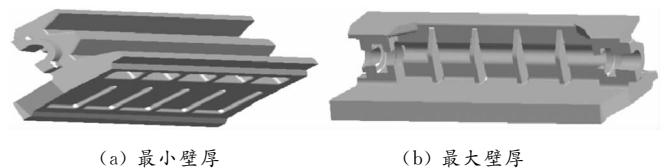


图 1 铲板槽帮三维模型
Fig.1 3D model of the rump pan

2 铸造工艺设计

2.1 浇注方案的确定

根据铲板槽帮铸件结构特点,选用顶注式浇注系统。铲板槽帮中部与中板采用焊接连接,由于槽帮基座铲板上表面为大平面,确定铲板槽帮的浇注位置为 M 槽朝下,初步确定内浇道从平板一侧进入。

2.2 浇注系统的设计

消失模铸造浇注过程是在负压下进行,因此其浇注系统与传统铸造工艺有很大差别^[17]。传统铸造工艺浇注系统一般包括浇口杯、直浇道、横浇道和内浇道,而消失模铸造的工艺设计原则是尽量减少浇注系统的组元,通常不设横浇道,浇注系统的形状力求简单实用^[18-19]。铲板槽帮的浇注系统初始设计方案见图 2,采用浇口杯→直浇道→内浇道的连接形式。内浇道截面直径为 50 mm,直浇道截面直径为 60 mm,另一端设置了补缩

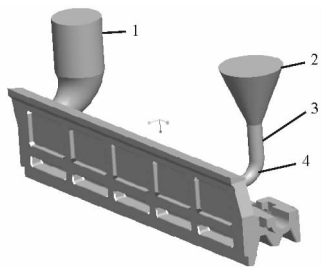


图 2 初始工艺
Fig.2 The initial process
1. 冒口 2. 浇口杯 3. 直浇道 4. 内浇道

冒口。由于铲板长度较长,装箱时模样倾斜一定角度(约 3°),这样既有利于冒口补缩,同时有利于底部 M 槽的填砂与紧实。

3 初始设计方案模拟结果及分析

铲板槽帮初始条件与边界条件设置如下:液相线温度为 1 512 ℃,固相线温度为 1 470 ℃,浇注温度为 1 600 ℃,环境温度为 25 ℃,铸件与砂型界面传热系数取 800 W/(m²·K),砂型外表面(含浇口及明冒口顶面)与大气的传热系数为 10 W/(m²·K),浇注时间为 30 s,运行参数采用默认值,负压控制为-0.06 MPa。图 3 为初始工艺方案的充型过程模拟结果。可以看出,充型初期,金属液由浇注系统进入,首先充填 M 槽的顶部,金属液与泡沫模型相遇并使泡沫模型气化,液流前沿温度明显降低,同时泡沫模型气化产生的气体会干扰金属液的流动情况。充型 40% 左右时,M 槽部位基本填满;充型 60% 时,金属液开始逐渐填充厚大平板部位,M 槽内浇道的另一侧筋板与底座金属液存在明显的温差;充型 80% 时金属液充填厚大平板部位,此时零件基本充填完整,只剩下冒口部位;充型 100% 时金属液充填冒口部位,金属液已完全充满整个型腔。

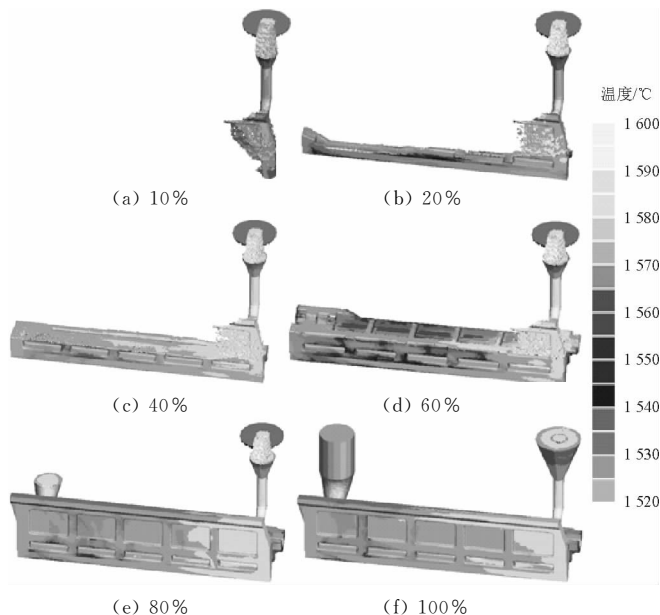


图 3 初始工艺充型过程

Fig.3 Filling process simulation of the initial process

图 4 为初始工艺方案的凝固温度场模拟结果。由图 4a~图 4c 可以看出,M 型槽底部和平板四周首先凝固,338.9 s 左右时,M 型槽板和平板四周及背面已全部凝固,剩下平板正面中间部分及筋板还没有凝固;881.4 s 时,液相只剩下平板中心条状部分,此时冒口颈已断开,对平板中心部位失去补缩功效。从图 4d~图 4f 可以看出,铸件凝固时间约为 2 545.9 s,缩松主要分布在

铲煤板与 M 型槽帮连接部位,尤以铲板基座与筋板连接部位缩松较多,筋板厚大处以及两端推移耳部位可能会出现缩孔。由于铲板在铲除浮煤过程中承受较大载荷,因而铲板基座与筋板连接部位缩松较多,可能导致铲板出现瞬时断裂。

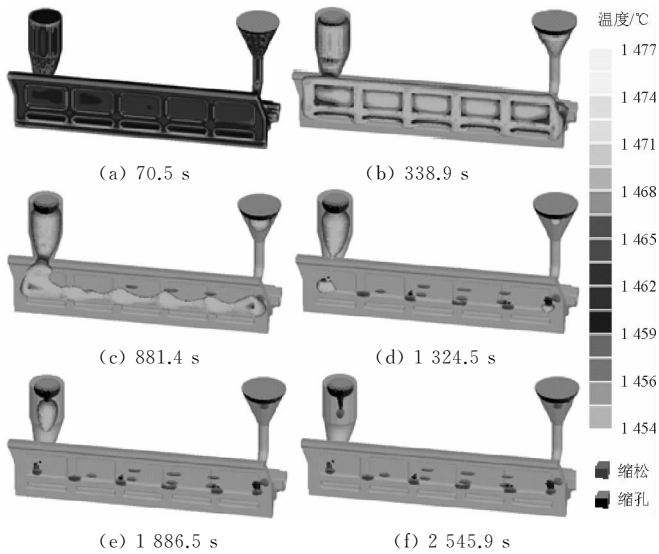


图 4 初始方案凝固过程

Fig.4 Solidification process simulation for the initial scheme

4 优化方案模拟结果及分析

针对初始工艺中平板厚大部位出现缩孔、缩松问题,进行了工艺改进,优化方案见图 5。与图 2 相比,将铲煤底板带加强筋一侧部位放置在上方,M 型槽的工作面放置在竖直方向上,由于铸件两端推移耳部位存在厚大热节,两端设置了冒口(其中一冒口作为直浇道)。

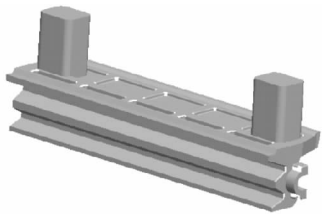


图 5 优化工艺
Fig.5 The optimized process

图 6 为优化工艺方案的充型过程模拟结果。充型初期,金属液由浇注系统进入,首先充填 M 槽底板一侧,见图 6a 和图 6b,充型 40%时,M 槽中板一侧部位已填满,开始充填顶板一侧;充型 60%时,M 型槽一侧基本填满;充型 80%时,金属液基本填满厚大平板部位,只剩下冒口部位,除内浇道的另一侧 M 槽顶部温度较低外,没有出现不同部位金属液温差明显的现象;充型 100%时,金属液充满冒口及浇口部位,此时整个型腔已被金属液完全充满。

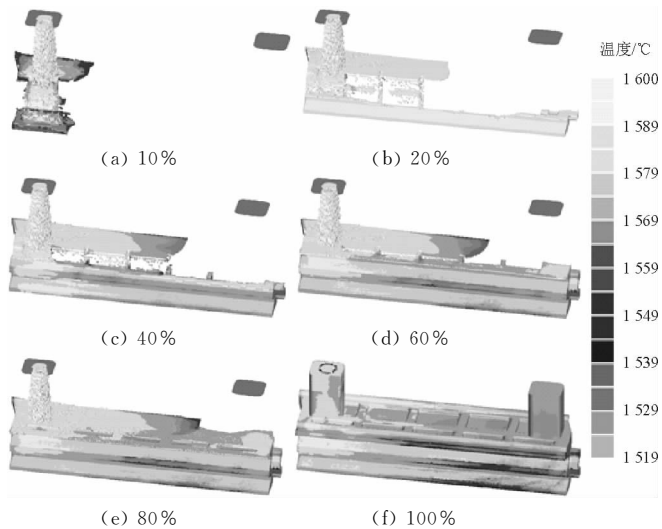


图 6 优化工艺充型过程

Fig.6 Filling process simulation of the optimized process

图 7 为优化工艺方案的凝固温度场模拟结果。可以看出,销孔、M 型槽顶部和铲煤板四周首先凝固,760.2 s 时,M 型槽板和平板四周及背面已全部凝固,而铲煤板中心部位及筋板还没有凝固,冒口/浇口金属液可以对厚大平板中心部位进行补缩,实现顺序凝固;1 302 s 时,液相只剩下冒口、浇口及冒口根部附近平板部位,1 914.1 s 时,铸件已全部凝固,只有冒口、浇口底部中心部位尚有部分液相。从图 7d ~图 7f 可以看出,铸件凝固时间约为 2 591.6 s,冒口、浇口对铸件的补缩作用明显比初始工艺好,模拟结果显示铸件没有出现较大的缩孔缺陷,缩松可能出现在铲板与 M 型槽帮连接部位和 M 型槽中间凸起部位(焊接中部槽的中板),缩松数量和体积也明显减少。由于铲板与 M 型槽帮连接部位缩松显著减少,断裂现象可以得到有效防止,M 型槽中间凸起部位装配时要焊接中板,少量缩松可以通过

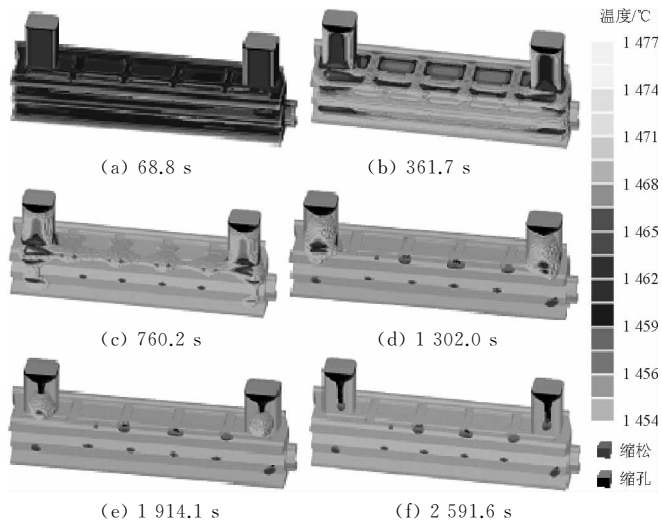


图 7 优化方案的凝固过程

Fig.7 Solidification process simulation of the optimized process

后期局部熔化、焊接修补的手段来消除。

采用优化工艺方案进行了 EPC 模样制造和批量生产验证,生产的铲板槽帮铸件经外观和解剖检验,铸件没有出现明显缩孔缩松、气孔和浇不足等缺陷。铸件经后续热处理后装机,使用表明,铲板槽帮性能满足客户要求,目前已成功实现多种槽帮铸件的消失模铸造批量生产。图 8 为槽帮消失模模样,图 9 为生产的合格铸件,图 10 为优化工艺生产槽帮铸件冒口附近的内部剖面图。可以看出,铸件没有出现缩孔缩松缺陷,冒口补缩效果好。



图 8 EPS 模样
Fig.8 EPS pattern



图 9 合格铲板槽帮铸件
Fig.9 The qualified
rump pan casting



图 10 槽帮铸件冒口附近剖面图
Fig.10 Profile of rump pan casting near the riser

5 结 论

(1) 利用华铸 CAE 模拟分析,ZG30Simn 铲板槽帮的铸造工艺采用 M 型槽在侧面和顶部的浇注方式,充型平稳,冒口和浇道对铸件的补缩效果好,可以保证铸件重要部位无缩孔、缩松缺陷。

(2) 采用优化工艺进行了 EPC 模样制造和批量生产,铲板槽帮经外观和解剖检验,铸件没有出现明显缩孔、缩松、气孔和浇不足等缺陷。

参 考 文 献

- [1] 和苗.刮板输送机中部槽结构分析[J].煤矿机械,2012,33(9):178-180.
- [2] 陈云.刮板输送机铲板槽帮端部的可靠性分析[J].煤矿机械,2012,33(9):107-108.
- [3] 刘厚明.刮板输送机中部槽槽帮钢性能提升研发报告[J].内燃机与

配件,2020(8):175-176.

- [4] 王立玲,尚可超.刮板输送机槽帮断裂原因分析与研究[J].矿山机械,2010,38(23):15-17.
- [5] 莫漓江,宋荣发,张旭东.槽帮铸件铸造缺陷分析与对策[J].铸造技术,2012,33(10):1227-1229.
- [6] 陈硕,闫永路,莫漓江.ZG30MnSi 中频炉熔炼工艺[J].铸造,2011,60(9):925-927.
- [7] 邱克强,刘聪,向青春,等.铲板槽帮铸件缩孔与变形问题的研究[J].铸造,2016,65(2):188-192.
- [8] 尚可超,骆晓炜,尚洁.热处理对 ZG30MnSi 槽帮钢力学性能影响的研究[J].煤矿机械,2015,36(6):157-159.
- [9] 蔡永乐,苏琳飞,阴明,等.复合热处理对 ZG20CrSiMn 耐磨铸钢组织和性能影响[J].材料热处理学报,2017,38(3):97-102.
- [10] 张祖恒,雷仁忠.重型刮板输送机中部槽整体铸造工艺应用[J].煤,2018,27(1):21-22,37.
- [11] 包宏,钟志民.消失模铸造矿用刮板输送机中部槽槽帮钢的开发研究[J].中国煤炭,2011,37(8):79-81,92.
- [12] 刘玲玲,郑新建,任爱梅.消失模铸造滑体铸件的数值模拟[J].特种铸造及有色合金,2018,38(5):531-534.
- [13] 邓超,龙骏,郑志斌,等.基于 ProCAST 的履带板消失模铸造凝固过程数值模拟[J].特种铸造及有色合金,2021,41(3):368-371.
- [14] 陈忠士,邹泽昌,邱智泉,等.消失模铸造灰铸铁的组织与力学性能[J].特种铸造及有色合金,2020,40(9):996-999.
- [15] 李思,彭和宜.机尾滚筒消失模铸造凝固过程模拟及工艺优化[J].铸造,2015,64(9):861-863.
- [16] 王成军,余汉伟,张子鹏.采煤机齿轨铸件铸造过程模拟及工艺创新设计[J].煤炭科学技术,2020,48(2):164-170.
- [17] 朱丽娟,周源,王明娜,等.消失模负压铸造浇注系统设计的探讨[J].铸造技术,2009,30(7):942-944.
- [18] 李增民,李志勇.消失模铸造的关键技术[J].铸造技术,2002,23(3):155-159.
- [19] 黄天佑,黄乃瑜,吕志刚.消失模铸造技术[M].北京:机械工业出版社,2004.

(编辑:栗万仲)

镁锂合金助力长征六号改运载火箭和 长征十一号运载火箭成功发射

在太原卫星发射中心新建发射工位上,我国新型运载火箭长征六号改首次点火起飞。火箭顺利将浦江二号卫星和天鲲二号卫星送入预定轨道,发射任务取得圆满成功。

西安四方超轻材料有限公司研发的超轻镁锂合金,大量应用在卫星预埋件、支架、壳体等结构件,助力卫星成功进入预定轨道,完成各个科研任务,为卫星的升天与太空探索奠定基础。

长征十一号运载火箭以“一箭三星”的方式,托举天平二号 A、B、C 卫星点火起飞,随后卫星顺利进入预定轨道,发射任务获得圆满成功。

本次所发射部分卫星大量应用中铝轻研合金和西安四方公司自主研发生产的镁锂合金,如卫星舱板、连接件、帆板、壳体等,使其成功减重,大大提高了卫星的有效载荷量。

(摘自中国有色网)