

模具钢 H13 连铸关键技术优化与应用

叶德新,曾令宇,余大华

(宝武集团广东韶关钢铁有限公司,广东 韶关 512123)

摘要:为解决生产模具钢 H13 连铸过程中存在的问题,如脱引锭困难、铸坯切不断、切割端面不平、铸坯低倍质量差等。通过优化脱引锭位置和拉矫机热坯压力,开发铁粉喷吹切割,以及对电磁搅拌、轻压下工艺的研究,有效地解决了 H13 钢连铸生产中存在的难题,保证了连铸过程的稳定性。同时,提高了铸坯产品质量,取得了良好的经济效益。

关键词:大方坯连铸;H13;电磁搅拌;轻压下;中心疏松

中图分类号:TG166.2

文献标志码:A

文章编号:1673-9981(2022)06-1035-05

引文格式:叶德新,曾令宇,余大华. 模具钢 H13 连铸关键技术优化与应用[J]. 材料研究与应用,2022,16(6):1035-1039.

YE Dexin, ZENG Lingyu, YU Dahua. Optimization and Application of Key Technology for Continuous Casting of Die Steel H13[J]. Materials Research and Application, 2022, 16(6): 1035-1039.

热作模具 H13 钢在淬硬条件下具有较高韧度、优良的抗热裂性能,是一种强韧兼具的空冷硬化型热作模具用钢,适用于制造压铸模、挤压模、热切边模、热锻模的热冲孔模具等^[1-3]。H13 钢因具有良好的性价比及工艺性能,广受市场的青睐,该钢种已经成为国内外应用最广泛的热作模具钢种之一。

某钢厂热作模具钢 H13 钢中 Si、Cr、V、Mo 等元素含量高,导致其导热性能差、裂纹敏感性强,在大方坯连铸时存在脱引锭困难、铸坯切不断、切割端面

不平、铸坯低倍质量差等问题,而无法保证生产过程的稳定性及铸坯质量^[4-7]。因此,对 H13 钢连铸关键技术进行优化,以保证生产的顺行,同时提升铸坯产品的质量,显得尤为重要。

1 连铸生产流程及大方坯连铸参数

以某钢厂热作模具钢 H13 为研究对象,其组成成分列于表 1。

表 1 H13 钢化学成分
Table 1 Chemical composition of H13

成分	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
含量 w/%	0.36—0.43	0.90—1.20	0.30—0.55	≤0.025	≤0.025	5.0—5.5	1.35—1.60	0.90—1.20

H13 钢的连铸生产工艺流程:合格钢水—大包回转台—中间罐—结晶器—二冷段—拉矫机—铸坯

切割—输送辊道—铸坯喷号标识—铸坯检验入库。大方坯连铸机的主要技术参数列于表 2。

表 2 连铸主要工艺参数
Table 2 Main process parameters of continuous casting

项目	性能参数	项目	性能参数
铸机型式	全弧型	二冷形式	气、水雾化冷却
铸机基本半径/m	R14	电磁搅拌	M-EMS+F-EMS
工作拉速范围/(m·min ⁻¹)	0.5—0.9	铸坯断面尺寸/mm	320×425

收稿日期:2022-09-05

基金项目:广东省重点领域研发计划项目;高品质热作模具钢研发与产业化(2020B010184001)

作者简介:叶德新(1989-),男,广东南雄人,本科,工程师,主要从事特钢产品工艺研究,E-mail:yedexinq@126.com。

2 连铸存在的问题及改进

2.1 铸坯脱引锭合格率提升

钢厂在大方坯生产 H13 等高合金系列钢时,浇次各流的坯头出最后一架拉矫机时经常会出现翘起,导致脱不了引锭,使整体脱引锭合格率仅为 60%。这对铸坯切割顺行带来了极大的负面影响,常引起滞坯,制约了连铸正常生产。

通过现场分析及查找相关资料得知,造成这种现象的主要原因是 H13 等高合金系列钢的合金成分含量高、导热性较普钢的差,当拉坯速度较低和调整至目标拉速的时间过长时,拉坯速度与冷却速度不适应,导致铸坯表面温度低冷却收缩过快,造成铸坯头出最后一架拉矫机时翘起,从而导致脱引锭困难。

2.1.1 脱引锭位置优化

铸坯头出第 9 架拉矫机时,由于铸坯表面温度降低而易翘起,同时脱引锭的位置靠前或靠后也会造成脱引锭辊接触不到铸坯头,使之起不到脱引的作用。经试验摸索发现,各流铸坯头运行至脱引锭辊前面时,需进行脱引操作,对铸坯头和引锭头的结合部施加作用力,提高脱引效果,使脱引锭的合格率由 60% 提升至 70%。

2.1.2 拉矫机热坯压力优化

坯头出最后一架拉矫机时,铸坯表面温度低易使其翘起,造成脱引锭辊接触不到坯头而起不到脱引的作用。拉矫机热坯压力由原每机架设定的 7200 kg,调整为前 5 架拉矫机压力由原设定的 7200 kg 提高到 15 000 kg,而后 4 架提高至 25 000 kg。对足够强度的坯头施加较大的压下力,可使铸坯出最后一架拉矫机时不会翘头,从而保证了脱引锭成功率稳步提升至 100%。试验结果列于表 3。

表 3 拉矫机压力影响统计表

Table 3 Statistical table of the influence of tension leveler pressure

断面/mm	拉矫机压力分布情况	脱引锭成功率/%
425×320	9 架均为 7200 kg	70
425×320	前 5 架 10 000 kg、后 4 架 15 000 kg	80
425×320	前 5 架 15 000 kg、后 4 架 25 000 kg	100

2.2 铸坯切割优化及改进

对 H13 钢进行火焰切割时,由于其 Cr 含量较高,易造成切割火焰对铸坯氧化失败,无法进行正常切割,同时由于氧化渣倒喷把切割嘴包住,造成此流彻底无法割断。因此,在高 Cr 钢切割时需喷射起助熔作用的铁粉,如果铁粉喷射不均匀连续或者流量不够,均无法正常切割。

通过现场生产跟踪及分析发现,H13 钢铸坯切割成功率低下的主要因素:(1)高合金钢切割时,选用 2.9(氧孔直径,mm)型号的割嘴,该割嘴型号偏小;割嘴距铸坯表面高度为 40—50 mm,该距离不合理,易引起氧化渣倒喷而包住割嘴,造成无法切割;(2)因铸机较长时间不生产高合金钢,对铁粉装置本体设备维护较差,喷射器、橡胶管等影响使用的关键设备部件磨损、老化严重,维护和更换不及时;(3)切割行程短,在当前拉速和切割枪速下,切割行程短而成为无法完全切断的影响因素。

2.2.1 切割前准备工作的优化

切割前需对喷枪、割嘴、切割用能源介质的压力和喷粉装置等进行优化,以保证切割正常进行。主、

副枪均采用 3.6(氧孔直径,mm)型号割嘴,调整切割火焰,火焰垂直长度应超出坯厚 50—100 mm。割嘴清理应做到割嘴表面无冷渣,检查切割能源介质管道是否泄漏,对不良的软管及时更换。切割用能源介质的压力调整和确认,切割氧(高压氧气)压力为 1.0—1.2 MPa、预热氧气压力为 0.5—0.7 MPa、切割气源压力约为 1.5—2.0 MPa,生产前由设备方调整好压力,再根据实际火焰微调压力,尽可能的保证足够的氧气和切割气源。喷粉装置的准备,操作人员将铁粉罐内的氮封压力调整为 0.05—0.10 MPa,喷射器 1 和喷射器 2 的氮气压力为 0.2—0.3 MPa,打开喷粉装置的氮封和氮气喷射开关,检查喷头气流是否流畅,接口是否漏气,喷头与割嘴呈一条直线。

首先将铁粉加入铁粉罐中,然后打开火焰进行喷粉测试,同时观察喷粉状态。对注射器氮气压力进行微调,使喷头喷射方向调整到火焰的中心。喷粉测试时目测切割火焰的状态,已确认喷粉状态良好,同时保持氮气注射器阀门常开及喷粉管道内畅通。

2.2.2 生产过程的切割操作优化

在生产过程中需对切割操作过程进行优化。切割速度由 $160 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 调整至 $110 \sim 130 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, 在切割时需注意进枪时段, 以便随时退枪, 防止喷枪。进枪后要注意升速过程不能太快, 切割速度要分段输入, 其分别为 100 、 120 、 $130 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。注意喷枪的同时也要注意切割行程, 保证有效的时间段内完成切割。如有较大的喷枪现象发生, 应放弃切割, 防止喷头堵塞, 保证下一次切割正常完成。

2.2.3 铸坯切割改善效果

优化前后铸坯切割过程如图 1 所示。对切割优化前后铸坯切断情况进行统计, 结果列于表 4。从图 1 及表 4 可以看出: 切割优化前铸坯切不断, 需要人工补切, 补切率达 48.97% ; 对切割喷粉设备(割嘴、管道、气源压力)、切割操作(切割速度、异常处置)优化改善后, 铸坯切割不断的情况大为改善, 铸坯切不断概率降至 5.20% 以内。

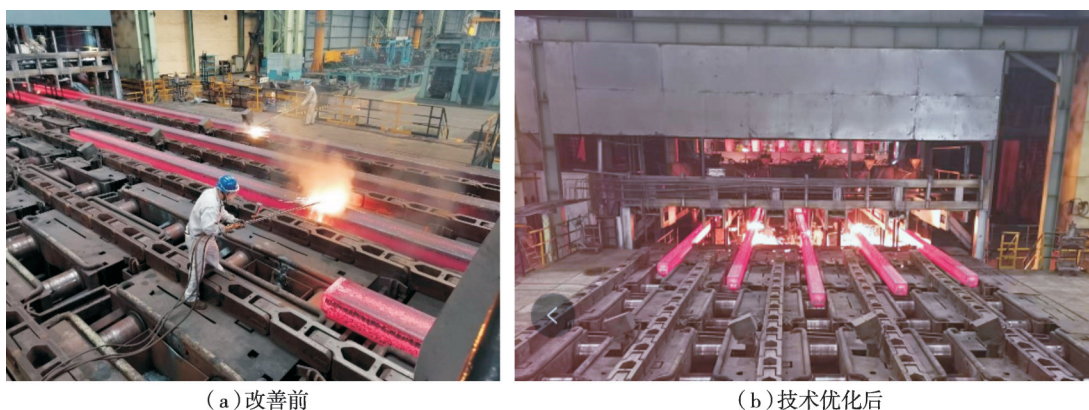


图 1 铸坯切割情况

Figure 1 Slab cutting

表 4 铸坯切割统计

Table 4 Statistics of slab cutting

项目	切割支数/支	切断不断支数/支	切割不成功率/%
切割优化前	98	48	48.97
切割优化后	96	5	5.20

2.3 铸坯内部质量改善

由于 H13 钢中合金含量高, 其在大方坯连铸过程中极易产生中心疏松、中心偏析及缩孔等内部缺陷, 改善上述缺陷最有效的手段即采用合适的电磁搅拌和轻压下工艺^[8-11]。

2.3.1 电磁搅拌工艺参数优化

电磁搅拌借助在铸坯的液相穴内感生的电磁力强化液相穴内钢水的运动, 由此强化钢水的对流、传热和传质过程, 从而控制铸坯的凝固过程, 对提高铸坯质量具有积极的作用。连铸坯液相穴内钢水对流运动对消除过热度、改善铸坯凝固组织和成分偏析等有重大影响, 其可以有效地降低铸坯缩孔、疏松、

偏析等中心缺陷级别^[12-14]。根据工艺试验对比结果, 最终确定 H13 钢结晶器电磁搅拌参数为 $680 \sim 720 \text{ A} / 2.5 \text{ Hz}$, 末端电磁搅拌参数为 $680 \sim 750 \text{ A} / 3.5 \text{ Hz}$ 。

2.3.2 轻压下工艺参数优化

轻压下技术是在铸坯凝固末端指定区域内施加均匀的外力, 从而形成一定的压下量, 以抵消铸坯中心液相凝固的体积收缩, 使枝晶间富集溶质的剩余液相仍保留在其原来的位置, 进而实现减轻甚至消除中心偏析和疏松的目的^[15-16]。轻压下工艺的效果主要取决于压下位和压下量^[17-20]。通过多轮轻压下工艺试验, 确定了 H13 钢的总压下为 9 mm , 压下量分配列于表 5。

表 5 压下参数

Table 5 Reduction parameters

拉矫机	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	合计
压下量/mm	0	1	1	2	3	2	0	0	0	9

2.3.3 低倍检验情况

图2为H13钢连铸坯内部质量改善前后的低倍组织照片。从图2可见:改善前,连铸坯中心区域存

在明显的中心疏松、中心偏析缺陷;改善后,铸坯中心疏松、中心偏析明显减轻。

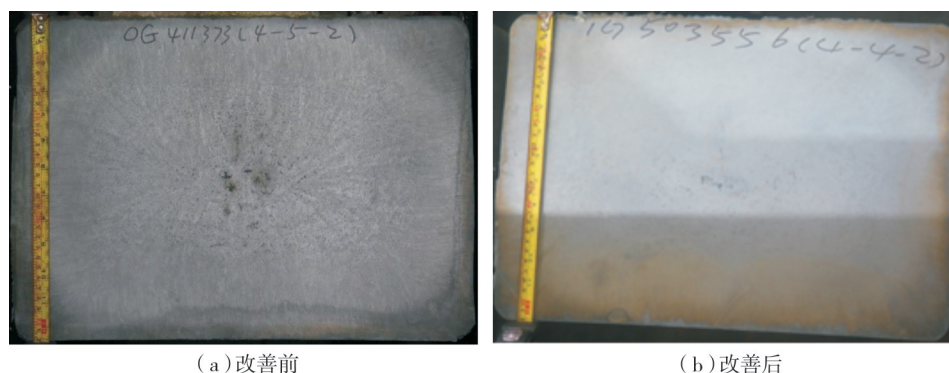


图2 H13钢连铸坯内部质量改善前后的低倍组织

Figure 2 Macrostructure of H13 steel continuous casting slab before and after improvement of internal quality

图3为铸坯中心疏松低倍检验评级统计情况。从图3可见:H13钢内部质量改善后,其低倍中心疏松等级为1.0以内的等级比例由52.4%增至

85.5%,而等级为2.0以上的比例由28%降至1.5%;H13钢低倍中心偏析等级为1.0以内的比例由75%增至100%,表明铸坯中心疏松得到明显改善。

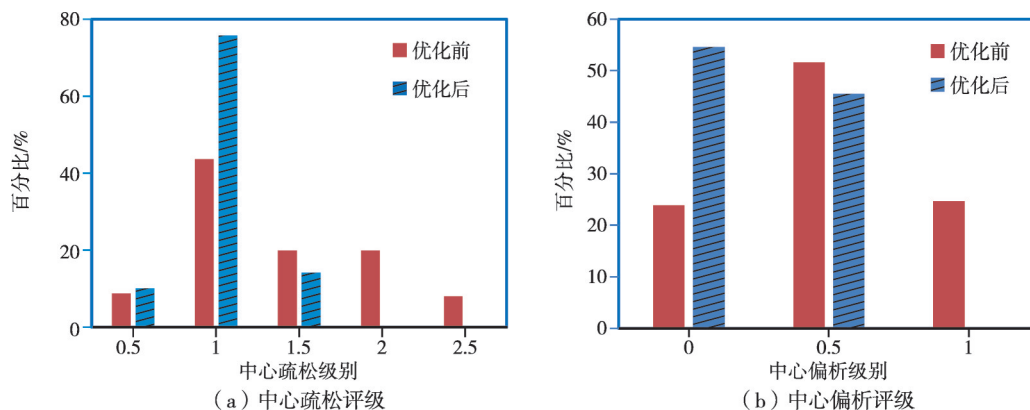


图3 铸坯低倍检验评级

Figure 3 Low magnification inspection rating of slab

综上所述,优化电磁搅拌及轻压下工艺参数后,使用压下9 mm轻压下后,H13热作模具钢低倍中心疏松、中心偏析得到明显的改善。

3 结论

(1)通过优化脱引锭时机及热坯压力,铸坯脱引锭合格率由60%提升至100%。

(2)铸坯切不断问题得到解决,铸坯切不断概率由50%降至5%,有效地改善了人工劳动强度,同时保证了铸坯入坑的缓冷时间。

(3)优化电磁搅拌及压下工艺后,铸坯内部质量得到大幅提升,铸坯中心疏松、中心偏析的情况改善明显,为其它类似产品生产提供了有利参考。

(4)关键技术优化应用,有效地解决了H13钢连铸生产中存在的难题,保证了连铸过程的稳定性,提高了铸坯的产品质量。

参考文献:

- [1] 孙舒明,李静.热作模具钢发展现状综述[J].科技致富向导,2011(20):99.
- [2] 徐进,姜先,陈再枝.模具钢[M].北京:冶金工业出版社,2002.

- [3] 阳燕,刘建华,包燕平,等.热作模具钢H13的非金属夹杂物研究[J].钢铁,2011,46(9):45-49.
- [4] 蒋锡军.转炉冶炼热作模具钢H13的生产实践[J].宝钢技术,2007(3):29-32.
- [5] 李银平,刘宗辉,刘明秀.优特钢白点缺陷产生原因及解决措施[J].河南冶金,2014,22(5):41-43.
- [6] 刘振天,周健,马党参,等.冶炼工艺对H13钢组织和力学性能的影响.钢铁,2013,48(4):59-63.
- [7] 夏鹏成,陈蕴博,葛学元,等.热作模具钢热疲劳性能的研究现状与发展趋势[J].金属热处理,2008,33(12):1-6.
- [8] 李澍.转炉连铸生产模具钢H13的工艺研究[J].河北企业,2016(1):115-116.
- [9] 原丽君,罗建华,宁东,等.转炉连铸生产热作模具钢H13的工艺实践[J].鞍钢技术,2013(2):42-45.
- [10] 邹冰梅.中心偏析与中心疏松的形成与预防[J].钢铁技术,2005(2):1.
- [11] 陈亮,宋波,陈天明,等.320 mm×410 mm大方坯连铸重轨钢质量改进与应用[J].钢铁,2017,52(4):31.
- [12] 袁立强.电磁搅拌技术在石钢连铸中的应用[J].河北冶金,2003(2):21-23.
- [13] 张福来.方坯连铸机末端电磁搅拌改造[J].重型机械,2016(5):102-106.
- [14] 湛智勇,董珍,张宝军.包钢圆坯连铸机电磁搅拌应用实践[J].连铸,2009(1):44-46.
- [15] 程常桂,茅洪祥.轻压下技术在连铸中的应用[J].河南冶金,1999(1):25-28.
- [16] 谢海唯,朱苗勇,宋景欣,等.连铸方坯凝固末端轻压下位置的预报研究[J].材料与冶金学报,2003(3):185-188.
- [17] 沈轶奇,谭希华,徐荣军.浅述宝钢3号厚板坯连铸机改造[J].连铸,2019,44(3):68-75.
- [18] 王向红,张建斌,屠兴圻,等.轻压下对220 mm×260 mm轴承钢大方坯内部质量的改善[J].炼钢,2018,34(6):34-39.
- [19] 阎朝红.凝固末端轻压下技术在连铸中的应用[J].宝钢技术,2001(5):51-55.
- [20] 范黎明,郑艳,刘品,等.动态轻压下技术在大方坯连铸机上的应用研究[J].连铸,2010,35(3):23-27.

Optimization and Application of Key Technology for Continuous Casting of Die Steel H13

YE Dexin, ZENG Lingyu, YU Dahua

(Baowu Group Guangdong Shaoguan Iron and Steel Co., Ltd., Shaoguan 512123, China)

Abstract: In order to solve problems in the continuous casting process of die steel H13, such as difficulty in dummy bar removal, uncuttable slab, uneven cutting end face, poor low magnification quality slab and etc., the dummy bar removal position and hot billet pressure of tension leveler are optimized, the iron powder injection cutting is developed, the electromagnetic stirring and soft reduction processes are studied and applied. Through these key technologies, problems existing in the continuous casting process of die steel H13 are effectively solved. This helps to ensure the stability of the continuous casting process, improves the quality of slab products, and also obtains good economic benefits.

Keywords: billet continuous casting; H13; electromagnetic stirring; soft reduction; central looseness

(学术编辑:褚欣)