

DOI: 10.13228/j.boyuan.issn1005-4006.20200014

马钢小断面异型坯表面纵裂纹的控制

陈 伟, 刘明华, 付振宇, 胡春林, 张世涛, 胡林梅

(马钢股份有限公司长材事业部, 安徽 马鞍山 243000)

摘 要:表面纵裂纹是异型坯最常见的质量缺陷。以马钢小断面异型坯为研究对象,统计了2019年的生产数据,研究了保护渣黏度、钢水化学成分和保护浇铸对铸坯表面纵裂纹的影响,为现场生产高质量的异型坯提供了参考。结果表明,高黏度保护渣和较洁净的钢水可有效减少铸坯表面裂纹的产生。

关键词:异型坯;纵裂纹;保护渣;浇铸

文献标志码:A **文章编号:**1005-4006(2020)03-0052-05

Control of longitudinal crack on the surface of small section beam blank of Masteel

CHEN Wei, LIU Ming-hua, FU Zhen-yu, HU Chun-lin, ZHANG Shi-tao, HU Lin-mei

(Long Products Business Division, Ma'anshan Iron and Steel Company Limited, Ma'anshan 243000, Anhui, China)

Abstract: Longitudinal crack is the most common quality defect on the surface of the beam blank. Based on small section beam blank of Masteel, The production data of 2019 were statistically analyzed, and the influences of the viscosity of protective slag, chemical composition of molten steel and protective casting on the surface longitudinal cracks of the billet were studied, which provided a reference for the production of high-quality shaped billets on the spot. The results show that high viscosity slag and clean molten steel are beneficial to reduce the surface crack of casting billet.

Key words: beam blank; longitudinal crack; slag; casting

相比于方坯或矩形坯轧制H型钢,异型坯直接轧制H型钢,不仅可减少轧制的道次,也大幅提高轧机的生产能力,降低了生产成本^[1-3]。异型坯具有表面积大、铸坯形状复杂等特点,连铸生产时铸坯各点的散热差异较大,导致断面上各点温度场分布不均匀,因此,铸坯产生表面纵裂纹缺陷^[4-6]。轧制过程中如若不能消除表面纵裂纹,将会保留在成品表面,增加后续处理成本甚至形成废品。

除2019年12月热试成功的重型异型坯连铸机外,马钢另有两台异型坯连铸机,其中4号连铸机主要生产两个小断面的坯料,规格大小(宽面×窄面×腹板)分别是430 mm×300 mm×90 mm和320 mm×220 mm×85 mm。规格320 mm×220 mm×85 mm的铸坯表面纵裂纹极少且非常稳定,而规格430 mm×300 mm×90 mm的坯料纵裂纹相对较多,因此本文研究的小断面异型坯专指430 mm×300 mm×90 mm规格的连接坯料。本文就4号连铸机生产小断面坯料过程影响其表面纵裂纹的主要原因进行了分析探讨。

1 基本生产情况

4号连铸机主要生产以Q235B为代表的普通碳素结构钢和低合金结构钢,这两类钢种的生产工艺路线为:转炉炼钢→吹氩搅拌→定径中间包敞开浇铸或快换中间包保护浇铸。生产时通过控制中间包钢液面高度和中间包水口大小来调节拉速。为满足市场的需求,4号连铸机还生产海洋石油平台用钢和耐候钢等品种钢,其工艺路线为:转炉炼钢→吹氩搅拌→LF精炼炉→保护浇铸。品种钢生产时通过控制塞棒开口度大小来调节铸坯拉速,连铸机的主要参数见表1。

2 铸坯表面质量参数

2.1 裂纹指数

异型坯铸坯表面纵裂纹主要存在于内弧腹板处,统计表面纵裂纹前,对异型坯内弧表面进行了处理。为直观衡量铸坯表面裂纹的差异程度,定义裂纹指数为 I ,即单位长度铸坯表面裂纹的长度,裂纹指数越大,铸坯纵裂纹控制的越差,裂纹指数 I 见式(1)。

表1 连铸机主要参数

Table 1 Main parameters of continuous casting machine

机型	4机4流全弧形连铸机
拉速/($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	0.9~1.7
浇铸方式	敞开浇铸(定径水口); 保护浇铸(快换水口/塞棒+直通浸入式水口)
结晶器参数	800 mm管式银铜质结晶器
软水流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	210~230

$$I = \frac{L_0}{L} \quad (1)$$

式中: L_0 为铸坯表面裂纹总长度, mm; L 为铸坯总长度, m。

2.2 修磨率

轧制过后, 铸坯表面纵裂纹若存在于轧材表面, 需要后续加工修磨合格后, 才能进行下一步工序, 定义修磨率为 R , 见式(2)。研究表明, 修磨率的高低与铸坯表面纵裂纹呈正相关^[7-8]。大批量铸坯的质量跟踪, 可以用轧后修磨率的高低判断连铸坯表面纵裂纹的严重程度。

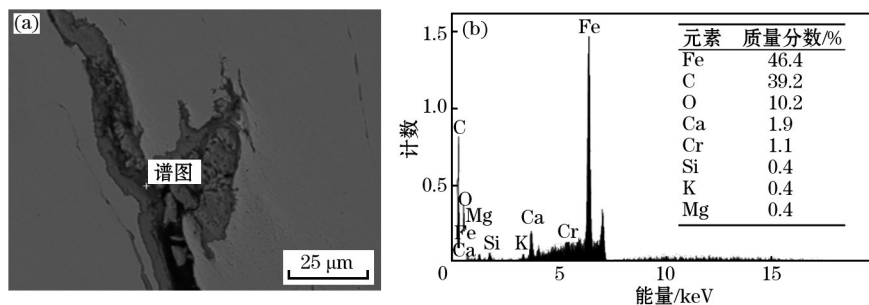
$$R = \frac{m_0}{m} \quad (2)$$

式中: m_0 为需要裂纹修磨的材的质量, t; m 为材的总质量, t。

3 生产过程与结果分析

3.1 表面纵裂纹的形态和成因分析

异型坯表面纵裂纹主要集中在腹板, R 角处也偶尔出现。裂纹宽度一般为0.3~1.2 mm, 裂纹长度为5~400 mm, 裂纹长度100 mm左右的占73%, 裂纹长度超过500 mm占0.89%, 其形状基本呈长条状。从异型坯表面纵裂纹处切取横向试样, 打磨后抛光, 在扫描电镜下对缺陷形貌进行观察和成分分析, 结果如图1所示。扫描电镜下, 裂纹断口处有一定的脱碳现象, 且含有FeO圆球, 这表明表面纵裂纹是在高温下形成的。另外, 裂纹位置成分主要为铁氧化物, 还含有少量的Ca、Si、Mg等元素, 结合裂纹凹陷的位置和深度, 可知裂纹是在弯月面区域产生并渗入了结晶器保护渣。



(a) SEM; (b) EDS。

图1 裂纹缺陷的典型形貌和成分分析

Fig.1 Typical morphology and composition analysis of crack defects

3.2 保护渣黏度的影响

保护渣熔化后的渣膜在结晶器铜管和坯壳间起到润滑和传热的作用, 其性能对铸机的生产顺行和铸坯表面质量有直接的关系。由于异型坯断面的复杂性和传热的不均匀性, 要求其使用的保护渣具备高熔点、高碱度和高黏度的基本特性, 而黏度对渣膜厚度和均匀性的影响, 直接影响到连铸过程结晶器的传热^[9-11]。

2019年本厂4号连铸机使用的是西峡龙成提供的

3种黏度的HDK-3型异型坯保护渣, 分别用A、B、C表示, 相同条件下3种保护渣的理化参数见表2。其中, 熔速和黏度分别在1350℃和1300℃时测定。

由表2可知, 3种保护渣黏度差异较大, 其余理化指标基本接近。3种保护渣分别于2019年1—7月、4—9月和6—12月使用, 对生产的Q235B和Q355BD铸坯内弧腹板进行了处理, 统计裂纹长度并计算得到裂纹指数, 用origin8.0绘图软件绘出, 如图2和图3所示。

表2 保护渣的理化参数

Table 2 Physical and chemical parameters of slags

保护渣	碱度	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	熔融 点/ $^{\circ}\text{C}$	熔速/s	黏度/ ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)
A	1.25	0.71	1 182	34	1.71
B	1.25	0.70	1 184	34	1.21
C	1.25	0.69	1 185	34	1.61

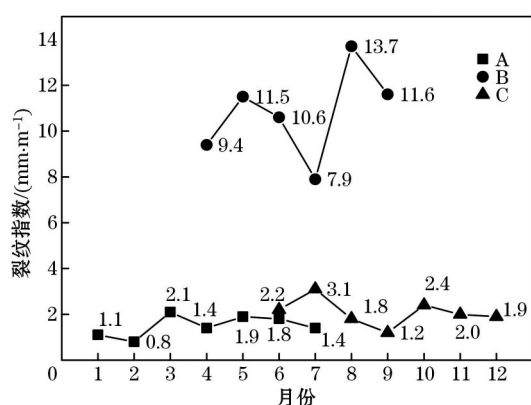


图2 不同保护渣生产 Q235B 铸坯的裂纹指数

Fig.2 Crack index of Q235B billet produced with different slags

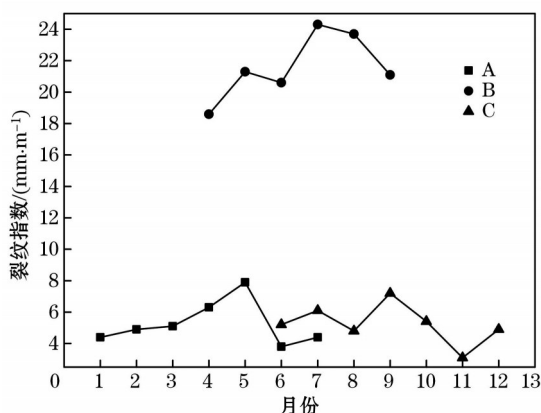


图3 不同保护渣生产 Q355BD 时的裂纹指数

Fig.3 Crack index of Q355BD billet produced with different slags

由图2和图3可知,同一保护渣用于生产不同钢种时,低合金钢(Q355BD)裂纹指数比普通碳钢(Q235B)要高,这表明低合金钢生产时表面纵裂纹控制得较差。这是因为,低合金钢中存在的少量V等裂纹敏感性元素,增加了纵裂纹的产生和扩展。同时,对比A、C两种黏度的保护渣可以发现,随着黏度的略微降低,铸坯表面纵裂纹整体有增加的趋势,但差异不大。另外,黏度最低的B保护渣生产的Q235B和Q355BD,其裂纹指数明显比A、C两种保护渣生产的铸坯要高,这表明,高黏度保护渣有利

于减少异型坯表面纵裂纹。

3.3 钢水化学成分和T[O]质量分数

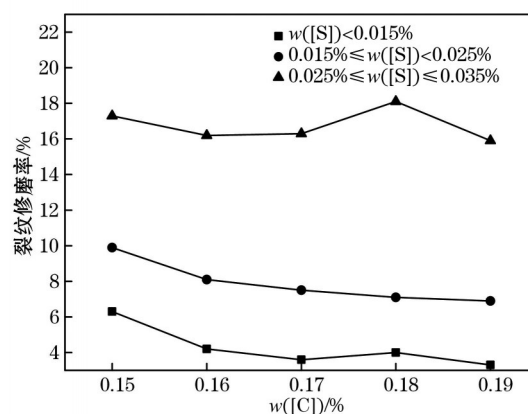
3.3.1 碳、硫元素对纵裂纹的影响

由文献[12]可知,钢中[C]对铸坯表面裂纹有重要的影响,当 $w(\text{C})$ 处于包晶区时,钢的线收缩量较大,容易产生表面纵裂纹;随着 $w(\text{S})$ 的增加,钢的强度和塑性逐渐降低,纵裂纹出现的概率随之增加。以本厂同一生产条件下的Q235B为研究对象,其内控化学成分见表3,统计2019年6—12月该钢种轧制5.3万t的400 mm×200 mm规格材,裂纹修磨率与 $w(\text{C})$ 和 $w(\text{S})$ 的关系,如图4所示。

表3 内控化学成分(质量分数)

Table 3 Chemical composition of internal control %

$w(\text{C})$	$w(\text{Si})$	$w(\text{Mn})$	$w(\text{S})$	$w(\text{P})$
0.15~0.19	0.12~0.22	0.40~0.50	≤ 0.035	≤ 0.035

图4 400 mm×200 mm规格材的裂纹修磨率与 $w(\text{C})$ 和 $w(\text{S})$ 的关系Fig.4 Relationship between the crack repair rate of 400 mm×200 mm material and $w(\text{C})$ and $w(\text{S})$

由图4可知,生产Q235B时,随着 $w(\text{C})$ 的增加,裂纹修磨率有逐渐降低的趋势,当 $w(\text{S}) < 0.015\%$ 时, $w(\text{C}) = 0.19\%$ 的裂纹修磨率仅为 $w(\text{C}) = 0.15\%$ 时的52%。因此,适当增加Q235B中 $w(\text{C})$ 有利于减少表面纵裂纹。但 $w(\text{S}) > 0.025\%$ 时,该规格材的裂纹修磨率明显要比 $w(\text{S}) < 0.025\%$ 时要高,此时 $w(\text{C})$ 对规格材的修磨率影响不明显。

综上, $w(\text{S}) > 0.025\%$ 的钢其裂纹明显要高,对于 $w(\text{S}) < 0.025\%$ 的普通碳钢(Q235B),增加钢中 $w(\text{C})$ 能减少表面纵裂纹。因此,从钢的化学成分来看,降低异型坯表面裂纹的首选方法是降低钢中 $w(\text{S})$,此外,一定范围内增加 $w(\text{C})$ 也能有效

减少铸坯表面纵裂纹。

3.3.2 T[O]质量分数与纵裂纹的关系

为对比 T[O] 含量对纵裂纹的影响, 对不同工艺路线下生产的 Q355B-ST 的裂纹情况和轧后修磨率进行了对比, 工艺 D 的生产路线是转炉炼钢→吹氩搅拌→快换中间包保护浇铸, 工艺 F 的生产路线是转炉炼钢→吹氩搅拌→LF 精炼炉→快换中间包保护浇铸。跟踪时, 对不同工艺路线下生产的钢取样进行 T[O] 分析和裂纹指数统计, 其结果如图 5 所示。

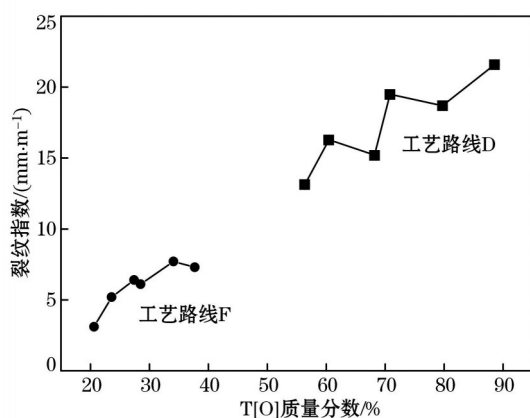


图5 T[O]质量分数与裂纹指数的关系

Fig.5 Relation between T[O] mass fraction and crack index

图 5 所示为工艺路线 D 和 F 钢中 T[O] 质量分数与裂纹指数之间的关系。图中可以看出, 经 LF 精炼炉处理后, 钢中 T[O] 质量分数明显要低, 平均 T[O] 质量分数为 0.002 865%, 仅为工艺 D 时平均 T[O] 质量分数的 40.53%, 裂纹指数随着 T[O] 质量分数的增加而增加。另外, 过 LF 炉处理后, 平均裂纹指数为 5.97 mm/m, 远低于不经 LF 炉处理的 17.4 mm/m。这是因为, T[O] 质量分数越高, 钢的纯净度越低, 浇铸过程中密度小的夹杂物上浮, 聚集在异型坯内弧处, 破坏了钢基体的连续性, 成为异型坯产生表面纵裂纹的诱因。

对不同工艺路线下生产的 Q355B-ST 坯料进行了统计跟踪, 轧制成 302 mm×90 mm 规格材后的成材量和裂纹修磨量, 统计如图 6 所示。

由图 6 可知, 经 LF 精炼炉处理的钢水浇铸成的异型坯, 轧材修磨率为 2.33%, 远低于工艺 D 时 70.46% 的裂纹修磨率。这是因为经 LF 脱硫和吹氩软吹搅拌后, 钢中导致裂纹产生的硫质量分数和夹杂物大部分降低, 从根本上降低了纵裂纹和裂纹修磨率。

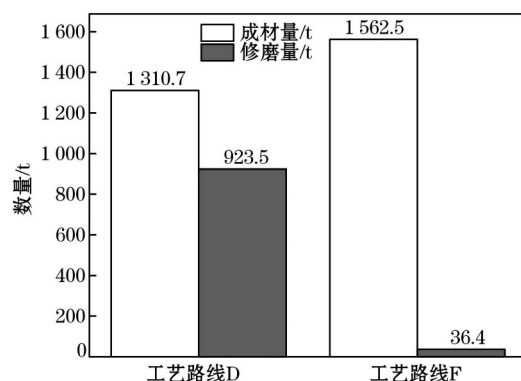


图6 不同工艺路线生产 Q355B-ST 坯料的成材量和裂纹修磨量

Fig.6 Amount of finished material and the amount of crack repair and wear of Q355B-ST billet produced by different process routes

3.4 保护浇铸

生产数据显示, 2019 年 4 号连铸机共生产以 Q235B 为主的普碳钢和以 Q355BD 主的低合金钢 36.02 万 t, 占全年生产总量的 91.73%。本厂的生产这类钢的工艺为, 转炉炼钢→吹氩搅拌→快换中间包保护浇铸或者定径中间包非保护浇铸, 为研究连铸保护浇铸对小断面异型坯表面纵裂纹的影响, 对连铸生产 Q235B 坯料的浇铸过程进行了跟踪, 统计了保护浇铸和非保护浇铸的炉次; 并对坯料轧制过程进行了跟踪, 统计了需要裂纹修磨的轧材量, 结果如图 7 所示, 图中“-G”表示在保护浇铸时生产, “-H”表示非保护浇铸时生产。

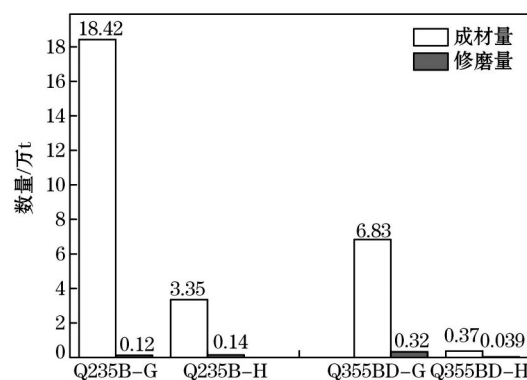


图7 保护浇铸和非保护浇铸时 Q235B 和 Q355BD 轧后修磨情况

Fig.7 Repair and grinding of Q235B and Q355BD after rolling in protective casting and non-protective casting

由图 7 可知, 保护浇铸时生产的普碳钢 (Q235B) 和低合金钢 (Q355BD), 轧后裂纹修磨率明显要低。其中, Q235B 保护浇铸前后, 裂纹修磨

率由4.18%降到了0.67%,低合金钢修磨率下降幅度稍小,从10.54%降低至4.69%。这表明,连铸保护浇铸对控制异型坯表面裂纹是非常有利的。

4 结论

(1) 相比于黏度较低的保护渣,高黏度保护渣有利于控制铸坯表面纵裂纹,但保护渣黏度过高,结晶器内渣条形成较快,增加了操作困难和卷渣漏钢的风险。因此,寻找控制异型坯表面纵裂纹和减少结晶器内渣条长大的平衡点,是下一步工作的重点和研究方向。

(2) 钢中 $w([S]) > 0.025\%$ 时,异型坯表面纵裂纹明显增加,且钢中 $w([C])$ 在一定范围内的增减对裂纹影响很小,当钢中 $w([S]) < 0.025\%$ 时,可以通过适当提高 $w([C])$ 减少裂纹的产生。另外,降低 $T[O]$ 的质量分数可从根本上减少表面纵裂纹。

(3) 相比于保护浇铸生产的连铸坯,非保护浇铸生产的坯料轧后裂纹修磨率明显要高,做好保护浇铸利于控制异型坯表面纵裂纹。

参考文献:

- [1] 薛伟锋. 异型坯连铸二次冷却配水策略[J]. 连铸, 2019, 44(4): 13.
- [2] 冯振亮. 异型坯连铸机中间包热换的研究与实践[J]. 连铸, 2019, 44(3): 1.
- [3] 惠亚军, 吴科敏, 潘辉, 等. 500 MPa级Nb-Ti微合金化矩形管用钢的强化机制[J]. 中国冶金, 2019, 29(6): 26.
- [4] 吴坚, 许健, 杨应东. 减少连铸异型坯表面纵裂纹的工艺研究[J]. 钢铁, 2009, 44(10): 95.
- [5] 董鹏莉, 尚海霞, 王华. 铸坯及板卷典型质量缺陷成因与控制技术[J]. 中国冶金, 2017, 27(6): 7.
- [6] 邓爱军, 蒲雪峰, 左小坦, 等. H型钢V形开裂的缺陷研究与优化[J]. 钢铁, 2019, 54(8): 161.
- [7] 胡春林. 氮含量控制对S450J0-T热轧H型钢表面裂纹的影响[J]. 上海金属, 2018, 40(3): 69.
- [8] 张进红. 浅析1215易切削钢铸坯修磨率的控制[C]//第九届中国钢铁年会论文集. 北京: 中国金属学会, 2013: 993.
- [9] 陈伟. H型钢异型坯表面裂纹和洁净度控制研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2009.
- [10] 何宇明. 连铸结晶器保护渣功能发挥和稳定质量的系统思维[J]. 连铸, 2019, 44(2): 14.
- [11] 罗衍昭, 季晨曦, 邓小旋, 等. 优化保护渣提高超低碳IF钢表面质量[J]. 钢铁, 2017, 52(4): 38.
- [12] 蔡开科. 连铸坯质量控制[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010.

《粉末冶金工业》征稿启事

《粉末冶金工业》创刊于1991年,系中国钢铁工业协会主管,由中国钢研科技集团有限公司、中国钢协粉末冶金分会、中国机协粉末冶金分会主办的冶金、金属学类科技性期刊。办刊宗旨是:宣传国家有关发展粉末冶金工业的方针政策;交流粉末冶金企、事业单位的科研与生产成果和管理经验;推广粉末冶金新技术、新材料、新工艺、新设备和新应用;促进科技成果产业化、商品化;传播国内外科技信息和发展动态;为粉末冶金及相关行业服务,为国民经济建设服务。

刊物主要栏目设有:“专家论坛”、“研究与开发”、“评述与进展”、“革新与交流”、“科技前沿”、“企业风采”、“方针政策”、“行业动态”、“国外信息”等。读者对象为:从事粉末冶金的科研、设计、生产、应用和教学的科学技术工程人员、管理人员、在校师生和广大工人;关心和支持粉末冶金行业发展的社会各界人士。

具体报道范围包括:粉末冶金基础理论;粉末制备、成形和烧结技术;粉末冶金材料、技术及其应用的发展和展望;粉末冶金装备、模具设计及其应用;粉末冶金制品的制备、性能

检测及应用研究,包括:金属粉末制品,金属氧化物、碳化物、氮化物等陶瓷粉末制品,难熔金属及硬质合金制品,摩擦及减磨制品,磁性材料和电工材料制品,多孔材料制品等;粉末冶金企业生产、经营状况相关报道;其他与粉末冶金领域相关的新材料、新技术、新装备、新产品等方面的研究成果。

依据文献计量学原理和方法,通过多项学术指标综合评定,经研究人员对相关文献的检索、计算和分析,以及学科专家评审推荐,《粉末冶金工业》现为“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”,并被美国“化学文摘”(CA)和英国“金属粉末报告”(MPR)定期收录摘发。

联系地址:北京市海淀区学院南路76号

邮 编:100081

电 话:(010)62181017

传 真:(010)62182887

E-mail: PMI@chinamet.cn

网 址: www.chinamet.cn

联 系 人: 荆 慧 李培佳

欢迎订阅! 欢迎投稿! 欢迎刊登广告!