

热轧钢板表面翘皮缺陷的特征和形成机理

陈书浩 王新华 黄福祥 何肖飞

(北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083)

摘要 采用扫描电镜和光学显微镜对 120 t 转炉-RH-CC 冶炼工艺生产的 Q345E 高强度合金钢热轧板表面翘皮缺陷进行了分析,发现在翘皮微区域出现了铁氧化物和保护渣残留物及二次氧化物,铁素体和珠光体排列没有规律,铁素体比例很高,脱碳严重。并发现,中间包氩气流量过大导致气泡包裹保护渣进入钢液形成铸坯表层皮下气孔,加热时二次氧化以及轧制时氧化铁皮压入钢板是热轧板中形成翘皮缺陷的主要原因。通过将中间包吹氩流量从 65 L/min 降至 50 L/min,拉速由 1.0 m/min 调整到 1.2 m/min 等工艺措施,使翘皮缺陷发生率由 3.68% 降至 0.8%。

关键词 表面翘皮 氩气流量 卷渣 皮下气孔 稳定性

Characteristics and Formation Mechanism of Surface Upwarp Defects of Hot Rolled Plate

Chen Shuhao, Wang Xinhua, Huang Fuxiang and He Xiaofei

(School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract Analysis on surface upwarp defects of hot rolled plate of high strength alloying steel Q345E produced by 120 t converter-RH-CC melting process has been carried out by using scanning electron microscope and optical microscope, and it is found that there are ferroferric oxides, residuum of mold shielding slag and secondary oxides in micro-regions of upwarp, and in the upwarp regions the arrangement of ferrite and pearlite is out of order, and the proportion of ferrite is higher than normal with serious decarburization. Further found the main reason for formation of surface upwarp defects of hot rolled plate is the higher argon flow rate in tundish which leads to bubble wrapping slag into liquid and forming subskin blowhole of casting slab, re-oxidizing in heating to form oxide scale then being pressed in plate during rolling. The occurrence rate of upwarp defects decreases from 3.86% to 0.8% by adopting the process measures including decreasing argon flow rate in tundish from 65 L/min to 50 L/min and adjusting casting speed from 1.0 m/min to 1.2 m/min.

Material Index Surface Upwarp, Argon Gas Flow, Slag Entrapping, Subcutaneous Blowhole, Stability

随着钢铁生产技术的进步,近些年来热轧板带钢产品质量明显提高,但是在最近几年中,热轧板表面缺陷在国内钢厂中仍然经常出现,尤其是翘皮缺陷^[1~4]更为严重,已成为影响热轧成品板合格率的主要因素。

所研究热轧钢板的生产流程为连铸-均热-粗轧-精轧-卷板,在生产高强度合金钢热轧板卷时,在板卷的边部出现长条状的翘皮,发生率占高强度合金钢板卷生产量的 3.68%,情况比较严重。

从宏观和微观两方面研究翘皮的基本特征,对翘皮缺陷的成因进行详细的分析和讨论,并通过对现场生产情况进行统计研究,提出了工艺参数的调整方案,最终使得热轧钢板翘皮缺陷率明显降低。

1 实验方法

Q345E 板坯采用 120 t 顶底复吹转炉冶炼,经 RH 真空处理后到连铸工位浇铸,中间包前期温度为 1540 ~ 1555 ℃。连铸坯横断面为 220 mm ×

1530 mm,稳定浇铸时拉速为 1.0 m/min,中间包水口吹氩量为 65 L/min,二冷区比水量控制在 0.7 L/kg 左右。结晶器保护渣主要成分见表 1。铸坯经定尺堆垛处理后送到加热炉加热,经粗轧、精轧、卷板,得到不同规格的产品。最终有一些热轧钢板表面翘皮缺陷严重,因此对上述工艺生产的 Q345E 热轧钢板表面翘皮试样进行检测,来研究缺陷形成的机理和工艺因素。

表 1 Q345E 钢用结晶器保护渣主要成分

Table 1 Basic ingredient of shielding slag in mold for steel Q345E

成分 /%							R(CaO)/ (SiO ₂)
CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	TFe	CaF ₂	
33.25	26.6	2.35	9.48	7.4	0.8	5.2	1.25

使用数码照相机对翘皮缺陷进行了宏观形貌观察;切取试样缺陷部位,先用丙酮清洗线切割带来的油污,将试样在超声波振荡仪中清洗,然后在扫描电

镜下对缺陷微区特征进行分析,包括对缺陷的正面和横切面分别进行形貌观察和 EDS 能谱半定量检测;将试样的正面和横切面经硝酸酒精侵蚀后在光学显微镜下观察其组织形貌。

2 实验结果

3 块试样的缺陷比较严重,图 1 所示为 3 块缺陷钢板表面翘皮的宏观形貌。从图 1 中看到,在钢板表面有很深的缝隙,翘起的翘皮已经脱落,翘皮的区域比较大,大块剥落的翘皮之外,还有浅浅的缝隙。试样 1 的翘皮是一个很长的整体,宽度较小;试样 2 的翘皮很大一块脱离了钢基体,内陷很深;试样 3 的翘皮规模较小,但是数目较多。

把 3 个试样用超声波清洗仪振荡清洗后,首先在扫描电镜下观察分析其缺陷正面特征,然后将试样沿缺陷处切开,在扫描电镜下观察分析其缺陷横切面特征。发现在缺陷正面部分检测到 Fe 和 O 元素,横切面上主要检测到 Fe、O、C 元素,另外还有少量的 K、Na、Mn、Si、Al。线扫描结果发现,Fe 和 O 的变化具有同步性,可以判断其为铁氧化物,同时在缺陷区域检测到保护渣特有元素 K、Na 等(图 2),说

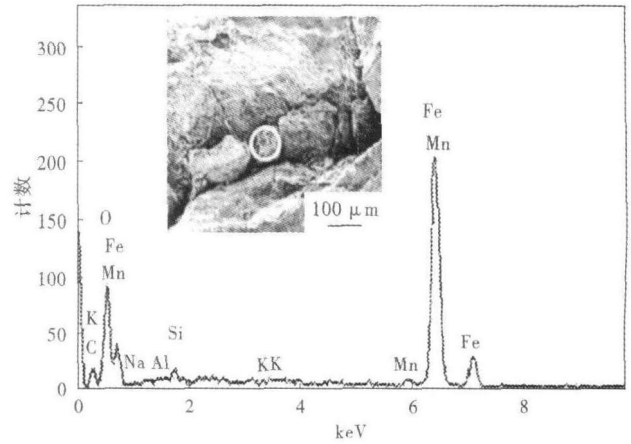


图 2 翘皮缺陷典型形貌及能谱分析,SEM
Fig.2 Typical morphology and energy dispersive spectrum analysis of upwarp defects, SEM

明翘皮缺陷处有保护渣卷入。

切取试样缺陷部位,经打磨抛光后用 4% 的硝酸酒精溶液侵蚀翘皮正面和横切面,然后在光学显微镜下观察其组织特征。

从图 3(a)中看到,在翘皮缺陷的正面边部,可以看到一条很长的缝隙,跟裂纹的特征相似。在翘皮翘起部位,可以看到一条明显的分界线,左侧为大量柱状排列的铁素体,右侧铁素体珠光体混乱交替,如图 3(b)所示。在翘皮的下方区域,有轻微的铁素体和珠光体带状组织特征,如图 3(c)所示。图 4 为翘皮横切面照片,从图 4(a)可以看到,在缺陷部位有明显的内陷缝隙,此处即为翘皮。下方为正常组织,上方为翘皮组织形貌。将此放大,如图 4(b,c)所示。正常区域为铁素体和珠光体的带状组织,缺陷区域内珠光

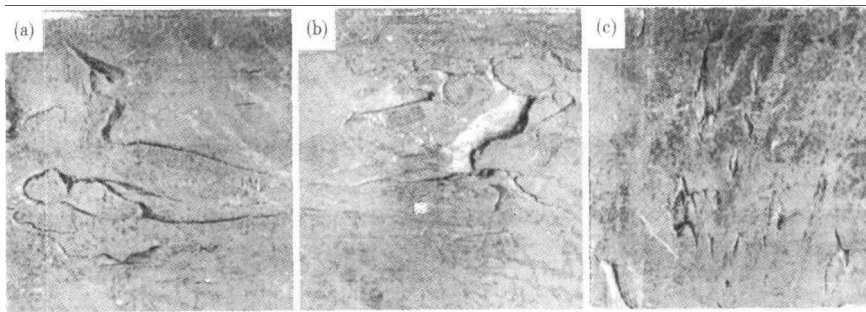


图 1 Q345E 钢热轧板翘皮缺陷宏观形貌特征:(a)试样 1,长形翘皮;(b)试样 2,剥落的翘皮;(c)试样 3,成簇小翘皮

Fig.1 Macro-morphology characteristics of surface upwarp defects of hot rolled plate of steel Q345E; (a) sample No1, long upwarp; (b) sample No2, upwarp being separated from base metal; (c) sample No3, a bundle of small upwarps

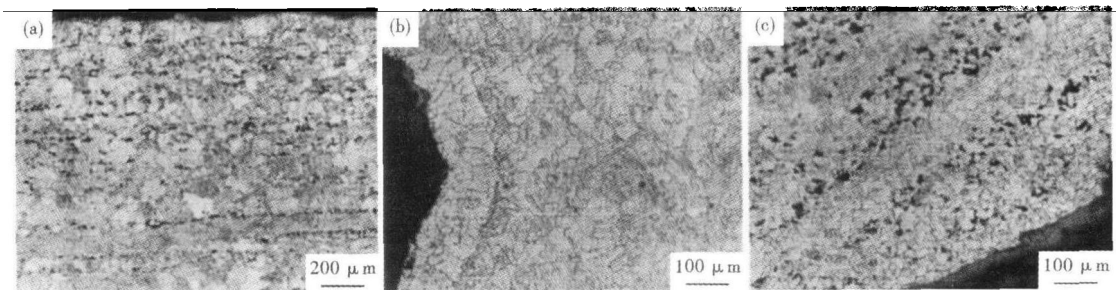


图 3 翘皮缺陷正面金相微观形貌:(a)边部;(b)左侧;(c)翘皮下面区域

Fig.3 Optical structure morphology of obverse side of upwarp defects; (a) obverse edge; (b) left side; (c) region under upwarp defect

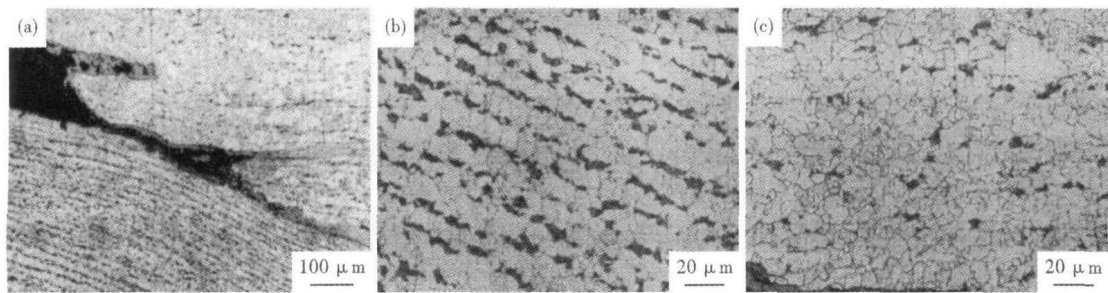


图4 翘皮缺陷横切面光学微观形貌:(a)翘皮(上)和基体金属(下)之间的缝隙;(b)缝隙上方的翘皮组织,(c)缝隙下方的基体组织
Fig.4 Optical microstructure morphology of transverse section of upwarp defects: (a) crevice between upwarp (upper) and base metal (below); (b) upwarp structure, upper of crevice; (c) base metal structure, below of crevice

体含量较低。翘皮组织和钢基体组织存在明显的差异,翘皮区域脱碳现象严重,说明在连铸坯中存在表面缺陷或者皮下气孔,铸坯在加热炉加热的过程中,表面裂纹或气孔处发生脱碳,从而导致翘皮缺陷上下表面微观组织变化。

3 结果分析

3.1 翘皮的形成机理

关于翘皮的形成机理,有许多科研人员进行了研究^[5~8]。本文通过整理翘皮的扫描电镜分析结果,结合光学显微镜观测组织特征,得到翘皮的形成原因如下。

3.1.1 氧化铁皮

在3块翘皮的正面很多地方都检测到了Fe和O,线扫描结果发现它是铁氧化物。翘皮处正面仅有氧化铁成分存在,这种情况主要是在热轧过程中造成的。在轧制过程中,先要对钢坯表面进行除鳞工序,除鳞不彻底或者铸坯表面有缺陷,会使得铸坯表面或边角部位残留有高温氧化铁,在轧制过程中会被轧辊碾压而进入热轧板次表层,形成表面翘皮缺陷。氧化铁皮压入的形貌表明,由于氧化铁的压入割裂了近表层基体之间的联系,压入部位可见到较为规整的间隙,且间隙尺寸相对比较大,如图3所示。同时,氧化铁皮被压入的一种情况是钢坯近表面内部有气泡,靠近铸坯表面的气泡在轧制过程中,沿轧制方向延伸,在钢板表面逸出,导致热轧板表皮分层,在后续的轧制过程中没有被压合或者被压而脱离钢基体,最终形成热轧板表面翘皮缺陷。

3.1.2 卷渣

在翘皮的横切面上还检测到了K、Na、Mn、Si、Al等元素,可以认为这是由于卷渣引起的。卷渣主要是连铸水口保护渣被氩气包裹卷入钢液,在轧制过程中会导致钢板表皮分层,在钢板的组织特征上有体现。光学显微镜观察结果显示,钢板正常组织是

有明显轧制取向的铁素体和珠光体带,缺陷部位铁素体和珠光体排列混乱。发生卷渣的原因主要是中间包水口吹氩量太大,拉速不稳定,导致结晶器内液面不稳定,同时浸入式水口浸入过深,保护渣粘度过高,流动性不好也是造成卷渣的重要原因。

3.1.3 轧钢加热过程中的氧化作用

如果钢坯表面有缝隙或者裂纹,钢中的Si、Mn、C等元素会和空气中的O₂反应。如果铸坯有皮下气孔,就会在轧制过程中将气泡拉开,高温下会发生氧化作用,在缺陷部位形成局部烧损。对翘皮的横切面进行扫描电镜观察时,利用能谱检测到Si、Mn、O等元素,说明发生了氧化作用;侵蚀过的试样金相照片显示,翘皮横切面缺陷处铁素体含量很高,较正常区域有明显的脱碳现象。这些结果显示,由于铸坯存在表面缺陷和皮下气孔,导致轧制过程中氧化,最终形成翘皮。

3.2 翘皮形成的工艺因素

3.2.1 中间包水口吹氩量

在炼钢过程中,中间包水口吹氩量是影响结晶器保护渣卷渣的主要因素之一。本文在实验室研究的基础上,根据钢厂热轧钢板生产数据统计结果,对浇铸过程中间包水口吹氩量进行了针对性调整。在变动水口吹氩量试验中,将中间包滑板处吹氩量固定为10 L/min,在上水口氩气流量分别为20、40、55 L/min时各浇铸1炉。对试验炉次经热轧后的钢板进行翘皮评级检测,结果如图5(a)所示。

从图5(a)中看到,当固定中间包滑板处氩气流量为10 L/min时,随着上水口氩气流量的升高,热轧板翘皮级别逐渐升高。当氩气总流量为30 L/min时,翘皮级别绝大部分为1,可视为没有缺陷;当氩气总流量为50 L/min时,翘皮级别大部分为2~4级,平均级别为3;氩气总流量为65 L/min时,翘皮级别大部分在6以上,其平均级别大于6。因此,在

满足生产需要的前提下,将中间包吹氩量控制在较低水平,对降低翘皮缺陷有很大作用。

3.2.2 连铸拉速

连铸拉速是影响结晶器液面稳定性及铸坯表面质量的又一个重要因素。在统计研究的基础上,设计了可变拉速试验。在变动拉速试验中,将中间包滑板处吹氩量固定为 10 L/min,上水口氩气流量固定为 55 L/min,在拉速分别为 1.0、1.2、1.5 m/min 下各浇铸

3 炉。跟踪铸坯及热轧钢板,对实验炉次的钢板进行翘皮评级,结果如图 5(b) 所示。

从图 5(b) 中看到,随着拉速的增大,翘皮级别先变小后增大,在拉速为 1.2 m/min 时,翘皮级别最低,平均级别为 2.83。同时,控制拉速的稳定也很重要,在本次试验的可变拉速阶段,对应的热轧钢板翘皮缺陷较稳定时严重得多。

3.2.3 其他因素

除了水口吹氩量和连铸拉速之外,对热轧钢板翘皮影响还有其他工艺参数,比如保护渣的粘度,水口浸入深度,二冷比水量及轧钢相关工艺参数等。保护渣粘度和碱度过高,影响渣的流动性,不利于结晶器内坯壳的形成。水口浸入深度太浅,就会发生钢水卷渣,如果插入深度太深,会出现保护渣熔化不均匀,表面结壳等问题。二冷比水量对铸坯表面质量有很大影响,控制不当会形成表面裂纹。

基于研究结果,对 Q345E 热轧钢板的生产工艺主要是连铸过程的参数进行调整,铸坯稳定浇铸拉速改为 1.2 m/min,中间包水口吹氩量改为 50 L/min,保护渣中 Al_2O_3 含量提高到 11.5%,对二冷比水量进行实时监控及作相应的调节。同时,做到以下几个方面:(1)一定要对即将进入加热炉的铸坯进行检测,对表面质量情况进行记录并作相应处理;(2)要控制加热炉中的耐火材料脱落,对加热炉要定期检测;在高压除鳞时要对表面洁净度进行控制,杜绝将氧化铁皮带入轧制工序;在轧制过程中,要保证轧制仪器的对中和精密性,避免将钢板表面划伤。

经过一段时间的调节,并在改进后的工艺生产条件下,Q345E 钢的翘皮缺陷得到很大的改善,翘皮发生率降低到 0.8%,取得了良好的经济效益。

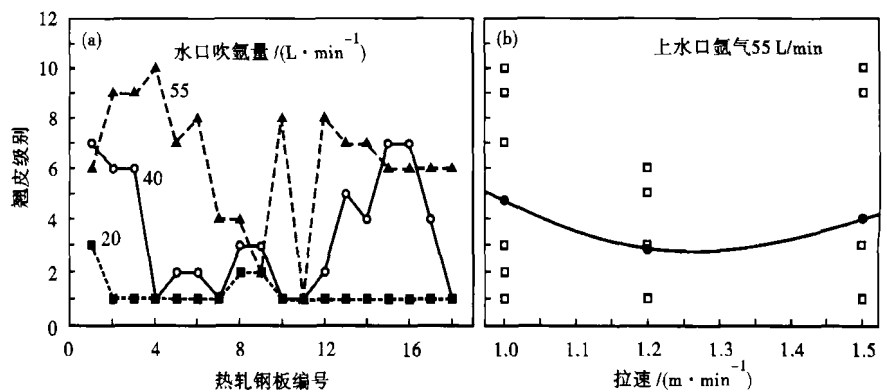


图 5 中间包上水口氩气流量(a)和拉速(b)对翘皮缺陷级别的影响
Fig. 5 Effect of argon flow rate at upper nozzle of tundish (a) and casting speed (b) on rating of upwarp defects

4 结论

(1)翘皮翘起部分已经脱落,在钢板表面形成内陷缝隙,在缝隙中通过能谱分析确认为铁氧化物和保护渣残留物以及微量硅锰氧化物。

(2)连铸时结晶器保护渣卷入铸坯形成皮下气孔,加热时炉膛耐火材料脱落、高温氧化以及轧制时氧化铁皮压入钢板是热轧钢板表面形成翘皮缺陷的主要原因。

(3)降低结晶器水口氩气流量,控制拉速和连铸的稳定性,使用合适的结晶器保护渣,并严格控制轧制工艺和相关操作,能显著降低乃至消除热轧钢板表面的翘皮缺陷。

参考文献

- 1 陈方玉,周立新. 20 钢管翘皮缺陷原因分析. 武钢科技, 2007, 45 (6): 5
- 2 董金刚. 宝钢热轧边裂、翘皮问题的研究. 钢铁, 1999, 34: 890
- 3 王景林,白印军,步凯,等. 邯钢热轧卷板麻面和翘皮问题的解决. 轧钢, 2005, 22(5): 60
- 4 Klasus T Muller. 凝固期间微观热裂纹产生的原因与影响. 第一届中德(欧)冶金技术研讨会论文集. 中国金属学会, 北京, 2004 年 10 月: 164
- 5 伍康勉,朱远志,周春泉,等. 冷轧板夹杂与氧化铁皮压入的原因与形貌辨析. 钢铁, 2009, 44(2): 93
- 6 武彩虹,韩静涛,刘靖,等. 热轧带钢边部“翘皮”缺陷分析. 塑性工程学报, 2005, 12(6): 23
- 7 王国栋,朱鲁玲,张作贵,等. 热轧钢板表面翘皮缺陷分析. 物理测试, 2009, 27(1): 46
- 8 刘叶. 无缝钢管内表面翘皮解析. 江苏技术师范学院学报, 2009, 15(1): 46

陈书浩(1983-),男,博士生,2006年北京科技大学本科毕业生,炼钢工艺和产品质量控制。

收稿日期:2011-04-08