

贝氏体非调质钢 FAS2225 轧坯孔洞缺陷分析及工艺改进

阎 岩 郝彦英 刘献达

(河钢集团石家庄钢铁有限责任公司技术中心, 石家庄 050031)

摘 要 FAS2225 钢(/% : 0.26C, 0.35Si, 1.99Mn, 0.013P, 0.046S, 0.54Cr, 0.12V, 0.02Mo, 0.08Ni, 0.001 2O, 0.007 0N) 的生产流程为铁水预处理-60 t 顶底复吹转炉-LF-VD-300 mm × 360 mm 坯连铸-连轧。在 215 mm × 213 mm 轧坯上出现中心开裂形成孔洞。经分析得出, 加热速度过快及温度梯度过大产生的热应力和组织应力使连铸坯发生开裂造成轧制过程孔洞缺陷。通过预热段加热温度从 900 °C 降至 750 °C, 延长加热时间、温度梯度从 Δ200 °C 降至 Δ100 °C, 有效遏制了孔洞缺陷的产生。

关键词 贝氏体型非调质钢 FAS2225 铸坯 加热 中心开裂 热应力 组织应力 预热温度

An Analysis and Process Improvement on Hole-Defect of Hot-Rolled Billet of Non-Quenched and Tempered Bainite Steel FAS2225

Yan Yan, Hao Yanying and Liu Xianda

(Technology Center, Shijiazhuang Iron and Steel Co, HBIS Group, Shijiazhuang 050031)

Abstract The production flowsheet of steel FAS2225 (/% : 0.26C, 0.35Si, 1.99Mn, 0.013P, 0.046S, 0.54Cr, 0.12V, 0.02Mo, 0.08Ni, 0.001 2O, 0.007 0N) is pretreated hot-metal-60 t top and bottom combined brown converter-LF-VD-300 mm × 360 mm bloom casting-continuous rolling. The hole formed by center crack of 215 mm × 213 mm rolled billet occurs. And it is obtained by analysis that the thermal stress and structure stress produced by larger heating speed and temperature gradient of casting bloom lead to cracks of bloom and forming hole-cracks of billet during rolling process. By decreasing the heating temperature of bloom at preheating zone in heating furnace from 900 °C to 750 °C, prolonging heating time and decreasing temperature gradient from Δ200 °C to Δ100 °C, it is available to inhibit the formation of hole-defects.

Material Index Non-Quenched and Tempered Bainite Steel FAS2225, Casting Bloom, Heating, Center Cracks, Thermal Stress, Structure Stress, Preheating Temperature

前轴(又称工字梁)是汽车前桥总成中的重要安全构件之一,同时又是汽车整体支撑的主要承重构件。前轴材料必须具有较高的抗弯疲劳强度,同时又要较好的强韧性配合^[1]。贝氏体型非调质钢 FAS2225 采用较高的 Mn 含量以获得粒状贝氏体组织,同时添加适量微合金化元素 V 来改善钢的强韧性,使其具有良好的强度和韧性,同时获得优异的疲劳性能^[2]。

FAS2225 钢采用 300 mm × 360 mm 大方坯轧制,在轧制第 1 道次时发现在铸坯头部或尾部开裂,在轧制第 5 道次时可观察到明显的孔洞缺陷,距端部距离为 800 ~ 1 000 mm,必须采用乙炔-氧气切割切除缺陷部位,缺陷比例高达 20%,不仅严重影响生产的顺行,更可能造成断头堆钢甚至停炉的重大事故,造成很大的经济损失。

1 生产工艺流程

根据贝氏体型非调质钢 FAS2225 的技术标准要求,设计工艺路线为:铁水

预处理→60 t 顶底复吹转炉→LF 处理→VD 真空脱气→CC(300 mm × 360 mm 矩形连铸坯)→连轧机组轧制。

2 孔洞缺陷分析

2.1 样品制作

贝氏体型非调质钢 FAS2225 成分分析见表 1。

连铸坯轧制 1 ~ 2 道次后,铸坯头部或尾部表面出现肉眼可见缺陷,轧制第 5 道次后,距轧件尾部约 1m 处制取孔洞缺陷样品,样品截面尺寸为 215 mm × 213 mm,长约 250 mm。样品呈横断形貌,其周向不同侧面缺陷宏观形貌见图 1。

2.2 低倍分析

将所取样品沿轧制方向纵向剖开,中心部位存在严重开裂见图 2(a),使用 1:1 盐酸热浸蚀观察,金

表 1 FAS2225 钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel FAS2225 / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Mo	Ni	O	N
0.26	0.35	1.99	0.013	0.046	0.54	0.12	0.02	0.08	0.001 2	0.007 0

属流线在开裂周围存在明显变形(图 2b)。

2.3 断口形貌分析

将样品沿孔洞位置横向切开观察孔洞开裂断口形貌,见图 2(c),断口被严重氧化,可观察到开裂由心部向表面扩展趋势。

2.4 高倍分析

按图 2(a)中 A、B 位置取样进行高倍分析,形貌见图 3、图 4,样品基体组织为 B + F + P,组织无明显过热、过烧特征;观察面未发现大颗粒非金属夹杂物;缺陷边缘覆盖氧化皮,孔洞及裂纹边缘弥散分布高温氧化物带,缺陷边缘组织严重脱碳,高温氧化物带分布在铁素体条带上。

根据上述组织形貌分析,初步判定裂纹在连铸坯加热初期形成,起源于铸坯心部,轧制使裂纹进一步扩展。

3 裂纹原因分析

3.1 热应力对内裂纹的影响

随着连铸坯加热温度的升高,铸坯的表面和中心由于加热速度的不一致形成温度差,导致体积胀缩不均而产生的内应力^[3]。铸坯表面温度相对较高,产生的变形要大,中心温度相对较低,产生变形要小,而变形物体又是一个整体,限制了物体各部分不均匀变形的自由发展,从而便产生了相互平衡的附加应力。因此在延伸大的表面部位产生附加压应力,延伸小的中心部位产生附加拉应力。

FAS2225 钢属于高 Mn 贝氏体型非调质钢, Mn 含量约为 2%,材料导热性较差。

该钢种 300 mm × 360 mm 大方坯在加热初期,表面温度迅速上升至 500 ~ 750 °C 时,心部温度约为 200 °C,内外温差骤然增大,导致应力过大。在整个加热时间历程中,位于中心轴上的节点应力强度最大^[4]。当应力超过该温度下钢的破裂强度,钢坯沿

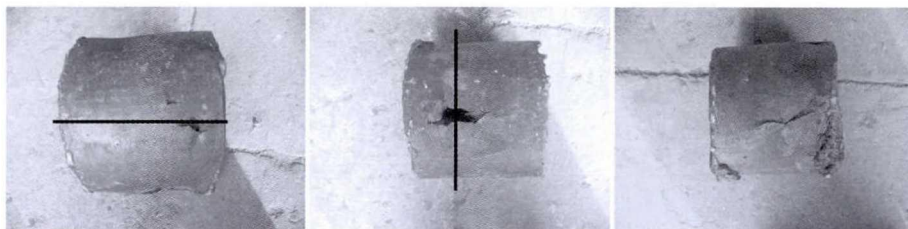


图 1 300 mm × 360 mm 铸坯经 5 道次轧制 215 mm × 213 mm 坯尾部 1 m 处断面开裂孔洞形貌

Fig.1 Morphology of cross section of cracking-hole at distance from end 1 m of 215 mm × 213 mm billet rolling by 5 passes from 300 mm × 360 mm casting bloom

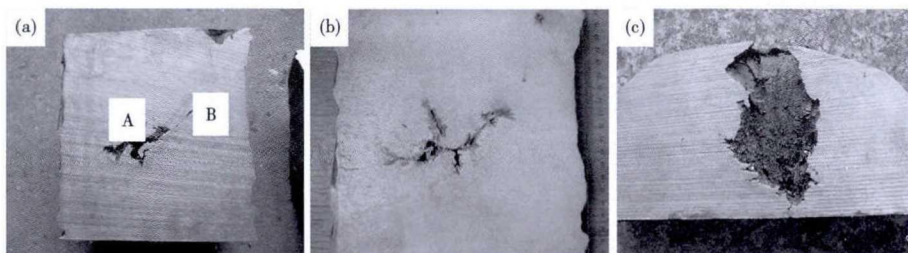


图 2 (a) 轧坯开裂孔洞纵剖面形貌;(b) 开裂孔洞纵剖面低倍组织形貌;(c) 开裂孔洞横向断面形貌

Fig.2 Morphology of longitudinal section of billet cracking-hole (a), morphology of longitudinal section macrostructure of billet cracking-hole (b) and morphology of cross section of billet cracking-hole (c)

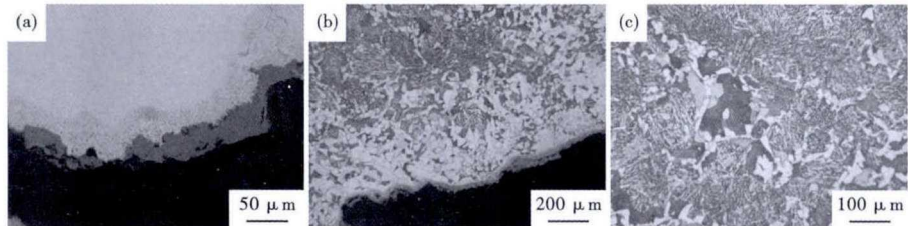


图 3 图 2(a) A 处:孔洞边缘形貌(a);孔洞边缘组织形貌(b);基体组织形貌(c)
Fig.3 Morphology of edging of cracking-hole (a), morphology of edging structure of cracking-hole (b) and morphology of structure of base metal (c) at A- place in Fig.2 (a)

靠近中心面产生横裂。

3.2 组织应力对内裂纹的影响

由于室温组织铁素体、珠光体、马氏体及其转变产物奥氏体的比热容不同以及连铸坯的表面、心部或各部分之间组织转变的时间不同而产生组织应力,加剧了横裂缺陷的产生。

3.3 形变应力对内裂纹的影响

轧制过程中在拉伸和压力的双重作用下,铸坯变形区域内金属质点沿着阻力最小的方向流动,表现为横断缺陷周围沿金属流线方向产生明显变形^[5]。

4 防止开裂的改进措施及效果

根据对缺陷产生的原因分析,对加热制度进行

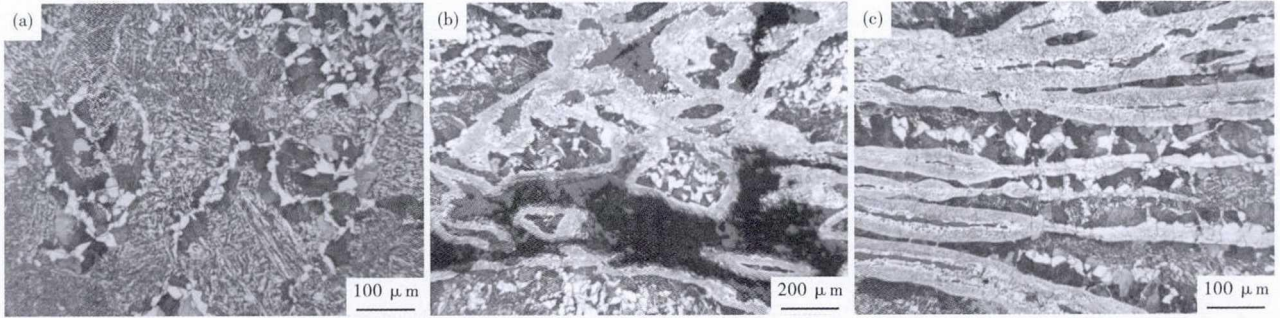


图4 图2(a)B处组织形貌:(a)基体;(b)裂纹两侧;(c)铁素体条带

Fig.4 Morphology of structure at B- place in Fig.2 (a): base metal (a), both side of crack (b) and ferrite band (c)

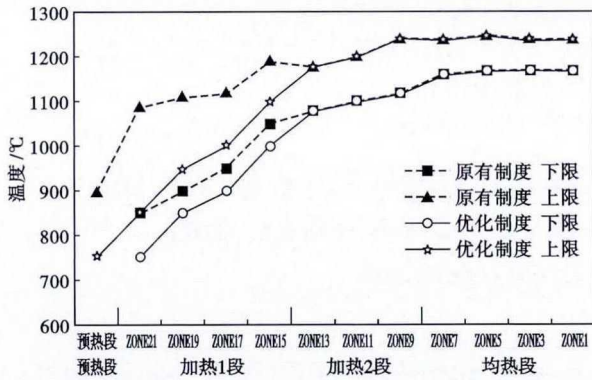


图5 优化前(虚线)后(实线)FAS2225 钢铸坯加热温度对比

Fig.5 Comparison of heating temperature of steel FAS2225 casting bloom before (dotted line) and after (real line) optimization

表2 改进前后 FAS2225 钢铸坯加热时间要求

Table 2 Requirement of heating time for casting bloom of steel FAS2225 before and after optimization

工艺	厚度/mm	进出钢节奏/min
原有制度	300	≥2.1
优化制度	300	≥2.6

了优化:

(1)降低加热过程中的温度梯度,避免钢坯内外温度梯度过大,见图5。

(2)稳定加热速度,尤其是降低预热段的加热速度,使钢坯在750℃以前缓慢加热(表2)。

通过以上改进措施后,孔洞缺陷率为零,有效解决了贝氏体非调质钢 FAS2225 轧制过程中的孔洞缺陷。

5 结论

(1)根据连铸坯的低倍形貌流线、脱碳及高温氧化现象可判定裂纹形成于加热初期,并起源于心部。

(2)高 Mn 贝氏体型非调质钢 FAS2225,导热性差,在加热初期加热速度过快,温度梯度过大产生的热应力、组织应力使连铸坯发生开裂。

(3)通过降低预热段加热速度,延长加热时间,降低温度梯度,缓解连铸坯加热过程中内外温差,解决了热应力、组织应力过大造成的钢材孔洞缺陷。

国家重点研发计划资助(2016YFB0300103)

参考文献

- [1] 张继魁,董伦,辛莹,等.汽车前轴用低碳 Fe-Mn-B 贝氏体钢[J].特殊钢,2002,23(z1):71-73.
- [2] 孙德勤,吴春京,谢建新,等.贝氏体钢的研究开发现状与发展前景探讨[J].机械工程材料,2003,27(6):4-7.
- [3] 王生朝,赵刚,鲍思前,等.Q345C 连铸坯在热装热送过程中表面裂纹成因分析[J].中南大学学报,2013,44(9):3634-3639.
- [4] 王卫华,解家英,王凤琴,等.方坯在加热炉升温过程中的热应力分析[J].中国制造业信息化,2008(24):88-91.
- [5] 陈玉喜.材料成型原理[M].北京:中国铁道出版社,2002.

阎岩(1971-),男,硕士(北京科技大学),高级工程师,包头钢铁学院(本科)毕业,特殊钢加工工艺研究。

E-mail:3130395372@qq.com

收稿日期:2017-10-15