Ce对Q355B方坯断面热塑性影响*

朱 君[1,2], 杨吉春[1], 崔 弘[2]

(1. 内蒙古科技大学材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼钢厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 针对包钢5#铸机280 mm×380 mm方坯生产的Q355B铸坯表面裂纹比率较高的问题, 对铸坯矫直温度与表面裂纹相关性进行研究, 得出矫直温度低是铸坯表面缺陷的主要原因; 在钢中添加微量Ce元素, 可改变钢的高温热塑性, 在850~950 ℃矫直温度范围内, 大幅度降低了铸坯出现表面裂纹的几率。

关键词: 稀土Ce; Q355B; 高温热塑性
中图分类号: TF777.2 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2020)05-0068-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.05.020

Study on Influences of Ce on Thermoplasticity of Q355B Billet Section

Zhu Jun[1,2], *Yang Ji-chun*[1], *Cui Hong*[2]

(1. *School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Steel-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: It is found that the main cause for surface defect of billet is low straightening temperature aiming at the problem that the surface crack rate of Q355B casting blank produced with the 280 mm×380 mm billet and 5# casting machine of Baotou Steel is higher through studying the correlation between straightening temperature of billet and surface cracks. The high temperature thermoplasticity of steel could be changed by adding trace Ce element so that the probability of surface cracks for billet is greatly reduced within the straightening temperature range of 850~950 ℃.

Key words: rare earth Ce; Q355B; high temperature thermoplasticity

包钢5#铸机是2006年投产的6机6流280 mm×380 mm断面的方坯铸机, 在生产Q355B钢种时, 铸坯表面裂纹比率达到3.26%, 铸坯表面裂纹的产生既增加制造成本, 又影响铸坯质量。

1 铸机及钢种简介

包钢5#铸机为6机6流12 m弧型连铸机, 结晶器振动为电缸振动, 配备结晶器和轻压下技术。150 t转炉配套LF炉精炼、VD真空处理装置。主要工艺技术参数见表1。

Q355B钢种属于结构钢, 其低温、冷冲压、焊接性能及可切削性能良好, 广泛应用于桥梁、车辆、船舶、建筑、压力容器等特种设备。5#铸机生产的Q355B主要用于铁道、车辆、桥梁、塔架等长期暴露在大气中使用的钢结构, 其钢种成分见表2。

* **收稿日期**: 2020-05-07
作者简介: 朱 君(1987-), 男, 内蒙古包头市人, 在读博士, 工程师, 主要从事钢铁冶金技术工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　5#铸机主要工艺参数

项目	参数	项目	参数
流数	6	铸机弧半径/m	12
结晶器振幅/mm	±2.5	结晶器长度/mm	850
断面尺寸/(mm×mm)	280×380	二冷方式	动态配水、气雾冷却
结晶器上口尺寸/(mm×mm)	291.6×391.6	水口内径/mm	40
结晶器下口尺寸/(mm×mm)	288.6×387.6	水口浸入深度/mm	110~130
拉速/(m·min^{-1})	0.25~0.70	流间距/mm	1 650

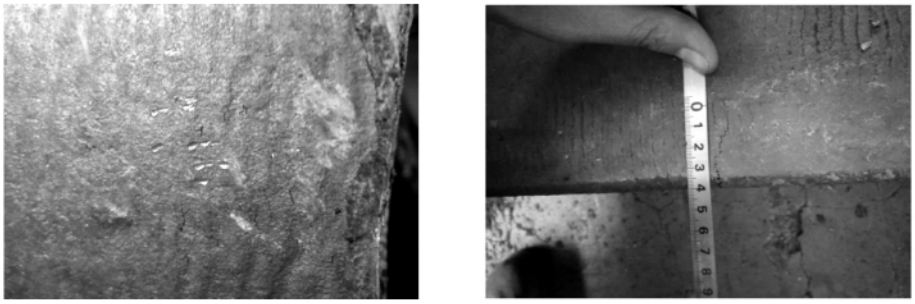
表 2　Q355B 钢种设计成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S
0.18~0.21	0.35~0.45	1.3~1.4	≤0.03	≤0.025

2　缺陷原因分析

对 5# 铸机生产的 Q355B 缺陷铸坯，取厚度 70 mm坯样进行热酸处理后，观察裂纹形貌及分布，见图 1，观察发现：裂纹细小、长度较短，通过打磨确认其深度 2~3 mm，主要分布在拉矫机矫直辊附近。

对 5#铸机配套 150 t 转炉，由于冶炼能力制约，铸机实际拉速仅能达到 0.62 m/min 的水平，低于标准拉速 0.65 m/min。低拉速拉钢会造成铸坯入拉矫温度低，钢的热塑性低，矫直过程中容易产生裂纹[1]。



(a) 缺陷形貌　　(b) 缺陷分布

图 1　Q355B 铸坯表面裂纹形貌及分布

在 5#铸机生产 Q355B 钢种过程中，在相近钢水过热度、同样冷却条件下，不同拉坯速度用红外测温枪测量铸坯矫直温度，统计不同矫直温度下铸坯表面裂纹缺陷比率，结果见表 3。

从不同拉速下铸坯矫直温度与铸坯表面裂纹比率变化趋势可以看出，不同拉速下，铸坯矫直温度波动范围为 894~933 ℃，处于 750~950 ℃的稀土热塑性影响区间内，矫直温度随拉速增大而升高，铸坯表面裂纹比率与矫直温度关联度较高，铸坯表面裂纹比率随矫直温度升高明显降低。综合分析，造成 Q355B 铸坯表面缺陷的主要原因是低拉速影响下，铸坯矫直温度低影响铸坯热塑性，在矫直力的作用下产生矫直裂纹。

表 3　拉速、矫直温度及表面裂纹率对比

拉坯速度/(m·min^{-1})	过热度/℃	矫直温度/℃	表面裂纹比率/%
0.35	27	894	3.18
0.40	28	902	3.13
0.45	25	894	3.26
0.50	23	897	3.09
0.55	28	922	2.31
0.58	25	914	1.97
0.60	23	929	1.33
0.62	26	933	0.82

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 Ce对Q355B高温热塑性影响

由表3可知,提高铸坯拉速和铸坯矫直温度可有效降低280 mm×380 mm断面Q355B铸坯表面裂纹比率,但在实际生产过程中受到炉机匹配的限制,实际拉速很难达到标准拉速。因此,考虑采用其它方法提高连铸坯热塑性,从而降低铸坯表面裂纹比率[2-3]。在Q355B钢种添加适量稀土,研究其对钢种高温热塑性的影响,试验结果如下。

(1) 生产两炉Q355B,其中一炉钢按照正常工艺生产,不加稀土,另外一炉采用钢包投入法在深真空处理前加入10 kg品位为20%的铈铁合金。

(2) 对加稀土Ce与不加稀土的两钢种进行化学成分分析,结果见表4。

表4 Q355B钢的化学成分(质量分数) %

编号	C	Si	Mn	P	S	RE
1#	0.20	0.41	1.34	0.016	0.010	
2#	0.19	0.39	1.32	0.018	0.009	0.001 1

(3) 分别取在不加稀土和加稀土铸坯取样,加工成直径10 mm、长75 mm的圆棒状试样,用MMS-200型热力模拟试验机进行高温拉伸试验。试样置于真空环境,以10 ℃/s的速率升温,达到1 350 ℃后保温3 min,然后以3 ℃/s的冷却速率降温至试样的拉伸变形温度,保温1 min后以恒定的应变速率进行高温拉伸试验,记录各拉伸变形温度下的面缩率,绘制高温热特性曲线。设置拉伸变形温度分别为750 ℃、800 ℃、850 ℃、900 ℃、950 ℃、1 000 ℃、1 050 ℃、1 100 ℃、1 150 ℃、1 200 ℃、1 250 ℃、1 300 ℃、1 350 ℃。

不同拉伸温度下1#、2#试样面缩率对比见表5。

表5 拉伸温度与面缩率关系

拉伸温度/℃	面缩率/%		
	1#试样	2#试样	差值
750	26.71	41.08	14.37
800	17.53	31.14	13.61
850	19.13	33.27	14.14
900	25.97	39.82	13.85
950	57.14	71.83	14.69
1 000	93.11	89.19	-3.92
1 050	91.89	95.11	3.22
1 100	86.62	92.65	6.03
1 150	95.77	90.92	-4.85
1 200	84.62	85.44	0.82
1 250	86.81	89.47	2.66
1 300	60.54	64.33	3.79
1 350	66.23	57.85	-8.38

由表5可以看出,750~1 000 ℃温度范围内,随着拉伸温度升高,1#试样面缩率从750 ℃的26.71%降低到800 ℃的17.53%后,逐步升高,2#试样的面缩率从750 ℃的41.08%降低到800 ℃的31.14%后,逐步上升,2个试样的断面收缩率都是先降低后升高,均在800 ℃时断面收缩率最低,在1 000 ℃以后,2个试样断面收缩率趋于平稳。试验结果表明:750~950 ℃温度范围内,加入10 kg品位为20%的Ce合金,可将Q355B钢种断面收缩率提高14%左右。

(4) 在钢中添加微量稀土Ce元素,可改变Q355B钢种的高温热塑性。耐热钢中加入稀土对材料热塑性的影响也有类似的结论[4-5]。

4 改进措施及效果

5#连铸机受炉机匹配等因素的影响,难以再通过提高拉速,提高铸坯矫直温度,降低Q355B铸坯矫直裂纹比率。因此,在生产实践中,采用添加稀土的方式,可提高Q355B钢种热塑性,有效弥补低拉速、低矫直温度所造成的影响。

4.1 生产情况及铸坯裂纹比率

生产Q355B钢过程中,每炉钢加入10 kg品位为20%的Ce合金,进行13炉钢的批量化工业生产。生产过程中拉坯速度0.50~0.62 m/min,钢水过热度控制在22~30 ℃范围,实际检验w[RE]在0.000 8%~0.001 5%之间,平均为0.001 2%。对铸坯表面质量进行缺陷统计,表面裂纹比率平均为0.16%,与改进前的3.26%相比,裂纹比率降低了95.09%,具体情况见表6。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 6　Q355B 钢(加稀土 Ce) 工艺参数及铸坯检验结果

熔炼号	钢水平均过热度/℃	拉速/(m • min^{-1})	化学成分(质量分数) /%						铸坯表面裂纹比率/%
			C	Si	Mn	P	S	RE	
900831	30	0.50	0.19	0.40	1.32	0.018	0.005	0.001 3	0.44
900832	29	0.58	0.20	0.40	1.35	0.019	0.003	0.001 1	0.38
900835	29	0.62	0.20	0.39	1.34	0.014	0.010	0.001 5	0.39
900836	22	0.62	0.19	0.37	1.32	0.016	0.021	0.001 3	0.24
900837	22	0.62	0.20	0.37	1.35	0.018	0.009	0.001 0	0.17
900838	29	0.62	0.19	0.40	1.35	0.021	0.016	0.001 4	0
800676	29	0.62	0.20	0.39	1.38	0.015	0.012	0.001 2	0
800679	30	0.62	0.19	0.38	1.35	0.020	0.014	0.001 5	0.22
800680	29	0.62	0.18	0.38	1.37	0.024	0.009	0.001 1	0
800681	29	0.62	0.19	0.40	1.37	0.022	0.012	0.000 8	0.24
900846	28	0.62	0.20	0.37	1.32	0.014	0.008	0.001 1	0
900847	30	0.62	0.21	0.39	1.37	0.018	0.014	0.001 4	0
901156	27	0.60	0.20	0.41	1.35	0.012	0.004	0.001 2	0
平均	28	0.61	0.19	0.39	1.35	0.018	0.011	0.001 2	0.16

4.2　铸坯低倍检验结果

在试制的 13 炉钢中随机抽取 5 炉进行低倍热酸检验，按照 YB/T 4149—2006[6] 连铸方坯低倍组织缺陷评级图标准进行评级，各项铸坯缺陷评级均为 0 ~ 1 级，评级结果见表 7。结果表明，试制工艺生产铸坯内外部质量良好，达到了批量化生产条件。

表 7　Q355B 钢(加稀土 Ce) 低倍检验结果　　级

熔炼号	中心疏松	缩孔	中心裂纹	中间裂纹	皮下裂纹	皮下气泡
900835	1.0	0.5	0.5	0	0	0
900838	0.5	1.0	0	0	0	0
800679	1.0	0	0.5	0	0	0
900847	1.0	0	0	0	0	0
901156	0.5	0	0	0	0	0

4.3　力学性能对比

针对 5#铸机生产的 Q355B 钢种，不加稀土和加入稀土 Ce 各随机选取 5 炉钢，相同轧制工艺下轧制相同规格，检验其屈服强度、抗拉强度及常温纵向冲击功，检验结果见表 8。

加入稀土 Ce 的 Q355B 铸坯，平均屈服强度较未加稀土的铸坯提高了 20.4 MPa，平均抗拉强度提高了 27.4 MPa，平均常温纵向冲击功提高了 7.6 J。试制结果表明，Q355B 钢中添加微量稀土 Ce 合金，其力学性能得到明显改善。

表 8　Q355B 力学性能检验结果

熔炼号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	常温纵向冲击功/J	备注
904332	362.0	521.0	105.0	不加稀土
904341	374.0	532.0	104.0	不加稀土
904345	358.0	519.0	107.0	不加稀土
904347	372.0	532.0	111.0	不加稀土
904353	361.0	528.0	101.0	不加稀土
平均	365.4	526.4	105.6	不加稀土
900835	385.0	558.0	113.0	加稀土 Ce
900838	392.0	567.0	109.0	加稀土 Ce
800679	384.0	548.0	118.0	加稀土 Ce
900847	379.0	551.0	114.0	加稀土 Ce
901156	389.0	545.0	112.0	加稀土 Ce
平均	385.8	553.8	113.2	加稀土 Ce

5　结论

(1) Q355B 钢铸坯表面裂纹产生的主要原因是矫直段铸坯温度低、热塑性差，在矫直过程中产生矫直裂纹。

(下转第 95 页)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

可用钻取制样代替锻烧制样方法。

另外，我们又统计了锻烧制样与空心钻钻取制样两种方法的氧氮分析试样颗粒数量，见表 4。

表 4　两种制样方法分析试样粒数统计情况　　个

制样方式	分析 2 粒		分析 3 粒		分析 4 粒		分析 5 粒	
	氧	氮	氧	氮	氧	氮	氧	氮
锻烧制样	5	20	9	4	9	0	1	0
空心钻制样	10	20	10	2	4	2	0	0

从表 4 试样分析 2 粒、3 粒、4 粒、5 粒平均发出数据结果表明，两种制样方法相比，氮分析试样的颗粒数量平均发出数据结果的情况相当；而氧的空心钻取样分析 2 粒数量相对比锻烧制取试样的概率要大，所以可用钻取制样取代煅烧制样方法，同时钻取制样方法相比于锻烧制取试样方法节省了切割和锻造工序，不仅缩短制样周期，而且提高了制样效率和检验的及时性。

4　结论

(1) 通过以上数据分析，两种取制样方法数据都稳定，两者之间不超差，均能满足分析要求，钢中氧氮制样可用钻取制样法代替锻烧制样方法。

(2) 采用空心钻钻取氧氮试样方法可以减少锻烧工序，降低消耗、节约成本，满足快速生产需求。

(3) 本试验是利用空心钻钻取氧氮试样，仅对部分钢种做了试验。试验表明，该方法可推广到其它牌号的钢坯氧氮试样的制备。

参　考　文　献

[1] 刘国军，吴志鸿，张文兵，等. 管材钢中氧分析试样制备方法探讨 [J]. 冶金分析，2014，34(3)：35－38.

[2] GB/T 20066—2006，钢和铁化学成分测定用试样的取样和制样方法 [S].

[3] GB/T 11261—2006，钢铁氧含量的测定脉冲加热惰气熔融—红外线吸收法 [S].

[4] GB/T 20124—2006，钢铁氮含量的测定惰性气体熔融热导法(常规方法) [S].

(上接第 71 页)

(2) 在钢中加入 10 kg 品位为 20% 的 Ce 合金，Q355B 铸坯断面收缩率提高了 14% 左右，改善了 Q355B 钢种的高温热塑性，有效的降低了铸坯表面裂纹比率。

(3) Q355B 铸坯通过稀土处理工艺使产品力学性能得到明显提升，具备工业化生产条件。

参　考　文　献

[1] 胡彬，潘冶国. 连铸坯裂纹原因分析 [J]. 太钢科技，2002，53(1)：32－351.

[2] 王维，刘海洋，胡尚雨. 连铸方坯裂纹的改善 [J]. 铸造，2005，(8)：815－817.

[3] 蒋勋，吴国文. 连铸方坯角部横裂纹产生原因分析及改进措施 [J]. 现代冶金，2009，37(2)：14－16.

[4] 沉雷，刘晓. 微量稀土对奥氏体耐热钢高温力学性能的影响 [J]. 特殊钢，2009，27(6)：829－833.

[5] 胥继华，韩桂春. 稀土对耐热钢高温性能的影响 [J]. 特殊钢，1993，14(4)：11－17.

[6] YB/T 4149—2006，连铸圆坯—冶金标准 [S].

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net