

Nb-Ti 微合金化钢 QStE380TM 汽车大梁用热轧钢板的研制

王宝峰¹ 丁国¹ 赵丽萍¹ 王雪莲² 李德刚²

(1 内蒙古科技大学, 包头 014010; 2 包钢薄板坯连铸连轧厂, 包头 014010)

摘要 采用铁水预处理-210 t 顶底复吹转炉-LF 精炼-2 流立弯型 CSP 铸机(65 mm 厚铸坯)-6 机架 SMS 轧机控轧控冷工艺试制了成分(%)为:0.04~0.08C, 0.20~0.35Si, 1.20~1.35Mn, ≤0.015P, ≤0.010S, 0.015~0.025Nb, 0.005~0.015Ti QStE380TM 汽车大梁用 6~12 mm 热轧钢板。检验结果表明, 钢板组织为铁素体+少量珠光体, 晶粒尺寸 4~7 μm, 其机械性能均符合标准要求, 钢板不同方向屈服强度最大差值为 30 MPa, 抗拉强度最大差值 20 MPa, 大多数钢板常温冲击功为 140~180 J。

关键词 Nb-Ti 微合金化 CSP 工艺 汽车大梁用钢

Research and Production of Nb-Ti Microalloy Steel QStE380TM Hot Rolled Plate for Auto Beam by CSP Line

Wang Baofeng¹, Ding Guo¹, Zhao Liping¹, Wang Xuelian² and Li Degang²

(1 University of Science and Technology of Inner Mongolia, Baotou 014010;

2 CSP Plant, Baotou Iron and Steel (Group) Co Ltd, Baotou 014010)

Abstract The steel QStE380TM - 0.04~0.08C, 0.20~0.35Si, 1.20~1.35Mn, ≤0.015P, ≤0.010S, 0.015~0.025Nb, 0.005~0.015Ti 6~12 mm hot rolled plate for auto beam has been researched and produced by hot metal pre-treatment - 210 t top and bottom combined blown converter - LF refining - two strand vertical-bending concaster (65 mm slab) - 6-stand SMS mill control rolling and cooling process. The examination results showed that the structure of plate was ferrite + minor pearlite with grain size 4~7 μm, of which the mechanical properties met to requirement of standard, the maximum difference of yield strength of plate at different direction was 30 MPa, the maximum difference of tensile strength was 20 MPa and the ambient impact energy of majority plate was 140~180 J.

Material Index Nb-Ti Microalloying, CSP Process, Steel for Auto Beam

汽车大梁用钢板是汽车结构配件中质量要求最为严格的材料之一, 除常规的结构强度性能要求外, 还必须具备良好的成型性能、抗凹陷性、足够的结构刚度和焊接性能, 以承受各种不同应变状态下的冲压成型而不破裂, 避免负载过程中车身产生的局部变形, 特别是在发生冲撞事故时最大限度的吸收能量、保证安全。所试制的 QStE380TM 是低合金高强度钢, 采用的合金设计方案为低碳锰钢中复合添加 Nb、Ti 微合金化元素, 通过研究、探索控制轧制、控制冷却技术, 从而在 CSP 生产线上对 QStE380TM 汽车大梁用热轧钢板实现合理的工业控制, 最终达到钢板组织和性能等综合品质要求。

利用 Nb 微合金化细化晶粒, 提高钢材性能是新一代钢铁材料研究的重要内容^[1-5], 特别是 CSP 技术的广泛应用, 使得控轧控冷技术与微合金化技术融为一体。采用在低 C-Mn 钢中复合添

加 Nb、Ti 微合金元素的合金成分设计方案, 进行 QStE380TM 汽车大梁钢的研制。

1 生产工艺路线

该产品总体生产工艺如下: 铁水预处理-2×210 t 转炉顶底复合吹炼-LF 精炼处理-2 流立弯型 CSP 铸机薄板坯连铸[拉速 4.8~5 m/min, 薄板坯尺寸(mm):(1 250~1 500)×67, (1 250~1 500)×53]-6 机架 SMS 轧机控制轧制、控制冷却。

包钢 CSP 开发的 QStE380TM 汽车大梁试验钢的成分控制范围及标准见表 1。

表 1 QStE380TM 汽车大梁试验钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test steel QStE380TM for auto beam/%

项目	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti
范围	0.04~0.08	0.20~0.35	1.20~1.35	≤0.015	≤0.010	0.015~0.025	0.005~0.015
标准	0.06	0.25	1.30	0.012	0.005	0.020	0.010

试制过程采用了不同的工艺制度,通过比较钢板材的组织、强度、冷弯、宽冷弯、预拉伸宽冷弯性能,优化了工艺制度,典型产品轧制过程参数见表 2。根据钢板试制计划的规格,选择铸坯的厚度为 65 mm,对应 12.0,8.0,6.0,5.0 mm 的产品规格,其压缩比分别为 5.42、8.13、10.83、13.00,远远小于传统工艺流程(大于 20)。

2 试制结果

2.1 机械性能

钢板的拉伸试验和冲击功见表 3,系列低温

表 2 QStE380TM 汽车大梁试验钢典型产品轧制参数
Table 2 Rolling parameters for typical products of test steel QStE380TM for auto beam

道次	压下率/%	轧制速度/m·min ⁻¹	轧制力/kN
F1	54.0	0.61	31 867
F2	51.0	1.11	31 757
F3	-	1.21	443
F4	32.0	1.65	22 942
F5	25.8	2.22	20 874
F6	17.2	2.68	15 630

冲击功见表 4。

由表 3 可见,钢板的屈服强度、抗拉强度、延

表 3 QStE380TM 钢板的机械性能
Table 3 Mechanical properties of QStE380TM steel plate

横向			纵向			45°			5~8 mm 板 冲击功/J
屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	延伸率/ %	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	延伸率/ %	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	延伸率/ %	
430~450	475~495	29~34	415~425	465~485	34~36	420~430	460~480	35~36	141~185

表 4 QStE380TM 钢板的低温冲击功

Table 4 Low temperature impact energy of QStE380TM steel plate

试验温度/°C	冲击功/J			
	1	2	3	平均
0	112	122	125	120
-20	124	120	140	122
-40	134	125	128	129
-60	112	115	117	114
-80	114	112	123	116
-100	109	116	116	113

伸率均符合标准要求;钢板的横向屈服强度均高于纵向和 45°方向,最大差值为 30 MPa;横向抗拉强度均高于纵向和 45°方向,最大差值为 20 MPa;钢板的各向异性小于传统工艺同类产品。有 77.78% 的钢板常温冲击功为 140~180 J。

为了考核钢板的成型性能,分别进行了 35 mm、60 mm 系列宽冷弯试验、10% 预拉伸宽冷弯试验,结果试样均完好。

为了考核钢板的冲击韧性,进行了系列低温冲击试验,试验结果见表 4。

2.2 焊接性能

焊接性能是衡量汽车大梁钢的重要质量特性之一,对钢板进行了焊接试验,焊缝由融合区、热影响区、粗晶区和细晶区组成。由于钢中含 Ti,以 TiN 的形式弥散析出,在较高温度下,TiN 不溶解,成为相转变的中心,抑制焊接时热影响区晶粒长大,母材、细晶区、热影响区、融合区的显微硬度见

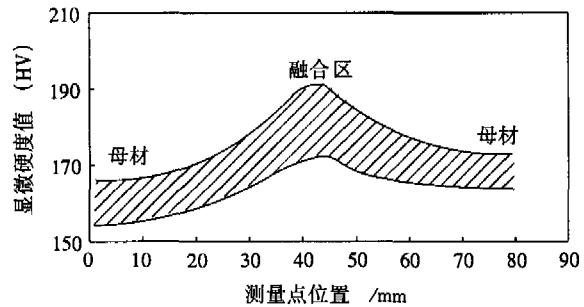


图 1 QStE380TM 钢板焊缝区显微硬度(测量间距 0.25 mm)

Fig.1 Microhardness at weld area of QStE380TM steel plate (measuring point interval 0.25 mm)

图 1,焊缝组织由铁素体和珠光体组成,无晶粒粗化现象和硬度下降的软点出现,焊接性能良好。

3 分析与讨论

经过金相分析,钢板的组织为铁素体加少量珠光体,晶粒尺寸为 4~7 μm,没有发现混晶组织缺陷。钢板的金相组织见图 2。

图 2 中,(a)、(b)、(c)分别为厚度 8 mm 的钢板表面、1/4 厚度、钢板厚度中心对应的金相组织照片;由图 2 可见,钢板表面、1/4 厚度、中心厚度组织均匀,晶粒度为 12 级,属高韧性细晶粒产品。钢板组织的均匀及晶粒细化为钢板提供了良好的冲击韧性等优良的工艺性能。

Nb 是强烈的碳、氮化物的形成元素,能够在

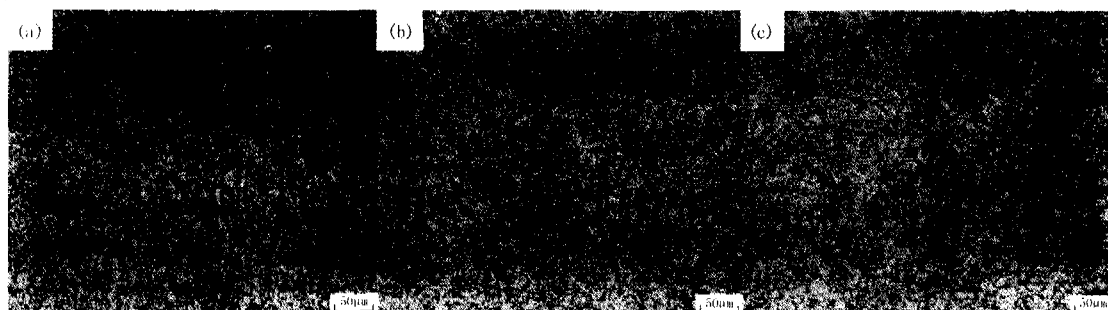


图2 QStE380TM 钢板的组织:(a) 表面;(b) 1/4 厚度;(c) 中心

Fig. 2 Structure of QStE380TM steel plate: at surface (a); 1/4 thickness (b); center of thickness (c)

析出之前显著的延迟热轧过程中的奥氏体再结晶^[6-8],所得到的奥氏体热加工硬化对织构有良好的影响,并且在随后的相变中产生非常明显的晶粒细化作用,Nb的细化晶粒和析出强化作用对提高材料的强韧性贡献是极为显著的。此外,Nb溶解在奥氏体中降低转变温度,更进一步加强了晶粒细化作用。

Ti在钢中除了和C、N结合形成Ti[C、N]化合物细化铁素体晶粒达到强韧性目的,Ti还与钢中的O、S有着极强的亲和力,改善硫化物的形态,显著提高钢的韧性,改善焊接热影响区性能和疲劳性能,按Ti/S为2~4的原则及其对强度的影响,确定Ti含量为0.01%~0.02%。

CSP前几个道次采用大压下率能促进动态再结晶和其后的亚动态再结晶,这是细化晶粒的有效过程。虽然从轧制开始,Nb的延缓再结晶的作

用明显,但在后几道轧制过程中,Nb将起到更为重要的作用。首先是固溶拖拽作用,后来由于形变诱导析出的钉扎作用,奥氏体的再结晶被停止,发生应变积累,在此情况下经过 $\gamma \rightarrow \alpha$ 转变后得到的铁素体晶粒尺寸与从再结晶奥氏体转变过来的铁素体相比显著变小^[9,10]。用CSP工艺生产微合金钢,控制合理的合金成分设计和机械加工工艺十分关键。

4 结论

通过CSP生产线,由65 mm Nb-Ti微合金化钢铸坯试制QStE380TM汽车大梁钢板,采用控轧控冷工艺和优化轧制工艺参数,使钢板组织均匀,无混晶现象,晶粒度为12级,钢板不同方向屈服强度最大差值为30 MPa,抗拉强度最大差值为20 MPa,质量符合标准要求。

参考文献

- 1 雍岐龙,马鸣歧,吴宝榕.微合金钢-物理和力学冶金.北京:机械工业出版社,1989
- 2 东涛,刘嘉禾.我国低合金钢及微合金钢的发展、问题和方向.钢铁,2000,35(11):71
- 3 董瀚.合金钢的现状与发展趋势.特殊钢,2000,21(5):2
- 4 薛春芳,王新华,辛义德.含铌微合金钢强韧化机理.金属热处理,2003,28(5):15
- 5 Hong S G, Kang K B, Park C G. Strain-induced Precipitation of NbC in Nb and Nb-Ti Microalloyed HSLA Steels. Scripta Materialia, 2002, 46:163
- 6 Seung Chan Hong, Sung Hwan Lim, Hyun Seon Hong, et al. Effects of Nb on Strain Induced Ferrite Transformation in C-Mn Steel. Materials Science and Engineering, 2003, A355:241
- 7 Priesner R, Hodgson P D. Ferrite Grain Coarsening During Transformation of Thermo-mechanically Processed C-Mn-Nb Austenite. Materials Science and Technology, 1992, 8:849
- 8 Sigrid Jacobs, Bart Soenen, Christian Klinkenberg. Development of High Strength Steel for Production on a CSP Line Via A Precipitation Modelling Approach P. 2002 CSM International Symposium on Thin Slab Casting and Rolling on November 19-21 st 2002, in Guangzhou, China
- 9 Militzer M, Pandi R, Hawbolt E B. Ferrite Nucleation and Growth During Continuous Cooling. Metallurgical and Materials Transactions A, 1996, 27A(7):1547
- 10 Gardiola B, Humbert M, Esling C, et al. Determination and Prediction of the Inherited Ferrite Texture in a HSLA Steel Produced by Compact Strip Production. Material Science and Engineering, 2001, A 303:60

王宝峰(1965-),男,内蒙古科技大学研究生部主任,教授,1997年~1999年留学于加拿大英属哥伦比亚大学,主要从事高效连铸和材料微观组织工程等领域的研究工作。

收稿日期:2005-11-02