

控轧控冷工艺参数对 X65 管线钢显微组织的影响

宋海武¹ 齐长发¹ 艾星辉² 臧振东¹

(1 唐山钢铁股份有限公司技术中心,唐山 063016;2 唐山科技职业技术学院冶金系,唐山 063001)

摘要 应用 Gleeble-3500 热/力模拟试验机研究了轧后冷速(20~0.5 °C/s)、卷取温度(630~500 °C)、精轧初始温度(1000~900 °C)、末道次精轧温度(860~750 °C)对 X65 管线钢(0.08% C、1.38% Mn、0.032% Nb、0.041% V、 50×10^{-6} N)显微组织的影响。结果表明,增加轧后冷却速度、减小 950 °C 左右的压下量,降低终轧和卷取温度可细化板材组织。提出 150 mm × 1 700 mm 板坯轧成 7.1 mm 成品板的轧制温度为:1 150~1 200 °C 加热,≤ 1 130 °C 粗轧至 35 mm,950~1 020 °C 精轧,≤ 830 °C 终轧,≤ 580 °C 卷取,其产品力学性能满足标准要求。

关键词 X65 管线钢 控轧控冷 工艺参数 组织

Effect of Controlled Rolling and Cooling Process Parameters on Microstructure of Pipeline Steel X65

Song Haiwu¹, Qi Changfa¹, Ai Xinghui² and Zang Zhendong¹

(1 Technical Center, Tangshan Iron and Steel Co Ltd, Tangshan 063016;

2 Department of Metallurgy, Tangshan College of Professional Technology, Tangshan 063001)

Abstract Effect of cooling rate after rolling (20~0.5 °C/s), initial pass temperature of finishing rolling (1000~900 °C), last pass temperature of finishing rolling (860~750 °C) and coiling temperature (630~500 °C) on microstructure of pipeline steel X65 (0.08% C, 1.38% Mn, 0.032% Nb, 0.041% V, 50×10^{-6} N) has been studied by using Gleeble-3500 thermal-mechanical simulator. Results showed that with increasing cooling rate after rolling, decreasing reduction ratio at about 950 °C, decreasing finishing and coiling temperature, the microstructure of plate products was finer. The rolling temperature for 7.1 mm finished plate rolled by 150 mm × 1 700 mm slab was proposed that 1 150~1 200 °C heating, rough rolling ≤ 1 130 °C to 35 mm, initial pass finishing rolling 950~1 020 °C, last pass finishing rolling ≤ 830 °C, and coiling ≤ 580 °C, and the mechanical properties of products met the requirement of standard.

Material Index Pipeline Steel X65, Controlling Rolling and Cooling, Process Parameters, Microstructure

1 实验材料与方法

将实验材料 X65 管线钢板坯(表 1)用线切割手段加工成 (mm) 10 × 15 × 20 方块形试样,实验在 Gleeble-3500 热/力模拟试验机上进行。实验采用平面应变压缩实验来模拟实际轧制过程,实验工艺如图 1 所示。总体来说,在控轧控冷工艺的研究中,超越不了 Tanaka^[1] 等人提出的“控制轧制三阶段工艺”理论,即第 1 阶段是在奥氏体未再结晶温度 T_{nr} 以上的再结晶控制轧制,第 2 阶段是在奥氏体未再结晶温度 T_{nr} 至 A_{r3} 之间的控制轧制,第 3 阶段是低于 A_{r3} 温度的两相区 ($\gamma + \alpha$) 控制轧制及随后的控制冷却。实际生产在唐钢 1700 生产线上进行,粗轧采用往复式可逆轧机,精轧采用连续式七架精轧机,用 3 道次分别模拟粗轧、精轧首道次和精轧末道

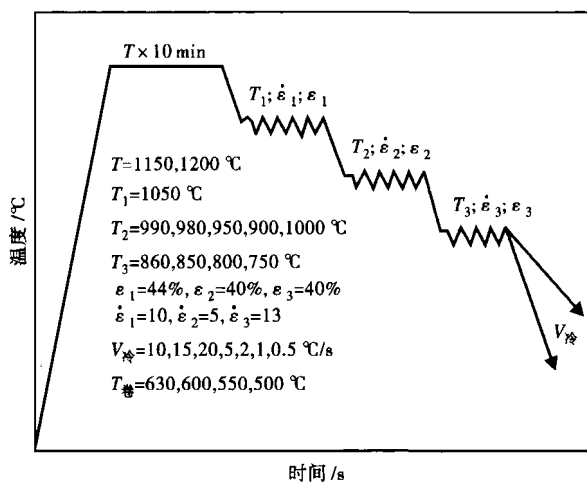


图 1 模拟实验工艺示意图

Fig. 1 Schematic diagram of simulated test process

次的轧制情况。

2 实验结果及讨论

2.1 冷速对显微组织的影响

图 2 为不同冷速下显微组织形貌。冷速在 2

表 1 实验钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test steel / %

C	Si	Mn	S	P	Nb	V	N
0.08	0.25	1.38	0.002	0.013	0.032	0.041	0.005 0

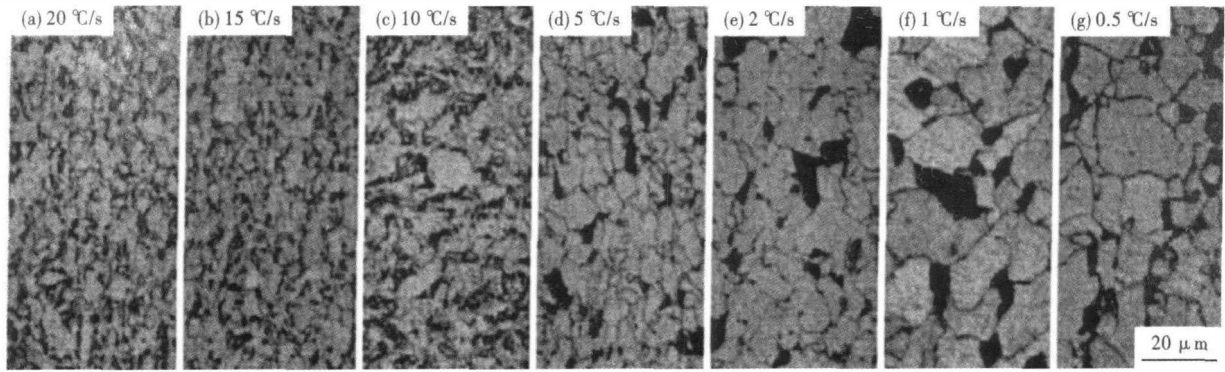


图2 轧后冷却速度对管线钢 X65 显微组织的影响; 1050 °C, ϵ_1 44%, $\dot{\epsilon}_1$ 10 s⁻¹; 990 °C, ϵ_2 40%, $\dot{\epsilon}_2$ 5 s⁻¹; 860 °C, ϵ_3 40%, $\dot{\epsilon}_3$ 13 s⁻¹
 Fig.2 Effect of cooling rate after rolling on microstructure of pipeline steel X65; 1050 °C, ϵ_1 44%, $\dot{\epsilon}_1$ 10 s⁻¹; 990 °C, ϵ_2 40%, $\dot{\epsilon}_2$ 5 s⁻¹; 860 °C, ϵ_3 40%, $\dot{\epsilon}_3$ 13 s⁻¹

℃/s以下时显微组织主要是具有明显边界的多边形铁素体 + 退化珠光体。冷速为 5 °C/s时,为等轴铁素体、非等轴块状铁素体、较少粒状铁素体及少量退化珠光体。冷速在 10 °C/s以上时,由非等轴块状铁素体、粒状铁素体、贝氏体及一定量岛状组织的混合组织组成,该混合组织即为针状铁素体组织,它是在连续冷却过程中由高温至低温依次形成的。

“非等轴块状铁素体”是一个铁原子短程扩散和碳原子长程体扩散的耦合相变,在其形成过程中,要求碳原子扩散远离相界面,转变机制与多边形铁素体和贝氏体转变机制明显不同,其长大过程为无方向性生长,并可跨越原奥氏体晶界^[2];随转变温度的降低所形成的“粒状铁素体”是无明显边界的块状铁素体,且在其内部分布有岛状组织。随转变温度继续降低,γ→α 转变将被共格界面转变所控制,铁素体呈板条状,使板条间的残余奥氏体岛状

组织呈方向性排列,表现出贝氏体组织特征。

从图 2 还可看出,随冷却速度的增加,组织逐渐细化,冷速为 15 °C/s时,组织细化达最大值,再提高冷却速度对组织细化的影响不明显。冷速为 20、15、10、5、2、1、0.5 °C/s对应的维氏硬度值分别为 184、184、183、173、159、140、140 HV。

2.2 卷取温度对显微组织的影响

以 1 150 °C → 1 050 °C, 44%, 10 s⁻¹ → 100 s → 990 °C, 40%, 5 s⁻¹ → 5 s → 860 °C, 40%, 13 s⁻¹ → 10 °C/s 连续冷却至不同温度保温 0.5 h, 来模拟不同卷

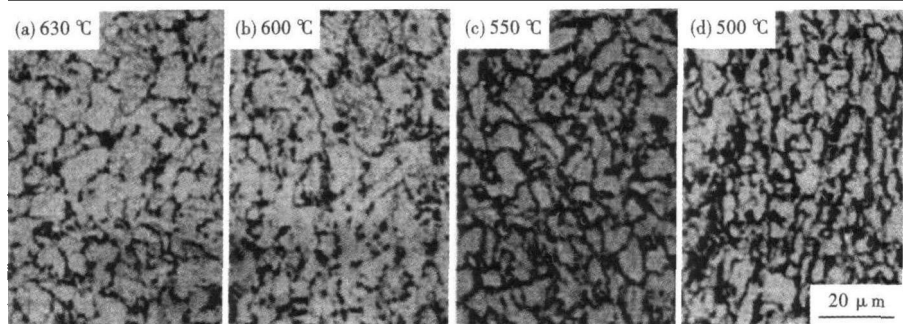


图3 卷取温度对管线钢 X65 显微组织的影响
 Fig.3 Effect of coiling temperature on microstructure of pipeline steel X65

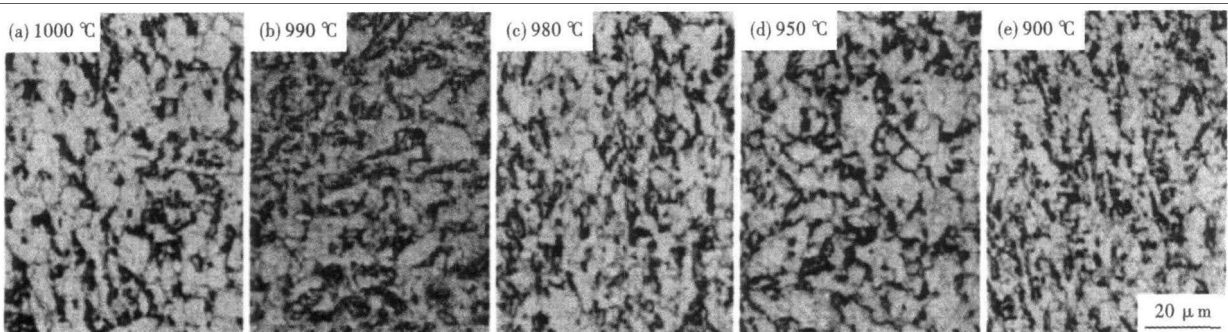


图4 入精轧温度对管线钢 X65 显微组织的影响
 Fig.4 Effect of initial pass finishing temperature on microstructure of pipeline steel X65

取温度对组织、性能的影响(图3)。

卷取温度为 630、600、550、500 °C 对应的平均晶粒度及维氏硬度分别为 5、4.4、4、3.1 μm 和 152、167、174、176 HV。可见卷取温度越低,组织越细,强度、硬度越高。卷取温度在 550 °C 以下时对组织细化还有一定影响,但对强度影响则不大。因此,适宜的卷取温度应为 550 ~ 500 °C。

2.3 入精轧温度对显微组织的影响

实验工艺为 1150 °C \rightarrow 1050 °C, 44%, 10 s^{-1} \rightarrow 100 s \rightarrow 改变压下温度, 40%, 5 s^{-1} \rightarrow 5 s \rightarrow 860 °C, 40%, 13 s^{-1} \rightarrow 10 °C/s 连续冷却至室温。即改变第 2 道次的压下温度来模拟不同的入精轧温度对显微组织的影响,实验结果见图 4。

图 4(a) ~ (e) 对应的平均晶粒尺寸及维氏硬度分别为 3.4、3.1、3.0、5.6、3.0 μm 和 180、183、184、176、183 HV。可以看出,入精轧温度对显微组织的影响较大。从 1000 ~ 980 °C,随入精轧温度降低,组织逐渐细化;但入精轧温度为 950 °C 时,组织反而粗化;继续降低入精轧温度为 900 °C 时,组织又呈细化趋势。

可以看出,在 950 °C 入精轧时,有混晶组织出现。温度高于或低于此温度时,均表现出较明显的细化。

2.4 精轧末道次温度对显微组织的影响

实验工艺为 1150 °C \rightarrow 1050 °C, 44%, 10 s^{-1} \rightarrow 100 s \rightarrow 990 °C, 40%, 5 s^{-1} \rightarrow 5 s \rightarrow 改变压下温度, 40%, 13 s^{-1} \rightarrow 10 °C/s 连续冷却至室温。即改变第 3 道次的压下温度来模拟精轧末道次温度对组织细化的影响。

实验结果见图 5(a) ~ (d),可见轧制温度越低,组织越细。图 5(a) ~ (d) 对应的平均晶粒尺寸分别为 3.1、3.1、3.0、2.7 μm ;对应的维氏硬度分别为 183、182、183、194 HV。在 750 °C 轧制时晶粒细化效果十分显著,强度也有很大提高。因此,在轧机能力允许的条件下,可考虑 750 °C 低温终轧。

3 实际生产工艺的制定

1700 机组实际生产 X65 管线钢的工艺参数为:板坯厚度 150 mm,加热温度 1150 ~ 1200 °C,入粗轧温度 \leq 1130 °C,粗轧采用 5 道次轧制,轧后中间坯厚 35 mm。入精轧温度 950 ~ 1020 °C,终轧温度

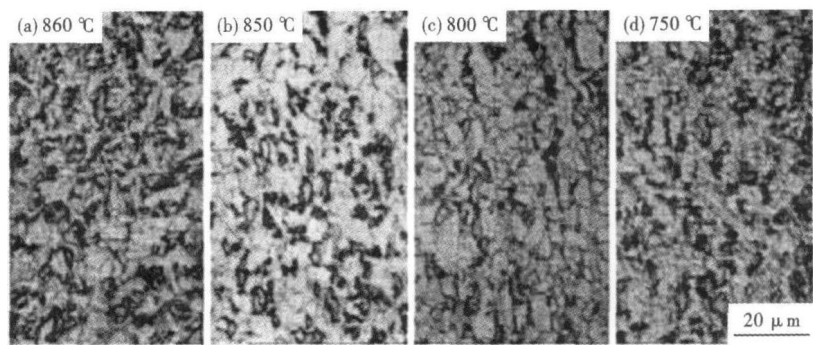


图 5 精轧末道次温度对管线钢 X65 显微组织的影响

Fig. 5 Effect of last pass finishing temperature on microstructure of pipeline steel X65

\leq 830 °C,卷取温度 \leq 580 °C。精轧 3 ~ 7 道次总压下量 \geq 50%,成品厚度为 7.1 mm。产品力学性能满足 GB/T14164-2005 要求,见表 2。

表 2 优化工艺轧制的 X65 管线钢 7.1 mm 成品板力学性能
Table 2 Mechanical properties of 7.1 mm plate product of pipeline steel X65 rolled by optimum process

项目	拉伸试验			0°V 型	180 ° 冷弯 试验
	规定总 延伸强度 $R_{0.5}/\text{MPa}$	抗拉强度 R_m/MPa	断后伸长率/%, 不小于 $L_0 = 5.65 S_0^{0.5}$	冲击试验 冲击功/J	
X65 标准	450 ~ 600	535 ~ 755	17	\geq 47	$d = 2a$
检验结果	495	575	25.5	83 (5 mm \times 10 mm 截面)	合格

注:a- 试样厚度;d-弯心直径

4 结论

(1) 增加轧后冷却速度使其控制在 10 ~ 15 °C/s;降低卷取温度为 550 ~ 500 °C;减少温度在 950 °C 左右时的压下量;降低终轧温度使其低于 830 °C;适当降低板坯加热温度为 1150 °C 左右,使 X65 管线钢组织细化。

(2) 控制好轧制工艺参数,尤其是终轧温度和卷取温度,可以在 1700 生产线生产出满足 GB/T14164-2005 标准要求的 X65 管线钢产品。

参考文献

- 1 Tanaka T, Funakoshi N, Una M, et al. Ed. by Korshynsky M. Microalloying 75, New York: Nion Carbide Corp, 1977: 107
- 2 Enomoto M, Nojiri N, Sato Y. Effects of Vanadium and Niobium on the Nucleation Kinetics of Proeutectoid Ferrite at Austenite Grain Boundaries in Fe-C and Fe-C-Mn Alloys. Materials Transactions, JIM, 1994, 35(12): 859

宋海武(1965-),男,硕士,高级工程师,钢材热加工工艺研究。

收稿日期:2008-11-27