

轧制-直接淬火参数对 Ti-B 微合金化低碳 Si-Mn 钢组织和性能的影响

苏春霞 王 勇 张起生
(鞍钢股份有限公司技术中心, 鞍山 114001)

摘 要 用 0.06% (Ti + B) 微合金化 (%) 0.17C-0.92Si-1.63Mn 钢 135 mm 连铸坯在实验室 $\Phi 500$ mm 中厚板轧机轧成 24 mm 板材, 试验了终轧、开始和终止水冷温度对实验钢组织和力学性能的影响。结果表明, 终轧 920 $^{\circ}\text{C}$ 开冷 900 $^{\circ}\text{C}$ 终冷 180 $^{\circ}\text{C}$, 冷却速度 30 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 和终轧 880 $^{\circ}\text{C}$, 开冷 860 $^{\circ}\text{C}$ 终冷 280 $^{\circ}\text{C}$, 冷却速度 22 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$, 钢的组织 and 性能与传统的 880 $^{\circ}\text{C}$ 1 h 淬火 + 220 $^{\circ}\text{C}$ 6 h 回火的组织和性能相当

关键词 Ti-B 微合金化 低碳 Si-Mn 钢 直接淬火 组织 力学性能

Effect of Rolling-Direct Quenching Parameters on Structure and Properties of Ti-B Microalloying Low Carbon Si-Mn Steel

Su Chunxia, Wang Yong and Zhang Qisheng
(Technology Center of Angang Steel Co Ltd, Anshan 114001)

Abstract The 24 mm plate of 0.06% (Ti + B) microalloying 0.17C-0.92Si-1.63Mn steel was rolled by $\Phi 500$ mm medium-heavy mill in laboratory from 135 mm cast slab. The effect of finishing rolling temperature, beginning and finishing water-cooling temperature on structure and mechanical properties of test steel was studied. Results showed that with finishing rolling at 920 $^{\circ}\text{C}$, beginning cooling at 900 $^{\circ}\text{C}$, finishing cooling at 180 $^{\circ}\text{C}$, cooling rate 30 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ and with finishing rolling at 880 $^{\circ}\text{C}$, beginning cooling at 860 $^{\circ}\text{C}$, finishing cooling at 280 $^{\circ}\text{C}$, cooling rate 22 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$, the structure and mechanical properties of steel were equal to that with traditional 880 $^{\circ}\text{C}$ for 1 h quenching + 220 $^{\circ}\text{C}$ for 6 h tempering process.

Material Index Ti-B Microalloying, Low Carbon Si-Mn Steel, Direct Quenching, Structure, Mechanical Properties

与传统的淬-回火工艺相比, 直接淬火消除了离线重新加热淬火, 降低了能耗并缩短了工艺流程, 更为重要的是通过直接淬火可提高钢的强韧配比^[1,2]。目前, 热轧后直接淬火工艺已成为控轧控冷工艺的一部分, 主要用于生产高强度钢。

1 试验材料及方法

试验所用的材料为工业生产的 Ti-B 微合金化低碳 Si-Mn 钢连铸坯, 切成 135 mm \times 200 mm \times 190 mm 的轧坯, 其化学成分为 (%): 0.17C、0.92Si、1.63Mn、0.011P、0.006S、0.06 (Ti + B)。

在实验室 500 mm 中厚板轧机上进行轧制, 轧坯加热温度 1 250 $^{\circ}\text{C}$, 保温 2 h, 整个轧制过程均在完全再结晶区进行, 轧制成 (mm) 24 \times 200 \times L, 轧后水冷, 轧制工艺参数见表 1 (7# 采用原工艺)。

从表 2 中 1# ~ 6# 钢板在线直接淬火 (Direct Quenching, 简称为 DQ) 参数可见, 轧制温度为 1 050 ~ 900 $^{\circ}\text{C}$, 钢板在完全再结晶区完成轧制: 入水开冷温度控制在 880 $^{\circ}\text{C}$ 左右 (Ac₃ 以上), 与传统工艺 (淬-回火) 淬火温度一致, 通过控制辊道速度来控制钢板的终冷温度 (20 ~ 470 $^{\circ}\text{C}$), 钢板轧后自然

表 1 试验钢 24 mm 板轧制和力学性能
Table 1 Rolling parameters and mechanical properties of 24 mm plate of test steel

工艺	编号	轧制温度/ $^{\circ}\text{C}$				冷却速度/ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)	力学性能				布氏硬度值 (HBW10/3000)	
		开轧	终轧	开冷	终冷		$R_{el}/$ ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)	$R_m/$ ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)	$A/$ %	$Z/$ %	上表面	下表面
直接 淬 火 (DQ)	1#	1 050	910	850	20	50	1 450	1 720	7.5	19.5	491	488
	2#	1 030	900	870	100	38	1 430	1 670	5.0	11.5	499	491
	3#	1 050	920	900	180	30	1 250	1 520	10.0	29.0	455	454
	4#	1 040	880	860	280	22	1 200	1 500	11.0	34.5	472	466
	5#	1 050	880	880	390	17	1 000	1 320	13.0	43.0	405	414
	6#	1 050	920	900	470	12	770	1 000	15.0	36.0	324	317
淬-回火	7#	1 050	900	(880 $^{\circ}\text{C}$ 保温 1 h 淬火 + 220 $^{\circ}\text{C}$ 保温 6 h)			1 300	1 470	11.5	32.0	428	430

注: 标准要求布氏硬度值 (HBW10/3000) 388 ~ 495。

冷却,依靠自身余热进行自回火,以使钢板能够得到较好的强韧性匹配。

冲击试样(mm)10×10×55,V型缺口,检验方法按GB/T229-1994标准执行;拉伸试样采用Φ10mm圆拉力,试样规格及检验方法按GB/T228-2002标准执行;钢板布氏硬度检验按GB/T231-2002标准执行;用4%硝酸酒精溶液腐蚀金相试样,观察并记录横截面上的微观组织;在QUANTA-400扫描电子显微镜(SEM)下观察不同温度冲击试样断面形貌。

2 试验结果分析

2.1 硬度和拉力

硬度是检验 Ti-B 微合金化低碳 Si-Mn 钢性能的一项重要指标,由表1中可以看出:1[#]~6[#]钢板随着终冷温度的上升,钢板的硬度值由高至低变化,终冷温度在20℃至100℃时的1[#]和2[#]硬度最高,个别值还超出了上限,终冷温度为390℃的5[#]硬度则偏标准下限,终冷温度为470℃的6[#]钢板硬度已不能达到标准要求,只有终冷温度在180~280℃的3[#]和4[#]钢板的硬度在标准要求的中限,且与淬-回火工艺生产的7[#]钢板相当;另外从钢板上、下表面硬度结果来看,6块钢板在线直接淬火的硬度都非常均匀,同板差较小。

1[#]~6[#]钢板随着终冷温度逐渐上升,其屈服及抗拉强度呈现出逐渐下降的趋势,伸长率及断面收缩率则呈现出逐渐上升的趋势。而3[#]、4[#]钢板在屈服强度、抗拉强度及伸长率等方面,都与淬-回火工艺生产的7[#]钢板相当。

2.2 系列温度冲击

从表2可以看出,采用直接淬火工艺生产的3[#]、4[#]钢板,具有较好的冲击韧性,且随温度下降,冲击功下降的幅度较小,在温度低于-40℃以后,3[#]、4[#]钢板的冲击功已好于淬-回火工艺生产的7[#]钢板的冲击功。

表2 试验钢的冲击功(A_{KV})/J
Table 2 Impact energy of test steel (A_{KV})/J

工艺	编号	温度/℃					
		20	0	-20	-40	-60	-80
DQ	1	15	14	13	19	16	12
	2	16	16	14	19	15	14
	3	24	24	20	23	22	16
	4	23	18	20	22	20	16
	5	20	17	18	14	11	7
	6	15	20	20	17	11	7
淬-回火	7	26	24	26	18	16	15

综上所述,3[#]、4[#]直接淬火 Ti-B 微合金化低碳 Si-Mn 钢板,在硬度、强韧性等方面基本与淬-回火工艺生产的钢板一致,综合性能基本上达到了同类同规格钢板的水平。

因此,从力学性能的对比结果来看,采用热轧后在线直接淬火工艺生产的 Ti-B 微合金化低碳 Si-Mn 钢,冷却速度控制在22~30℃/s,终冷温度控制在180~280℃是较为合理的,可以保证钢板的性能与淬-回火工艺生产的钢板水平相当。

2.3 金相组织

为了解不同终冷温度下直接淬火 Ti-B 微合金化低碳 Si-Mn 钢金相组织的变化情况,选取1[#]~6[#]钢板的冲击试验余样进行了金相组织检验,并与淬-回火工艺生产的7[#]钢板进行对比(图1)。

从图1(a,b)钢板的金相组织来看,钢板在淬火之后,由于控制终冷温度,钢板利用余热产生自回火,均有回火马氏体存在,尤其是终冷温度较低的1[#]~4[#]钢板组织均为回火马氏体,与图1(c)中淬-回火工艺生产的钢板组织是一致的。对于要求高硬度的 Ti-B 微合金化低碳 Si-Mn 钢来说,只有钢板获得回火马氏体组织,才能保证钢板具有较高硬度、强度的同时,还具有较好的冲击韧性,最终才能保证钢板的使用性能;而5[#]、6[#]钢板由于终冷温度高于 M_s 点(本钢种 M_s 点在370℃左右),因此形成了回火马氏体和贝氏体的混合组织,该种组织强度及硬度相对回火马氏体要低,且强韧性的匹配也较差,一般情况下也不会保证钢板最终的使用性能。

2.4 扫描电镜的断口形貌

对1[#]~6[#]直接淬火钢板的系列温度冲击余样进行断口观察,用肉眼看,所有温度冲击余样的断面均为暗灰色,无结晶散点,类似纤维状断口;但由冲击功结果看,从10J到30J,断口不可能都是纤维状。因此,选取3[#]试样的20、-20、-60、-80℃冲击余样,用扫描电镜观察其断口形貌,断口心部形貌见图2、图3。

由图2可见,从20℃到-80℃心部均为准解理断口,断口主要为解理状,但在部分解理片周围,还有少量韧窝存在。因解理片非常细小,所以用肉眼呈暗灰色,看不出结晶散点的存在。由图3可见,断口边部的剪切唇、起裂带和挤压区均为韧窝状形貌。从20、-20、-60℃到-80℃,其韧窝状形貌所占的面积约为整个断口总面积的30%、25%、20%和15%。即在不同的温度下,在断口上均会产生一定程度的韧性断裂行为,因此钢板在不同的温

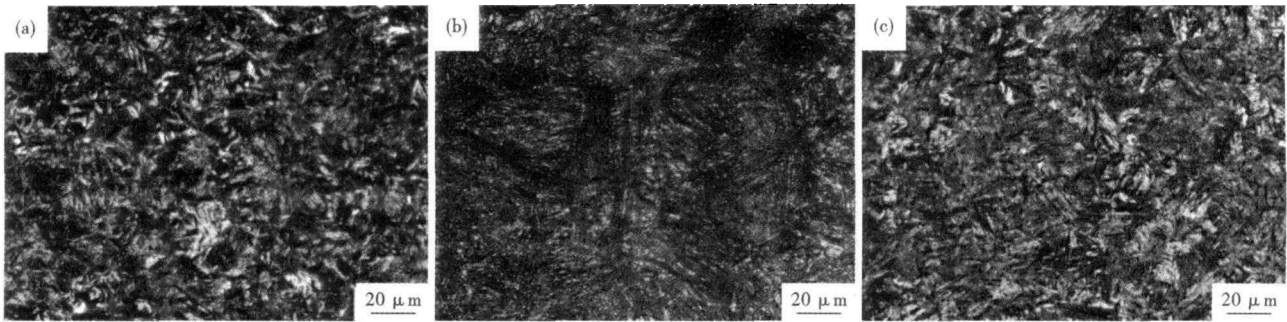


图 1 试验钢的组织:直接淬火钢-回火马氏体,1#~4#钢板(a),回火马氏体+贝氏体,5#~6#钢板(b);淬-回火钢-回火马氏体,7#钢板(c)
Fig. 1 Structure of test steel: direct quenching steel- tempered martensite, No1 ~ No4 plate (a), tempered martensite + bainite, No5 ~ No6 plate; quenching-tempering steel- tempered martensite, No7 plate

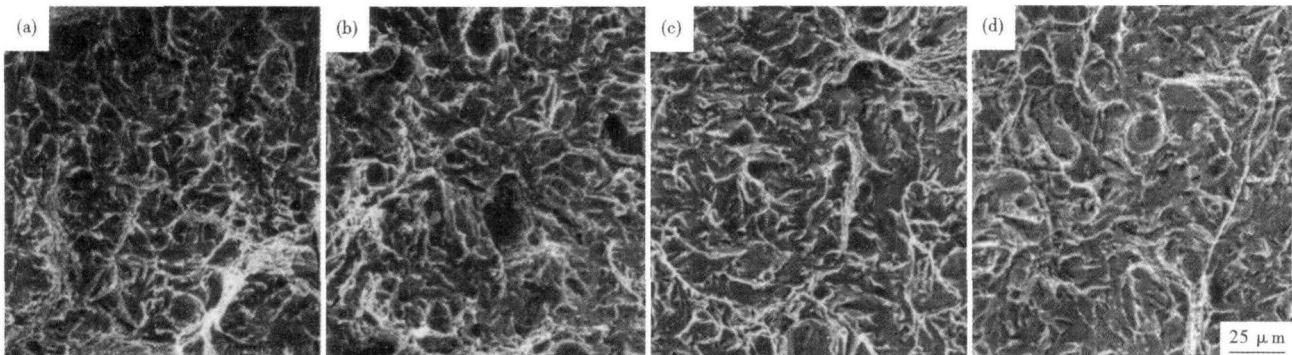


图 2 试验钢直接淬火板冲击断口的心部形貌-准解理断口:冲击温度(a)20 °C;(b) -20 °C;(c) -60 °C;(d) -80 °C
Fig. 2 Morphology of impact fracture center of test steel direct quenching plate- quasi-cleavage fracture: impacting at (a)20 °C;(b) -20 °C;(c) -60 °C;(d) -80 °C

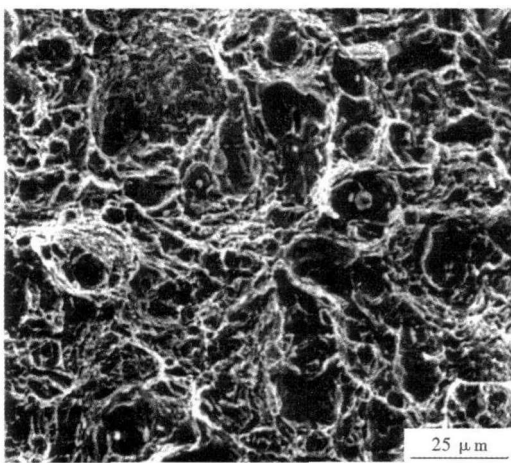


图 3 试验钢直接淬火板冲击断口的边部形貌-韧窝状断口
Fig. 3 Morphology of impact fracture edge of test steel direct quenching plate- dimpled fracture

度下均会有一些的韧性,使得直接淬火 Ti-B 微合金化低碳 Si-Mn 钢板能够达到较好的强、韧性匹配。

4 结论

(1)完全再结晶区热轧后直接淬火工艺生产的 Ti-B 微合金化低碳 Si-Mn 钢板与淬-回火工艺生产的此类钢板的力学性能基本相当、组织一致。

(2)Ti-B 微合金化低碳 Si-Mn 钢板适宜的热轧后直接淬火工艺为:开轧1 050 °C,终轧 880 °C,冷却速度 22 ~ 30 °C/s,终冷温度 180 ~ 280 °C。

(3)通过对在线直接淬火工艺生产的硬度超标的 Ti-B 微合金化低碳 Si-Mn 钢板进行离线低温回火处理,钢板的综合性能及组织均与淬-回火工艺生产的钢板水平相当。由此可见,对于采用在线直接淬火工艺生产的性能(尤其是硬度)超标或回火不充分的钢板,可进行适当的低温回火处理,综合性能可以达到使用状态时的要求。

参考文献

- 1 Nobuo Shikanai, Masataka Suga. Influence of Direct-quenching Conditions and Alloying Elements on Mechanical Properties of HSLA Steel Plates. Proceedings Symposium on Physical Metallurgy of Directing Quenched Steels. Chicago, Illinois, 1992:93
- 2 林承江,时 捷,王华昆. 控轧直接淬火钢的微观组织与力学性能. 天津冶金, 2005(3):30

苏春霞(1978-),女,工程师,2000年沈阳工业大学毕业,从事超高强度钢及核电用钢的研制开发工作。

收稿日期:2008-07-02