

热轧后冷却和平整工艺对 700 MPa 级 Nb-Ti 微合金化 S600MC 高强带钢力学性能的影响

段争涛

(宝钢股份中央研究院 梅钢技术中心, 南京 210039)

摘要: 研究了热轧后三段冷却工艺和平整工艺对 2.3 mm 700 MPa 级 S600MC 高强钢板 ($\%: 0.07C, 0.15Si, 1.50Mn, 0.015P, 0.003S, 0.025Al, 0.015Nb, 0.08Ti$) 力学性能的影响。终轧温度 870 °C, 采用三段冷却工艺, 中间温度由 670 °C 降至 580 °C 时, 屈服强度由 557 MPa 提高至 600 MPa, 而抗拉强度基本保持不变 (774 MPa 至 786 MPa), 伸长率由 24% 降至 21%, 屈强比提高 0.04。卷取温度由 150 °C 提高至 250 °C 时, 力学性能基本保持不变。一次平整工艺提高高强钢屈服强度达到 22~43 MPa, 而抗拉强度变化不大, 伸长率下降 2~5 个百分点。二次平整工艺对屈服强度提升尤为明显, 可以达到 101 MPa, 但伸长率下降达到 8 个百分点, 反而不利于改善综合性能。
关键词: S600MC 高强钢; 三段冷却工艺; 平整; 力学性能

Effect of Cooling and Temper-Rolling Processes on Mechanical Properties of Hot-Rolled 700 MPa Grade Nb-Ti Micro-Alloying S600MC High Strength Steel Strip

Duan Zhengtao

(Research Center of Meigang, Research Institute, Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Nanjing 210039)

Abstract: The effects of hot-rolled three-stage cooling and temper-rolling processes on mechanical properties of 2.3 mm 700 MPa grade Nb-Ti micro-alloying S600MC high strength steel strip ($\%: 0.07C, 0.15Si, 1.50Mn, 0.015P, 0.003S, 0.025Al, 0.015Nb, 0.08Ti$) are studied. When end rolling at 870 °C, as intermediate temperature decreasing from 670 °C to 580 °C, the yield strength increases from 577 MPa to 600 MPa, the tensile strength basically remains unchanged (774 MPa to 784 MPa), the elongation decreases from 24% to 21%, and the yield ratio increases by 0.04. When the coiling temperature increases from 150 °C to 250 °C, the mechanical properties remain unchanged. The yield strength of high strength steel with primary temper-rolling process increases by 20 MPa to 43 MPa, while the tensile strength changes slightly and the elongation decreases by 2-5 percentage point. The yield strength increases by the secondary temper-rolling process significantly to 101 MPa, while the elongation decreases by 8 percentage point, which is adverse to comprehensive properties.

Material Index: S600MC High Strength Steel; Three-Stage Cooling Process; Temper-Rolling Process; Mechanical Properties

700 MPa 级高强钢已广泛应用于汽车大梁、起重吊臂以及自卸车等各种车辆上, 以减轻车身质量, 提高有效负载能力。为满足性能要求, 目前大多钢厂都采用低碳铌钛 (钒) 微合金化成分来生产该钢种^[1-3]。层流冷却采用前段冷却冷工艺控制, 因而在保证抗拉强度的同时, 屈服强度也较高。本文基于一种抗拉强度 700 MPa 级别高强钢, 开展三段冷却工艺、平整工艺试验研究, 以期获得良好的综合力学性能。

1 试验材料

试验采用 S600MC 微合金高强钢连铸坯, 由

250 t 转炉进行冶炼, 经双重精炼后, 通过连铸机生产出板坯, 板坯截面尺寸 230 mm × 1 300 mm, 长度 10 m。主要冶炼工艺流程为: 铁水脱硫-转炉-LF-RH-连铸。该钢主要化学成分如表 1 所示。

2 试验方法

热轧试验在 1 780 mm 热连轧生产线进行。板坯加热温度为 1 260 °C, 精轧开轧温度在 1 100 °C 左

表 1 试验 S600MC 钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of tested S600MC steel /%

C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti
0.07	0.15	1.50	0.015	0.003	0.025	0.015	0.08

表 2 设计的 S600MC 热轧带钢工艺参数
Table 2 Design process parameters of hot rolled strip of S600MC steel

高强钢	终轧温度/℃	层冷中间温度/℃	空冷时间/s	第 1 段冷却速率/(℃·s ⁻¹)	第 2 段冷却速率/(℃·s ⁻¹)	卷取温度/℃
1 [#]	870	670	7	200	150	150
2 [#]	870	580	7	200	150	150
3 [#]	870	580	7	200	150	250

右,终轧温度为 870 ℃,层流冷却采用三段冷却工艺,第一段水冷结束温度分别为 670、580 ℃,第二段空冷,时间为 7 s,第三段水冷,卷取温度分别为 150、250 ℃,最终轧制成品厚度 2.3 mm。具体工艺参数如表 2 所示。

热轧钢卷下线后,分别按照不同平整力进行平整试验。

拉伸、金相组织观察试样在热轧带钢宽度方向板宽 1/4 处切取,其中拉伸为纵向试样。拉伸试验在 100 kN 全数字化电子万能材料试验机进行。金相试样经研磨、抛光后,采用 4% 硝酸酒精溶液腐蚀,然后采用光学显微镜对组织进行观察。

3 试验结果与分析

3.1 冷却工艺对高强钢力学性能的影响

3 卷不同冷却工艺高强钢实际工艺参数和力学性能如表 3 所示。从表 3 中可以看出,中间温度 670 ℃,卷取温度 150 ℃ 时,高强钢屈服强度 557 MPa,抗拉强度 774 MPa,伸长率 24%,屈强比

0.72。当中间温度降至 580 ℃ 时,屈服强度提高 43 MPa,抗拉强度仅提高 12 MPa,基本保持不变,伸长率降低 3 个百分点,屈强比提高 0.04。随着中间温度降低,增大了铁素体形核点,最终得到细化铁素体组织。中间温度 580 ℃ 时,卷取温度提高至 250 ℃ 时,较 150 ℃ 时,屈服强度仅下降 14 MPa,抗拉强度、伸长率、屈强比保持不变。

1[#]和 2[#]高强钢室温组织如图 1 所示。可以看出,均以极细铁素体和马氏体为主的双相组织。

3.2 平整工艺对高强钢力学性能的影响

对 3 卷高强钢分别进行平整试验。平整工艺采用恒轧制力,轧制力设定为 300 t。3 卷高强钢一次平整后的力学性能如表 4 所示。对比表 3 可以看出,平整后 1[#]高强钢屈服强度提高 30 MPa,抗拉强度提高 15 MPa,伸长率下降 2 个百分点,屈强比提高 0.03。2[#]高强钢屈服强度提高 22 MPa,抗拉强度提高 24 MPa,伸长率下降 4 个百分点,屈强比提高 0.02。同样,3[#]高强钢屈服强度提高 43 MPa,抗拉

表 3 试验 S600MC 热轧带钢工艺参数及力学性能
Table 3 Test process parameters and mechanical properties of hot rolled strip of S600MC steel

高强钢	终轧温度/℃	层冷中间温度/℃	空冷时间/s	第 1 段冷却速率/(℃·s ⁻¹)	第 2 段冷却速率/(℃·s ⁻¹)	卷取温度/℃	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	屈强比	断后伸长率/%
1 [#]	865	670	7	200	150	150	557	774	0.72	24
2 [#]	872	580	7	205	150	150	600	786	0.76	21
3 [#]	870	580	7	210	150	250	586	780	0.75	20

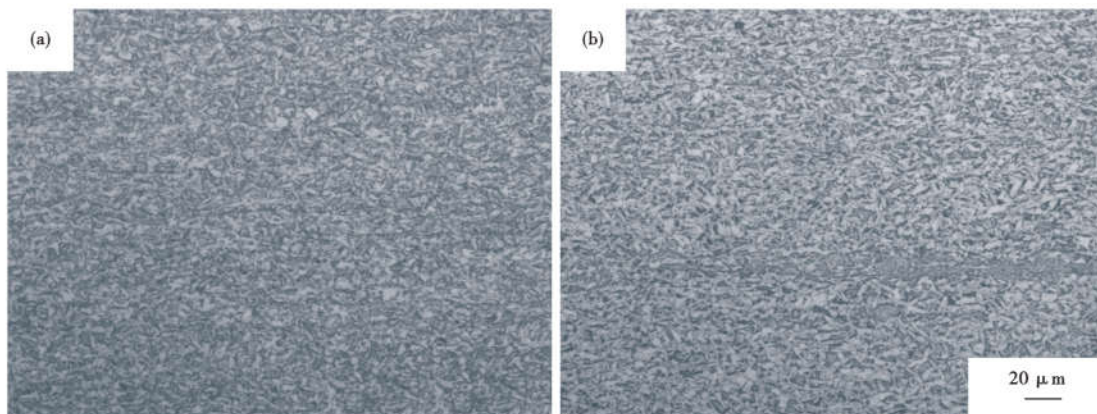


图 1 S600MC 热轧带钢组织:(a)中间温度 670 ℃,卷取温度 150 ℃;(b)中间温度 580 ℃,卷取温度 150 ℃
Fig. 1 Microstructures of hot rolled strip of S600MC steel: (a) intermediate temperature 670 ℃, coiling at 150 ℃; (b) intermediate temperature 580 ℃, coiling at 150 ℃

表 4 S600MC 带钢一次平整后力学性能

Table 4 Mechanical properties of S600MC steel strip with first temper-rolling

高强钢	平整轧制力/t	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	屈服比	断后伸长率/%
1#	300	587	789	0.75	22
2#	300	622	802	0.77	16
3#	300	629	802	0.78	18

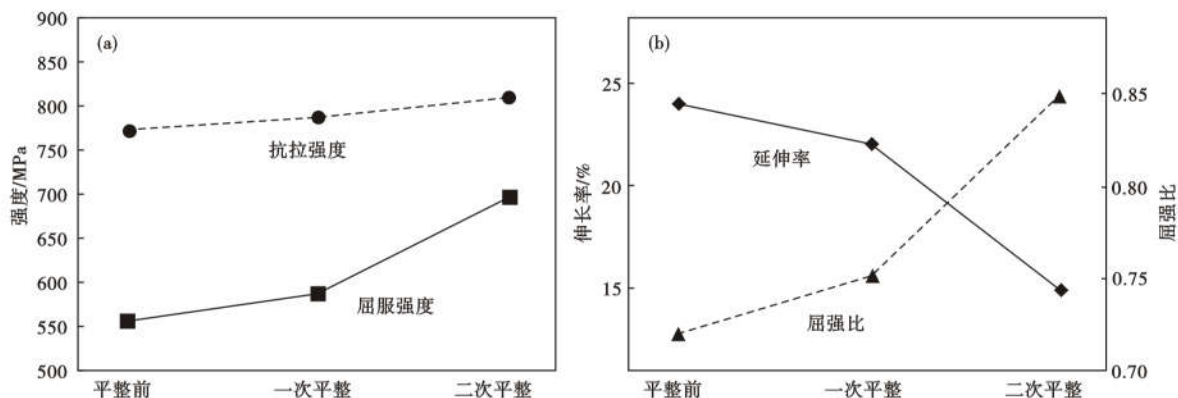


图 2 1#钢经一次和二次平整工艺的力学性能:(a)屈服强度、抗拉强度;(b)伸长率、屈服比

Fig. 2 Mechanical properties of rolled strip process 1# steel with primary and secondary temper-rolling process: (a) yield-tensile strength; (b) elongation, ratio of yield-tensile

从图 2(a)可以看出,相对一次平整,二次平整后 1#高强钢屈服强度提高了 101 MPa,抗拉强度提高 32 MPa,显然相同平整力下,二次平整对强度提升的贡献比一次要大得多。从图 2(b)可以看出,试验钢经过二次平整后,伸长率下降也非常明显,达到 8 个百分点,屈服比提高至 0.85。二次平整工艺对试验高强钢综合力学性能的影响更加明显。

传统加工硬化理论认为,变形会增加材料中的位错密度,从而提高材料的变形抗力。在两次平整过程中,高强钢仍处于应变硬化阶段,并且表面受到的加工硬化最大,因此对抗拉强度影响很小^[4-6]。这显然也是试验高强钢随着平整次数的增加,屈服比不断提高的原因。另一方面,在平整后,屈服强度不断增加、抗拉强度基本保持不变的情况下,对于未经平整高强钢来说,其应变硬化速率随真应变的增加持续下降,可以产生连续的应变硬化^[7-8]。

通过以上分析可以看出,试验高强钢在三段冷却工艺下,中间温度由 670 °C 降至 580 °C 时,屈服强度提高 43 MPa,而抗拉强度基本保持不变,伸长率降低 3 个百分点。卷取温度由 150 °C 提高至 250 °C 时,高强钢屈服强度、抗拉强度、伸长率基本保持不变。1#高强钢在采用一次平整工艺时,试验高强钢屈服强度提高 20 MPa 以上,而抗拉强度变化不大,伸长率下降 3 个百分点,而二次平整后屈服强度提

强度提高 18 MPa,伸长率下降 3 个百分点,屈服比提高 0.03。平整工艺对提高试验钢屈服强度作用比较明显,而抗拉强度变化不大,但伸长率下降也很明显。

对 1#高强钢在一次平整基础上进行二次平整试验,二次平整(平整轧制力为 300 t)后的力学性能如图 2 所示。

高 101 MPa,抗拉强度提高 32 MPa,但伸长率下降达到 8 个百分点,虽然强度改善效果明显,但塑性下降也非常明显,反而不利于改善综合性能。

3 结论

(1) 试验高强钢在终轧温度 870 °C,中间温度 580 °C,空冷时间 7 s,卷取温度 150 °C 时,屈服强度 600 MPa,抗拉强度 786 MPa,伸长率 21%,屈服比 0.76,可以获得最佳的力学性能匹配。

(2) 试验钢采用平整轧制力 300 t 一次平整工艺,可以适当提高屈服强度和抗拉强度,即可获得较好的强度改善效果。

参考文献

- [1] 黄庆渊, 颜鸿威, 潘永村, 等. 纳米级析出物强化热轧汽车用钢开发[J]. 矿冶, 2010, 53(4): 45-60.
- [2] 李杏娥, 赵志毅, 薛润东, 等. Ti 在热轧高强带钢中的析出相与性能关系的研究[J]. 钢铁, 2008, 43(6): 70-73.
- [3] 曾斌, 孙新军, 李昭东, 等. 700 MPa 级钢显微组织对力学与使用性能的影响[J]. 热加工工艺, 2015, 44(14): 149-153.
- [4] 朱晓东, 俞宁峰. 平整对微 Ti 处理各向同性钢板的力学性能的影响[J]. 钢铁, 2004, 39(11): 57-59.
- [5] 唐获, 田德新. 退火温度及平整量对 O3Al 钢板组织性能的影响[J]. 钢铁, 1999, 34(3): 47-51.
- [6] 刘华赛, 邝霜, 常安, 等. 平整工艺对冷轧 780MPa 级双相钢力学性能的影响[J]. 中国冶金, 2015, 25(6): 13-16.
- [7] 许云波, 侯自勇, 陈礼清, 等. 1000MPa 级经济型高韧性工程机械用钢的研究开发[J]. 中国冶金, 2013, 23(4): 27-30.
- [8] 王豫, 斯松华. 高锰钢加工硬化规律和机理研究[J]. 钢铁, 2001, 36(10): 54-56.