

控轧控冷对低碳C-Mn-Nb钢力学性能的影响

孙 岭, 孙传水

(济南钢铁集团总公司, 山东 济南 250101)

摘要: 通过改变终轧温度及轧后冷却速度, 研究了终轧温度及轧后冷却速度对低碳C-Mn-Nb钢的力学性能(σ_s 、 σ_b 、 δ_5)的影响, 研究表明: 对控轧低碳C-Mn-Nb钢的力学性能的影响主要决定于钢的碳当量; 随轧后冷却速度的提高, σ_s 、 σ_b 提高, δ_5 降低。

关键词: 低碳C-Mn-Nb钢; 力学性能; 控轧控冷; 碳当量

中图分类号: TG335 文献标识码: B 文章编号: 1004-4620(2003)01-0043-03

Influences of Controlled Rolling and Controlled Cooling on
Mechanical Property of Low-carbon C-Mn-Nb Steel

SUN Ling, SUN Chuan-shui

(Jinan Iron and Steel Group, Jinan 250101, China)

Abstract: Analyses the influences of finishing temperature and delivery cooling rate on mechanical properties (σ_s 、 σ_b 、 δ_5) of low-carbon C-Mn-Nb steel by changing finishing temperature and delivery cooling rate. The results show that the mechanical properties of controlled rolled low-carbon C-Mn-Nb steel are mainly decided on the carbon equivalent; the σ_s 、 σ_b will increase while δ_5 will decrease with the increasing of the delivery cooling rate.

Key words: low-carbon C-Mn-Nb steel; mechanical property; controlled rolling and controlled cooling; carbon equivalent

济南钢铁集团总公司(简称济钢)在研制09MnNb钢的基础上, 利用微合金化和控轧控冷工艺, 进一步研究了控轧控冷工艺对低碳C-Mn-Nb钢的力学性能的影响, 以期为研制新型舰艇钢提供生产指导。

1 试验材料

用感应电炉冶炼9炉09MnNb~16MnNb钢, 其化学成分见表1。不计Nb的碳当量, 各项力学性能的碳当量公式^[1]如下:

$$Ceq(\sigma_s) = C\% + 0.154Si\% + 0.238Mn\% + 0.257Cu\% + 0.765S\% \quad (1)$$

$$Ceq(\sigma_b) = C\% + 0.127Si\% + 0.126Mn\% + 0.084Cu\% \quad (2)$$

$$Ceq(\delta_5) = C\% + 0.228Si\% + 0.198Mn\% - 1.24P\% + 1.22S\% \quad (3)$$

根据表1的化学成分按公式(1)~(3)计算各炉钢的碳当量, 结果见表2。

表1 化学成分%

序号	C	Si	Mn	P	S	Cu	RE	Al	Nb	Ti
----	---	----	----	---	---	----	----	----	----	----

1	0.150	0.340	1.47	0.0240	0.0150	0.087	0.0505	0.1030	0.001	0.0890
2	0.150	0.480	1.40	0.0255	0.0170	0.156	0.0590	0.0970	0.015	0.0035
3	0.150	0.310	1.61	0.0310	0.0275	0.261	0.0620	0.0825	0.070	0.0260
4	0.070	0.300	1.26	0.0235	0.0180	0.210	0.0510	0.0810	0.028	0.0275
5	0.050	0.210	1.23	0.0230	0.0230	0.390	0.0430	0.0865	0.034	0.0095
6	0.110	0.295	1.23	0.0250	0.0240	0.146	0.0440	0.0415	0.020	0.0040
7	0.100	0.260	1.51	0.0260	0.0275	0.410	0.0640	0.0795	0.029	0.0195
8	0.105	0.340	1.41	0.0270	0.0200	0.278	0.0405	0.0840	0.021	0.0115
9	0.150	0.500	1.48	0.0320	0.0300	0.109	0.0580	0.1080	0.002	0.0300

表2 碳当量%

序 号	Ceq(σ_s)	Ceq(σ_b)	Ceq(δ_5)
1	0.59	0.390	0.51
2	0.61	0.400	0.53
3	0.67	0.414	0.54
4	0.48	0.285	0.38
5	0.49	0.264	0.34
6	0.51	0.315	0.42
7	0.63	0.358	0.46
8	0.58	0.349	0.45
9	0.63	0.409	0.55

2 轧制工艺

钢板经1180℃加热，保温82min后开始轧制，为减小时间延长对奥氏体晶粒大小和Nb(C, N)固溶量的影响，控制炉温在1130~1180℃之间，依轧制前后次序不同，保温时间在82~162min之间。轧制工艺如下：在1000~1150℃奥氏体再结晶区轧3道，其道次压下率分别为14.3%、14.0%、19.4%；在约900~1000℃之间待温，在900℃以下奥氏体未结晶区轧3道，其道次压下率分别为26.0%、18.9%、20.0%。本试验主要研究终轧温度及轧后冷却速度对低碳C-Mn-Nb钢板力学性能的影响。因此，控轧工艺不同主要表现为终轧温度不同及轧后冷却速度不同。

共设计了五种控轧控冷工艺，其中1~3号按第一种控轧控冷工艺轧制，1~6号按第二种控轧控冷工艺轧制，1~9号均分别按第三~五种控轧控冷工艺轧制。五种控轧工艺如下：

(1) 第一种：在810~830℃终轧，轧后以15.0~18.6℃/s的速度控冷，终冷温度为610~620℃，控冷终止后空冷至室温。

(2) 第二种：在810~830℃终轧，轧后以7.5~12.2℃/s的速度控冷，终冷温度为600~640℃，控冷终止后空冷至室温。

(3) 第三种：在($\gamma+\alpha$)两相区终轧，终轧温度为750~760℃，轧后空冷，冷速为0.83~2.31℃/s。

(4) 第四种：在奥氏体未再结晶区终轧，终轧温度为800~810℃，轧后空冷，冷速为0.71~2.50℃/s。但其中5号的终轧温度为720℃，轧后冷速为0.83~2.31℃/s，属于($\alpha+P$)相区终轧的低温轧制。

(5) 第五种：在奥氏体未再结晶区终轧，终轧温度830~850℃，轧后空冷，冷速1.43~2.50℃/s。

3 终轧温度对拉伸性能的影响

3.1 终轧温度对 σ_s 的影响

图1为 σ_s 与终轧温度的关系曲线。由图1可以看出，终轧温度对不同碳当量的低碳C-Mn-Nb钢的 σ_s 有不同的影响：

(1) 终轧温度从830~860℃降低到800~820℃，对 σ_s 的影响不大，只是6号的 σ_s 略降，而1号、3号的 σ_s 略升，其它的 σ_s 几乎不变化。这是因为在奥氏体未再结晶区终轧，只影响铁素体晶粒尺寸大小，并不能产生位错亚结构强化和织构强化。由于在奥氏体未再结晶区终轧温度变化较小，铁素体晶粒尺寸变化较小，因此终轧温度变化引起的 σ_s 变化也较小。

(2) 终轧温度从800~810℃降低到750~760℃时，1~9号的 σ_s 都提高了10~25MPa。这一 σ_s 的增量主要是由于织构强化引起的，而此时晶粒细化强化和沉淀强化并没有变化，也并不产生位错亚结构强化^[2]。

(3) 终轧温度从750℃降低到720℃时，5号的 σ_s 提高了30MPa，这是由于织构强化程度增大，并产生位错亚结构强化^[2]。

从图1中还可看出，不同碳当量钢的 σ_s 曲线位置不同，随 $C_{eq}(\sigma_s)$ 的增加而提高。4号和6号的 $C_{eq}(\sigma_s)$ 几乎相等，所以它们的 σ_s 曲线位置也几乎重合；2号、3号的 $C_{eq}(\sigma_s)$ 是两图中最高的，所以其 σ_s 曲线位置也在最上面。不含Nb的9号尽管其碳当量较高，但由于没有沉淀强化而使 σ_s 曲线处于较低的位置；而虽不含Nb但含有0.089%Ti的1号的 σ_s 曲线处于较高位置，这是由于Ti含量较高产生了沉淀强化。

决定于钢基本成分的 $C_{eq}(\sigma_s)$ 的变化，远远超过终轧温度变化引起的 σ_s 变化。这表明，要想大幅度提高钢的 σ_s ，一方面要尽量利用控轧控冷和沉淀强化，另一方面要通过提高基本成分的碳当量，两方面需有机地结合。

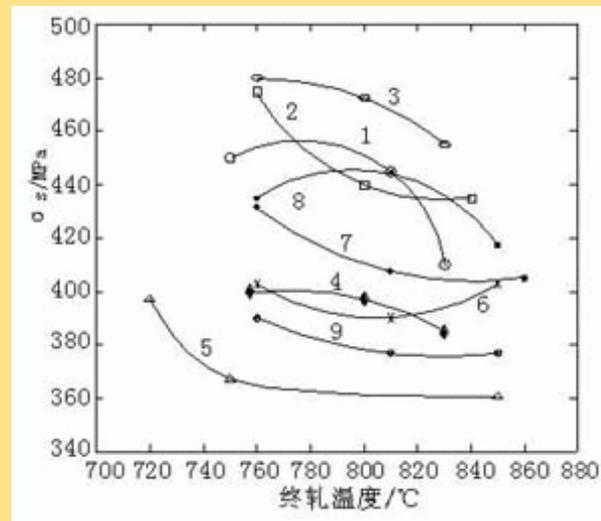


图1 σ_s 与终轧温度之间的关系

3.2 终轧温度对 σ_b 的影响

图2为 σ_b 与终轧温度之间的关系曲线。由图2可以看出，终轧温度对 σ_b 的影响很小。仅5号终轧温度从750℃降低到720℃时，可使 σ_b 提高约20MPa。除不含Nb的1号、9号外，其它控轧后的 σ_b 皆随着 $C_{eq}(\sigma_b)$ 的增加而增加。这一结果表明，欲提高控轧低碳C-Mn-Nb钢的 σ_b 必须提高其基本成分的 $C_{eq}(\sigma_b)$ 。

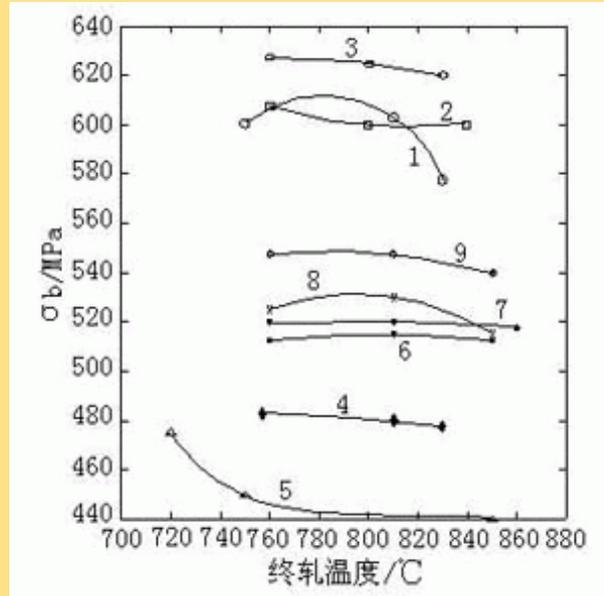


图2 σ_b 与终轧温度之间的关系

3.3 终轧温度对 δ_5 的影响

图3为 δ_5 与终轧温度之间的关系曲线。由图3可见，终轧温度从850~860°C降低到800~810°C时， δ_5 变化不大；而终轧温度从800~810°C降低到750~760°C时，各号的 δ_5 均有所降低，不含Nb的9号降得最多，约降低5%。7、8、9号的 $C_{eq}(\delta_5)$ 是递减的，其曲线是递增的。这表明， δ_5 主要决定于基本成分的 $C_{eq}(\delta_5)$ ， $C_{eq}(\delta_5)$ 越低，则 δ_5 越高。

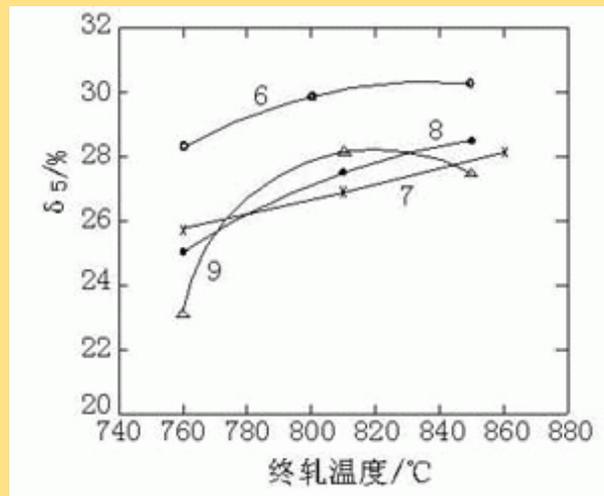


图3 δ_5 与终轧温度之间的关系

综上所述，终轧温度在奥氏体未再结晶区内变化对 σ_s 、 σ_b 、 δ_5 都影响不大；终轧温度降低到 $(\gamma+\alpha)$ 两相区时， σ_s 略提高， δ_5 略降低，而对 σ_b 则影响不大。终轧温度变化引起的 σ_s 、 σ_b 、 δ_5 变化，要比碳当量的变化引起的 σ_s 、 σ_b 、 δ_5 变化小得多。

4 控冷冷却速度对拉伸性能的影响

4.1 控冷冷却速度对 σ_s 的影响

控冷冷却速度对2、3、6号的 σ_s 、 σ_b 的影响如图4所示。这3炉钢的 σ_s 都随冷却速度增加而提高；低碳当量的6号的 σ_s 比高碳当量的2、3号的 σ_s 增加得更多。

4.2 控冷冷却速度对 σ_b 的影响

由图4可见，对不同的钢，冷却速度对 σ_b 的影响是不同的。冷却速度对于3号的 σ_b 几乎没有影响；对于2号的 σ_b 先降后升；对于6号的 σ_b 随冷却速度的增加而急剧提高。

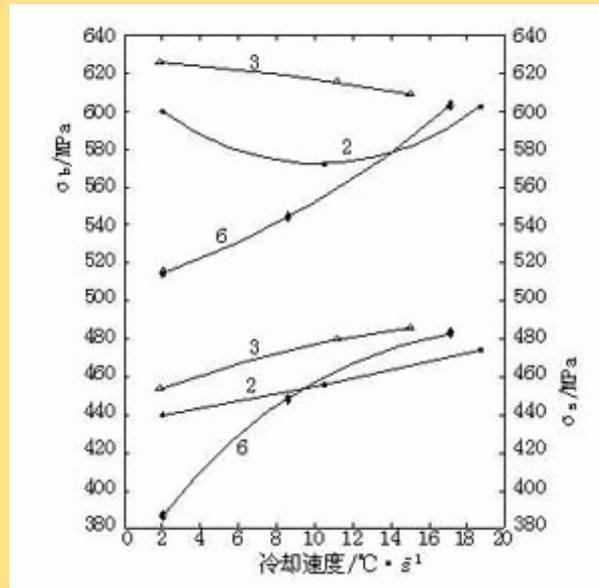


图4 控轧2、3、6号钢的 δ_5 与控冷冷却速度之间的关系

4.3 控冷冷却速度对 δ_5 的影响

控冷冷却速度对2、3、6号 δ_5 的影响如图5所示。由图5可见，控冷冷却速度对不同成分钢的 δ_5 的影响是不同的，2号的 δ_5 几乎不随冷速而变；3号的 δ_5 随冷速增加先降后升，6号的 δ_5 随冷速增加而急剧降低。

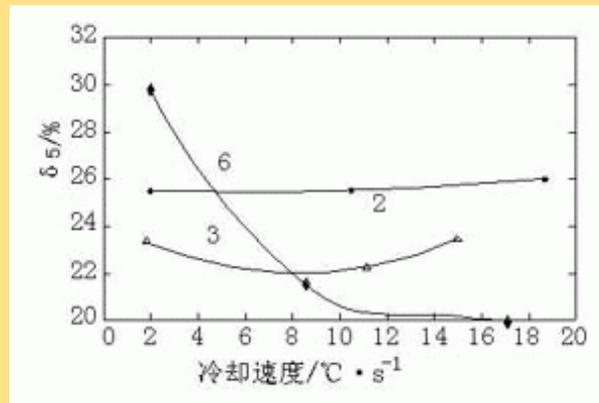


图5 控轧2、3、6号钢的 σ_s 、 σ_b 与控冷冷却速度之间的关系

综上所述，控冷冷却速度对2、3号的 σ_s 、 σ_b 的影响较小，对其 δ_5 的影响也较小；而控冷冷却速度对6号的 σ_s 、 σ_b 的影响较大，对其 δ_5 的影响也很大，亦即冷却速度增加使 σ_s 、 σ_b 急剧提高，同时也使 δ_5 急剧降低。

5 结论

5.1 终轧温度从840~860℃降低到800~820℃，对控轧低碳C-Mn-Nb钢的 σ_s 影响不大，而终轧温度从800~820℃降低到750~760℃，可使不同碳当量的钢的 σ_s 都有所提高，一般提高10~20MPa。控轧低碳C-Mn-Nb钢的 σ_s 主要决定于钢的碳当量 C_{eq} (σ_s)。

5.2 终轧温度从840~860℃降低到750~760℃，对控轧低碳C-Mn-Nb钢的 σ_b 的影响很小。其控轧后的 σ_b 主要决定于钢的碳当量 C_{eq} (σ_b)。

5.3 终轧温度从840~860℃降低到800~810℃，几乎不影响控轧低碳C-Mn-Nb钢的 δ_5 ，而终轧温度从800~

810℃降低到750~760℃，使不同碳当量的钢的 δ_5 都有所降低。控轧低碳C-Mn-Nb钢的 δ_5 主要决定于钢的碳当量 $C_{eq}(\delta_5)$ 。

5.4 控冷冷却速度对 δ_5 的影响，对于不同成分的钢是不同的，并与其强化效果有关；冷却速度提高， σ_s 、 σ_b 提高得越多，则它使 δ_5 降低得越多。

[返回上页](#)