钢筋轧后控制冷却实践*

钟维淳　吴亚渊

（攀枝花钢铁研究院）

本文简要叙述钢筋轧后控制冷却工艺和冷却器的设计；分析了水的流量、冷却器进出口水压力之比以及终轧温度等因素对冷却效率的影响，提出了影响B_3Fφ22mm圆钢σ_s，σ_b值的主要因素是水的流量，影响δ_5的主要因素是终轧温度，仅采用一节冷却器就可使σ_s提高1.7～4.7kg/mm²，塑性指标保持不降。

一、概　述

钢筋轧后，冷却速度和冷却方式对钢筋机械性能有着重要影响。通过控制冷却，可以细化晶粒，控制珠光体的形貌、分布及尺寸，提高钢筋的机械性能，减少氧化铁皮，改善表面质量及通条均质性等。

利用目前国内外在钢筋控冷方面的研究成果，结合攀钢小轧厂的具体情况，我们研究了钢筋轧后控制冷却工艺参数对钢筋组织、性能的影响，并自行设计了冷却器，测定了冷却器的冷却强度和效率。

二、试验条件

试验是在攀钢小轧厂φ450/φ250mm横列式轧机上进行的。如图1所示，有连续式燃煤加热炉一座，端装料，侧出料。第一列φ450mm荒轧机两架（目前只用一架），第二列φ250mm轧机五架，集体传动，轧制速度为3.06m/s，φ250mm轧机二、三架间穿梭轧制，人工夹钳操作。轧机后有斜辊式冷床一台，冷床后有一台成品剪机。

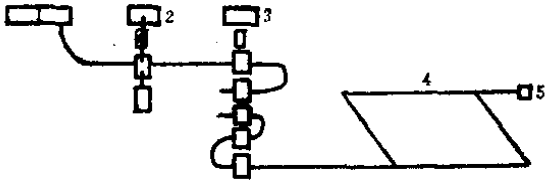


图1　车间主要设备及平面布置

1—加热炉，2—φ450mm轧机，3—φ250mm轧机，4—冷床，5—剪机

该厂主要生产φ18—28mm的B_3F，A_3F圆钢，并生产少量A_5，16Mn，20MnSi，25MnSiφ18—25mm螺纹钢筋。由于条件所限，本试验只随生产进行了B_3F钢筋的轧后控制冷却试验。

试验用稍加沉淀的金沙江水。试验时，喷头上水压为0.5～1.3kg/cm²，一般在1.0kg/cm²以下（因现场条件所限，水压无法提高）。

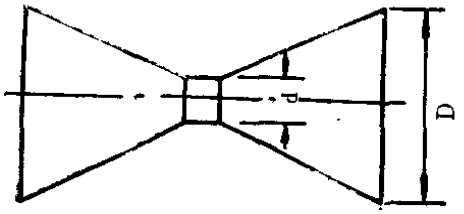
三、冷却器的结构及试验情况

1.冷却器结构

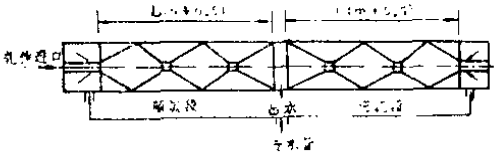
目前国内外所采用的冷却器结构型式是多种多样的，有单层管冷却器、双层管冷却器、层流冷却器、湍流冷却器、定向

*本试验有攀研院轧钢室控轧组和攀钢小轧厂技术科的同志参加

环形喷射式冷却器等。根据攀钢小轧厂的情况，确定采用湍流式冷却器，轴向两端进水，中间出水，如图2所示。



a冷却管单元示意图



b.冷却管组装示意图

图2 湍流式冷却器简图

该冷却器的特点是：

（1）冷却水在变断面的冷却器内形成湍流，使钢材从冷却器中穿过时，冷却水流多次撞击钢材表面，冲击表面蒸汽膜，充分进行热交换，达到提高冷却效果的目的。

（2）采用轴向两端进水中间出水的供水方式。因轴向两端进水时，水流循环较快，水流直接冲击钢材表面，形成较大的冲击力，有利于钢材冷却；两端进水中间出水可使冷却器钢材入口和出口处造成负压，防止钢材通过时带走冷却水，改善冷却效果。

2.冷却器安装及数据测量点(如图3所示)

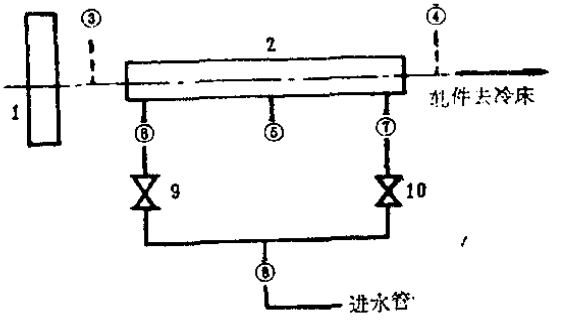


图3 冷却器安装及数据测量点

1—成品机架 2—冷却器 3，4—WDH—1型测温仪 5—水银温度计 6，7—Y_{60}水压表 8—总流量表 9，10—水阀

3.检测项目及仪器

终轧温度（进湍流式冷却器前轧件温度）和冷却后的轧件温度用WDH—1型光电温度仪测量，并自动记录。

水温：用水银温度计测量

水流量：用LXS—80流量表测量

4.试验方案设计

为了从控制冷却工艺的角度来提高钢材的机械性能，选择了水流量、钢材终轧温度、冷却器轧件进出口处水压力之比这三个影响机械性能较大的因素来进行试验，每个因素确定三个水平，故采用“正交试验设计方法”，选用正交表$L_9(3^4)$按排了9次试验，把A，B，C因素分别安排在正交表1,2,4列上，就可比较全面地研究冷却工艺参数对机械性能的影响，见表1。

因素与水平 表1

因素 \ 水平	1	2	3
A.水流量	57.48～63.43 60.20	55.00～64.50 61.00	63.00～72.00 69.90
B.钢材终轧温度	1034～1067 1050	1005～1018 1011	970～998 981
C.轧件进出口处水压力之比	1:1	1:0.5	1:2.0

注：分子/分母 = 实际测量值范围 / 平均值

每组试验轧制10根，抽取其中3根的头、中、尾试样，分别做拉伸、冲击、冷弯等机械性能试验。试验结果列于表2。

$B_3F\phi22mm$圆钢控制冷却后试验结果　　表2

试验号	试验方案 A	B	C	冷却后钢材温度 ℃	冷却后水温 ℃	温降 ℃	机械性能 σ_s kg/mm²	σ_b kg/mm²	δ_5 %	ψ %	a_k	冷弯 d=a 180°
1	1	1	1	832	44	218	27.86	42.0	32.7	65.0	14.4	良好
2	1	2	2	5780	44	225	27.06	39.5	39.6	67.0	15.0	良好
3	1	3	3	737	42	261	26.0	40.5	39.0	63.0	19.7	良好
4	2	1	3	925	36	142	26.5	40.7	38.9	64.6	16.6	良好
5	2	2	1	774	36	244	26.2	39.8	39.5	66.9	18.0	良好
6	2	3	2		43		29.0	41.4	38.6	63.4	20.4	良好
7	3	1	2	808	40	226	27.4	43.6	33.3	61.2	16.8	良好
8	3	2	3	773	40	238	28.4	44.3	35.9	62.2	14.1	良好
9	3	3	1	714	—	256	28.8	40.9	39.6	67.8	17.4	良好
10	未控制冷却的B_3F			—	—	—	24.3	39.4	39.2	65.8	18.4	良好

注：冷却水的入口温度为19℃

四、试验结果分析

1.从表2所示的试验结果可以看出，在塑性指标变化不大的情况下，本试验钢的$\sigma_s=26\sim29kg/mm^2$，比未控冷的B_3F钢提高了$1.7\sim4.7kg/mm^2$，$\sigma_b=39.5\sim44.3kg/mm^2$，比未控冷的$B_3F$钢有一定的提高。

2.为了反映出各种因素的内在联系，对试验结果进行了“正交直观处理”，“极差”计算结果分别列于表3，4，5。

表中K_1，K_2，K_3为因素的同水平指标；$\overline{K}_1$，$\overline{K}_2$，$\overline{K}_3$为综合平均值；R为极差。把上述结果中同因素的综合平均值按水平作曲线，见图4。

B_3F控冷后σ_s的正交计算（综合评分法）　　表3

	A	B	C
K_1	80.92	81.76	82.86
K_2	81.70	81.66	83.46
K_3	84.60	83.80	80.90
$\overline{K}_1$	26.97	27.25	27.62
$\overline{K}_2$	27.23	27.22	27.82
$\overline{K}_3$	28.20	27.93	26.97
R	1.23	0.77	0.85

$R_A>R_C>R_B$

B_3F控冷后σ_b的正交计算（综合评分法）　　表4

	A	B	C
K_1	122.00	126.30	122.70
K_2	121.90	123.60	124.50
K_3	128.60	122.80	125.50
$\overline{K}_1$	40.67	42.10	40.90
$\overline{K}_2$	40.63	41.20	41.50
$\overline{K}_3$	42.93	40.93	41.83
R	2.30	1.17	0.93

$R_A>R_B>R_C$

B_3F控冷后δ_5的正交计算 表5

	A	B	C
K_1	111.30	104.90	111.08
K_2	117.00	115.00	111.50
K_3	108.80	117.20	113.80
$\bar{K}_1$	37.10	34.97	37.27
$\bar{K}_2$	39.00	38.33	37.17
$\bar{K}_3$	36.27	39.06	37.93
R	2.73	4.10	0.76

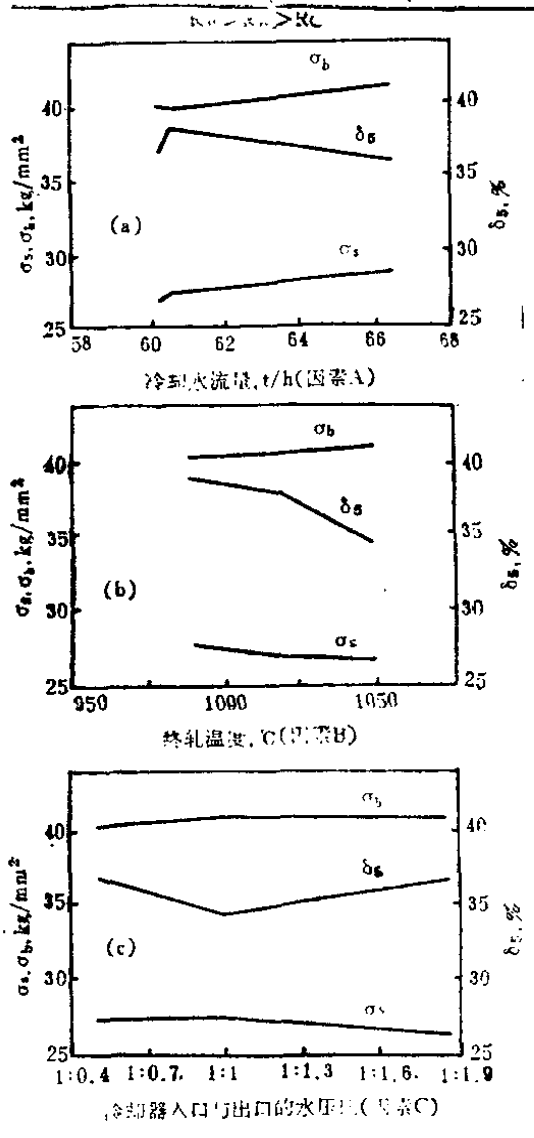
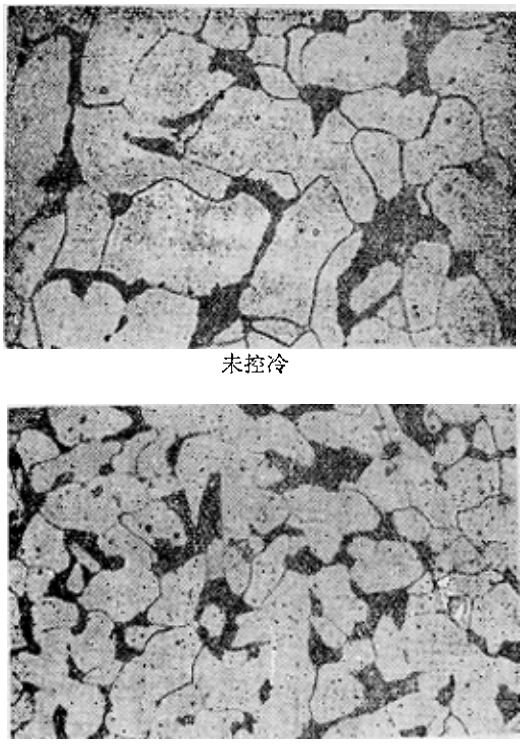


图4 (a) 冷却水流量（因素A）对σ_s, σ_b, δ_5的影响；(b) 终轧温度（因素B）对σ_s, σ_b, δ_5的影响；(c) 冷却器入口与出口的水压比（因素C）对σ_s, σ_b, δ_5的影响

从表3，4，5中所示的极差R和综合平均值曲线可以看出，控冷时影响B_3F ϕ22mm圆钢σ_s, σ_b的主要因素是冷却水的流量。水流量增大，σ_s, σ_b增加。对δ_5的影响因素主要是终轧温度。终轧温度提高，δ_5下降，但都高于标准要求。

3.图5为采用控冷和未控冷的B_3F ϕ22mm圆钢的金相组织。从图中可以看出，控冷后可以得到较细的珠光体+铁素体组织，晶粒度为9～10级。比未控冷的B_3F钢的晶粒度级别提高1～2级。



未控冷

经过控冷

图5 $B_3F\phi$22mm圆钢的晶粒度 400×

4.根据实测数据（见表2），钢材通过冷却器的平均温降为226.25℃。记录数据波动较大，其原因大致有二：（1）轧件表面氧化铁皮的影响；（2）轧件断面小，而且在冷却器后跳动幅度较大，因而测温仪的探头有时偏离轧件。

实测冷却器的进水温度为19℃，出水

（紧转第62页）

〔6〕 Engell,H. T., Stahl und Eisen, 94 (1974), 1085, 1161
〔7〕 Schmalzried,H., Elektrochem. Z., 66 (1962), 572
〔8〕 Swinkels,D. A. J., J. Electrochem. Soc. 117 (1970), 1267
〔9〕 Janke,D. und Fischer,W.A., Arch. Eisenhüttenwes, 46 (1975), 477, 755
〔10〕 Goto,K. S., Trans. ISIJ, 16 (1976), 469
〔11〕 李福燊、刘庆国，北京钢铁学院学报，2 (1982)，80
〔12〕 后藤和弘，金属，53，1 (1983)，33
〔13〕 Pluschkell,W., Stahl und Eisen, 99 (1979), 404
〔14〕 Suzuki,K., Ejima,A.,Kato,M. and Sanbongi,K., Trans. ISIJ, 17 (1977), 477
〔15〕 Saeki,T., Nisugi,T., Ishikura,K., Igaki,Y. and Hiromoto,T., Trans. ISIJ, 18 (1978), 501
〔16〕 柯玲、王安举、雷凤林、孙振江、林跃皆、王学义，钢铁，18，7 (1983)，23
〔17〕 杨福伦、项守文，鞍钢技术，7 (1983)，13
〔18〕 古隆建、李继庆、袁克珍，120tLD转炉(C)—(O)曲线测定（待发表）
〔19〕 Carlens,J. P., Practical Application of the Oxygen Activity Measurement by Means of the "Celox II" Oxygen Cell, Electro—Nite Publication, 1977
〔20〕 后藤和弘，电气化学および工业物理化学，50 (1982)，54
〔21〕 Schäfer,K., Stahl und Eisen, 99 (1979), 412
〔22〕 Richard,C., The Control of Rimming Steel from Measurements of Oxygen Activity in the Converter and Steel Ladle, Electro—Nite Publication, 1977
〔23〕 Niiles,P., Defays,J., Curé,O. und Surinx,H., Stahl und Eisen, 97 (1977), 892
〔24〕 Kawakami,M., Goto,K. S. and Matsuoka,M., Met. Trans 11B (1980), 463
〔25〕 永田和宏、中西恭二、数土文夫、后藤和弘，铁と钢，68 (1982)，277
〔26〕 雀部实、酒井弘一，铁と钢，68 (1982) S930
〔27〕 広本健、佐伯毅、井垣至弘、二杉惠造、石仓胜彦，铁と钢，63 (1977)，2326
〔28〕 Sheveikin,S. M., Kamaev,B. A., Bakhcheev,N. F., Zakharov,G P. and Kovylin,V. A., Steel in the USSR, 3 (1973), 905
〔29〕 永田和宏、后藤和弘，铁と钢，67 (1981)，1899
〔30〕 Janke,D., Arch. Eisenhüttenwes., 54 (1983), 259
〔31〕 成田贵一、尾上俊雄、江上明，铁と钢，66 (1980)，S907
〔32〕 古隆建、唐仲和，钢铁，195 (1984) 13
〔33〕 Fischer,W. A., Dören,H. und Janke,D., Arch. Eisenhüttenwes, 52 (1981), 91
〔34〕 Yanagisawa,O., Trans. JIM., 22 (1981), 882
〔35〕 Fischer,W. A., Janke,D. und Enoell,H. J., Arch. Eisenhüttenwes., 37 (1966), 853
〔36〕 Eckfeldt,E., L. and Tailor,R M., Metal—Slag—Gas Reactions and Processes, the Electrochem. Soc., New Jersy, 1975, p882
〔37〕 Gee,R. and Fray,D. J., Met. Trans., 9B (1978), 427
〔38〕 Coltters,R. G. and Belton,G. R., Met. Trans., 11B (1980), 525
〔39〕 Yonuo,D. D' and Elliott,J. F., J. Metals, 32 (1980), 24

（紧接第53页）

温度平均为41℃，温升为22℃，按热平衡计算温降为211.37℃，和实测数据相当吻合。

五、结　论

1.所设计的湍流式冷却器，其结构是合理的。一节冷却器可以使B_3Fφ22mm钢筋降温220℃左右，若水压能提高些，并采用多节冷却器可以满足钢筋冷却的要求。

2.采用轧后控制冷却工艺对提高钢材机械性能是一个有效的途径。就B_3F钢筋试验结果看，仅用一节冷却器，就可使σ_s提高1.7～4.7kg/mm^2，耗水量为60t/h左右，与国内同类水平相当。

3.对于攀钢棒线材生产来说，若能创造条件，推广应用轧后控冷技术，将会取得明显的经济效果。