

用轧后余热处理工艺生产K₃—II级钢筋工艺研究

张国华 何云雪

(天津市轧钢二厂)

一、前言

轧后余热处理钢筋,是利用钢筋热轧余热,在线对其进行热处理强化的一种热强化钢筋。它能显著地提高钢筋的强度。同时具有良好的塑韧性。它具有工艺简单、控制可靠及性能均匀等特点,因而这种钢筋得到广泛的重视。

K₃—II轧后余热处理钢筋,是利用普通碳素钢A₃采用轧后余热处理工艺生产的二级钢筋,以代替热轧20MnSi螺纹钢,达到节省锰铁、硅铁的目的,从而降低钢筋成本。这是符合我国国情的,便于推广的一种高效钢材,在我国具有广阔的前景。

二、基本原理

轧后余热处理工艺是利用钢筋轧后余热,在线进行快速冷却,然后再利用钢筋芯部热量返回自行回火的工艺过程。

该工艺包括以下三个阶段:

第一阶段:钢筋表面淬火阶段——在线钢筋进入高效冷却装置接受强烈的冷却,使钢筋表面发生奥氏体向马氏体的转变,此时芯部仍处于奥氏状态。表面马氏体层的深度取决于强烈冷却的持续时间。

第二阶段:自回火阶段——被强烈冷却的钢筋,在截面上存在着很大的温度梯度,芯部温度开始向外扩散,导致表面已经形成的马氏体进行自回火。根据不同的自回火温

度(T_自)转变成回火马氏体或回火索氏体,临近表层的奥氏体根据钢的成分和冷却条件转变为贝氏体、屈氏体或索氏体,而芯部仍保留奥氏体状态。

第三阶段:芯部组织转变阶段——钢筋在冷床上冷却后,断面上的温度重新分布,使芯部的奥氏体发生等温转变,转变为铁素体和珠光体。

轧后余热处理工艺对钢筋性能主要影响因素是:第一阶段持续时间,钢的化学成份。

三、生产轧后余热处理钢筋的装备及工艺

1、工艺装备及特点

- ①、可移动的高效冷却装置三节;
- ②、在每节冷却装置后有移动式夹送辊共三台;
- ③、流量、压力、温度(终轧、自回火、水温)检测仪表一套;
- ④、微型计算机控制系统;
- ⑤、高压供水系统。

高效冷却装置是本工艺的核心。它有较高的冷却效率,每秒最大冷却能力为650°C,是由对称菱形管组成,采用双向对喷中间回水的结构,见图1。每节冷却器全长5.25m,共三节。因为冷却器是变截面湍流管,当高压水进入湍流管后,其雷诺数 $Re \geq 2300$ 产生紊流,水在管内激烈的搅动,迅速破坏钢筋在冷却器内表面形成的蒸汽膜,从而大大地提高了冷却效率,并能保证钢筋冷却均匀。

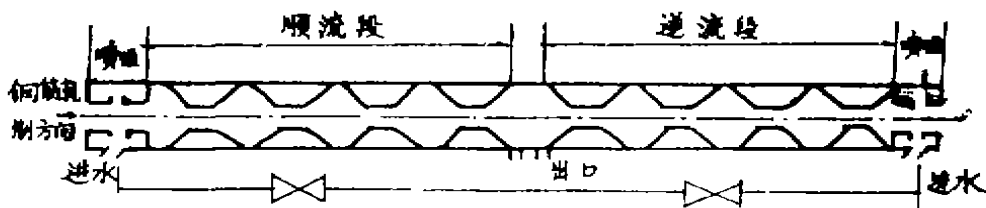


图1 冷却管结构示意图

在每节冷却器后面各有一台夹送辊牵引钢筋，从而能保证钢筋在通过冷却器时，每一截面的冷却时间基本不变，对提高钢筋的匀质性起着重要作用。

水压、流量、进水温度、终轧温度及自回火温度均有检测仪表检测并显示记录。冷却水由5台125D—3离心泵供给，循环使用。整个装置调整方便，操作灵活。

在轧钢生产过程中，轧制节奏的破坏和炉温的变化是经常发生的，因而钢筋的终轧温度也是经常变化的。不同炉批钢的化学成分波动也较大，其中含碳量的波动是影

响钢筋性能的重要因素。因此，为了保证钢筋有较好的匀质性能，采用了微型计算机自适应控制系统，设定含碳量和规格，对终轧温度实行前馈控制，自回火温度的反馈控制及数学模型的在线修定，来实现对水量的适时调节，从而使同批自回火温度的变化最小，整批匀质性最佳。

2、轧后余热处理工艺

工艺布置见图2。

工艺过程是： A_3 （或 A_{y_3} ） $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 热轧钢坯经加热后进入 $400\times 2/300\times 5$ 轧机，

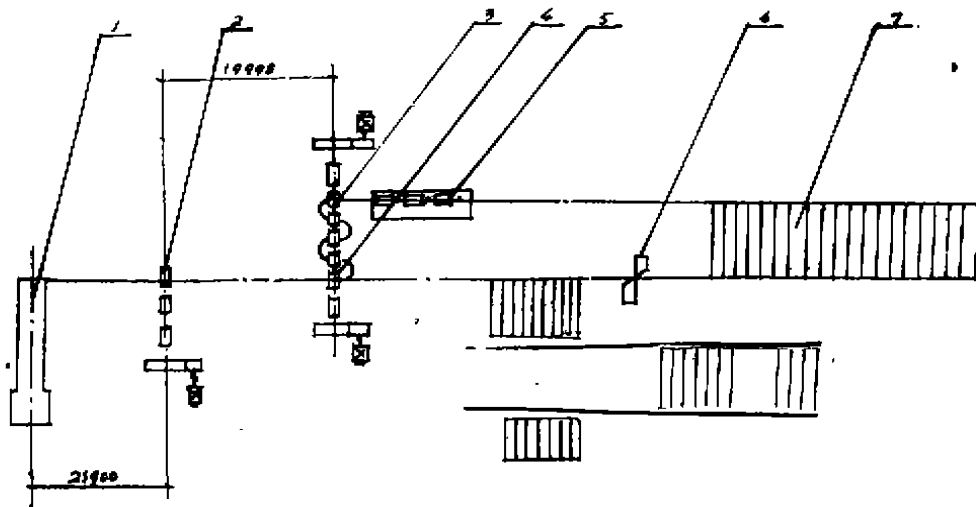


图2 车间工艺平面布置

- | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1、加热炉 | 2、 400×2 轧钢机 | 3、 300×2 轧钢机 |
| 4、 300×3 轧钢机 | 5、余热系统 | 6、250t冷剪 |
| 7、60m冷床 | | |

轧10道出16~28六种规格,轧8道出30~32两种规格,成品速度为4.6~5.62 m/s。轧件出轧机后,立即进入高效冷却装置强烈冷却,并经夹送辊拉出。钢筋的终轧温度和自回火温度由仪表直接显示,所需的水量、冷却时间等,根据强度要求及规格大小给定,并通过微机来微调。钢筋上冷床后继续空冷,经250吨剪剪成规定长度。全部生产过程除增加在线快速强烈冷却的轧后余热处理外,其余各工序及要求均同于热轧钢筋采用月牙型新外型,在生产组织上不存在困难,不限制轧机产量,工人容易掌握。

四、K₃—Ⅱ轧后余热处理钢筋主要性能及控制

1、K₃—Ⅱ级轧后余热处理钢筋的主要性能指标

①、原料的化学成分应符合表1的规定,其余应符合GB700—79的规定。

表1

牌 号	化 学 成 分 %				
	C	Mn	Si	S	P
K ₃ —Ⅱ	0.14~0.22	0.35~0.65	0.12~0.30	0.05	0.045

②、钢筋性能应符合表2的规定。

2、影响K₃—Ⅱ级钢筋强度性质的因素

①、自回火温度对钢筋性能的影响

自回火温度是轧后余热处理的最基本工艺参数。钢筋芯部热量传递到表面,芯表温度达到相同的温度称之为自回火温度(在自动记录纸上即为表面温度上升到最高值时的温度)。试验结果表明,它对抗张强度的影响较大,随着自回火温度的升高,强度下

表2

规格 d. mm	拉 伸 试 验			冷弯试验180度 d = 弯心直径 d = 公称直径	反弯试验, 正弯45度 反弯23度
	屈服点 MPa	抗拉强度 MPa	伸长率 %		
10—25	345 (35)	510 (52)	18	d = 3a	d = 4a
28—40	345 (35)	490 (50)	18	d = 4a	d = 5a

降,塑性提高,反之,则相反。强度的变化较塑性的变化大,见图3所示。回归分析表明,自火回温度每升高10°C,屈服强度和抗拉强度将分别降低约12.6MPa和12MPa,而伸长率将升高0.3%左右。由图3可知,K₃—Ⅱ级钢筋的自回火温度以500~600°C为宜,温度随规格的增大而提高。

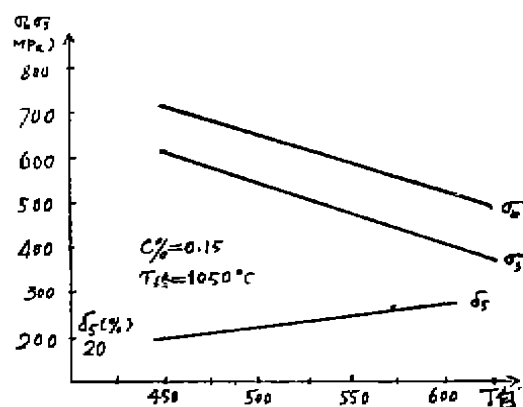


图3 自回火温度对性能的影响

②化学成分(C%)的影响

试验结果表明,化学成分(主要是C%)也是影响钢筋强度的重要因素,随含碳量的升高,强度提高,塑性下降,见图4。回归

分析表明,在同一工艺制度下,每升高一个碳(0.01%),屈服强度和抗拉强度分别升高约11MPa和11.3MPa。在同一工艺制度下,在钢3的含碳量范围内,屈服和抗拉强度将有90MPa左右的变化。因此,采用计算机控制系统,预先设定含碳量及规格,通过微机自适应系统的在线修正,从而可减少钢筋强度的波动范围。

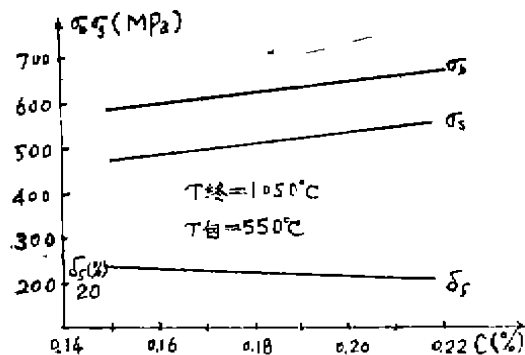


图4 含碳量对机械性能的影响(Φ25)

③终轧温度的影响

终轧温度的变化将影响自回火温度,即终轧温度升高,自回火温度也随之升高,从而引起力学性能的变化。由计算机实现终轧温度的前馈控制,可使自回火温度波动到最小,使钢筋的整批力学性能的波动也大大降低。

3、 K_s —Ⅱ级钢筋强度的控制

综上所述,影响 K_s —Ⅱ级钢筋机械性能的主要因素是含碳量和自回火温度(终轧温度的直接影响较小,它是通过影响自回火温度而影响强度的)。在生产过程中,对于每一炉原料,它的主要成分碳是固定的,可以通过微机系统来预先设定,从而减少了因含碳量的不同而引起的性能波动。自回火温度是影响钢筋性能的最主要因素,控制了自回火温度,就可以得到期望的强度值。对于轧后余热处理工艺,自回火温度也是诸冷却参数的综合表现。通过控制自回火温度,就可以控制钢筋的机械性能。

试验结果表明,自回火温度与终轧温度、

冷却水量、冷却时间和进水温度等因素有关。

①、冷却水总流量的影响

冷却水总流量是控制自回火温度的主要参数之一。在该冷却器中,冷却水流量增加,钢筋的冷却速度就增大,表现为自回火温度降低。对于Φ25螺纹钢筋,水流量每增加10t/h,自回火温度降低3°C左右(使用二节冷却器);对于Φ16螺纹钢筋(使用一节冷却器),水流量每增加10t/h,将使自回火温度降低10°C左右。在生产过程中,我们就是通过调节水量来控制自回火温度的,也就是通过调节水量来控制性能的。

②、冷却时间的影响

决定钢筋自回火温度的另一个因素是冷却时间,即第一阶段持续时间。随着冷却时间的延长,自回火温度降低。对该冷却器而言,冷却时间是不能连续变化的,它是以使用冷却器的节数周期性变化的。当使用一节冷却器时,它的冷却时间约1秒钟,此时可以通过调节水量来控制自回火温度(如Φ16钢筋)。当一节冷却器不能满足冷却要求时,就要使用两节或三节冷却器,即通过延长冷却时间来满足要求(如Φ25以上的螺纹钢筋)。试验结果表明,延长冷却时间后,可大大地提高冷却能力。在生产中要根据需要选择冷却器的节数,我厂生产Φ16螺纹钢筋用一节,Φ25用两节,Φ28用三节。

③、终轧温度的影响

终轧温度也是影响自回火温度的一个重要因素,并且是一个常变的因素。终轧温度升高,自回火温度也升高。从统计结果看,当冷却水总量不变时,终轧温度每升高50度,自回火温度随之升高30度左右,此时要靠增加水量来保持自回火温度不变。终轧温度每升高50度,大约需增加30t/h冷却水才能保持自回火温度不变(二节冷却器)。因此,在生产过程中,应保持终轧温度稳定,这样所得到的自回火温度也较容易稳定,钢筋的性能也就稳定。

④、进水温度的影响

轧后余热处理工艺所用的冷却水是循环使用的,在循环过程中,由于不断的热交换,水温逐渐升高,当其它条件不变时,自回火温度也逐渐升高,两者关系是进水温度每升高10度,自回火温度约升高15度。此时需增加46t/h左右的冷却水,才能保持自回火温度不变,钢筋的各项性能才能得到保证。所以在生产过程中要控制水温,增加循环水的散热速度或使用冷却塔等。

⑤、匀质性及其控制

(a) 整支匀质性

在生产中,任取一整支钢筋。并每隔1m切取一支抗张试样,拉伸测试结果表明,该钢筋的整支匀质性较好,与热轧钢筋相近。

(b) 批量匀质性

在生产中,选一炉钢筋,任取其中一批钢筋,每支切取一支试样,做拉伸试验,试验结果表明,钢筋的批量匀质性较好。利用批量生产试验的结果,进行整批匀质性统计,结果见表3。匀质性符合大生产要求。

表3

规格	数量	抗拉强度		屈服强度		伸长率(%)		强屈比	
(t)		X	S	X	S	X	S	X	S
16	900	591	16.6	497	17.4	23.3	2.57	1.19	0.02
25	3730	591	19.1	486	18.9	23.2	2.52	1.22	0.02
28	2250	592	16.9	477	15.7	21.4	2.21	1.24	0.03

(c) 钢筋匀质性的控制

终轧温度、钢筋含碳量是影响钢筋匀质性的因素。在生产过程中,通过微机系统对终轧温度实行前馈控制,对含碳量及规格预先设定来随机调节水量,以保证自回火温度稳定,是提高钢筋匀质性的措施。总之,不论其它因素如何变化,都必须保证

自回火温度在规定范围内,这样才能得到良好的匀质性。

4、我厂现行工艺参数

通过大生产检验,我厂用钢3采用轧后余热处理工艺生产Ⅱ级螺纹钢的工艺参数如下:

①终轧温度: $1050^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$

②进水温度 $\leq 40^{\circ}\text{C}$

③喷嘴前水压力 $\geq 1\text{MPa}$

④自回火温度范围及使用的冷却器节数(见表4)。

表4

规格(mm)	16	25	28
自回火温度($^{\circ}\text{C}$)	520~550	560~590	570~600
水量(t/)	80~120	220~280	300~370
冷却器节数	1	2	3

注:均以冷床实测温度为准。

按此工艺生产的K₃—Ⅱ钢筋结果见表3,可见钢筋性能良好,符合生产要求。

五、结 论

1、用钢3采用轧后余热处理工艺生产Ⅱ级螺纹钢,工艺简单,各项指标能够达到或者超过20MnSiⅡ级螺纹钢的现行标准要求,性能稳定,因此,可以代替20MnSiⅡ级钢筋使用。

2、自回火温度是该工艺的最基本参数,本工艺装置能够通过对水量的调节控制其变化,控制可靠。

3、该工艺有明显的经济效益,降低成本,节约合金元素。有明显的社会效益。