

# 莱钢宽厚板正火控冷工艺的开发与应用

高立福

(山钢股份莱芜分公司 宽厚板事业部, 山东 莱芜 271104)

**摘要:**莱钢宽厚板事业部通过开发正火控冷工艺,采用淬火机低压段冷却模式和正火炉后增加高密度层流装置两种方式,解决了正火后钢板强度低于标准下限或偏标准下限的问题,进一步提高了钢板的综合力学性能,屈服强度和抗拉强度均提高了20~50 MPa,断后伸长率和冲击韧性仍有足够的富余量。

**关键词:**宽厚板;正火控冷;综合力学性能

**中图分类号:** TG162.8<sup>3</sup>; TG156.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4620(2015)05-0010-02

## 1 前言

热处理是生产高性能和高附加值钢板的重要工序,不仅可以改进钢板的加工性能,而且能显著改善钢板的综合力学性能。其中,正火热处理是提高钢板韧性、改善钢板组织的重要工艺手段。宽厚板正火后通常采用常规空冷方式,钢板相变温度较高,相变后的铁素体晶粒粗大,导致钢板屈服强度大幅度降低,甚至达不到标准要求。

莱钢宽厚板事业部热处理车间为改善正火钢板的力学性能、提高合格率,通过控制正火后的冷却速度,降低钢板的相变温度,抑制微合金元素碳氮化物的长大,在不降低伸长率和冲击韧性的情况下,进一步提高屈服强度和抗拉强度,使钢板获得良好的综合力学性能<sup>[1]</sup>。

## 2 正火控冷工艺机理

### 2.1 常规正火的不足

将钢加热到超过临界点  $A_{c3}$ (或  $A_{cm}$ )以上某一温

度,保温一段时间后,可获得细小而均匀的奥氏体组织,随后选择不同的冷却方式和冷却速度进行冷却,得到的组织和性能有很大差异。而获得所需要的金相组织和力学性能,是钢板热处理的主要目的。传统意义上的正火工艺是将钢加热到  $A_{c3}$ (或  $A_{cm}$ )以上 30~50 °C,保温一定时间后,在静止空气中冷却的热处理工艺<sup>[1]</sup>。

莱钢宽厚板事业部在长期生产实践中发现,对于常规正火钢板,正火后空冷得到的钢板强度一般偏标准下限,对于因板形或性能不合需要进行挽救的钢板,正火后空冷得到的钢板强度一般低于标准要求。因板形或性能不合进行挽救的部分品种正火前后性能对比见表1。

由表1数据可知,经常规正火后的钢板,伸长率和冲击韧性有所提高,但钢板强度相应下降了30~50 MPa。针对这一问题,通过开发淬火机低压段冷却模式和正火炉后增加高密度层流装置两种方式,适度控制钢板正火后的冷却速度,以提高钢板强度,获得良好的综合力学性能。

表1 常规正火前后钢板性能对比

钢种	规格/mm	$R_m$ /MPa		$R_m$ /MPa		$A$ %		$A_{kv}$ /J	
		正火前	正火后	正火前	正火后	正火前	正火后	正火前	正火后
AH36	50	395	353	575	533	26	29.5	126	158
DH36	45	412	371	553	534	26	30.5	132	153
S275J0	25	330	304	513	481	29	31.0	121	145
S355J2	16	385	354	560	529	26	30.5	134	157
Q235B	35	269	214	462	421	23	28.0	175	183

### 2.2 正火冷却速度分析

对于加热后的钢板,通过不同的冷却方式进行冷却,可获得不同的金相组织,把钢的不同冷却速度  $V$ 表示在  $C$ 曲线上,如图1所示。

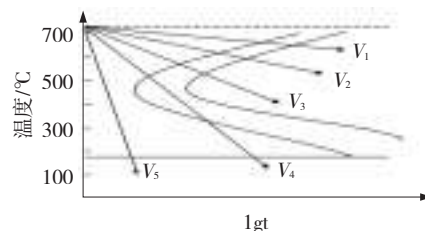


图1 奥氏体连续冷却转变曲线  
过冷奥氏体向珠光体转变温度的不同,原子的

收稿日期:2015-07-29

作者简介:高立福,男,1983年生,2008年毕业于山东科技大学金属材料工程专业。现为莱钢宽厚板事业部工程师,从事宽厚板新产品开发和工艺优化工作。

扩散能力存在差别,温度的提高有利于原子的扩散,形成了铁素体和渗碳体片,按片层的厚薄分为3种,即珠光体、细珠光体和极细珠光体。

从图1可以看出,冷却速度不同得到的组织不同,按 $V_1$ 速度冷却得到珠光体组织,按 $V_2$ 速度冷却得到细珠光体组织,按 $V_3$ 速度冷却得到极细珠光体组织,按 $V_4$ 速度冷却得到珠光体+马氏体组织,按 $V_5$ 速度冷却则得到马氏体组织。因此,在 $V_1 \sim V_3$ 区间内,冷却速度越快,越容易得到极细珠光体组织,则钢板应力相应增加,硬度增大,同时钢板强度提高约20~50 MPa。但冷却速度应低于 $V_4$ ,否则将得到贝氏体或马氏体组织,成为淬硬钢,导致硬度和强度大幅度增加,伸长率和冲击韧性大大降低<sup>[2]</sup>。

### 3 正火后控冷系统的开发

莱钢宽厚板事业部采用炉后水冷方式,将正火后钢板冷却速度控制在 $V_2 \sim V_4$ 之间,使钢板组织最大程度地向极细珠光体转化,钢板综合性能得到最大优化,以满足标准要求和客户需求。为有效控制钢板冷却速度,在1<sup>#</sup>热处理炉后利用现有淬火机开发低压段冷却模式,在2<sup>#</sup>正火炉后加装高密度层流冷却装置。

#### 3.1 淬火机低压段冷却模式的开发

在现有淬火机基础上,关闭冷却水高压段,将冷却效果集中在低压段。具体是将淬火机辊道速度控制在10~25 m/min,根据钢种、规格确定开启两个或4个低压段,调节低压段各区流量调节阀开口度范围在30%~50%之间,水比(上下开口度比值)控制在0.60~0.85之间,钢板冷却速度控制在8~10 °C/s。最终使钢板“返红”(由于心部温度高,表面温度有一定程度回升)温度达到600~650 °C后自然冷却。水冷提高了铁素体形核率,抑制了晶粒长大,达到细化晶粒的目的,提高正火钢板的强度。

该系统借助淬火机冷却模型,可在多批次低压段和大水量条件下进行正火后控冷,钢板整体水冷均匀性良好,冷却后板形良好,适用于≤80 mm规格低合金结构钢板的批量生产。

#### 3.2 正火炉后高密度层流装置的开发

在2<sup>#</sup>正火炉后加装高密度层流装置,根据不同钢种和厚度,在控制系统中设定好冷却工艺(水量、辊道速度、上下集管水比等),当正火炉炉口的热金属检测器检测到钢板后,冷却装置开启,钢板尾部进入控冷区后,逐渐关闭冷却器,直到本块钢板完全离开冷却区。

该系统尚未建立冷却模型,只能人工添加相应参数,冷却能力和冷却均匀性相对较差,只适用于≤

40 mm规格低合金结构钢板的批量生产。

### 4 正火控冷对钢板组织性能的影响

采用正火加控冷工艺前后的钢板性能对比见表2。

表2 采用正火控冷前后的钢板性能对比

钢种	规格/ mm	$R_m$ /MPa		$R_m$ /MPa		A/%		$A_{kv}$ /J	
		常规	控冷	常规	控冷	常规	控冷	常规	控冷
AH36	50	353	385	533	560	29.5	29.0	158	148
DH36	45	371	397	534	570	30.5	28.0	153	144
S275J0	25	304	335	481	521	31.0	26.5	145	150
S355J2	16	354	385	529	555	30.5	28.5	157	156
Q235B	35	214	265	421	455	28.0	24.0	183	176
SM490BN	80	370	395	507	542	31.5	29.0	185	173
S460N	60	472	495	552	586	27.5	27.0	152	146

由表2可看出,因板形或性能不合需要挽救的钢板以及部分正火钢板,常规正火后强度富余量不大,部分品种强度低于标准下限,正火控冷后;屈服强度和抗拉强度均提高了20~50 MPa,断后伸长率和冲击韧性仍有足够的富余量,综合力学性能优良。

80 mm规格SM490BN正火控冷后的组织见图2。可以看出,经正火控冷后钢板组织仍以铁素体+珠光体为主,内部组织得到进一步细化,晶粒更加细小均匀,整体带状组织不明显。

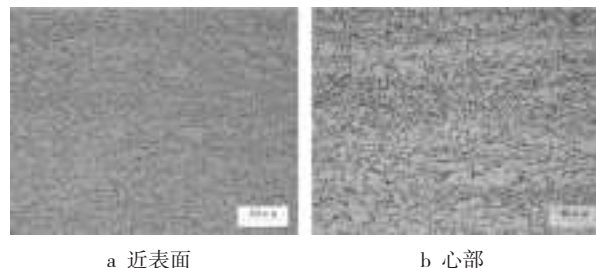


图2 80 mm规格SM490BN钢板正火后水冷组织

### 5 结 语

正火后控冷工艺可有效提高钢板正火后屈服强度和抗拉强度富余量,尤其是进一步提高因板形或性能不合需要正火挽救的钢板一次性能合格率。莱钢自应用该工艺以来,已累计生产各类钢板10万t以上,降低了合金成本,经济效益和社会效益明显。下一步应建立正火炉后高密度层流冷却模型,提高冷却能力和冷却均匀性,拓宽冷却规格范围,以便于生产组织。

#### 参考文献:

- [1] 何春雨. 中厚板正火控制冷却系统的设计与应用[J]. 金属热处理, 2008, 33(7): 86-89.
- [2] 王建华. 钢的常化(正火)处理工艺与应用[J]. 山东冶金, 1997, 19(1): 14-16.

(下转第14页)

紧,并通过辊轴中心的丝杆固定。

5)导卫。三辊机架均配备导卫,每个机架前均配备固定进口导卫。在第一架前,机架上装有1个固定的进口导卫,二、三、四机架前配备滚动导卫,每个滚动导卫带3个导辊,3个导辊可一起调整。

6)调整机架间的张力。依照张力因素,机架间的张力很容易被调整,能有效改进成品来料尺寸,

张力调整0.2%,相对应的GT值变化0.1 mm。

### 3 效果分析

2015年2月28日,试轧 $\Phi 28$  mm高精度免热处理45钢231 t,全部合格下线,设备数据一切正常,各孔咬入顺利。成品几何尺寸波动范围大大严于标准范围,力学性能检验结果范围内,见表3。

表3  $\Phi 28$  mm圆钢几何尺寸及力学性能指标

屈服强度/MPa		抗拉强度/MPa		断后伸长率/%		断面收缩率/%		晶粒度	直径/mm	不圆度/mm
轧后	15 d时效后	轧后	15 d时效后	轧后	15 d时效后	轧后	15 d时效后			
422	421	688	692	23	25.0	41.0	45.0	9.37	28.14	0.16
437	433	648	651	27	24.0	42.0	47.0	9.29	28.14	0.16
415	418	637	641	25	23.5	40.0	44.0	9.31	28.14	0.16
431	440	669	673	24	24.0	40.0	48.0	9.40	28.11	0.17
425	438	656	654	26	25.0	43.0	45.0	9.32	28.11	0.17
411	429	651	650	26	24.0	40.5	46.0	9.27	28.11	0.17
409	417	645	667	25	26.0	41.0	48.0	9.46	27.99	0.14
392	413	636	655	23	27.0	40.0	45.0	9.51	27.99	0.14
401	409	646	651	25	24.0	42.0	47.0	9.55	27.99	0.14
424	429	673	659	26	25.0	41.0	47.5	9.40	27.96	0.13
418	433	666	668	23	25.0	41.0	48.0	9.62	27.96	0.13
431	432	662	670	27	27.0	40.0	49.0	9.53	27.96	0.13

### 4 结 语

采用KOCKS减定径机组生产高精度免热处理45钢,生产线装备配套,工艺合理,力学性能稳定,达到了标准要求;几何尺寸精度高、表面质量好,完全取消或缩短下游用户的热处理工序,下游用户可降低生产成本,用户反映良好。2015年3、4月,又相

继开发试轧了 $\Phi 16$ 、 $\Phi 20$ 、 $\Phi 32$  mm高精度免热处理45钢,全部合格下线。在目前企业困难的情况下,改善了产品结构,提升了产品附加值,进一步提高了企业竞争力,有较好的推广使用价值。

#### 参考文献:

- [1] 黄庆学,梁爱生.高精度轧制技术[M].北京:冶金工业出版社,2004.

## Development of High Precision 45 Steel Free from Heat Treatment

JIANG Zilong, DONG Guiqiang

(Shandong Iron and Steel Group Zibo Zhanggang Co., Ltd., Zibo 255007, China)

**Abstract:** In order to improve the product structure and the high added value, Zibo Zhang Gang Co., Ltd. has developed high precision 45 steel which is not need heat treatment. Using KOCKS unit—rolling, round steel dimension precision can be controlled within  $\pm 0.1$  mm. Through the paragraphs in the process of temperature control, the best organization and mechanical properties of product can be got, and grainsize grade is 9 to 11.

**Key words:** high precision; avoid heat treatment; 45 steel; controlled rolling control cold

(上接第11页)

## Development and Application of Controlled Cooling Process after Normalizing for Heavy Plate in Laiwu Steel

GAO Lifu

(The Heavy Plate Business Division of Laiwu Branch Company of Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271104, China)

**Abstract:** Through the development of normalizing + controlled cooling process, additional cooling device is installed at the exit side of the heat treatment furnace at the heavy plate production line. The problem that the normalized plate strengths are lower than the standard limit or closed to the standard lower limit was resolved, and the comprehensive mechanical properties of the steel plate were further improved. The yield strength and tensile strength were increased by 20–50 MPa all and the elongation and impact toughness were still adequate spare capacity.

**Key words:** heavy plate; normalizing control cooling; comprehensive mechanical property