

LCLA工艺Q345E耐低温H型钢开发生产实践

张思勋,王慧玉

(山钢股份莱芜分公司,山东 莱芜 271104)

摘要:针对Q345E耐低温H型钢性能波动和产品表面质量差的问题,结合实际生产工艺条件,采用LCLA工艺生产,经过优化工业试验,并对产品进行金相、SEM、TEM及性能检验分析,结果表明,LCLA工艺设计完全满足H型钢Q345E级别产品性能指标要求,产品性能随终轧温度降低提升,随Nb合金含量增加,钢中第二相析出量细化组织的效果明显;产品力学性能指标波动更小,数值离散度减小;表面质量提升。

关键词:H型钢;Q345E钢;LCLA工艺;组织;力学性能

中图分类号: TG335.4;TG142.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2017)03-0004-03

1 前言

随着微合金化技术的日益成熟,LCLA(Low Carbon Low Alloy Approach,即低碳低合金技术)工艺已经广泛应用于厚板工艺设计,将LCLA工艺应用于Q345E H型钢生产中,可以利用Nb的微合金化作用,提升产品的韧性。本研究通过LCLA工艺设计优化及在生产线的实际应用,分析Nb微合金化对耐低温H型钢组织性能的影响,以期为实际生产工艺设计参数提供指导。

2 Q345E H型钢开发情况及分析

随着我国船舶与海洋石油工业的迅速发展,用E级H型钢产品制造高性能井架平台设备,减少焊接成型,提高井架在低温、碰撞、腐蚀、震动等环境条件下的使用安全性和使用寿命。Q345E H型钢韧性要求在-40℃以下>34J,见表1,这为耐低温H型钢产品的工艺设计和生产带来了技术挑战。

表1 Q345E H型钢性能要求

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%	-40℃冲击功(KV ₂)/J
≥345	470~630	≥21	≥34

山钢股份莱芜分公司在Q345E H型钢产品开发初期,采用添加0.60%的Ni保证H型钢产品的耐低温冲击性能的工艺模式,出现产品性能波动和产品表面质量不能满足客户日益提升的技术要求的问题。通过优化工艺设计,采用LCLA工艺,降低钢中含碳量,充分发挥Nb的微合金化作用,使产品的力学性能指标和产品表面质量稳步提升。通过对新工艺设计的不断优化改进,大大降低Q345E H型钢的碳当量,满足客户对大线能量焊接的技术要求。

收稿日期:2017-02-08

作者简介:张思勋,男,1973年生,1996年毕业于东北大学钢铁冶金专业。现为山钢股份莱芜分公司技术中心高级工程师,从事型钢产品、工艺技术研发工作。

从理论上说,耐低温高性能钢材产品一般会采取两种方式生产,一是以霍尔佩奇公式为依据的实现轧后组织晶粒细化,即提高产品组织的晶粒度。而晶粒度与强度、韧性指标均成正相关关系,目前的板带耐低温产品一般采用这个原理,即轧制过程的精轧阶段采取低温大压下促进应变诱导析出,从而实现钢中晶粒细晶强化和沉淀强化,获得钢材强韧化效果。随着近年来超快冷却技术的迅速发展,通过轧后加速冷却形成组织的控制硬化奥氏体的相变,实现冷却过程的控制相变,也会达到提高钢材性能的结果。

另一种实现方式就是通过添加大量耐低温合金来保证产品的低温冲击性能。这种工艺方式主要是以高合金成分来填补轧制工艺的缺陷,以保证产品耐低温性能的达标。但对H型钢的实际生产工艺条件来说,H型钢孔型工艺是确定的,其轧制过程的压下量是基本固定的,或者说调整的空间很小。也就使得通过调整压下制度,特别是在部分温度段实现大压下变得无法实现。同样也是因为孔型轧制的原因,H型钢翼缘的总压缩比低和立辊辊径的限制,即使在840℃以下的终轧温度条件都变得无法实现。控制轧制和控制温度的工艺布置模式在H型钢耐低温产品中很难得到有效应用。

山钢股份莱芜分公司大型线H型钢典型规格精轧道次温度场的模拟计算结果(见图1)显示,H型钢断面温度差最大超过120℃。在这种工艺方式约束条件下,实现H型钢产品耐低温冲击韧性要求的稳定,其难度可想而知。

借鉴厚板轧制工艺设计的成熟经验,充分发挥Nb在钢中的微合金化作用,通过优化钢种设计,对C、Mn等关键元素进行窄成分控制,提高钢水纯净度对后续铸坯组织与轧材性能的影响,实现铸坯夹杂物尺寸小、内部缺陷少的目的,提升Q345E材质H

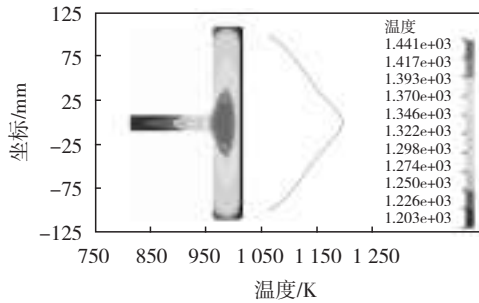


图1 H型钢精轧道次轧件断面温度场模拟结果
型钢产品的组织均匀性,满足产品耐低温性能要求。

3 LCLA工艺工业生产方案与结果分析

3.1 工业化生产方案

选取现场生产的工业样品,工艺设计如下:A为原有添加Ni合金成分工艺;B、C为LCLA工艺设计;其中工艺C将Nb含量提高0.01%。3种产品的实际冶炼成分如表2所示。依据生产过程的实际数据对产品性能进行对比分析,并对产品的微观组织利用金相显微镜、扫描电镜(SEM)、透射电镜(TEM)进行观察分析。

表2 试验钢实际冶炼成分 %

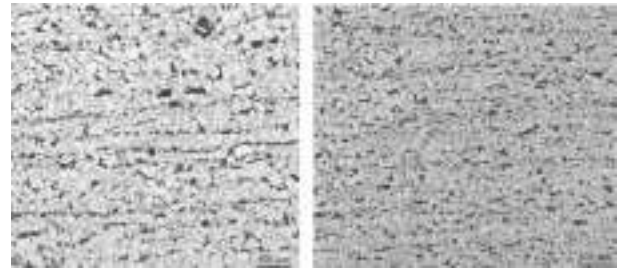
工艺	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Ni	Ceq
A	0.16	0.25	1.19	0.008	0.008	0.023	0.003	0.550	0.36
B	0.08	0.25	1.49	0.008	0.008	0.036	0.003	0.003	0.33
C	0.09	0.25	1.47	0.008	0.008	0.046	0.003	0.003	0.33

3.2 Nb含量对产品组织的影响

Nb在钢中的作用除了能够大幅提升钢的奥氏体再结晶温度以外,还与钢中的C、N发生反应,形成纳米尺度的碳氮化物析出颗粒,实现在铁素体晶界的钉扎以及位错缠结,细化铁素体晶粒^[1]。根据热力学计算,其析出过程往往需要伴随有大的累积应变来加速Nb的碳氮化物析出,这是由于变形过程产生的大量位错加快析出相的非均匀形核^[2]。而要增加H型钢在未再结晶区轧制过程的累计应变,最好的工艺设计方式选择就是提高钢的奥氏体化温度。在LCLA工艺设计试验过程中,Nb的添加量从0.036%提高至0.046%,在同等压下制度工艺条件下,产品的晶粒组织和晶粒均匀度都随着Nb的增加而产生晶粒细化的作用变化,如图2所示。选取Nb含量0.046%的TEM组织,其碳氮化物析出相在铁素体及位错缠结位置均能观察到(见图3)。

3.3 不同终轧温度对产品组织性能的影响

在250 mm × 250 mm规格H型钢产品生产中,将终轧温度分别设定为860 °C和930 °C,分别观察成品翼缘1/4位置的金相组织,如图4所示。可以看出,不同终轧温度条件下的晶粒组织差别明显,终轧温度为860 °C的翼缘组织均匀细密(见图4a),而



a Nb含量0.036% b Nb含量0.046%

图2 LCLA工艺不同Nb含量Q345E钢金相组织

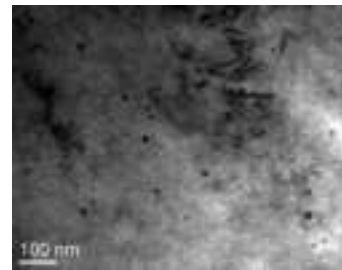
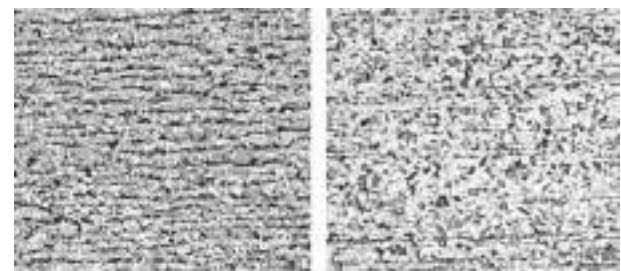


图3 Nb 0.046% Q345E钢基体上弥散分布的析出相

930 °C终轧温度下的珠光体组织不均匀(见图4b),且有魏氏组织形成倾向。这主要是由于930 °C终轧温度是在奥氏体区轧制,轧后的静态再结晶组织使得晶粒重新长大。这一工业试验结果也更加验证了前述的提高钢中Nb含量的必要性。不同终轧温度下产品的力学性能见表3。



a 860 °C b 930 °C

图4 不同终轧温度下Q345E钢金相组织

表3 不同终轧温度下Q345E钢的力学性能

终轧温度/°C	$R_{m,II}/MPa$	R_m/MPa	$A/\%$	-40 °C KV ₂ /J
860	375	546	27.0	112, 125, 103
	436	536	29.0	168, 136, 159
930	398	511	28.0	79, 80, 66
	443	555	23.5	59, 76, 97

3.4 Nb的析出相对产品组织的影响

对于轧材组织而言,铁素体—珠光体钢的韧脆转变温度 T_c 与钢中第二相粒子体积分数、铁素体晶粒尺寸、珠光体片间距、珠光体团尺寸以及渗碳体片厚度的关系式如下:

$$T_c = f(-46 - 11.5d^{1/2}) + (1-f)(-355 + 5.6S^{1/2} - 13.3p^{1/2} + 3.48 \times 106t) + 49w(\text{Si}) + 762w(\text{N})^{1/2}.$$

式中: f 为第二相粒子的体积分数, d 为铁素体晶粒尺寸, S 为珠光体片间距, p 为珠光体团尺寸, t 为渗碳体片厚度。

随着Nb在钢中推迟相变,特别是Nb含量超过0.035%时,使得变形奥氏体中的离散位错和位错胞界都可作为碳氮化铌析出的优选位置,析出明显阻碍变形奥氏体的回复进程^[3]。理论上讲,钢中的Nb只有在满足其析出条件基础上才能高效率地发挥作用^[4],为此Nb在析出之前的充分固溶是必要的,而由于碳氮化铌析出相溶解过程非常缓慢,对于压缩比较小的H型钢轧制而言,少量Nb尽管会有Nb的碳氮化物析出相存在,但这些析出相的比例并不大,大部分Nb还是以固溶态的形式存在于钢中(见图5),加之H型钢轧制过程温度变化的不均匀,Nb的固溶量与析出量的比例也是不均匀的。因此,对于耐低温H型钢产品的工艺设计必须将固溶Nb含量的设计考虑充分。通过大量的工业化试验,超过0.035%含量的Nb能够满足晶粒组织细化要求。

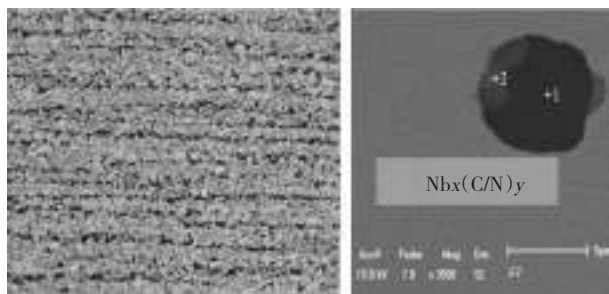


图5 含Nb 0.035% Q345E钢微观组织及碳氮化物析出相

3.5 LCLA工艺应用前后质量对比

将Q345E H型钢的原有工艺设计和应用LCLA工艺的性能指标进行对比,如图6所示,力学性能指标波动更小,数值离散度减小。此外,LCLA工艺生产的Q345E H型钢表面质量明显改善。

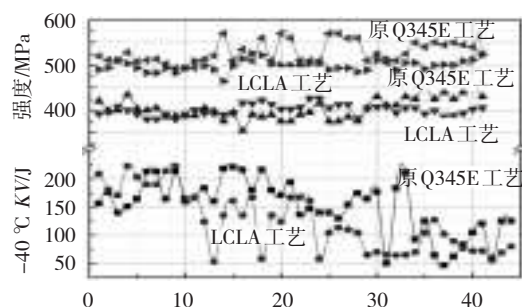


图6 LCLA工艺应用前后Q345E H型钢性能数据对比

4 结论

4.1 LCLA工艺实现H型钢Q345E级别产品性能指标满足-40℃冲击功设计要求。产品的性能随终轧温度降低提升;随着Nb含量的添加,钢中第二相析出量细化组织的效果明显。

4.2 LCLA工艺在Q345E级别H型钢应用结果显示,力学性能指标波动更小,数值离散度减小,表面质量明显提升。

参考文献:

- [1] 付俊岩,王伟哲. 铌·科学与技术[M].北京:冶金工业出版社,2003:271-304.
- [2] S.Shanmugam, N.K. Ramisetty, R.D.K. Misra, et al. Effect of cooling rate on the microstructure and mechanical properties of Nb-microalloyed steels[J]. Materials Science and Engineering, 2007, A 460-461:335-343.
- [3] 侯华兴,杨颖,张哲,等.HTP技术在高强度特厚板生产中的应用[J].钢铁,2012,47(2):53-57.
- [4] 缪成亮,尚成嘉,曹建平,等.HTP X80管线钢的晶粒细化与组织控制[J].钢铁,2009,44(3):62-66.

Productive Practice of Low Carbon Low Alloy on Q345E Low-temperature H Section

ZHANG Sixun, WANG Huiyu

(Laiwu Branch of Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271104, Chin)

Abstract: Aiming at the problem that performance fluctuation and poor surface quality of Q345E low-temperature H section, LCLA process was adopted to produce Q345E combined with the actual production process conditions. The product was analyzed by metallurgical microscope, SEM, TEM and performance inspection and analysis after optimizing the industrial test. The results show that LCLA process design completely satisfies the requirements of performance index for Q345E H section. The performance of product was improved with the decreasing of the finishing temperature and the effect of second phase precipitation on grain refining is obvious with the addition of Nb, the mechanical property index volatility was smaller and the numerical discrete degree was reduced. The surface quality was improved.

Key words: H section; Q345E steel; low carbon low alloy approach; microstructure; mechanical property

出版物上数字的用法(GB/T 15835—2011)

在使用数字进行计量、编号的场合,为达到醒目、易于辨识的效果,应采用阿拉伯数字;当数字伴随有计量单位时,如:长度、容积、面积、体积、质量、温度、音量、频率等,特别是当计量单位以字母表达时,应采用阿拉伯数字。现代生活中出现的事物、现象、事件,其名称的书写

形式中包含阿拉伯数字,已经广泛使用而稳定下来,应采用阿拉伯数字。

示例:-125.03, 63%~68%, 1:500, 97/108; 346.87 L, 100~150 kg, 34~39℃; 章节编号4.1.2, 产品型号PH-3000型计算机; 3G手机, G8峰会, 93号汽油。(燕明宇)