

HFW 焊管热张力减径后的组织与性能

毕宗岳^{1,2}, 赵晶³

(1.国家石油天然气管材工程技术研究中心,陕西 宝鸡 721008;

2.宝鸡石油钢管有限责任公司 钢管研究院,陕西 宝鸡 721008;

3.中国石油装备制造分公司,北京 100027)

摘 要:采用 Gleeble1500 热模拟试验及 HFW 焊管热张力减径试验,研究了热轧制/热张力减径+调质处理对 C-Mn 钢 HFW 焊缝显微组织和力学性能的影响,并采用恒电位阳极极化加速腐蚀试验方法研究了热张力减径+调质处理对 C-Mn 钢焊缝区沟槽腐蚀敏感性的影响。结果表明,HFW 焊管经热张力减径+热处理后,焊缝区的组织和晶粒状态同母材一致,且焊缝区的力学性能和抗沟槽腐蚀性能得到显著改善,与母材基本相同,达到了焊缝优化或焊管工程无缝化的目的。

关键词: HFW 焊管; 焊接; 热张力减径; 焊缝; 组织性能

中图分类号: TE335.75

文献标志码: A

文章编号: 1001-3938(2013)10-0005-06

Microstructure and Properties of HFW Pipe After Hot Stretch Reducing

BI Zongyue^{1,2}, ZHAO jing³

(1.National Petroleum and Gas Tubular Goods Engineering Technology Research Center,Baoji 721008,Shaanxi,China;

2.Steel Pipe Research Institute of Baoji Petroleum Steel Pipe Co.,Ltd.,Baoji 721008, Shaanxi,China;

3.CNPC Equipment Manufacturing Co.,Ltd.,Beijing 100027,China)

Abstract: The effect of hot rolling/stretch reducing+quenching and tempering on microstructure and mechanical properties of the C-Mn steel weld was investigated by Gleeble 1500 thermal simulation test and HFW pipe hot stretch reducing test,and the accelerated corrosion method using constant potential anodic polarization was adopted to study the influence on grooving corrosion(GC) sensitivity of C-Mn steel weld of hot stretch reducing+quenching and tempering. The result showed that the microstructure and the grain state of the weld are the same as those of base metal after HFW pipe hot stretch reducing and hot treatment,moreover,the mechanical properties and the grooving corrosion resistance are improved to the lever of base metal basically and achieve the weld optimization or the seamless goal of welded pipe.

Key words: HFW pipe;welding;hot stretch reducing;weld;structure property

0 前 言

随着油气开采难度的增大和管材服役环境的不断恶化,对油井管性能提出了越来越高的要求,如高强度、高韧性、耐蚀性、高抗挤等。HFW 焊管性能特点满足高端油井管在高性能方面的要求。HFW 油井管所用卷板系低碳微合金化钢经 TM-CP 轧制而成,母板韧性高,可以用来制造具有高韧性的超高强度油井管,如 N80,P110,Q125 等钢

级;HFW 焊管用卷板韧脆转变温度低,可以用来开发低温状态下使用的油井管;HFW 油套管采用热轧卷板为原料,保证了尺寸精度,如壁厚均匀度可控制在 ± 0.2 mm 以内,内毛刺高度可控制在 $-0.2 \sim +0.5$ mm 范围内,这使得 HFW 油套管的抗拉强度比无缝钢管高出 30%~40%。因此,HFW 油套管产品的开发潜力很大,特别是在北美地区,HFW 油井管占到消费总量的 40%~55%^[1]。

相比无缝钢管,HFW 油套管的焊缝质量成为

制约其应用可靠性的首要因素。研究表明,对 HFW 焊管进行热张力减径+热处理,不仅可以改善焊缝区组织,减轻或消除组织应力,还可以扩大产品规格范围^[2-3]。目前关于热张力减径+热处理技术对焊管组织、性能的影响机制还研究的很少,因此,笔者选用 C-Mn 钢为研究对象,分析了焊管经热张力减径+热处理后焊缝及母材的组织、性能变化规律,为 HFW 油井管性能优化和焊管“无缝化”提供了技术支持。

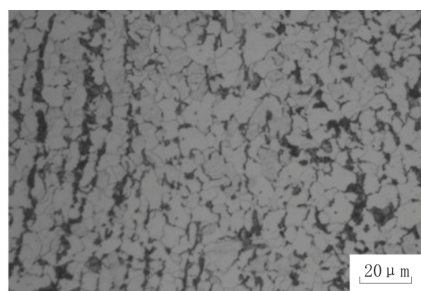
1 试验材料及方法

1.1 试验材料

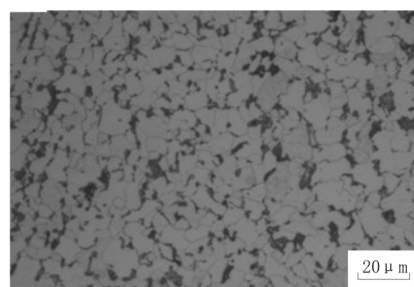
目前常见的焊管焊缝优化或无缝化处理工艺有 3 种:一是焊缝在线局部感应加热处理;二是焊管整体热处理;三是热张力减径+整体热处理。3 种方法中,前两种方法只能在一定程度上减轻焊缝及母材组织与性能的差异,而热张力减径+整体热处理技术则能显著降低焊缝与母材的差异,基本实现了无缝化。笔者采用热张力减径+整体热处理技术对焊管进行处理来制备样管。试验选用 C-Mn 钢为研究对象,成分见表 1。

表 1 试验用 C-Mn 钢化学成分 %

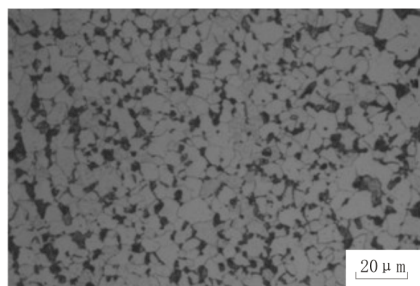
$w(C)$	$w(Si)$	$w(Mn)$	$w(P)$	$w(S)$
0.244	0.217	1.360	≤ 0.030	≤ 0.030



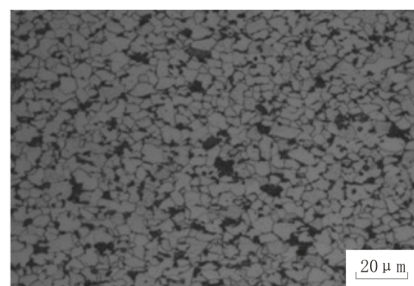
(a) 0%



(b) 10%



(c) 30%



(d) 70%

图 1 830 °C 温度时不同轧制量 C-Mn 钢焊缝区显微组织形貌

1.2 试验设备及试验方案

采用 Gleeble1500 将试样加热到不同的轧制温度,并选取不同的轧制量,模拟焊管经过热张力减径(热机械轧制)工艺后焊缝及母材组织与性能变化规律。试验温度选取 830 °C,880 °C,930 °C,轧制量分别为 5%,10%,15%,30%,50%,70%。

在实验室模拟试验的基础上,在初轧温度为 950 °C 下对焊管进行热张力减径,出口温度 850 °C,原始管径 114 mm,减径为 73 mm,减径前后壁厚均为 7.9 mm,并对热张力减径后的焊管进行调质处理,分析热张力减径+热处理对焊管组织及性能的影响规律。调质工艺为 950 °C 淬火+590 °C 回火。

利用 JB30A 型冲击试验机、Zwick Z100/SN3A 拉伸试验机、Durascan-70 全自动维氏硬度计、Olympus PMG3 金相显微镜、S-3700N 扫描电镜、岛津 PDA-7000 直读光谱仪等试验检测手段进行试样成分、组织及性能的检测分析。

2 试验结果与讨论

2.1 变形量对组织性能的影响

采用 Gleeble1500 将试样加热到同一轧制温度,对试样进行 5%,10%,15%,30%,50% 和 70% 不同轧制量的热机械轧制,研究轧制量对试样组织性能的影响规律。

图 1 是轧制温度为 830 °C 时对试样进行 10%,

30%和 70%三种不同轧制量轧制后的试样焊缝区的显微组织形貌。可以看出,随着轧制量的增大,晶粒细化作用非常明显,金属流线逐渐消除。当轧制量 $\geq 30\%$ 时,不仅消除了母材与焊缝之间的组织及晶粒状态的差异,而且消除了焊缝金属流线,如图 1(d)所示。这说明对焊管进行热机械轧制或热张力减径工艺可以明显改善甚至消除原始焊缝的带状偏析,细化晶粒,使焊缝中的气孔焊合,组织均匀,实现了焊缝、母材、热影响区组织性能的一致性^[4]。

图 2 为不同轧制量对试样强度及铁素体晶

粒尺寸的影响。从图 2(a)可看出,轧制温度为 830 ℃时,随着轧制量的增大,屈服强度不断增加,抗拉强度变化不明显;当轧制量 $\geq 30\%$ 时,屈服强度增幅明显;当轧制量 $\geq 50\%$ 时,屈服强度、抗拉强度开始大幅增长。从图 2(b)可看到,随着轧制量的增大,母材及焊缝区的铁素体晶粒尺寸不断减小,当轧制量由 30%增加到 70%时,焊缝晶粒尺寸由 13.5 μm 减小到 7 μm 左右,通过晶粒细化使焊缝的强度大幅提高。这种随着轧制量的增加晶粒不断细化的结果与图 1 所示的金相显微组织变化完全一致。

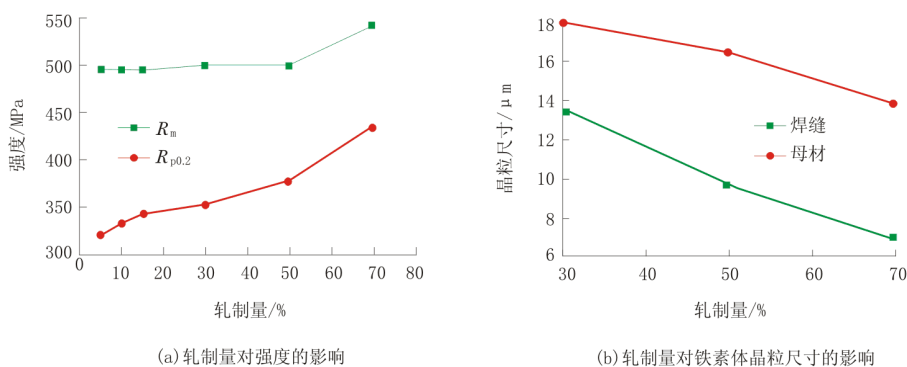


图 2 830 ℃温度下不同轧制量对强度及铁素体晶粒尺寸的影响

2.2 变形温度对组织性能的影响

在 830 ℃、880 ℃和 930 ℃三种不同温度下,对试样进行相同轧制量的热机械轧制,研究不同的轧制温度对试样组织性能的影响规律。

图 3 是轧制量为 30%,轧制温度分别为 830 ℃、880 ℃和 930 ℃时,C-Mn 钢 HFW 焊缝区的显微组织形貌。可以看出,当轧制温度低于 880 ℃时,焊缝区的晶粒尺寸没有随轧制温度的升高而增大(见图 3(a)和图 3(b));当轧制温度上升到 930 ℃

时,晶粒发生明显粗化(见图 3(c))。图 4 为不同轧制量下轧制温度对屈服强度的影响情况。当轧制量为 70%时,随着轧制温度的升高,母材的屈服强度降低;轧制量为 50%时,随着轧制温度的升高,母材屈服强度变化不大;轧制量为 30%时,随着轧制温度的升高,母材屈服强度先减小后增大。同时,焊缝区强度随着轧制量的增加而明显提高。通过热模拟试验表明,在进行热机械轧制时,应尽量选择 900 ℃以下的轧制温度,既避免了晶

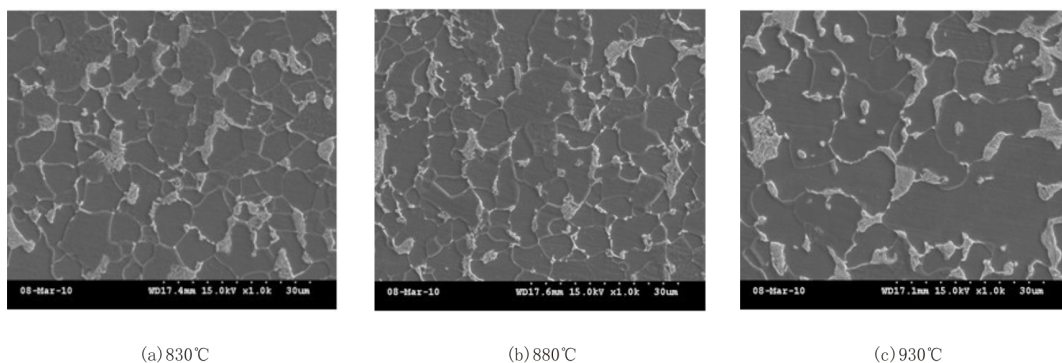


图 3 不同轧制温度下焊缝区的显微组织

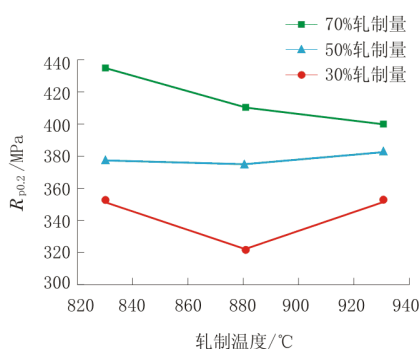


图4 不同轧制量下轧制温度对屈服强度的影响

粒粗化,也使试样保持了较高的屈服强度,同时为提高强度应选择较大的轧制量。

2.3 热张力减径对焊缝的优化作用

在热模拟试验的基础上,选取焊管在初轧温

度为 950℃ 下进行热张力减径,出口温度为 850℃,原始管径为 114 mm,减径为 73 mm,减径前后壁厚均为 7.9 mm,并对热张力减径后的焊管进行调质处理,分析热张力减径+调质处理对焊管组织及性能的影响规律。

图 5 是热张力减径+热处理前后 C-Mn 钢焊缝区的显微组织形貌对比。从图 5(a)可以看到,原始管样焊缝中心及热影响区的组织是先共析铁素体、珠光体和魏氏体。经过热张力减径后,管样焊缝区和母材的组织均为等轴铁素体+细珠光体,铁素体晶粒尺寸均匀,平均晶粒尺寸约 6 μm 。这说明经过热张力减径工艺,焊管很好地实现了“无缝化”,如图 5(b)所示。图 5(c)是热张力减径+调质处理后管样焊缝区的金相组织形貌,其组织为回火索氏体。

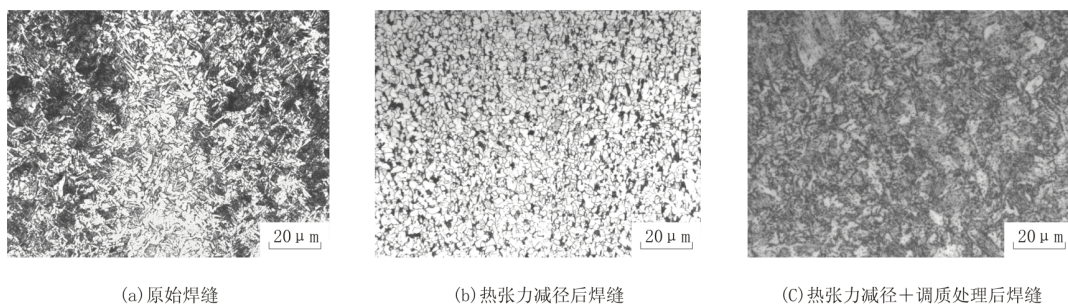


图5 C-Mn 钢焊缝区显微组织形貌

表 2 是不同状态 C-Mn 钢管样的力学性能对比。试验数据表明,原始管样焊缝区因晶粒粗大,存在魏氏组织以及不均匀组织,其冲击韧性非常差,在 0℃ 下只有 2~4 J,是母材的 10% 左右;经过热张力减径,消除了焊缝区的魏氏组织,细化了晶

粒,冲击韧性值大幅提升,上升到 20~24 J,是母材的 50% 左右;再经调质处理后,焊缝区的组织主要为回火索氏体,冲击韧性进一步得到改善,上升到 56~63 J,强度也达到了 600~630 MPa,焊缝的强韧性与母材完全相同。

表2 C-Mn 钢热张力减径+调质处理前后的力学性能对比

管径/mm	母材 $R_{0.2}/MPa$	母材 R_m/MPa	母材 $A_1/\%$	焊缝 R_m/MPa	0℃ A_k/J	
					母材	焊缝
114	460~490	565~580	25~27	585~590	34~44	2~4
73(调质前)	425~460	540~560	27~29	545~565	48~55	22~24
73(调质后)	485~515	590~630	28~31	600~630	57~60	56~63

表 3 是不同状态下 C-Mn 钢管试样的显微硬度对比。可以看出,热张力减径前焊缝及热影响区的硬度明显要高于母材;热张力减径后焊缝、热影响区及母材的硬度趋于一致,这说明焊管经热张力减径后,焊缝、热影响区及母材的性能完全一致。

表3 C-Mn 钢管热张力减径+调质处理前后的显微硬度对比

管径/mm	硬度 ($HV_{0.05}$)		
	母材	热影响区	焊缝
114	184~202	215~239	215~237
73(调质前)	170~188	173~187	172~190
73(调质后)	210~236	212~235	210~240

需要强调的是,由于热张力减径细化了晶粒,所以在对热张力减径管进行调质处理后获得的索氏体组织非常细小,这使得焊管的强度、塑性和韧性均能很好地满足 API 5CT 的要求。

2.4 热张力减径+热处理对焊缝抗沟槽腐蚀性能的作用

对热张力减径+热处理后的焊管 HFW 焊缝进行沟槽腐蚀试验,以研究该工艺对 HFW 焊缝抗沟槽腐蚀性能的作用。

目前用于 HFW 焊管焊缝沟槽腐蚀敏感性评价的方法包括长期浸泡试验、极化曲线测量、电偶腐蚀试验和外加电位加速腐蚀试验等^[5]。笔者采用恒电位电化学阳极极化加速腐蚀试验方法,试样为工作电极,饱和甘汞电极(SCE)为参比电极,铂电极为辅助电极。腐蚀介质为 3.5% 的中性 NaCl 水溶液,温度为 30 ℃。阳极极化电位为 -550 mV,试验周期为 144 h(6 天),然后通过金相观察方法来测定沟槽腐蚀深度,并计算系数 $\alpha(\alpha=h_2/h_1, h_2$ 和 h_1 分别为腐蚀试验后试样表面到腐蚀沟槽底部的深度和母材的平均腐蚀深度,见图 6)。一般把 $\alpha=1.3$ 作为区分焊缝抗沟槽腐蚀性能的临界值; $\alpha \geq 1.3$ 时,认为材料抗沟槽腐蚀性能较差^[6]。表 4

是不同状态下焊缝沟槽腐蚀试验的结果,其中原始管样的 α 值为 1.96;经热张力减径后,焊管的抗沟槽腐蚀性能大幅提升, α 值降为 1.21,已经低于临界值;再经过调质处理后,焊管的抗沟槽腐蚀性能进一步提升, α 值为 1.02,较临界值降低了 21%,已和母材基本相同。图 7 显示了不同处理状态下焊缝沟槽腐蚀试验结果。

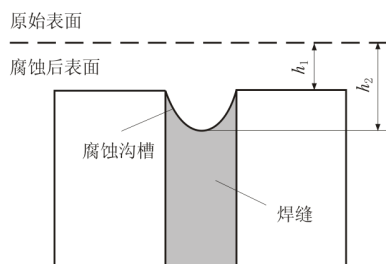


图 6 沟槽腐蚀试验示意图

表 4 沟槽腐蚀试验结果

试样状态	沟槽腐蚀评价指标 α			
	剖面 1	剖面 2	剖面 3	平均
$\phi 114$ mm 母管	1.96	1.94	1.98	1.96
热减径到 $\phi 73$ mm	1.20	1.21	1.22	1.21
$\phi 73$ mm 调质后	1.01	1.03	1.02	1.02

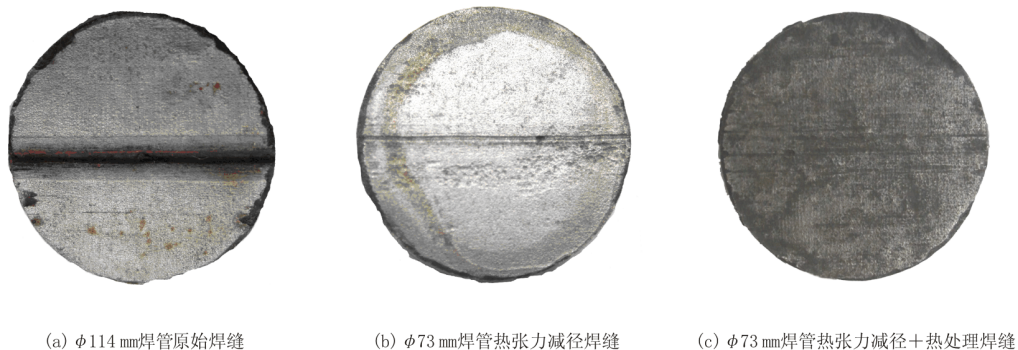


图 7 焊缝沟槽腐蚀形貌 8 \times

研究表明,影响 HFW 焊缝沟槽腐蚀敏感性的主要因素包括焊缝的内部因素及外部腐蚀环境^[7-8]。而焊缝内部因素主要是指焊缝组织的类别、焊缝与母材区化学成分、微观组织的不均匀性以及焊接残余应力等。经热张力减径+热处理后的 HFW 管样焊缝沟槽腐蚀敏感性与母材基本一致,其原因可能如上所述,主要是焊缝区和母材区组织均为回火索氏体,组织均匀,残余应力基本消

除,使得 HFW 焊缝的抗沟槽腐蚀性能得到进一步提高。

3 结 论

(1)在相同的轧制温度下,随着轧制量的增大,HFW 焊缝晶粒尺寸减小,强度提高;而在相同的轧制量下,随着轧制温度的提高,晶粒尺寸增

大,强度变化不大。

(2)通过热张力减径可消除焊缝区微观组织和晶粒状态的差别,再通过调质处理可使 HFW 焊缝区组织和力学性能与母材相同,实现了焊缝的优化或无缝化。

(3)通过热张力减径可大幅提高 HFW 焊管的抗沟槽腐蚀性能;再通过整体热处理,可使 HFW 焊缝沟槽腐蚀现象基本消除。

参考文献:

- [1] 李鹤林, 韩礼红. 刍议我国油井管产业的发展方向[J]. 焊管, 2009, 32(04): 5-10.
- [2] 冀伟, 赵实鸣, 吴颖. 焊管无缝化生产工艺技术的特点与应用前景[J]. 天津冶金, 1998(03): 1-5.
- [3] 汪汉明. 优质焊管热减径无缝化生产线[J]. 焊管, 1999, 22(03): 33-38.
- [4] 毕宗岳. 形变热处理对低碳微合金钢焊缝组织与性能的影响[J]. 热加工工艺, 2008, 37(19): 101-104.
- [5] SEO B M, LEE J K. Effect on Grooving Corrosion Susceptibility of Electric Resistance Welded steel Pipe[J]. Journal of the Corrosion Science Society of Korea, 2000, 29(03): 148-152.
- [6] KATO C, OTOGURO Y, KADO S, et al. Grooving Corrosion in Electric Resistance Welded Steel Pipe in Sea Water[J]. Corrosion Science, 1978, 18(01): 61-74.
- [7] PARK J, SEO B M, LEE J K. A Study on Grooving Corrosion Behavior of Electric Resistance Welded Steel Pipe for Post Weld Heat Treatment[J]. Journal of the Korean Institute of Metals and Materials, 2003, 41(01): 45-50.
- [8] DUREN C, HERBSLEB G, TREISS E. The Resistance of High Frequency Inductive Welded Pipe to Grooving Corrosion in Salt Water[J]. Materials Performance, 1986, 25(09): 41-48.

作者简介: 毕宗岳(1962—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事石油管工程与焊接技术研究工作。

收稿日期: 2013-07-25

编辑: 刘志军