

起重机臂架用高强韧性CS-Q890 无缝钢管的研发

吴红, 易良刚, 林发驹, 王西江, 田晓凡, 陈雨

(攀钢集团成都钢钒有限公司, 四川 成都 610303)

摘要:介绍了起重机臂架用高强韧性 CS-Q890 无缝钢管的特点、生产工艺和质量情况。通过成分优化设计并采用“转炉/电炉冶炼→LF 钢包精炼→VD 真空精炼→圆坯连铸→Φ159 mm 三辊限动芯棒连轧管机组/Φ180 mm Accu-Roll 轧管机组轧制→调质热处理”工艺生产的 CS-Q890 无缝钢管, 不仅可满足高强韧性的匹配, 同时还具备良好的焊接性能。该品种的成功开发, 减少了国内为开发大型起重机而长期对国外高强韧性无缝钢管的依赖。

关键词: 无缝钢管; CS-Q890; 起重机臂架; 高强韧性; 焊接性能; 生产工艺

中图分类号: TG335.71 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2311(2014)02-0031-05

Research and Development of High Strength/High Toughness CS-Q890 Seamless Steel Tube for Crane Boom Fabrication

WU Hong, YI Liangang, LIN Faju, WANG Xijiang, TIAN Xiaofan, CHEN Yu

(Pangang Group Chengdu Steel and Vanadium Co., Ltd., Chengdu 610303, China)

Abstract: Elaborated in the essay are the characteristics, manufacturing process and quality of the hi-strength/hi-toughness CS-Q890 seamless steel tube for crane boom fabrication. The tube is of well-mated high strength and high toughness and excellent weldability owing to optimization of the chemical composition, and adaption of the manufacturing process of converter/ EAF melting→LF refining→VD refining→CC round→rolling with the Φ159 mm 3-roll retained mandrel mill/the Φ180 mm Accu-Roll mill→quenching-and-tempering treatment. The successful development of this type of product has brought about the possibility for being free of the long-time dependence on import of similar products for home-made large cranes.

Key words: seamless steel tube; CS-Q890; crane boom; high strength and high toughness; weldability; manufacturing process

履带式起重机是一种高层建筑施工用的重型自行式起重机, 是工程机械中技术含量高、制造工艺复杂、具有独特性能的起重作业机械产品。它具有起重能力较大、转弯半径小、可吊重行走、履带接地比压小、对环境要求低、作业稳定性好、桁架组合可自由更换等特点, 广泛应用于桥梁、发电设备、炼油设备、风力发电机组以及海上工作平台等项目的施工。随着我国基础设施建设的加强, 尤其在三峡工程、青藏铁路、西电东送、西气东输等大型施工建设项目, 以及在核电、石油、化工等行业

迅速发展的拉动下, 国产履带式起重机市场持续、快速壮大^[1-5]。目前履带式起重机最大起重能力已超过 1 000 t, 由三一重工股份有限公司制造的“巨无霸”履带式起重机起重能力已达到 3 600 t。对制造起重能力在 400 t 以上的大型履带式起重机, 采用新技术、新材料、新工艺是保证质量的前提, 这就对起重机臂架主旋管的选材提出了更高的要求, 采用高强度、高韧性的钢管, 可大幅降低臂架自重, 提高起重重量^[6-7]; 因此对屈服强度达到 890 MPa 级别的臂架主旋管材料的选用显得更加重要。

本文将重点介绍攀钢集团成都钢钒有限公司(简称攀成钢公司)生产起重机臂架用高强韧性 CS-Q890 无缝钢管的工艺及产品特点。

吴红(1969-), 女, 高级工程师, 科研主管, 主要从事无缝钢管新产品开发和轧钢工艺研究等技术工作。

1 性能特点及主要技术要求

1.1 性能特点

作为履带式起重机一个重要部件的组合臂架,是承载和输送的关键部位,臂架一般是由长 11 m 左右的无缝钢管作为主旋管与腹管焊接组合而成。对于 400 t 以上大型履带式起重机的臂架主旋管所使用的钢管外径更大、壁厚更厚,其使用条件要求无缝钢管不仅具有更高的强度和韧性,同时由于履带式起重机臂架全部由钢管焊接而成,因此还要求钢管具有良好的焊接性能。

1.2 主要技术要求

攀成钢公司根据起重机臂架用高强韧性无缝钢管的使用条件和用户的具体要求,与用户签订了 CS-Q890 无缝钢管的主要技术协议。

该协议的主要技术要求是:CS-Q890 无缝钢管的化学成分要求(表 1);力学性能指标要求(表 2);外径公差为 $\pm 1\%$ (当 $D \geq 50$ mm 时)或 ± 0.5 mm(当 $D < 50$ mm 时),壁厚公差为 $\pm 12.5\%$,椭圆度不大于外径公差的 50%,全长弯曲度不大于全长的 0.10%或 10 mm;内外表面不允许有裂纹、结疤、分层、折叠、轧折等质量缺陷,尤其是钢管外表面不允许有麻面存在;管体和管端应按 GB/T 12606 标准^[8]中的 L2 级逐根进行漏磁探伤,或按 GB/T 5777 标准^[9]的 C8 进行超声波探伤检验合格;必须通过权威机构焊接性能评价,并且提供与材料配套的焊接工艺参数。

2 工艺方案设计

2.1 工艺路线

用于大型履带式起重机臂架主旋管的材料都采用 CS-Q890 钢级的无缝钢管,钢管外径 121~273 mm,壁厚 12~35 mm,比用于腹管的 CS-Q780 钢级的规格要大得多^[1]。由于臂架要承受很大的拉力和冲击,因此对用作主旋管的 CS-Q890 无缝钢管

表 1 CS-Q890 无缝钢管化学成分要求(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S
≤ 0.18	≤ 0.50	≤ 1.50	≤ 0.025	≤ 0.015

注: Ni、Mo、Cr、V、Ti 适量。

表 2 CS-Q890 无缝钢管力学性能要求

壁厚/ mm	抗拉强度/ MPa	屈服强度/ MPa	伸长率/ %	冲击功 A_{kv}/J	
				-20 °C	-40 °C
≤ 20	960~1 110	≥ 890	≥ 14	≥ 55	≥ 45
> 20	920~1 070	≥ 850	≥ 14	≥ 55	≥ 45

有更高的强度要求(超过 X120 钢级要求的屈服强度 830 MPa),同时还要有良好的冲击韧性,尤其是低温冲击韧性,以便在恶劣的低温环境作业时使用。对于这种壁厚相对较厚的高强度无缝钢管的生产,在保证强度满足要求的前提下如何保证良好的低温冲击韧性是研发的技术难点之一;因此,必须从成分设计、钢质纯净度、热处理工艺方面进行统筹考虑^[10]。

根据起重机臂架用无缝钢管的技术条件及规格,并结合工厂装备、工艺水平和技术优势,设计出以下生产工艺路线:转炉/电炉冶炼→LF 钢包精炼→VD 真空精炼→圆坯连铸→ $\Phi 159$ mm 三辊限动芯棒连轧管机组/ $\Phi 180$ mm Accu-Roll 轧管机组轧制→调质热处理→探伤→精整→涂漆→包装入库。

2.2 关键技术

2.2.1 化学成分优化设计

考虑到 CS-Q890 无缝钢管外径大、壁厚厚,为保证钢管屈服强度在 890 MPa 以上时仍具有较好的低温冲击性能,成分设计是关键。在结合前期成功开发的 CS-Q780 无缝钢管^[11]的基础上,对 Ni、Cr、W、Mo、V 等各种微量合金元素的强化机理进行了认真分析,优化设计出 CS-Q890 无缝钢管的化学成分,见表 3。

表 3 优化设计的 CS-Q890 无缝钢管化学成分(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cr	Al	N	V	Cu	Ti
≤ 0.18	0.20~0.50	≤ 1.40	≤ 0.025	≤ 0.015	≤ 1.50	≤ 0.80	≤ 0.90	0.010~0.060	≤ 0.020	≤ 0.10	≤ 0.35	≤ 0.05

2.2.2 冶炼工艺

针对起重机臂架用高强韧性钢的特点,采用“转炉/电炉冶炼→LF 钢包精炼→VD 真空精炼→圆坯连铸”冶炼工艺。在冶炼过程中,关键是脱氧、

钢水纯净度控制、铸坯表面质量控制等。具体控制要求:①钢包、中间包在使用前必须将残钢、残渣清理干净;②挡渣系统不正常、翻包勾兑、新包和钢包换渣线后第一次不得安排冶炼此钢;③必须做

好炉前终点碳的控制，不能过氧化和超低碳出钢；④转炉必须挡渣，确保钢包内渣层厚度不超过技术操作规程要求的 50 mm，若超过则必须进行翻渣处理；⑤冶炼过程中应加强脱氧、脱硫操作，LF 钢包精炼必须做到白渣出钢；⑥VD 真空精炼炉必须做到在真空度 ≤ 67 Pa 下，保持时间 ≥ 15 min，直至炉渣不再明显发泡并保持 2 min 以上；⑦必须做好中间包长水口 Ar 气保护，防止钢水二次氧化。

2.2.3 轧管工艺

根据产品规格，制定相应的轧管生产工艺线：连铸坯(VD)→ $\Phi 159$ mm/ $\Phi 180$ mm 机组轧制→热处理(淬火+回火)→性能检验→超声波探伤(或漏磁探伤)→外观检查→涂漆→包装入库。

(1) 为保证钢管外表面质量，避免产生麻面等缺陷，要求在轧制过程中严格控制坯料加热温度，最高不超过 1 260 $^{\circ}\text{C}$ ，根据机组的不同可微调。

(2) 起重机臂架用高强韧性 CS-Q890 无缝钢管使用条件特殊，因此在轧制过程中应控制好钢管的尺寸精度，同时保证定尺长度的要求。

2.2.4 热处理工艺

2.2.4.1 热处理工艺制度的确定

为更好地确定 CS-Q890 无缝钢管热处理工艺制度，选取试样 $\Phi 6$ mm $\times 25$ mm(直径 \times 长度)，采用膨胀法测定其临界点 A_{C1} 、 A_{C3} ，试验结果如图 1 所示。根据相变点的测试结果，在实验室进行了热处理工艺试验，对不同热处理工艺对应的力学性能进行比较，结果见表 4。

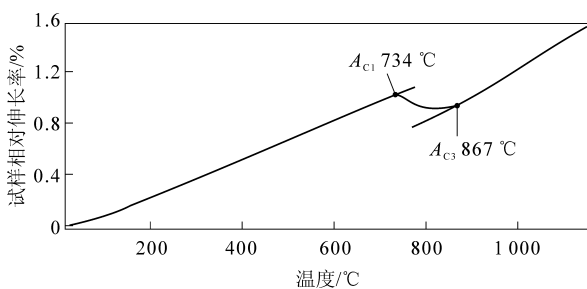


图 1 CS-Q890 钢的临界点曲线

表 4 CS-Q890 无缝钢管不同热处理工艺的力学性能

温度/ $^{\circ}\text{C}$		抗拉强度/屈服强度/		伸长率/	冲击功 A_{kV}/J	
淬火	回火	MPa	MPa	%	-20 $^{\circ}\text{C}$	-40 $^{\circ}\text{C}$
930	640	1 010	960	17.5	175	137
930	620	1 040	975	16.5	130	113
930	580	1 090	1 000	17.5	80	61

注：淬火介质为水，回火后空冷，冲击功为均值。

根据试验结果选用最优的调质工艺制度：(930 ± 10) $^{\circ}\text{C}$ 淬火，(620 ± 10) $^{\circ}\text{C}$ 回火，保温时间根据规格确定。

2.2.4.2 热处理工艺控制

(1) 炉内以还原气氛为主，并根据钢管规格对加热时间、步进周期、淬火冷却水量等工艺参数作出具体的要求。

(2) 因 CS-Q890 无缝钢管中含有 Cr、Ni、Mo 等合金元素，热处理后管体外表面的氧化铁皮特别致密，高压水除鳞不易清理干净。为确保外表面质量，调质处理后，若钢管外表面存在未清除干净的氧化铁皮，必须进行喷砂处理将其清除干净。

(3) 由于起重机臂架用管长度要求为 11.8 m 定尺，在加热及淬火时均对相应设备采取措施，保证钢管不出现大的弯曲，经矫直后钢管的弯曲度能满足要求。

3 性能检验结果

按相关技术协议和标准规定，对攀成钢公司生产的起重机臂架用高强韧性 CS-Q890 无缝钢管进行了拉伸性能、冲击韧性、金相组织及非金属夹杂物等技术指标的检验。

3.1 非金属夹杂物及金相组织

CS-Q890 无缝钢管非金属夹杂物检验结果见表 5。将攀成钢公司生产的 CS-Q890 无缝钢管与国外 FGS90WV 钢管的金相组织比较，如图 2~3 所示，从中可以看出攀成钢公司的 CS-Q890 无缝钢管金相组织达到了国外同类产品的先进水平。CS-Q890 钢的气体含量： $[\text{O}]=14\times 10^{-6}$ ， $[\text{N}]=38\times 10^{-6}$ 。CS-Q890 无缝钢管调质后的屈服强度、抗拉强度、伸长率以及低温冲击功统计如图 4~7 所示。

表 5 CS-Q890 无缝钢管的非金属夹杂物

A		B		C		D		DS
粗	细	粗	细	粗	细	粗	细	
0.5	0	0	0	0.5	0	1.0	0.5	0.5

3.2 产品焊接评定检验结果

委托相关权威测试中心对攀成钢公司生产的 CS-Q890 无缝钢管进行焊接性能评价试验，结果表明该钢管经焊接后，其室温拉伸试验合格，侧弯、面弯、背弯等弯曲试验合格，-20 $^{\circ}\text{C}$ 及 -40 $^{\circ}\text{C}$ 低温冲击试验合格^[12]。具体试验结果见表 6~8。

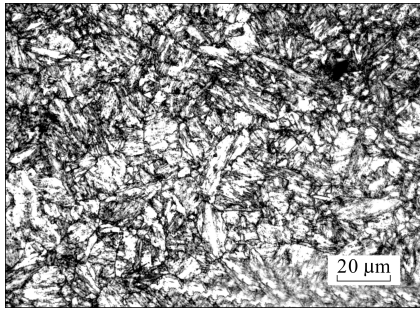


图2 攀成钢公司生产的CS-Q890无缝钢管金相组织

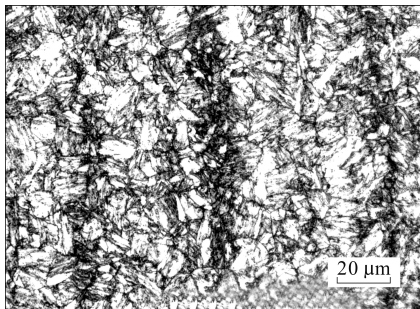


图3 国外某公司FGS90WV钢管金相组织

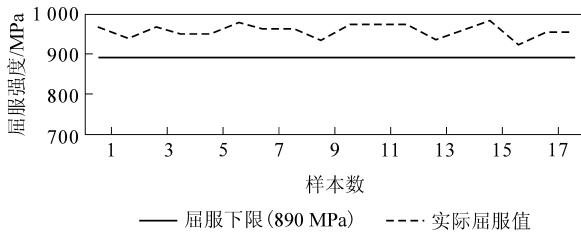


图4 CS-Q890无缝钢管调质后的屈服强度

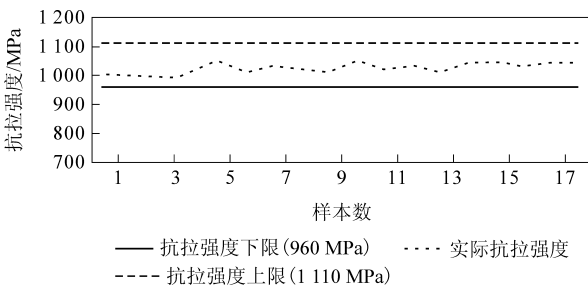


图5 CS-Q890无缝钢管调质后的抗拉强度

CS-Q890无缝钢管采用Ar+CO₂气体保护焊,选用合适焊丝,经过焊前预热和焊后保温可以保证钢管焊接性能完全满足使用要求。

从对试制的起重机臂架用高强韧性CS-Q890无缝钢管质量检验数据与技术协议比较表明:攀成

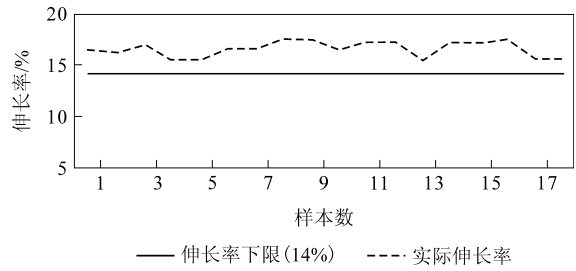


图6 CS-Q890无缝钢管调质后的伸长率

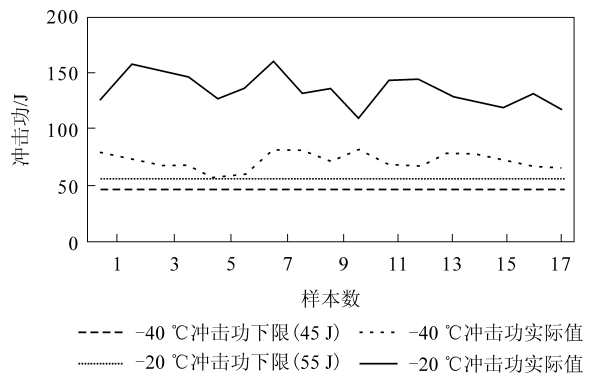


图7 CS-Q890无缝钢管调质后的低温冲击功

表6 CS-Q890样管室温拉伸试验结果

试样编号	取样方向	抗拉强度 R_m /MPa	断裂位置
T1	横向	995	热区
T2	横向	1 020	热区
技术要求		≥940	

注:试样尺寸(直径×长度)为Φ14 mm×20 mm。

表7 CS-Q890样管的-20℃冲击试验结果

试样编号	取样位置	冲击功 A_{kv} /J			
		1	2	3	平均值
C1	平焊焊缝	70.5	78.0	75.0	74.5
C2	平焊热区	174.0	182.0	166.5	174.0
技术要求		≥55			

注:试样尺寸(长度×宽度×高度)为10 mm×10 mm×20 mm。

表8 CS-Q890样管的-40℃冲击试验结果

试样编号	取样位置	冲击功 A_{kv} /J			
		1	2	3	平均值
C3	平焊焊缝	75.0	71.5	62.5	69.5
C4	平焊热区	166.0	171.0	149.5	162.0
技术要求		≥45			

注:试样尺寸(长度×宽度×高度)为10 mm×10 mm×20 mm。

钢公司试制的 CS-Q890 无缝钢管的非金属夹杂物、低温冲击韧性、屈服强度和抗拉强度等性能指标均达到国内外先进水平。

4 结 论

(1) 采用“转炉/电炉冶炼+LF 钢包精炼+VD 真空精炼+Φ159 mm 三辊限动芯棒连轧管机组/Φ180 mm Accu-Roll 轧管机组轧管+调质热处理”工艺生产的起重机臂架用 CS-Q890 无缝钢管,其钢质纯净、钢管组织和综合性能良好,完全能够满足 400 t 以上履带式起重机臂架用高强度无缝钢管的使用要求。

(2) 攀成钢公司生产的起重机臂架用 CS-Q890 无缝钢管实现了较高强度和良好的塑性、韧性的配合,产品质量水平在国内处于领先地位,且达到了国外同类产品的先进水平,可完全替代进口产品使用。

(3) CS-Q890 无缝钢管经焊接后的室温拉伸试验、弯曲试验、冲击试验的检验结果符合 JB 4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》及相应技术要求。攀成钢公司提供的与 CS-Q890 无缝钢管材料配套的焊接工艺为用户合理焊接使用 CS-Q890 无缝钢管构建了良好保障。

5 参考文献

[1] 卓先领,孙影.国内履带起重机市场加速[J].建筑机械化,2004(11):19-20.

- [2] 卓先领,孙影.国产履带式起重机挺起中国装备的脊梁[J].今日工程机械,2004(12):46-47.
- [3] 马青.履带起重机臂架有限元稳定性分析[D].大连:大连理工大学,2008.
- [4] 王凤萍,程磊,孙影.国内外履带式起重机的现状及发展趋势[J].工程机械,2006(4):39-43.
- [5] 刘启增.衡阳华菱钢管(集团)有限公司开发的 HSM890 起重机臂架用管等 3 个新产品通过省级科技成果及新产品鉴定[J].钢管,2009,38(2):62.
- [6] 汤敬华,李红卫,陈代兵,等.高强度起重机臂架管用管坯的质量控制[J].钢管,2010,39(6):27-30.
- [7] 陈绍林.履带式起重机臂架用 HSM770 无缝钢管的开发[J].钢管,2010,39(5):42-44.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 12606—1999 钢管漏磁探伤方法[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 5777—2008 无缝钢管超声波探伤检验方法[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [10] 孙珍宝.合金钢手册[M].北京:冶金工业出版社,1984.
- [11] 易良刚,吴红,林发驹.CS-Q780 起重机臂架用无缝钢管的研制[C]//中国金属学会轧钢学会钢管学术委员会五届五次年会论文集.成都:钢管杂志社,2009.
- [12] 张友鹏.攀钢集团成都钢钒有限公司生产的起重机臂架用改进型 CS-Q890 无缝钢管通过焊接评定[J].钢管,2012,41(2):14.

(收稿日期:2013-08-08;修定日期2014-03-11)

● 信 息

大口径直缝埋弧焊管生产线成套设备列入国家《进口不予免税的重大技术装备和产品目录》

2014年2月18日,国家财政部下发了《关于调整重大技术装备进口税收政策的通知》,其中,天水锻压机床(集团)有限公司(简称天水锻压)申报的“大口径直缝埋弧焊管生产线成套设备(JCOE 和 UOE)”新增列入国家《进口不予免税的重大技术装备和产品目录》(2014年修订)。此目录自2014年3月1日起执行。

为了扩大公司产品销售范围,更有利于企业发展,同时增加国产装备的使用范围,早在2009年天水锻压就开始向工信部、商务部申请,将天水锻压 JCOE 所有规格的成套产品列入《进口不予免税的重大技术装备和产品目录》和《对外援助物资供货指导目录》,争取国家税收政策支持的同时也积极争取对外援建项目。

此次“大口径直缝埋弧焊管生产线成套设备(JCOE 和 UOE)”列入目录,证明我国十多年来在 JCOE 和 UOE 制管线成套设备制造领域不断进行自主创新,主要设备完全可以替代进口,这是对国内制管装备生产企业的重大利好,同时也为国产制管装备走出国门,提高国际竞争力打下良好基础。

(天水锻压机床(集团)有限公司 白 峰)