

● 新产品开发

低中压锅炉用电焊钢管的研制

车作文 贾和利 王 平

(150070 哈尔滨钢管厂)

摘 要 开发低中压锅炉用电焊钢管是扩大焊管品种和调整钢管产品结构的重要内容。介绍了该产品的原材料选用、主要生产设备配置及生产工艺流程等。重点对焊接工艺参数控制、内毛刺去除及热处理等关键技术进行了讨论。

关键词 低中压锅炉用电焊钢管 研制 生产工艺 焊缝质量控制 内毛刺去除 热处理

DEVELOPMENT OF ELECTRIC WELD PIPES FOR
LOWER/MEDIUM-PRESSURE BOILERS

Che Zuowen Jia Heli Wang Ping

(Harbin Steel Tube Plant)

Abstract Developing electric weld pipes for lower/medium-pressure boilers is important in expanding weld tube categories and optimizing steel tube product mix. Introduced in the paper are such aspects concerning the said boiler pipes as selection of material, major production equipment configuration and manufacturing process flow, etc., focusing on critical techniques like control of welding process parameters, removing of inner burs and heat treatment.

Key words Electric weld pipes for lower/medium-pressure boilers Development Manufacturing process Weld seam quality control Removing of inner burs Heat treatment

1 前言

锅炉用钢管长期处于高温、高压工作条件下,要求具有相应的热强性、抗氧化性和耐腐蚀性及良好的工艺性能,因而大多采用无缝钢管。随着焊管生产技术的进步和先进热处理工艺的应用,加之焊接钢管固有的优势(尺寸精度高、表面质量好以及价格便宜),焊管已经进入锅炉用钢管领域。在国外,电焊钢管于 50 年代就用作低中压锅炉管,70

年代用作高压锅炉管。目前在亚临界参数电站锅炉和各种工业锅炉上已普遍使用电焊钢管,它在低中压锅炉管中的比例已经达到 50% 以上。

1990 年我厂在改造后的 $\Phi 114\text{mm}$ 焊管机组上开始研制低中压锅炉钢管。1992 年 7 月在由冶金部、机械部及劳动部共同组织召开的低中压锅炉用电焊钢管技术评议会上获得认可。随后哈尔滨工业锅炉公司等多家锅炉厂在多种型号蒸汽锅炉和热水锅炉上使用,反映良好。现就低中压锅炉钢管的研制情况作如下介绍。

第一作者 男 1954 年 12 月出生 技术处处长 高级工程师

2 低中压锅炉用电焊钢管的开发研制

2.1 原材料

锅炉用电焊钢管的原材料是本溪钢铁公司生产的 20G 钢热轧卷板, 规格为 1 050mm

×3. 0mm, 卷重 10t, 技术条件参照 JISG3461 和 GB3087—82, GB5310—85 标准。化学成分见表 1, 晶粒度、夹杂物及机械性能见表 2。为了保证焊接性能, 必须降低钢中的 S, P 等

表 1 20G 热轧卷板的化学成分%

标 准	钢号	C	Si	Mn	P	S
GB3087—82	20	0. 17~0. 24	0. 17~0. 37	0. 35~0. 65	≤0. 040	≤0. 040
JISG3461		≤0. 32	≤0. 35	0. 30~0. 80	≤0. 035	≤0. 035
STB410						
复验数据	20G	0. 19	0. 25	0. 50	0. 008	0. 005

表 2 20G 热轧卷板的金相组织和机械性能

标 准	钢号	屈服强度	抗拉强度	伸长率	冷弯	晶粒度/级	带状组织	非金属夹杂物/级	
		/MPa	/MPa	%	180°		/级	脆性	塑性
GB3087—82	20	≥245	412~540	≥24	合格				
复验数据	20G	290~300	428~456	25~43	合格	6~8	0	<1. 0	<1. 0

有害元素和非金属夹杂物的含量。

2.2 主要设备

2.2.1 焊管机组

Φ114mm 高频电焊管机组配备了 GD 600 高频电源、工艺参数检测与计算机闭环控制系统以及内外毛刺去除装置, 具有焊接功率大、设备刚性好、精度高等特点。

2.2.2 热处理炉

我厂从德国 LOI 公司引进了保护气氛辊底式连续热处理炉 (全长约 50m, 主要由进料室、加热和保温室、水冷壁快冷室、缓冷室及出料室等组成), 用于 Φ15~219mm×1. 5~12. 0mm 钢管的正火或回火热处理, 生产能力为 3. 0t/h, 最高炉温可达 1 050℃。在 930℃时炉温可稳定在 ±0. 5℃, 煤气耗量 230m³/h。保护气氛是由保护气氛发生器控制煤气不完全燃烧产生的, 由 N₂、H₂、CO 及 CO₂ 等气体按一定比例混合组成。该炉子的燃烧系统、保护气氛系统、传动系统及热处

理工艺控制等全部由 PLC 自动控制。

2.2.3 无损检测设备

我厂从日本引进 1 台 CD—7041 型在线焊缝涡流探伤仪, 与原有的水压试验机共同组成锅炉管的在线焊缝检测系统。另从德国新尼斯公司引进 1 台 DSP—200 型涡流探伤仪, 用于正火处理后锅炉管的逐根管体探伤检测。

2.3 生产工艺

2.3.1 产品规格与技术要求

研制开发的低中压锅炉用电焊钢管, 规格为 Φ51mm×3mm, 几何尺寸按 JISG3461 标准控制, 技术性能的要求参照 GB3087—82 和 GB5310—85 标准。

2.3.2 工艺流程

管坯准备→成型→高频焊接→去内外毛刺→冷定径→涡流探伤→锯切定尺→平头倒棱→水压试验→中间仓库→正火热处理→矫直→涡流探伤→人工检验→标记包装→入库。

2.3.3 工艺参数与要点

(1)成型。成型前带钢的剪切宽度控制在 $158\pm 0.3\text{mm}$ 。成型辊采用双半径成型孔型。严格控制成型时每一架的变形,保证成圆后的两个边缘平行对接,使焊接后的焊缝影响区为上下对称的腰鼓型,其腰部宽度是钢管壁厚的 $1/3$,这样的焊缝强度最高。

(2)焊接。采用高频感应焊接的工艺参数:阳极电压 12kV ,阳极电流 $12\times 2\text{A}$,焊接功率 400kW ,焊接速度 35m/min ,焊接温度 $1\,380^{\circ}\text{C}$,开口角 4° ,挤压力 60kN 。

(3)去毛刺。外毛刺用圆弧刃刨刀去除。内毛刺用我厂研制的机械式去除内毛刺装置去除,内毛刺高度控制在 0.25mm 以下。

(4)热处理。锅炉管在保护气氛辊底式连续热处理炉内进行整体正火,加热温度 $900\sim 930^{\circ}\text{C}$,保温时间 10min 。

(5)成品检验。外径、壁厚、内毛刺及弯曲度等几何尺寸按 JISG3461 标准检验,机械性能、工艺性能及涡流探伤等的检验按 GB3087—82 标准执行。除此以外还进行了展平和纵压等工艺性能、金相组织、晶粒度、短时高温性能和内压爆破试验等超标检验,结果全部合格。

3 开发低中压锅炉用电焊钢管的关键技术

与一般用途的电焊钢管相比,低中压锅炉用电焊钢管的制造工艺要解决三大难题,焊缝质量控制、内毛刺去除及热处理。

3.1 焊接工艺参数的控制

焊接过程中,温度、速度及挤压力的控制是决定焊缝强度的关键因素。

(1)为了获得较高的焊缝强度,20 钢的焊接温度以 $1\,380^{\circ}\text{C}$ 为佳。在焊接过程中,焊接温度取决于管料的厚度、电源输出功率及焊接速度等。为了使输出功率有较宽的调节范围,开始给定的功率应选定为电源额定输出功率的 80% 。在此前提下,根据管料厚度

给定焊接速度以使焊接温度保持在 $1\,380\pm 30^{\circ}\text{C}$ 。当管料厚度波动时,应及时调节输出功率,使焊接温度稳定。

感应圈的尺寸和位置对功率消耗的影响极大。当感应圈与钢管之间的间隙减小或感应圈到挤压辊之间的间距减小时,都会降低功率消耗,此时(管料厚度和输出功率一定时)焊接速度可以增大。根据生产经验,感应圈与钢管的间隙应控制在 $4.5\sim 5.5\text{mm}$,同时还须用冷却水冲刷感应圈间隙,以防氧化铁皮沉积造成短路;在保证管坯边缘加热均匀和防止感应圈打火的前提下,应尽量减少感应圈到挤压辊的间距。

(2)挤压力的大小直接影响焊缝强度。根据试验确定,20 钢带钢焊接强度低于 510MPa 时,挤压力应控制在 60kN ,即挤压焊缝区的单位压力应控制在 $20\sim 30\text{MPa}$,以使焊缝区的氧化物夹杂在熔化或半熔化状态下被挤出来。

(3)焊接工艺参数的自动控制。只有通过焊接工艺参数的在线检测和闭环控制,焊接过程中的焊接温度和挤压力等工艺参数才能稳定在最佳范围内,为此,采用了以下自动检测和控制手段:

在挤压辊里安装应变片,经放大后输给 PLC,在显示屏幕上显示出挤压力。根据显示值,给定和调整挤压辊的压力。

远红外测温装置的检测镜头装在挤压辊上方,用于检测焊接温度,其信号输给 PLC,电源的输出电压由 PLC 控制。设定焊接温度后,随着焊接速度等参数的变化,测温仪将检测到的焊接温度波动信号输送给 PLC,适时改变输出电压,对焊接温度实现闭环控制。

在成型辊前设置涡流测厚装置,当带钢的厚度波动时,可通过 PLC 对输出功率进行闭环调节。

在挤压辊上方还安装了工业电视的摄像头,用以观察测温仪的测温点是否准确,以

及挤压辊处的开口角波动情况。开口角波动是因带钢成型不好而造成的,它能引起局部焊接温度偏低,产生细缝等质量缺陷。

3.2 内毛刺去除

内毛刺去除的主要技术难点是:管坯焊接时,磁棒的冷却水对刮内毛刺刀杆的小轮润滑非常不利;焊接时管内的热量很高,对刀杆有破坏作用,尤其是飞溅起的小焊珠和熔渣易造成积瘤、损坏刀杆等事故;刀杆必须是非磁性材料,否则会因感应加热而被烧坏或影响焊接效率;钢管内径仅 40mm 左右,刀杆须具有很好的刚性和弹性,并应装卸方便和容易控制。因此,刀杆的设计和制造难度较大。

我厂研制的机械式内毛刺去除装置,采用强力支撑,使刀头紧贴钢管的内焊道,并随带钢壁厚及成型的波动进行自动补偿。刮削深度靠刀头与导向轮间的相对位置来调整,一次调准后保持长期不变。刀头为环形硬质合金刀头,导向轮用耐热钢制作,并采用滑动轴承。

焊缝的稳定性是进行内毛刺去除的重要条件:①成型要稳定,焊缝不能摆动太大,焊口处要呈工字型对接,避免产生大量焊渣;②焊接速度要平稳,控制好焊接温度和挤压力,防止过烧积瘤压坏刀杆。焊缝产生扭曲变化时,刀杆可在尾部连接处随着焊缝自行调整。不同的管径采用不同规格的刀杆,并用快速接头,更换方便。刀杆材料为奥氏体不锈钢。

3.3 热处理

20 钢锅炉用管的热处理可采用正火、退火及回火等热处理制度。但 580~650℃回火热处理后,很难得到均匀的组织 and 性能。完全退火热处理虽能使组织均匀化,但晶粒较粗,综合机械性能不如正火组织。因此,锅炉用管最好选用正火处理,钢管在 $Ac_3+30\sim 50^\circ\text{C}$ 温度下保温一定时间,使整个管体组织均匀化,接着在较快的冷却速度下冷却,即

可获得细化的珠光体+铁素体的均匀组织。

根据以上热处理要求,采用保护气氛辊底式连续热处理炉。按锅炉用管的表面要求,采用 99.99% 以上纯氮,加 2% 以下 H_2 或再加 CO 等气体,可得到微氧化的钢管表面。

通过在 850~930℃ 之间的各种温度试验表明:加热温度大于 900℃ 时,钢管的整体组织和性能才能达到均匀化。此时随着温度的提高和保温时间的增长,晶粒略有增大,但机械性能变化不明显。考虑工艺性能的可靠性和热处理制度的合理性后,选定的正火处理的工艺制度是:管体加热温度 $930\pm 5^\circ\text{C}$,保温时间 $\leq 10\text{min}$,冷却速度 $> 50^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

4 结语

我厂研制的低中压锅炉用电焊钢管,可以满足有关技术标准的要求,并在冶金部、机械部和劳动部共同组织的评议会上获得认可,在一些锅炉厂正式使用后,也取得了满意的效果。

(1)选用的 20G 热轧卷板,化学成分完全符合标准要求,在焊接过程中,显示出良好的成型性能和焊接性能。

(2)所设计配置的焊接参数自动监控系统,能够得到满意的焊缝质量。研制的内毛刺去除装置结构简单、实用性强,便于调整和监测,可满足生产低中压锅炉用管的要求。

(3)20G 电焊钢管通过保护气氛辊底式连续热处理炉进行正火处理后,可满足有关标准中金相组织、机械性能、工艺性能及表面质量等的要求。

(4)水压试验机与 CD-7041 型焊缝涡流探伤仪和 DSP-200 型管体涡流探伤仪匹配,所组成的无损探伤系统对钢管进行逐根探伤检测,可保证低中压锅炉用管的焊缝和管体质量。

(收稿日期:1998-02-16)