

35CrMo钢管中频感应加热调质技术

山东荣泰感应科技有限公司 (潍坊 261206) 牟俊茂 褚荣祥

感应加热技术在钢材热处理领域发展较快的是对钢管的正火处理、调质处理和焊管的退火处理。我公司从2004年开始致力于钢管感应加热设备的研发、生产和现场工艺调试,到目前为止已生产多套煤矿单体支柱液压缸管中频调质生产线,汽车举升液压缸管调质生产线,油田钻杆、钻铤中频调质生产线,地质钻杆调质生产线,无缝钢管定径感应加热,不锈钢管光亮固溶处理生产线及汽车排气管中频调质生产线等。下面以我公司生产的地质钻杆中频调质热处理生产线进行探讨。

一、成套中频调质热处理生产线概况

1. 技术要求

钢管规格 $\phi 55.5 \sim \phi 95\text{mm}$,长6000~9000mm,壁厚4.8~10mm。常用材质为35CrMo、45MnMoB、45CrMo。回火后力学性能指标: $\sigma_b \geq 950\text{MPa}$, $\sigma_s \geq 850\text{MPa}$, $\delta \geq 12\%$ 。处理后直线度 $\leq 0.7\text{mm/m}$ 。

设计产量:以35CrMo材质的 $\phi 71\text{mm} \times 5\text{mm}$ (厚)钢管为基准,产量2t/h以上。

2. 设计分析

35CrMo钢管为中碳合金钢,淬火温度850~950℃,回火温度550~650℃。根据感应加热特点,为保证加热效率,同时确保加热钢管心表温差最小,得到合格的金相组织。感应器设计为居里点以下大功率密度低频率加热,居里点以上低功率密度高频中频电源加热。按2t/h产量设计,淬火加热中频功率为650kW,回火加热中频功率为350kW,加上辅助设备用电,供电变压器为S11-1250kVA/10kV/0.4kV。

3. 生产线组成

生产线由中频加热设备、喷淋冷却部分、淬火上料部分、机械托辊传送部分、回火卸料部分、中频设备闭式冷却系统、红外线测温系统及计算机控制系统等组成,如图1所示。

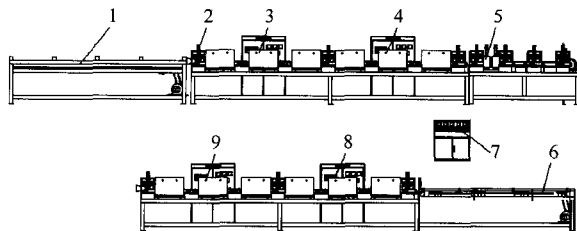


图1 钢管感应加热调质热处理生产线

1. 淬火上料 2. 托辊输送 3. 淬火加热 4. 淬火保温 5. 淬火喷淋冷却
6. 回火卸料 7. 设备中心控制 8. 回火保温 9. 回火加热

4. 工艺参数的控制

主要控制感应加热设备参数、机械输送参数、冷却能力、加热温度及计算机自动控制等。

(1) 感应加热设备参数 主要控制加热设备功率、频率、直流电压、直流电流及中频电压,保证加热不同规格钢管参数的一致性、稳定性。

(2) 机械输送参数 通过调整辊轮的安装角度和电动机转速,保证工艺要求的线速度和自转速度。

(3) 冷却能力 连续多级喷淋冷却,使用水或淬火冷却介质进行冷却,具有很强的冷却能力。淬火时通过对水压、水流量、水温进行控制,完全达到工艺要求。

(4) 计算机自动控制 采用德国西门子PLC控制系统、触摸屏显示调节,配套红外线测温仪对工艺参数连续监控、记录、存储,实现参数可追溯性。温度控制精度达到 $\pm 5^\circ\text{C}$,硬度波动 $\leq 2\text{HRC}$,

处理后直线度 $\leq 0.5\text{mm/m}$ 。图2所示是钢管调质生产线自动控制系统。

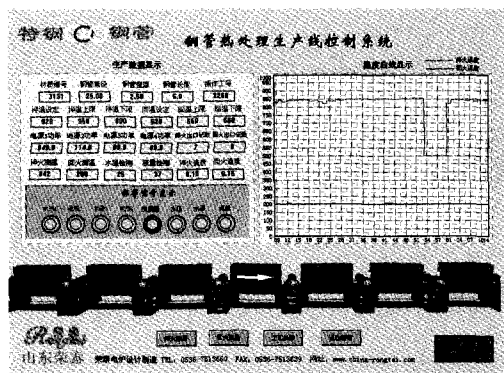


图2 钢管调质生产线自动控制系统

二、35CrMo钢管中频感应加热调质热处理特性

感应加热与普通电阻加热或燃料加热调质热处理工艺相比，具有以下特点：

(1) 高强度、高韧性、更细的金相组织 由于采用在线感应加热和喷淋冷却淬火，钢管的加热速度更快，晶粒来不及长大就冷却。喷淋冷却按一定速度、压力作用于钢管表面，使钢管表面具有一定压应力。钢管获得更细的回火索氏体组织，具有很高的强度，尤其是较高的屈服强度和良好的塑性。

从附表可以看出，感应加热调质处理的力学性能明显优于普通加热。抗拉强度提高5.1%~29.1%，屈服强度提高15.1%~17.9%，塑性提高11.5%~22.2%。同时采用不同加热方式加热到900℃进行淬火，电炉加热晶粒度为8级，感应加热晶粒度为10级，感应加热得到的晶粒明显更细。

不同加热方式下35CrMo钢管的力学性能

加热方法		感应加热	普通加热
调质工艺		淬火：880~900℃，水冷 回火：680~700℃，空冷	淬火：880℃ 回火：560℃
钢管室温	σ_b/MPa	1050~1250	950~1000
	σ_s/MPa	950~1180	800~850
力学性能	$\delta_5(\%)$	12~18	11~12
	$\psi(\%)$	45~55	45~50

(2) 力学性能均匀稳定 感应加热调质热处理时，钢管匀速旋转通过淬火加热感应圈、淬火喷淋圈、回火感应圈，只要速度控制稳定、加热功率参数稳定，则钢管的力学性能就必然稳定。

试验35CrMo钢管（ $\phi 71\text{mm} \times 6500\text{mm}$ ，壁厚5.5mm），沿圆面均匀测量硬度值，感应加热调质处理表面硬度差值在2HRC以内，燃气加热炉调质

处理表面硬度差值在6HRC以内。对采用不同加热方式热处理后的钢管测试抗拉强度、屈服强度，感应加热处理所得性能波动值也明显小于电阻炉加热和燃气加热钢管。

(3) 钢管表面质量优良 钢管表面质量指标主要有钢管表面脱碳层深度、钢管表面氧化增重和钢管变形量大小。具体分析：①钢管表面脱碳情况。感应加热时，由于钢管快速升温和高温下停留时间短，不会有表面脱碳现象。一般普通加热调质处理的钢管表面脱碳层深度为0.3~0.5mm，占钢管重量的5%。②钢管表面氧化情况。选用不同的钢管采用感应加热和电阻炉加热，900℃下保温30min，空冷，测得感应加热的氧化增重仅为电阻炉加热的5%~10%。感应加热调质处理后，钢管表面氧化很轻，不会产生可剥落的氧化膜，表面仅存在均匀分布很薄的氧化膜。③钢管变形量的大小。感应调质处理钢管由于具有很高的屈服强度，若处理后钢管弯曲度过大，给下一步校直带来很大的难度。生产实践证明，控制加热速度、钢管旋转速度和冷却速度等工艺条件，可以将钢管直线度控制在0.5mm/m，圆度控制在0.15mm。处理前钢管经一次预矫直后，弯曲变形量不大于0.7mm/m，经感应调质处理后肉眼看不出其变形量。

(4) 效率高、能源消耗低 感应加热是利用电磁感应原理在金属内部产生涡流发热直接加热金属，而传统的加热方式是利用发热元件的辐射、对流、传导等形式加热金属。感应加热综合效率高达66.7%，普通电阻加热综合效率最高40%。

生产中的35CrMo钢管调质处理能源消耗是490~510kW·h/t，而电阻炉加热调质处理能源消耗高达750~850kW·h/t。感应加热与传统加热调质处理相比，可以节能40%左右，从而减少CO₂排放，是一种高效、节能、减排的绿色热处理工艺。

三、结语

综上所述，感应加热调质处理的合金钢管具有高强度、高韧性、高的性能均匀稳定性等特点，能源消耗、排放低，是值得大力推广的热处理工艺。其也可用于钢管正火、退火、消除应力处理，不锈钢固溶处理，以及棒材、线材、PC钢的退火、调质热处理等。 MW (20120616)