

文章编号:1673-0062(2017)03-0051-04

35CrMo 钢低温韧性试验研究

张秋红¹, 樊湘芳^{1*}, 赵健明², 方稷丰¹, 申龙章¹

(1.南华大学 机械工程学院,湖南 衡阳 421001;2.衡阳市华菱钢管有限公司,湖南 衡阳 421001)

摘 要:针对 35CrMo 钢石油套管调质处理后低温冲击韧性偏低且不稳定的问题,对 35CrMo 钢进行“零保温”热处理试验.结果表明:与常规调质热处理相比,“零保温”热处理的 35CrMo 钢获得非常细小的回火索氏体,在不降低强度的前提下能有效改善其低温韧性.因节省了保温时间,能耗可较大程度降低.

关键词:零保温;35CrMo;热处理;低温冲击韧性

中图分类号:TG156 **文献标志码:**A

Research on Low Temperature Toughness Test of 35CrMo Steel

ZHANG Qiu-hong¹, FAN Xiang-fang^{1*}, ZHAO Jian-ming²,
FANG Ji-feng¹, SHEN Long-zhang¹

(1.School of Mechanical Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
2.Hengyang Hua Ling Steel Tube Group Co.Ltd, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: “Zero insulation” heat treatment was done to 35CrMo steel to solve the problem of low toughness and the instability of 35CrMo steel oil casting after treated by quenching and tempering. The results show that 35CrMo steel treated by “zero insulation” heat treatment can obtain very fine sorbite compared with the traditional heat treatment, which can improve remarkably the low temperature toughness of the steel without reducing the strength. At the same time, the “zero insulation” heat treatment can reduce the energy consumption to a greater extent as it saves the holding time.

key words: “zero insulation” heat treatment; 35CrMo; heat treatment; low temperature impact toughness

收稿日期:2017-06-29

基金项目:湖南省质量工程项目;南华大学—南岳电控(衡阳)工业技术有限公司机械类专业校企合作人才培养示范基地(湘教通[2014]272号);湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划项目(湘教通[2016]283号)

作者简介:张秋红(1992-),女,本科生,主要从事于材料成型及控制工程研究.E-mail:13187234658@163.com. * 通讯作者:樊湘芳,E-mail:hefanyibang@163.com

0 引 言

“零保温”淬火是近年来出现的热处理新工艺,即工件表面达到淬火温度后,立即淬火冷却.传统的奥氏体化理论认为,工件在加热过程中必须有较长的保温时间,以便完成奥氏体晶粒的形成、长大及剩余渗碳体的溶解和奥氏体的均匀化.现行钢的淬火加热工艺都是在这一理论指导下制定的.

20 世纪 70 年代,日本学者大和久重雄博士提出了结构钢“零保温”淬火的设想^[1-2],即工件表面达到淬火温度后,立即冷却处理,省去了工件透热和组织转变所需要的时间,不仅节约能源,提高劳动生产率,而且可减少或消除工件在保温过程中产生的晶粒粗化、氧化、脱碳等缺陷,有利于产品质量的提高.

35CrMo 钢石油套管是石油钻井中连接钻柱、

传递扭矩的重要构件,由于钻探地质条件不同,井下受力状态复杂,拉、压、弯、扭等复杂应力综合作用于管体,服役条件恶劣,尤其对石油套管的低温冲击韧性提出了较高要求.石油套管主要经过调质热处理来实现良好的综合力学性能^[3],但生产中发现,35CrMo 钢制石油套管按规定的调质热处理工艺处理后,材料的冲击韧性偏低且不稳定.本文尝试用“零保温”取代常规热处理工艺,对比两种工艺下材料的金相组织、硬度、抗拉强度、屈服强度、低温冲击韧性,研究“零保温”淬火对 35CrMo 钢低温韧性的影响.

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

原始试验样为国内某钢厂轧制后的 35CrMo 钢,化学成分如表 1 所示,临界温度 $Ac_1=755\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Ac_3=800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Ms=370\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[4].

表 1 35CrMo 钢化学成分(质量分数,%)
Table 1 Chemical composition of 35CrMo steel

合金元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu
GB3077—1988	0.32~0.40	0.17~0.37	0.40~0.70	≤0.035	≤0.035	0.80~1.10	0.15~0.25	≤0.30
化验结果	0.35	0.21	0.51	0.014	0.002	0.91	0.18	0.05

1.2 热处理工艺

“零保温”热处理主要由两部分组成——淬火+高温回火^[5].本试验考虑不同淬火保温时间对 35CrMo 钢低温冲击韧性的影响.将试样分成 4 组:1#、2#、3#、4#,各采用不同的淬火保温时间,并都进行 850 $^{\circ}\text{C}$ 淬火水冷,和 630 $^{\circ}\text{C}$ 高温回火+保温 0 min

空冷.表 2 为 35CrMo 钢的热处理工艺参数.其中试验组 1#的淬火保温时间为 0 min,即“零保温”热处理,2#的淬火保温时间为 20 min,3#的淬火保温时间为 40 min,4#的淬火保温时间为 60 min,即常规热处理.试样进行淬火和回火均随炉升温,淬火升温时间为 2 h,高温回火升温时间为 1.5 h.

表 2 热处理工艺参数
Table 2 Heat treatment parameters

试验组	淬火			回火		
	加热温度/ $^{\circ}\text{C}$	保温时间/min	冷却介质	加热温度/ $^{\circ}\text{C}$	保温时间/min	冷却介质
1#	850	0	水	630	0	空冷
2#	850	20	水	630	0	空冷
3#	850	40	水	630	0	空冷
4#	850	60	水	630	0	空冷

1.3 试样制备

试样包括拉伸试样、硬度试块及冲击试样,拉伸试样为 $d_0=10\text{ mm}$, $L_0=5\text{ d}$ 的短试样,金相(硬度)试块为 10 mm×20 mm×30 mm 的长方体,冲击试样为 55 mm×10 mm×10 mm, V 型缺口的长方

体.执行标准:GB/T 229-2007《金属材料冲击试验方法》.将试验组 1#、2#、3#、4#的 35CrMo 钢按标准加工成拉伸试样各 3 个,金相(硬度)试块各 1 个,在不同冲击温度下处理冲击试样各 3 个,测试性能后取平均值作为试验结果.

1.4 试验所用设备

KBF1600 箱式电阻炉、XJP-200 金相显微镜、P-2 抛光机、BRIN200B-T 布氏硬度计、JBD-30 型冲击试验、WAW-300 微机控制电液伺服万能试验机、CST-6 冲击试样缺口拉床、CST-50 冲击试样缺口投影仪、CDW-B0 冲击试验低温仪。

2 试验结果及分析

2.1 金相组织分析

不同淬火保温时间的 35CrMo 钢金相组织如图 1 所示,可以看出,随淬火保温时间的缩短,金相组织越细。图 1(a) 为试验组 1#的金相组织,即

“零保温”热处理后 35CrMo 钢的金相组织,图 1(d) 为试验组 4#的金相组织,即常规热处理后 35CrMo 钢的金相组织,“零保温”热处理组织与常规热处理组织均为回火索氏体,马氏体的板条形态被保留,但前者组织更细。这是因为保温时间为零,所以奥氏体化时间非常短,晶粒来不及长大;此外,碳原子不能充分扩散,奥氏体中有碳不均匀度时,将使马氏体形核位置增多,从而马氏体组织得到细化^[6-8]。

淬火保温 20、40 min 的 35CrMo 钢的金相组织局部粗大,见图 1(b)、(c),保温 20~40 min 淬火得到的贝氏体形态被保留,C 原子不能充分扩散。

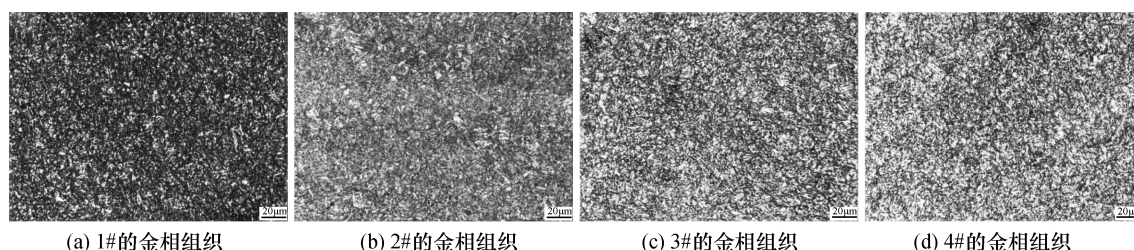


图 1 不同淬火保温时间的 35CrMo 钢金相组织

Fig.1 microstructure of 35CrMo steel with different holding time

2.2 力学性能测试与分析

各试样的试验参数及性能检测结果见表 3。

表 3 各试样的试验参数及性能检测结果

Table 3 Test parameters and performance test results of each sample

编号	淬火工艺	拉伸试验			硬度(HB)	冲击试验—冲击功 A_{KV}/J						
		Rm/MPa	R _{p0.2} /MPa	$\delta_5/\%$		20 ℃	10 ℃	0 ℃	-10 ℃	-20 ℃	-30 ℃	-40 ℃
1#	850 ℃×5 min	1 122.5	1 052	18.0	245.5	129.7	113.7	92.3	88.3	92	89.3	87.7
2#	850 ℃×20 min	1 238.5	1 163	18.0	253.5	125.0	111	93	86.3	78	46.7	41
3#	850 ℃×40 min	1 190.0	1 042	17.3	250.5	122.7	108.7	99	93.3	95	79.3	71.3
4#	850 ℃×60 min	1 117.5	1 045	17.5	348.0	99.7	94.3	92	91.3	92.3	85	83.3

由试验结果,可得出:35CrMo 钢的硬度随保温时间缩短,硬度值减小,数值较稳定,试验组 1# 的硬度相比 4# 的硬度小很多,与常规热处理相比,“零保温”热处理后的 Rm、R_{p0.2}、 δ 完全可以达到常规热处理的性能指标。试验组 2# 的硬度高于试验组 1#,且强度最大,这与金相组织分析中,淬火保温 20 min 热处理后 35CrMo 钢的金相组织局部粗大,导致强度增大的结论是一致的^[9]。

为便于分析经不同保温时间的 35CrMo 钢在不同冲击温度下的冲击韧性,绘制了如图 2 所示的试验组 1#、2#、3#、4# 在各温度下冲击功的折线

图。由图 2 可以得出:热处理后的 35CrMo 钢随冲击温度的降低,其冲击韧性呈降低趋势,而“零保温”热处理试样的冲击韧性在-10 ℃呈上升趋势,冲击功增大,到-40 ℃时同比其他热处理达到最大 87.7 J,且“零保温”热处理试样的冲击功在常温和 10 ℃时要高于任何淬火保温时间的冲击功。所以,“零保温”热处理完全可以达到常规热处理的冲击韧性指标,且使 35CrMo 钢的低温冲击韧性有了明显提高。

从折线图中可以得出,淬火保温 20 min 热处理后 35CrMo 钢的冲击韧性随冲击温度的降低变化

很大,且在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时冲击功低至 41 J ,”零保温”热处理试样的冲击功几乎是其2倍,这跟金相组织结果也是一致的,说明淬火保温 20 min 不能使 35CrMo 钢的低温冲击韧性得到提高.从强度来看,淬火保温 20 min 的效果最好,但为提高 35CrMo 钢的综合力学性能,”零保温”热处理工艺最佳.

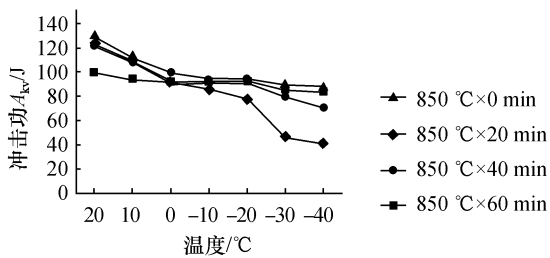


图2 淬火保温时间不同的 35CrMo 钢在不同冲击温度下的冲击性能

Fig.2 impact properties of 35CrMo steel with different holding time under different impact temperature

3 结 论

1) “零保温”热处理与常规热处理后 35CrMo 钢组织均为回火索氏体,”零保温”热处理组织更加细小,主要原因是奥氏体晶粒细化和奥氏体中碳浓度分布不均匀.淬火保温 20 min 热处理后 35CrMo 钢的金相组织局部粗大,碳原子不能充分扩散.

2) 35CrMo 钢经 $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ “零保温”热处理,强度和硬度完全能达到常规热处理的性能指标,常温冲击韧性和低温冲击性均优于常规热处理.淬火保温 20 min 提高了 35CrMo 钢的强度,与金相组织分析结果一致,但为使 35CrMo 钢获得良好

的综合力学性能,且极大提高了低温冲击韧性,”零保温”热处理工艺最佳.

3) “零保温”热处理不仅改善 35CrMo 钢的低温韧性,同时,因大大缩短了常规的保温时间,可以节约能源.

参考文献:

- [1] 陈昊,李安铭.27SiMn钢“零保温”淬火状态下的组织与性能[J].科技创新导报,2008(22):72-73.
- [2] 李安铭.”零保温”淬火温度对 25MnV 钢组织性能的影响[J].煤炭学报,2007,32(4):445-448.
- [3] 成海涛,崔润炯.浅谈我国微合金非调质油井管的发展[J].钢管,2002,31(3):7-10.
- [4] 冶金工业部钢铁研究院.合金钢手册:下册[M].北京:中国工业出版社,1963.
- [5] GONG H, WU F, FENG X, et al. Analysis of quenching stresses in 35CrMo axle[J]. Journal of Wuhan University of Technology(Materials science), 2016, 31(3):630-635.
- [6] 李安铭,黄丽娟,王向杰,等. 25MnV 钢“零保温”淬火状态下的组织与性能[J].热加工工艺,2007,36(6):36-38.
- [7] ZHANG P, CHEN Y L, XIAO W L, et al. Twin structure of the lath martensite in low carbon steel[J]. Progress in Natural Science: Materials International, 2016, 26(2):169-172.
- [8] LIANG G, SHI C, ZHOU Y J, et al. Numerical Simulation and experimental study of an ultrasonic waveguide for ultrasonic casting of 35CrMo Steel[J]. Journal of Iron and Steel Research(International), 2016, 23(8):772-777.
- [9] 朱红梅,樊湘芳,罗承萍,等.固溶处理对 ZC61 镁合金显微组织和力学性能的影响[J].南华大学学报(自然科学版),2012,26(4):43-46.