经济型抗 CO_2 腐蚀油井管热处理工艺研究

石晓霞[1],张行刚[1],郭志文[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章通过经济性抗 CO_2 腐蚀油井管用钢 15Cr3MoVTi 钢种 CCT 曲线测定得出,实验钢 Ac_1 为 659 ℃,Ac_3 为 834 ℃。在此基础上设计了四种热处理工艺,热处理后的力学性能检验显示,回火温度升高 60 ℃,屈服强度降低约 130 MPa,抗拉强度降低约 150 MPa,延伸率有所改善,但变化不明显,冲击韧性随着回火温度的增加取得显著效果,相较于 580 ℃回火,640 ℃回火冲击韧性提高 1.4 倍。

关键词: 15Cr3MoVTi; 淬火; CCT

中图分类号: TG156 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)03-0043-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.03.011

Study on Heat Treatment Process of Economical Anti CO_2 Corrosion Oil Well Tube

Shi Xiao-xia[1], *Zhang Xing-gang*[1], *Guo Zhi-wen*[2]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, it is introduced the Ac_1 of test steel was 659 ℃ and Ac_3 of test steel was 834 ℃, which were determined with CCT curve of 15Cr3MoVTi steel for economical anti CO_2 corrosion oil well tube. Four heat treatment processes are designed based on them. The inspection of mechanical properties after heat treatment showed that the tempering temperature was increased by 60 ℃, the yield strength was decreased by about 130 MPa, the tensile strength was decreased by about 150 MPa and the elongation was improved, but it was not obvious. The impact toughness was significantly improved with the increase of tempering temperature. The impact toughness with tempering of 640 ℃ was 1.4 times higher than that with tempering of 580 ℃.

Key words: 15Cr3MoVTi; quenching; CCT

国内外研究表明,由于 CO_2 腐蚀性极强,采用含有 Cr、Ni、Mo 等合金元素不锈钢管被认为是抗 CO_2 腐蚀的理想选材[1]。但上述材料含有大量的 Cr、Ni、Mo 等价格昂贵的元素,增加了钢管制造成本,限制了它在油气田的使用。研究各油气田 CO_2 腐蚀的特性和现状发现,我国目前已发现及开采的

收稿日期: 2017-12-25

作者简介: 石晓霞(1984-),女,甘肃省陇南市人,硕士,高级工程师,现从事无缝管新产品开发工作。

油气田大多属于贫油低渗透油气田，采用耐蚀合金油井管成本过高，因此，通过实验室的成分设计、热处理工艺研究、CO_2 腐蚀研究，开发性能良好、价格便宜的经济型低 Cr 腐蚀钢种成为行业的热点话题。作为腐蚀环境专用油井管，保证高强高韧的前提条件下，还需具备良好的耐蚀性能。一般习惯将淬火加高温回火相结合的热处理工艺称为调质处理，其目的是使工件获得良好的综合机械性能。

1 实验材料及方法

1.1 实验材料

实验所选钢种为经济型抗腐蚀专用油井管用钢15Cr3MoVTi，实验钢采用中频感应炉 100 kg 小炉冶炼，具体化学成分见表 1。将其轧制成 20 mm 板样用于 CCT 曲线测试取样、拉伸性能、冲击性能检验取样。

表 1 实验钢化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	V	Al
≤0.15	0.17~0.37	≤1.0	≤0.01	≤0.006	≤3.0	≤0.5	≤0.02	≤0.1	0.015~0.05

1.2 实验方法

从 20 mm 厚板样上取 10 mm×20 mm×100 mm 条状试样 4 支，在正火热处理炉内加热到 900 ℃，保温 40 min 出炉空冷，保证试样成分及组织均匀稳定。加工成 Φ3 mm × Φ10 mm 的小圆柱体，利用 FORMASTOR－F 快速热膨胀相变仪进行试验钢 CCT 曲线测试，CCT 曲线测试试样纵向刨面图如图 1 所示。

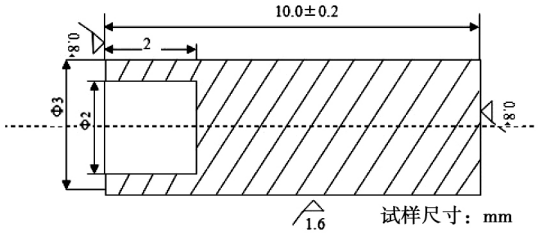


图 1 CCT 曲线测试试样纵向刨面图

将实验钢试样以 200 ℃/s 的速率加热到880 ℃进行奥氏体化，保温 10 min，采用不同冷却速度对试样进行冷却，记录各冷却速度下的时间、膨胀量和温度数据，就得到了每个冷却速度下的膨胀量－温度曲线，用切线法测定各连续冷却曲线上的相变开始点和相变结束点。分析各冷速下的相变产物，将相应的开始点和终了点用曲线连接，从而绘制试验钢的过冷奥氏体连续冷去转变曲线(CCT 曲线)。

在 20 mm 板样上取 20 mm×20 mm×200 mm 拉伸试样 4 组，15 mm×15 mm×200 mm 冲击试样 4 组，采用设计的热处理工艺进行调质处理，拉伸试样加工成棒状试样，如图 2 所示，在 Instron 120 t 电液伺服万能材料试验机进行拉伸试验，冲击试样加工成 10 mm×10 mm×55 mm 条状试样，如图 3 所示。

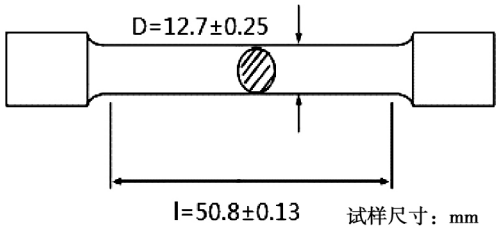


图 2 棒状拉伸试样

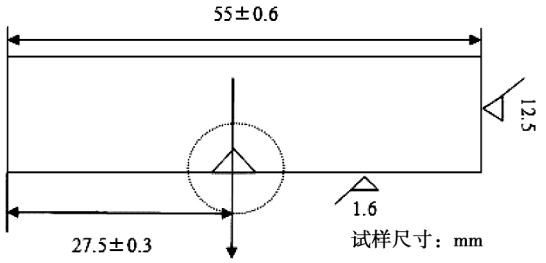


图 3 冲击试样

2 实验结果及分析

2.1 15Cr3MoVTi 实验钢 CCT 曲线

钢的过冷奥氏体连续冷却转变曲线即 CCT 曲线，是研究过冷奥氏体相变产物的组织和性能的重要理论依据，根据 CCT 曲线不仅可以制订各种连续冷却转变条件下的热处理工艺，还为后续热加工工艺制定提供技术支持，15Cr3MoVTi 实验钢 CCT 曲线如图 4 所示。

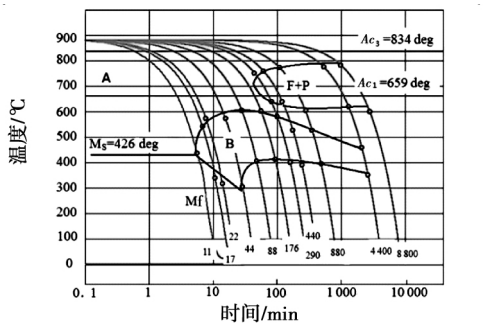


图 4　15Cr3MoVTi 实验钢 CCT 曲线

图 4 中自左上方至右下方的曲线，代表实际测得的冷却曲线，每条曲线的数字为从奥氏体化温度冷至室温所用的时间；冷却速度由左向右依次是 40 ℃/s、20 ℃/s、10 ℃/s、5 ℃/s、2 ℃/s、1 ℃/s、0.5 ℃/s、0.1 ℃/s。图中右上角分别标有 Ac_1 和 Ac_3 温度；左侧水平线上的 M_s 就是马氏体开始转变的温度；M_f 是马氏体开始终了的温度；B、P、F 分别代表的是贝氏体转变区、珠光体转变区以及先共析铁素体转变区；A 代表奥氏体转变区。经检测 15Cr3MoVTi 实验钢 Ac_1 为 659 ℃，Ac_3 为 834 ℃，Ar_1 为 653 ℃，Ar_3 为 785 ℃。当冷却速度小于 2 ℃/s时，冷却曲线从左上方向右下方移动，跨过了先共析铁素体转变区、珠光体转变区以及贝氏体转变区，室温下得到了先共析铁素体 + 珠光体 + 贝氏体混合组织。冷速在 2 ~ 10 ℃/s 的曲线仅跨过贝氏体转变区，得到完全贝氏体组织，冷速大于 10 ℃/s后，冷却曲线最先与贝氏体线相交，之后与马氏体线相交，得到了贝氏体与马氏体的混合组织，且随着冷速的加快，发生了马氏体的转变量会越来越多。冷速大于10 ℃/s时，得到了马氏体组织。

2.2　实验钢热处理工艺

为保证实验钢良好的综合机械性能，需对实验钢进行调质处理，即淬火 + 高温回火热处理，淬火加热要充分考虑试样的淬透性。在不使奥氏体晶粒过分长大的前提下，使碳和合金元素充分固溶于奥氏体，保证实验钢的淬透性，截面性能均匀一致。淬火加热温度根据钢的化学成分决定，亚共析钢主要取决于钢的临界温度 Ac_3，淬火加热温度为 Ac_3 + 30 ~ 70 ℃。淬火保温时间是指工件热透时间和组织转变所需的时间，要保证工件内外各部分温度均匀，更重要的是保证奥氏体形成过程中碳化物的溶解及奥氏体的均匀化。加热时间通常与钢的成分、原始组织、工件形状、加热介质及炉温等因素有关。根据经验公式 $t = a \cdot K \cdot D$ [2] 确定，其中：t 为加热保温时间，单位为 min；a 为钢种系数，一般合金钢取 1.5；K 为装炉方式系数，箱式炉间隔装炉 K = 1.3；D 为试样的有效厚度，单位为 mm。回火就是将淬火后的工件重新加热到 A_1 以下某一温度，保温一段时间，然后以一定的方式冷却下来的热处理操作工序。15Cr3MoVTi 实验钢其合金含量在 3.5% 左右，根据 CCT 曲线淬火温度设计在 Ac_3 以上 50 ~ 70 ℃之间，回火温度 Ar_1 以下，具体热处理工艺见表 2。

表 2　热处理工艺

编号	淬火温度 /℃	保温时间 /min	回火温度 /℃	回火时间 /min
1	900 ± 10	40	580	70
2	900 ± 10	40	600	70
3	900 ± 10	40	620	70
4	900 ± 10	40	640	70

共设计了 4 种热处理工艺制度，由于淬火温度加热到 Ac_3 以上 50 ~ 70 ℃进行奥氏体化，防止晶粒粗化及过烧的前提条件下，保证成分扩散均匀。因此淬火温度设定为 900 ± 10 ℃，淬火保温时间在保证热处理工件温度均匀稳定的前提条件下，时间不宜过长，根据经验公式计算设定为 40 min，回火温度为 580 ~ 640 ℃，回火保温时间根据现场实际生产设备匹配为淬火保温时间的 1.5 倍左右。

2.3　实验钢力学性能

根据热处理工艺在淬火炉及回火炉对实验钢进行调质处理，热处理后的 15Cr3MoVTi 力学性能见表 3，回火温度对强度及延韧性影响见图 5，图 6。

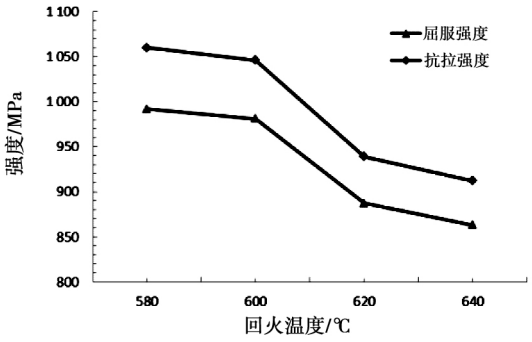


图 5　回火温度对强度影响

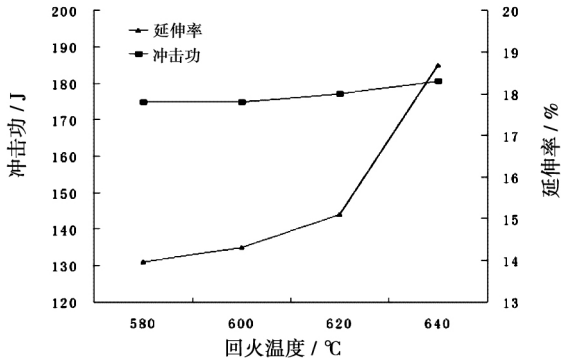


图6 回火温度对延韧性影响

表3 $R_{t0.6}$力学性能

编号	$R_{t0.6}$/MPa	R_m/MPa	A/%	冲击功(Akv,0℃)/J
1	998,985	1 063,1 056	18.0,17.5	130,130,134
2	978,983	1 043,1 049	17.5,18.0	132,134,138
3	893,881	944,933	18.0,18.0	145,144,143
4	866,860	914,909	18.5,18.0	187,175,193

从表3和图5、图6中可以看出，随着回火温度升高，15Cr3MoVTi实验钢屈服强度与抗拉强度呈现降低趋势，温度从580 ℃升高到640 ℃，屈服强度降低约130 MPa，抗拉强度降低约150 MPa。随着回火温度的升高，延伸率改变不太明显，但0 ℃冲击韧性明显提高，回火温度升高60 ℃，冲击功提高了48 J，640 ℃回火的冲击功是580 ℃回火冲击功的1.4倍。回火温度高于500 ℃进行高温回火时，淬火得到的马氏体分解成为回火索氏体组织，所谓回火索氏体，则是铁素体与粒状碳化物的整合组织。马氏体在高温回火过程中，过饱和铁素体发生了回复再结晶，ε－碳化物转变为稳定的渗碳体，细小均匀的组织使得其具有良好的综合力学性能。随着回火温度的进一步升高，细粒状碳化物迅速聚集和粗化，导致材料的屈服强度显著降低[3]。另外一个方面，随着回火温度的升高，位错密度逐渐降低，材料的强度降低，韧性得到明显改善。

3 结束语

经济型抗CO_2腐蚀专用套管用钢15Cr3MoVTi小炉冶炼轧制后取样进行CCT曲线测试，Ac_3为834 ℃，因此淬火温度设定为(900±10) ℃，Ac_1为659 ℃，考虑到热处理炉炉温偏差的影响，回火温度最高为640 ℃，从回火温度对力学性能影响分析可以看出，随着回火温度增加，屈服强度与抗拉强度逐渐降低，回火温度升高60 ℃，15Cr3MoVTi实验钢抗拉强度降低约150 MPa，延伸率随回火温度升高有所增加，但变化不太明显，冲击韧性随着回火温度升高明显改善。

参 考 文 献

[1] 张忠铧. 3Cr抗CO_2和H_2S腐蚀系列油套管开发[J]. 宝钢技术，2006，(3)：5－7.
[2] 《简明热处理工手册》编写组. 简明热处理工手册[M]. 北京：机械工业出版社，1994.
[3] 李玲霞. 34Mn_6钢P110石油套管调质工艺研究[J]. 上海金属，2017，(4)：39－14.