两相区淬火对14MnCrMoNiNb钢组织和性能的影响*

贺景春[1],姜 涛[2],李智丽[1],余泽金[1],姜海龙[1],米永峰[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: 试验采用14MnCrMoNiNb钢,进行了淬火+两相区淬火+回火工艺(QQ'T)研究,试验结果表明,QQ'T工艺可以获得回火索氏体+少量铁素体的复相组织,在不损失材料强度和韧性的前提下,可以使材料的屈强比降低到0.80左右,从而大幅提高材料的使用安全性能。

关键词: 14MnCrMoNiNb; 淬火; 两相区淬火; 回火; 屈强比
中图分类号: TG113.1 TG113.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)04-0001-03
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.04.001

Effects of Quenching in Two-phase Region on Microstructure and Properties of 14MnCrMoNiNb Steel

He Jing-chun[1], *Jiang Tao*[2], *Li Zhi-li*[1], *Yu Ze-jin*[1], *Jiang Hai-long*[1], *Mi Yong-feng*[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: The experiment with 14MnCrMoNiNb steel was for studying quenching + quenching in two-phase region + tempering process (QQ'T). The experimental results showed that the multiphase microstructure of tempered sorbite + a small amount of ferrite could be obtained with the QQ'T process. On the premise of without losing the strength and toughness of material, the yield ratio of material could be reduced to about 0.80 so that the serviceability safety performance of material could be improved greatly.

Key words: 14MnCrMoNiNb; quenching; quenching in two-phase region; tempering; yield ratio

随着海洋石油天然气开采规模的不断上升,在确保安全、可靠的前提下,降低开采装备的建设成本是行业发展的趋势,海洋平台用桩腿管朝着具有高强、高韧以及优良焊接性能的低碳贝氏体方向发展[1-3]。传统上,该钢通过调制处理得到回火索氏体组织,通过位错亚结构强化和固溶强化机制使钢获得强韧性匹配的效果。采用这种调质工艺后,14MnCrMoNiNb钢虽然具有良好的强韧性,但也存在屈强比偏高的不足,一般达到0.93~0.96,降低了焊接结构的安全性能。

为此,本文以包钢钢管公司试制的高强度X100Q钢级海洋平台桩腿用无缝钢管为研究对象,

* 收稿日期: 2019-06-05
作者简介: 贺景春(1968-),男,山西省临县人,硕士,正高级工程师,现从事钢铁材料研究。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

通过系列淬火+两相区淬火+回火工艺(QQ'T)进行热处理试验研究,分析QQ'T热处理工艺对材料强韧性及屈强比的影响,以降低材料屈强比,保证产品在严苛服役条件下的安全性能。

1 试验材料与试验方法

1.1 试验材料

试验材料为包钢试制的Φ298.5 mm×25 mm规格X100Q钢级海洋平台桩腿用无缝钢管,化学成分见表1。其生产工艺为:高炉铁水→100 t顶底复吹转炉冶炼→LF钢包炉精炼→喂丝钙处理→VD真空脱气处理→连铸→管坯加热→穿孔→PQF连轧→定径→冷床。

表1 试验材料的化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Nb	Ni	Al
0.14	0.19	1.35	0.009	0.003	0.52	0.37	0.025	0.31	0.012

1.2 试验方法

热处理采用QQ'T工艺,即在正常的淬火(Q)、回火(T)之间增加一次F+A两相区淬火(Q')。依据X100Q试验钢的化学成分测绘了CCT曲线,见图1。确定试验钢的奥氏体化温度A_{c3}为824 ℃,A_{c1}为665 ℃。因此,Q'的温度选择在720~800 ℃之间,保温40 min后水冷;由于增加一次两相区处理会使强度降低,为了弥补这一损失,QQ'T工艺的回火温度应相应降低,本试验选择在520 ℃回火,保温40 min后空冷,具体热处理工艺制度见表2。

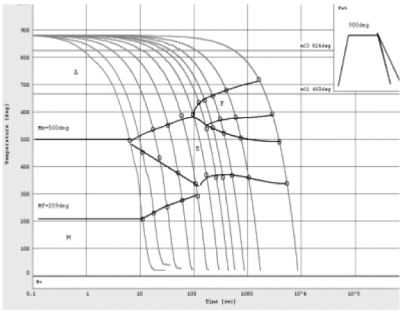


图1 X100 14MnCrMoNiNb钢种CCT曲线

表2 X100双淬火+回火的热处理工艺

项目	热处理工艺
制度1	890 ℃(保温40 min)水淬+720 ℃(保温40 min)水淬+520 ℃(保温40 min)空冷
制度2	890 ℃(保温40 min)水淬+760 ℃(保温40 min)水淬+520 ℃(保温40 min)空冷
制度3	890 ℃(保温40 min)水淬+800 ℃(保温40 min)水淬+520 ℃(保温40 min)空冷

热处理后机加工试样,拉伸试样尺寸为10 mm×130 mm,标距为50.8 mm。夏比冲击试样尺寸为10 mm×10 mm×55 mm,进行拉伸和低温冲击试验。

热处理试验完成后,对每个金相试样进行打磨、抛光、腐蚀处理,对各种状态下的试验钢试样分别进行光学和扫描电子显微镜观察,金相试样所用腐蚀剂主要为2%~4%硝酸酒精溶液。

2 试验结果

2.1 两相区淬火温度对力学性能的影响

试验钢经890 ℃淬火后,分别在不同温度进行两相区淬火,最后在520 ℃回火,表3显示了两相区淬火温度对力学性能的影响。由表3可见,随着两相区淬火温度的提高,钢的抗拉强度增加,0 ℃(V型)冲击功增加,屈强比降低,延伸率变化不大。两相区淬火温度对材料的抗拉强度的影响较大,两相区淬火温度在720~800 ℃范围内时,随两相区淬火温度的升高,材料的强度、冲击韧性增加,抗拉强度平均增加了87 MPa,屈强比由0.89降低到0.81左右,0 ℃冲击值平均增加了28 J。

表3 X100双淬火+回火后的力学性能结果

状态	$R_{t0.5}$/MPa	R_m/MPa	$R_{t0.5}/R_m$/%	A/%	A_{kv}(0 ℃,横,全)/J
制度1	668/692	757/772	88/89	23.2/21.0	154/134/155
制度2	676/691	843/851	80/81	20.2/18.5	168/170/168
制度3	694/697	856/847	81/81	19.9/20.8	174/174/180

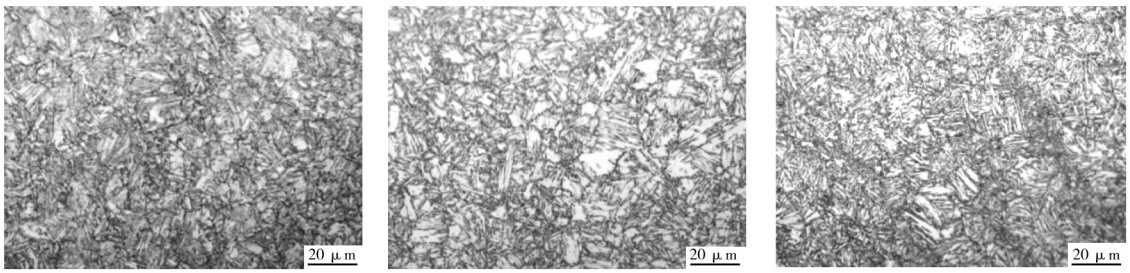
试验结果表明,采用QQ'T工艺,两相区淬火温度控制在760~800 ℃范围内,试验钢具有良好的综

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

合性能，在此范围内，钢的强韧性匹配较好。因此，试验钢最佳两相区淬火温度为 760 ~ 800 ℃，即 A_{c1} +(100 ~ 140) ℃，屈服强度接近标准下限，可以通过降低回火温度加以解决。

2.2　两相区淬火温度对材料显微组织的影响

试验钢在不同两相区淬火温度下的微观组织如图 2 所示。



(a) 720 ℃淬火　　(b) 760 ℃淬火　　(c) 800 ℃淬火

图 2　不同两相区淬火温度对应的显微组织

从图 2 可以看出 3 个不同淬火温度下的晶粒均较为细小，其主要原因是 14MnCrMoNiNb 试验用钢进行了良好的微合金化设计，Nb、V、Ti 元素可以形成碳、氮化物，通过质点钉扎晶界机制阻止了奥氏体晶粒的粗化过程[4]。

一次淬火过程中，钢被加热到 A_{c3} 以上完全奥氏体化，然后迅速冷却至 Ms 以下，得到高位错密度的板条马氏体组织和少量残余奥氏体。二次淬火在两相区加热过程中，由于钢中合金元素含量较高，延缓了马氏体的分解与再结晶，仍然保持板条组织的特征。这种组织在两相区温度下将首先在板条边界上形成奥氏体，随后沿着板条边界长大，C 和合金元素扩散到奥氏体中，造成钢中的成分起伏。在随后的二次淬火过程中，奥氏体大部分转变为二次马氏体，只有少量奥氏体保持到室温。而在加热过程未转变的板条马氏体组织的 C 已经充分析出，位错密度也大幅度降低，已经转变为铁素体组织。因此，两相区二次淬火后的最终组织为板条结构的二次马氏体 + 铁素体混合组织。此外，两相区淬火后出现孪晶组织，这是由于奥氏体化过程中，C 在奥氏体中的富集，在急冷过程中，容易转变为孪晶马氏体组织。通过二次淬火后再进行回火，得到回火索氏体与铁素体组织。

随着两相区淬火温度的升高，奥氏体化的比例增多，淬火后获得更多的二次马氏体组织，最终回火索氏体组织的比例增加，试验钢抗拉强度增加，由于还有部分的铁素体存在，材料的屈服强度变化不是很大，材料的屈强比大幅降低，同时材料具有良好的冲击韧性。

3　结论

(1) 14MnCrMoNiNb 钢，采用 QQ'T 热处理工艺，产品的力学性能满足标准要求。

(2) 14MnCrMoNiNb 试验钢最佳两相区淬火温度为 760 ~ 800 ℃，即 A_{c1} +(100 ~ 140) ℃，回火后可以使材料获得最佳综合性能。

(3) 采用 QQ'T 热处理工艺，试验钢显微组织为回火索氏体 + 少量铁素体的复相组织，在保证强度和韧性的前提下，材料的屈强比可降低到 0.81，大幅提高了产品使用的安全性。

参　考　文　献

[1] 张伟卫，熊庆人，吉玲康，等. 国内管线钢生产应用现状及发展前景[J]. 焊管，2011，34(1)：5 - 8.

[2] 肖英杰，孙常全. X100/X120 管线钢的研发和生产[J]. 焊管，2010，33(5)：67 - 71.

[3] 许莹. 衡阳华菱钢管有限公司 Φ720 mm 周期轧管机组成功生产 X100Q 管线管[J]. 钢管，2013，42(6)：4.

[4] 李鹤林，郭生武，冯耀荣，等. 高强度微合金管线钢显微组织分析与鉴别图谱[M]. 北京：石油工业出版社，2001.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net