BT135VRE 钢级套管生产实践*

韩 鹏,吕 伟,杨世龙,张行刚

(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: 以实验室提供的升级BT135VRE工艺参数为参考,现场调整并结合实际确定合理的热处理现场工艺参数,确定淬火温度为900 ℃,回火温度为670 ℃的调质工艺,测定了钢管的屈服强度、抗拉强度、延伸率、金相组织,测试结果满足产品要求。

关键词: 调质; 热处理工艺; BT135VRE

中图分类号: TE931.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)03-0013-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.03.004

Production Practice of BT135VRE Steel Grade Casing

Han Peng, Lv Wei, Yang Shi-long, Zhang Xing-gang

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The quenching and tempering process with the quenching temperature of 900 ℃ and tempering temperature of 670 ℃ is determined by taking the upgraded BT135VRE process parameters provided by laboratory as references, on-site adjustment and determining the reasonable on-site heat treatment process parameters combining with reality. The yield strength, tensile strength, elongation and metallographic structure of steel tube are tested as well as the results could meet the product requirements.

Key words: quenching and tempering; heat treatment process; BT135VRE

随着美国在21世纪初实现了高效、经济、规模化的页岩气开发和生产,成功地带动了一场全球化的页岩气研究和勘探开发的热潮,中国也随之加入了这场“页岩气革命”。在能源问题日益严重的今天,页岩气的勘探开发能够有效地改善我国的能源结构,进一步保障我国的能源安全[1]。我国众多含油气盆地同样具备页岩气形成的基本地质条件[2],主要分布在南方聚气区、华北聚气区,古生界页岩气资源量大约是中生界页岩气资源量的2倍,四川盆地东部和南部下寒武统和下志留统页岩是目前勘探的主要层系。本文以包钢钢管公司生产的规格为Φ141.3 mm×13.5 mm的无缝钢管为研究对象,通过试验研究为BT135VRE页岩气无缝钢管工业生产提供指导。

1 试验材料及方法

1.1 钢种成分设计依据

与普通套管的C-Mn系低合金设计相比,Cr-Mo钢提高了淬透深度和组织均匀性,从而提高其硬化指数和保证了管体全壁厚整体性能的均匀稳定性,同时提高了回火温度,降低了管体的残余应力。高强高韧性套管要求材料具有良好的强韧性匹

* 收稿日期:2021-05-06

作者简介:韩 鹏(1987-),男,内蒙古包头市人,工程师,现从事钢管生产工作。

配，即在保证高强度的同时还要保证其有高的韧性，特别是保证横向冲击韧性高。采用 Cr－Mo－V 系中碳钢，尽量降低弱化晶界脆化元素 P、S 含量，残余五害元素 Sn、As、Pb、Sb、Bi 使钢材产生红脆、表面裂纹和回火脆性倾向，气体 H、O、N 易引发裂纹，所以钢中要尽量控制这些有害元素，净化钢质。RE 元素有微合金固溶强化的作用，能够净化钢液、改善非金属夹杂物的形态、减少点腐蚀和强化晶界，从而提高钢材的冲击韧性和抗硫化氢腐蚀性能，但含量过高会形成大的夹杂物团絮，因此，RE 元素含量控制适量。

1.2 钢种成分设计目标

基于钢种成分设计依据，采用 C－Mn－Cr－Mo－V－Ce钢系[1]，设计钢种为 BT135VRE，具体成分见表 1。

表 1 BT135VRE 对化学成分限量要求(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr、Mo、V、Ce
≤0.30	≤0.30	≤1.00	≤0.015	≤0.005	≤0.05	适量

2 工艺研究

轧制过程为铁水预处理后经顶底复吹转炉冶炼，再通过 LF 炉精炼、VD 真空处理、连铸缓冷、管坯加热、穿孔、连轧、定/张减径、冷床冷却后制成规格为 Φ141.30 mm×13.50 mm 无缝钢管。

调质处理的加热温度通常在 A_{C1} 和 A_{C3} 温度以上 30～50 ℃，对于含稀土元素的合金钢，可采用更高的加热温度，让碳化物充分溶解。因为采用的是淬火加回火的调质工艺，主要有淬火温度、淬火时间、入水淬前温度、外淋内喷水温度、外淋时间、内喷时间、外淋内喷延时、回火温度及回火时间等 9 个控制参数。根据 25CrMo48VRE 钢的 A_{C1} 和 A_{C3} 温度以及该钢种含有 Cr、Mo 的特点，淬火炉加热温度设定为 900 ℃，保温时间为 65 min，这样既可保证完全奥氏体化，也可保证晶粒不会长大。而要赋予 25CrMo48VRE 适当的强度，使其具有良好的使用性能，回火控制是关键环节，设定钢管回火温度 670 ℃，保温时间 120 min，淬火温度精度控制在 ±10 ℃，回火温度精度控制在 ±10 ℃，热轧态钢管不允许矫直，热处理后钢管矫直终了温度应在 450 ℃以上，否则应在 510 ℃以上进行去应力退火处理。现场采用的热处理工艺制度如表 2 所示。

表 2 现场热处理工艺

淬火炉温度/℃	加热时间/min	回火炉温度/℃	加热时间/min	外淋水量/($m^3 \cdot h^{-1}$)	内喷水量/($m^3 \cdot h^{-1}$)	外淋时间/s	内喷时间/s	外淋开启时间/s	内喷开启时间/s
900	65	670	120	2 200	700	20	20	5	7

3 结果与分析

试验采用包钢生产的 Φ141.30 mm×13.50 mm 无缝钢管套管为试样，其力学性能见表 3、表 4。

3.1 调质后的力学性能

表 3 调质处理后试样的力学性能测试结果

编号	屈服强度 $R_{t0.65}$/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	延伸率 A/%	K^*_{V8}/J	K^{**}_{V8}/J	剪切面积比
01H300	995	1 082	27	128 126 140	51 51 51	100 100
02H300	975	1 026	28	122 129 135	50 51 51	100 100
03H300	981	1 103	28	126 133 131	51 52 51	100 100

注：* 0 ℃纵向冲击功，试样尺寸为 10 mm×10 mm。

＊＊0 ℃纵向冲击功，试样尺寸为 10 mm×5 mm。

表 4　调质处理后热处理工艺试样硬度(HRC)检验结果

编号	1 象限平均硬度值		2 象限平均硬度值		3 象限平均硬度值		4 象限平均硬度值	
01H300	33.9	34.3	37.7	34.7	34.9	35.1	33.7	33.8
02H300	34.5	34.8	34.8	33.7	34.2	34.3	34.0	34.2
03H300	34.3	34.9	34.0	34.0	35.3	34.9	33.6	34.1

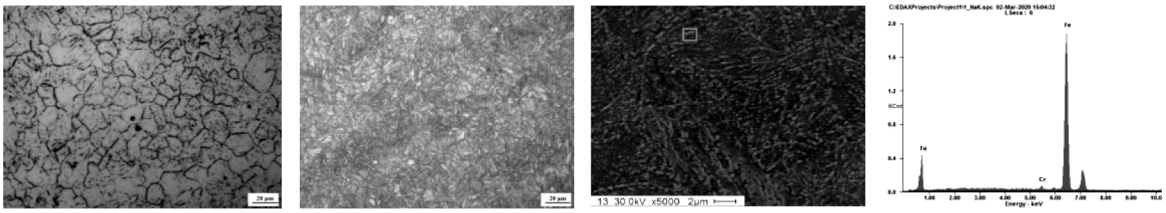
协议要求 BT135VRE 力学性能要满足如下条件:屈服强度不低于 930 MPa,抗拉强度不低于 1 000 MPa,断后伸长率不小于 17%,管体纵向冲击功不小于 100 J,剪切面积不小于 75%,硬度不低于 4。从表 3、表 4 可以看出,试制的 BT135VRE 页岩气用管体料的拉伸性能满足产品设计要求,拉伸性能均匀,强度波动范围在 80 MPa 以内,说明材料成分控制均匀,热处理淬回火炉炉温控制精准,保证了全管体轴向和径向上性能的波动范围小,延伸率都在 20% 以上,说明该材料的延展性较好。从表 3 可以看出,无论是管体料还是接箍料,冲击韧性良好,0 ℃横向冲击功不低于 50 J 所占比例达到了 100%,没有低于 50 J 的冲击值出现,剪切面积比为 100%,该材料有良好的止裂性能。

3.2　实物产品的金相组织

对试制的 BT135VRE 页岩气用管进行了非金属夹杂物检测,见表 5,晶粒度、低倍组织以及扫描电镜高倍组织检验如图 1 所示。

表 5　BT135VRE 非金属夹杂物检测　　级

A(硫化物类)		B(氧化铝类)		C(硅酸盐类)		D(球状氧化物类)		D_S(单颗粒球状)
细	粗	细	粗	细	粗	细	粗	
无	无	无	无	无	无	1.0	0.5	0.5



(a)管体热处理态晶粒度　(b)管体热处理态组织　(c)管体SEM

图 1　管体和接箍金相检测

高钢级管材对非金属类夹杂物异常敏感,要实现高强度无缝钢管高韧性,特别是横向冲击韧性,关键在于减少非金属夹杂物数量,变性夹杂物形态,细化夹杂粒度。冶炼工序控制采用洁净钢冶炼技术,利用 RE 元素的净化钢液和夹杂物变性作用来保证钢液中的气体含量、有害元素以及非金属夹杂物水平,由表 5 可见,材料夹杂物不大于 1.0 级,A、B、C 类夹杂物没有检测到,实物水平控制良好。

图 1(a)为通过苦味酸腐蚀后的热处理态管体原始奥氏体晶粒度,晶粒度为 10.5 级,管体晶粒度细,是因为钢管规格小,壁厚薄,轧制过程中钢管的降温快,终轧温度低。从图 1(b)管体组织相片可以看出,管体热处理后组织为典型的回火索氏体,碳化物细小而弥散的分布在基体上,没有异常组织。BT135VRE 是中碳 Cr - Mo - V 系钢,高温回火时,会析出大量合金碳化物。图 1(c)能谱分析显示析出物中含有合金 Cr 元素,这些析出相弥散的分布在材料基体中,在高温回火时可以阻碍晶界的移动,保持亚结构的稳定,起到钉扎晶界的作用,高温回火后保证材料较高强度的同时还具有高韧性,真正实现高强高韧性[3-4]。

3.3　实物抗挤毁性能评价

因其下井深度深,地质条件复杂,高钢级套管不

(下转第 19 页)

断裂的数量，改进后每月芯棒断裂的数量从 3 ~ 5 支降低到 1 支以下。

4　结论

(1) 解决芯棒“掉肉”的三方面措施效果显著，其中降低连轧机延伸系数、设计伺服缸的“芯棒躲避”功能两项措施可以在其他连轧机组推广。

(2) 在解决三段式芯棒断裂问题时进行了多项改进，减轻轧钢时芯棒的抖动程度；在连接螺栓根部设计圆倒角，减小应力集中；将连接螺栓的公扣从连接杆一侧改到工作段一侧，这些措施起到了作用，在接缝处添加垫片的效果最明显，这一措施值得其他使用三段式芯棒的机组借鉴。

参　考　文　献

[1] 张晓燕，黄子阳，沈江华. 热轧钢管用芯棒的表面缺陷分析 [J]. 上海金属，2008，30(2)：41 - 43.

[2] 周晓峰，史庆志，张传友. 提高 MPM 连轧管机组芯棒使用寿命的措施 [J]. 钢管，2010，39(4)：70 - 73.

[3] 李晓，乔爱云，赵广林. 限动芯棒使用工艺方案研究 [J]. 轧钢，2005，22(1)：17 - 18.

[4] 王廷溥，齐克敏. 金属塑形加工学—轧制理论与工艺 [M]. 北京：冶金工业出版社，2007.

(上接第 15 页)

仅要控制材料的强度韧性，还需材料具有良好的抗挤毁性能，通过控制钢管外径椭圆度、壁厚不均度、残余应力等保证材料的抗挤毁性能，材料外压至失效试验的检测结果见表 6，从结果可看出，BT135VRE 钢级套管的抗外压挤毁强度比 API BUL 5C2 标准[4] 的推荐值高出 36.23%，达到高抗挤毁套管的设计要求。

表 6　外压至失效试验的检测结果

试样编号	试样压溃值/MPa	试样压溃值/标准推荐值
BT135VRE 试样 1Z	191.7	1.35
BT135VRE 试样 2Z	196.8	1.38
BT135VRE 试样 3Z	193.9	1.36
API BUL 5C2 标准	≥142.5	1.00

4　结论

(1) 热处理试验表明，热处理制度淬火温度为 900 ℃，保温 65 min，回火温度为 670 ℃，保温 120 min，材料性能满足页岩气无缝钢管 BT135VRE 的要求，实现了高强高韧性。

(2) 基于中碳 Cr - Mo - V 系合金化技术辅以 RE 元素，通过洁净钢冶炼制备出非金属夹杂物级别低、组织均匀、尺寸精度高、力学性能优异的 BT135VRE 页岩气专用管。

参　考　文　献

[1] 唐海侠. 中国页岩气发展战略对策分析 [J]. 中国新技术新产品，2018，(2)：116 - 117.

[2] 张然. Q125 钢级高强度石油套管的试制 [J]. 钢管，2019，48(2)：35 - 39.

[3] 姜玉梅，卢小庆，罗蒙. 高存气压力区块生产套管柱优化设计及配套套管的开发与制造 [J]. 钢管，2019，48(2)：29 - 34.

[4] API Bulletin 5C2，Bulletin on Performance Properties of Casing Tubing and Drill pipe [S].