N80级ERW石油套管用钢的组织转变及性能*

张晓磊[1],刘 妍[1],袁晓鸣[2],刘恩泽[1],杨维宇[1]

(1. 内蒙古包钢稀土钢板材有限责任公司,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 采用C-Mn-Nb-Ti微合金化成分设计,低P、低S冶炼以及合理的控轧控冷工艺,充分发挥细晶强化和析出强化作用,研制出N80级石油套管用试验钢。测定了N80级ERW石油套管用钢的连续冷却转变曲线(CCT曲线),研究不同冷速对相变产物的影响。

关键词: 控轧控冷工艺; N80级ERW石油套管用钢; 连续冷却转变曲线
中图分类号: TG142.1 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2021)04-0050-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.04.013

Microstructure Transformation and Properties of N80 Grade ERW Steel for Oil Casing

Zhang Xiao-lei[1], *Liu Yan*[1], *Yuan Xiao-ming*[2], *Liu En-ze*[1], *Yang Wei-yu*[1]

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

Abstract: The N80 grade experimental steel for oil casing is developed with the microalloying composition design of C-Mn-Nb-Ti, smelting with low P and S as well as reasonable controlled rolling and cooling process so that the refined crystalline strengthening and precipitation strengthening are made full use of. Moreover, the continuous cooling transformation curve (CCT curve) of N80 grade ERW steel for oil casing is measured to study the effects of different cooling rates on products of phase change.

Key words: controlled rolling and cooling process; N80 grade ERW steel for oil casing; continuous cooling transformation curve

油井管根据其服役性能要求分为4组10个钢级,一般认为N80级以下为中低钢级,N80级及其以上为高钢级。由于油井管的服役环境特殊,API 5CT[1]等行业规范对钢管的力学性能规格等技术条件均有严格的规定,过去均采用无缝钢管。随着冶炼水平的提高和相关加工装备的更新换代,高频直缝电阻焊(简称ERW)油气井套管以其尺寸精度高、冲击韧性好、抗挤抗爆性能优良、成本较低而被推广应用。从20世纪80年代开始,美国、日本、德国等国家均生产这种套管并实际应用于深度高达

* **收稿日期**: 2021-06-02
作者简介: 张晓磊(1987-),男,内蒙古包头市人,工程师,现从事汽车钢认证及技术服务工作。

3 000 m油田钻采生产,所占比例已超过 50%[2]。我国在这一领域起步较晚,但近几年 ERW 套管的使用比例逐渐扩大,趋势是 N80、C90、P110 ERW 套管逐步取代相同级别的无缝套管。

美国石油协会(API)对 N80 套管的力学性能进行严格的规定:屈服强度 552 ~ 758 MPa、抗拉强度不低于 689 MPa,但对其化学成分没有提出任何要求。文章采用经济的 C - Si - Mn 系对 N80 级 ERW 石油套管用钢进行成分设计,研究不同冷速下过冷奥氏体转变过程及转变产物,绘制了 N80 级 ERW 石油套管用钢的连续冷却转变曲线(CCT 曲线),并分析了不同冷速下转变产物的微观组织,为 N80 套管用钢的选取及其生产工艺的制定提供理论依据。

1　试验材料和方法

采用 25 kg 真空感应炉冶炼试验用钢,钢锭质量 25 kg,钢锭最大直径 110 mm,化学成分如表 1 所示。钢锭经 1 200 ℃ × 2 h 高温处理后,在 Φ750 mm × 550 mm热轧试验机组轧制成 10 mm 厚的钢板,其中间坯厚度为 40 mm,精轧开轧温度为 950 ℃,终轧温度为 850 ℃,冷速为 15 ~ 20 ℃/s,终冷温度为 450 ℃。

表 1　试验钢化学成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S
0.15 ~ 0.20	0.10 ~ 0.30	1.40 ~ 1.60	≤0.015	≤0.005

试样在车床上加工成 Φ3 mm × 10 mm 的小圆柱,并在一端开一个 Φ2 mm × 2 mm 的盲孔,利用 Formastor - F 型全自动相变仪测定试验钢的静态 CCT 曲线。首先采用小于 200 ℃/h 的速率加热试样,测量膨胀量,并利用切线法确定出试验钢 A_{c1} 和 A_{c3} 的值[3],测定静态 CCT 曲线的试样以 10 ℃/s 的速率加热到 880 ℃进行奥氏体化,保温 10 min,分别以 0.1 ℃/s、1 ℃/s、5 ℃/s、8 ℃/s、10 ℃/s、30 ℃/s、60 ℃/s 和 80 ℃/s 的冷却速率冷至室温,得到不同冷速下的温度—膨胀量曲线,结合金相法确定各冷速下试样相变的起始温度和最终温度,并标示于温度—时间对数坐标系的冷速线上,连成曲线即得到 N80 级 ERW 石油套管用钢的 CCT 曲线。

采用 RX3 - 15 - 9 箱式电阻炉对试验钢进行调质处理,热处理工艺如下:加热到 880 ℃,保温 30 min,水冷,再加热到 620 ℃,保温 30 min,空冷。

从热轧和调质态钢板纵向取样,试样宽度 d = 20 mm,原始标距 L_0 = 80 mm,用英斯特朗 120 t电液伺服拉伸试验机在室温进行拉伸测试。根据 GB/T 229—2007 标准,横向取 10 mm × 10 mm × 55 mm 夏比 V 型缺口冲击试样,在 JBD - 300A 冲击试验机上测定 0 ℃冲击吸收功。金相试样用 4% 硝酸酒精溶液进行腐蚀,用 Axio observer A1M 光学显微镜观察其显微组织[4]。

2　试验结果及分析

2.1　静态 CCT 曲线

图 1 为试验钢的静态 CCT 曲线,由图 1 可以看出,N80 级 ERW 石油套管用钢在不同冷速下的转变可以分为高温转变区、中温转变区和低温转变区 3 部分[3],分别发生了铁素体、珠光体转变、贝氏体、马氏体转变。N80 级 ERW 石油套管用钢的 A_{c1} 为 701 ℃,A_{c3} 为 835 ℃,M_s 为 461 ℃,M_f 为 246 ℃。根据每条曲线冷却时间的不同,该曲线中从左至右的冷速逐渐降低,依次为 80 ℃/s、60 ℃/s、30 ℃/s、10 ℃/s、8 ℃/s、5 ℃/s、1 ℃/s、0.1 ℃/s。从图 1 可知,当冷速在 0.1 ~ 1 ℃/s 范围内时,过冷度较小,试验钢过冷奥氏体转变以扩散型相变为主,室温组织为铁素体和珠光体。当冷速大于 1 ℃/s 时,随着冷速增大,过冷度不断增加,铁素体和珠光体的转变受到抑制,贝氏体转变动力增强,试验钢开始生成贝氏体,当冷速在 1 ~ 8 ℃/s 范围内时,试验钢室温组织为贝氏体、珠光体和铁素体。当冷速为 8 ℃/s,试验钢开始生成马氏体,当冷速在 8 ~ 30 ℃/s 范围内时,试验钢室温组织为马氏体、贝氏体、铁素体和珠光体。试验钢临界冷速为 60 ℃/s,当冷速不低于 60 ℃/s 时,可获得全马氏体组织。

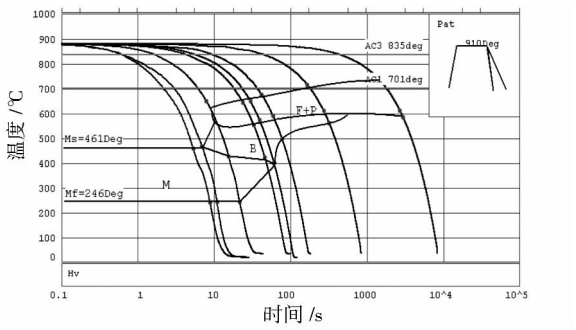


图 1　试验钢的静态 CCT 曲线

从图 1 中还可以看出,N80 级 ERW 石油套管用

钢在不同冷却速率下马氏体的相变开始温度偏高，且 M_s 线左端呈上升趋势，这是由于 N80 级 ERW 石油套管用钢中的 C 含量较低，先共析铁素体的析出和贝氏体的转变使奥氏体周围富碳，从而使得在冷却过程中易发生马氏体的转变[5]。

不同冷速下试验钢获得不同的室温组织，如图2所示。由图2可以看出，冷速在1 ℃/s，相变产物以铁素体、珠光体为主，但部分铁素体、珠光体发生了粗化，同时还伴随生成少量的贝氏体。相变产物粗大的主要原因为试验钢以 C、Si、Mn 元素为主，且 w[Mn] 高达 1.50% 左右，不含 Nb、Ti 等细化晶粒的微合金元素，导致原始奥氏体晶粒粗大。当冷速在 5～10 ℃/s 时，相变产物以贝氏体为主，还有少量的铁素体和珠光体，随着冷速的增加，贝氏体组织逐渐细化。如图 2(e) 所示，当冷速增大到 30 ℃/s，相变产物中珠光体消失，转变为马氏体和贝氏体组织，当冷速为 80 ℃/s 时，相变产物全部为板条马氏体组织。

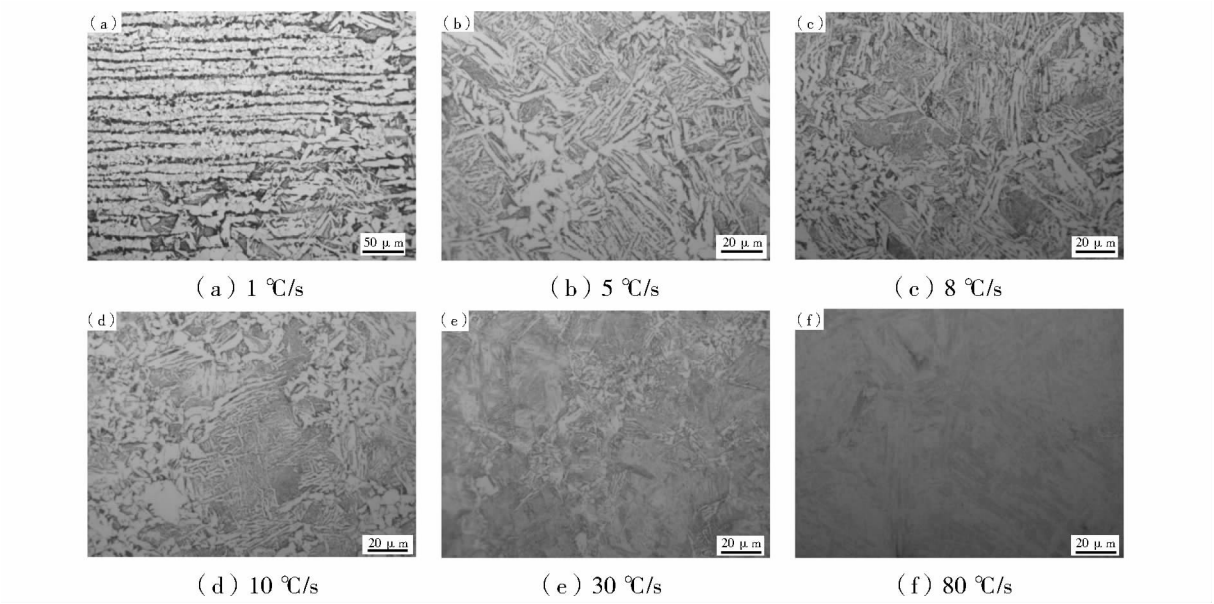


图 2 试验钢不同冷速下显微组织

2.2 力学性能和显微组织

要达到 API 对 N80 级石油套管的力学性能要求，提高其综合力学性能，对热轧态试验钢进行调质处理，热处理工艺如下：加热到 880 ℃，保温 30 min，水冷，再加热到 620 ℃，保温 30 min，空冷。试验钢热轧态、调质处理后的力学性能如表 2 所示，其显微组织如图 3 所示。

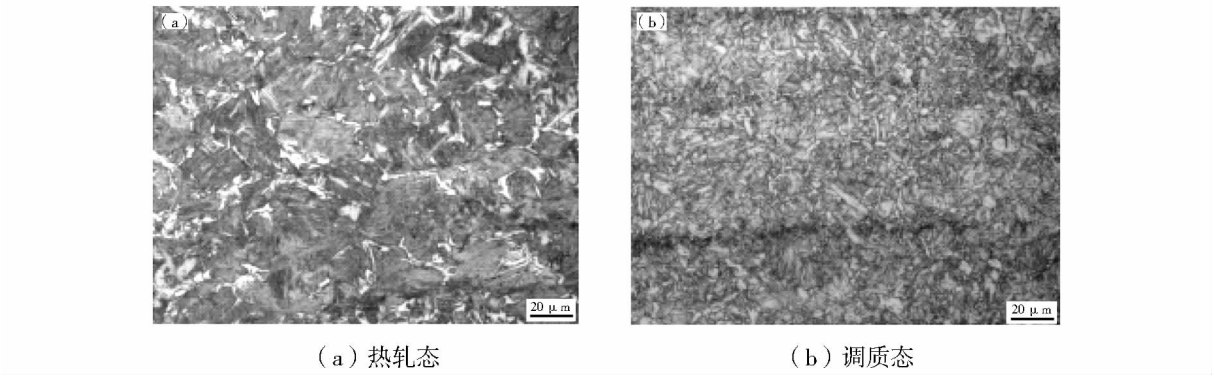


图 3 试验钢热轧、调质处理后的显微组织

试验钢经调质处理后，屈服强度、抗拉强度、0 ℃冲击吸收功大幅提高，断后伸长率降低。屈服强度从 417 MPa 提高到 621 MPa，抗拉强度从 566 MPa提高到 705 MPa，0 ℃冲击吸收功从 72 J 提高到 85 J，断后伸长率从 36.0% 降低到 27.0%。

表 2　试验钢热轧、调质处理后的力学性能

状态	$R_{p0.2}$/MPa	R_m/MPa	A_{50}/%	KV_2（0 ℃）/J
热轧	417	566	36.0	72
调质	621	705	27.0	85

3　结论

（1）N80 级 ERW 石油套管用钢的临界温度 A_{c1} 为 701 ℃，A_{c3} 为 835 ℃，M_s 为 461 ℃，M_f 为 246 ℃。

（2）试验钢在不同冷速下分别发生了铁素体、珠光体转变、贝氏体转变和马氏体转变。当冷速在 0.1 ~ 1 ℃/s 范围内时，过冷奥氏体的转变产物为铁素体、珠光体；当冷速在 1 ~ 8 ℃/s 范围内时，转变产物为贝氏体、珠光体和铁素体；当冷速在 8 ~ 30 ℃/s范围内时，转变产物为马氏体、贝氏体、铁素体和珠光体；当冷速不低于 60 ℃/s 时，试验钢可获得全马氏体组织。

（3）试验钢经加热到 880 ℃、保温 30 min、水冷、再加热到 620 ℃、保温 30 min、空冷调质处理后，抗拉强度为 705 MPa，屈服强度为 621 MPa，伸长率为 27.0%，0 ℃冲击吸收功为 85 J。

参　考　文　献

[1] API Spec 5CT—2011，套管和油管规范[S].

[2] 李睿鑫，王青峰，陈辉，等. N80 级 ERW 石油套管用钢连续冷却转变行为的研究[J]. 上海金属，2011，33(4)：6 - 9.

[3] YB/T 5128—1993，钢的连续冷却转变曲线图的测定方法(膨胀法)[S].

[4] 杨维宇，张凤明，李智丽，等. 1 200 MPa 新型微合金化贝氏体钢轨的组织转变及性能[J]. 特殊钢，2020，41(5)：48 - 51.

[5] 赵楠，薛峰，潘进，等. 不同冷速对 700 MPa 级汽车大梁钢过冷奥氏体转变的影响[J]. 金属热处理，2021，46(2)：178 - 181.