

稀土元素 Ce 对 X80 管线钢 DWTT 性能影响研究

袁晓鸣

(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: 文章以 X80 管线钢为研究对象, 在实验室开展稀土元素 Ce 对管线钢 DWTT 性能影响研究。研究结果表明, 稀土元素 Ce 的添加有利于提高试验钢的低温韧性, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时添加稀土元素 Ce 后的试样冲击功达到 210 J, 与未添加稀土的试样相比增幅达到 19.3%。添加稀土元素 Ce 有利于降低管线钢的韧脆转变温度。不添加稀土元素的试样焊后热影响区的冲击功为 189 J, 添加稀土元素 Ce 后的试样热影响区冲击功达到 216 J, 增幅为 14.3%。

关键词: 管线钢; 显微组织; 冲击功; 抗拉强度

中图分类号: TG142

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2024)04-0067-05

Study on Effects of Rare Earth Element Ce on DWTT (Drop Weight Tear Test) Properties of X80 Pipeline Steel

Yuan Xiao-ming

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

Abstract: In this paper, the effects of rare earth element Ce on DWTT properties of pipeline steel are studied in laboratory by taking X80 pipeline steel as the research object. The study results showed that the addition of rare earth element Ce could help to improve the low temperature toughness of test steel. The impact energy of sample after adding rare earth element Ce could reach 210 J at $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, which is increased by 19.3% compared with that of sample without adding rare earth. The addition of rare earth element Ce could help to reduce the ductile-brittle transition temperature of pipeline steel. The impact energy of heat affected zone after welding for sample without adding rare earth element is 189 J and the impact energy of heat affected zone for sample after adding rare earth element Ce could reach 216 J, which is increased by 14.3%.

Key words: pipeline steel; microstructure; impact energy; tensile strength

近年来随着国家能源战略升级和国民经济的快速发展, 用于大输气量管道建设的高级别管线钢的需求增加, 同时对管线钢的性能也提出了更高的要

求。管线钢工程应用经验表明^[1-4], 在提高厚规格管线钢强度的基础上, 通过一定的技术手段提高管线钢的冲击韧性、断裂韧性、焊接匹配性能等, 可以

收稿日期: 2024-06-01

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目, 项目编号: 2022ZY0035。

作者简介: 袁晓鸣(1983-), 男, 内蒙古包头市人, 博士, 高级工程师, 现从事管线钢、耐磨钢等板材产品研发工作。

优化大口径厚壁高钢级管线钢的使用性能。

DWTT(落锤撕裂试验, Drop - Weight Tear Test)是用来检测金属材料韧性的试验项目,主要用于研究金属材料的低温脆性^[5-6]。对于高韧性、大壁厚的管线钢来说,普通夏比冲击试验的试样尺寸过小,不能反映实际应用过程中管线钢的应力状态。落锤撕裂试验(DWTT)的结果更能反映管线钢冲击性能的真实情况,因此落锤撕裂试验被广泛应用于管线钢断裂韧性的评价,被作为衡量管线钢抵抗脆性开裂能力的韧性指标^[7-8]。包钢目前利用装备先进的 2 250 mm 热连轧生产线,已经成功研发并稳定生产出厚规格高钢级管线钢,并且在国内多项管道工程中开展了应用。本文以 X80 级别管线钢为研究对象,在实验室开展稀土元素 Ce 对管线钢 DWTT 性能影响研究,为管线钢产品质量优化提供理论和技

术支持。

1 生产方案设计

1.1 化学成分设计

结合国内现有管线钢成分体系及包钢 2 250 mm 热连轧生产线装备优势,进行大口径厚规格高钢级管线钢的化学成分设计。Nb 有对奥氏体 - 针状铁素体/贝氏体相变的促进作用,合金成分体系采用低碳高铌^[9]。已有的研究表明^[10-12],固溶于奥氏体中的 Nb 能够推迟多边形铁素体相变,促进针状铁素体/贝氏体组织的形成,从而在无 Mo 或低 Mo 条件下就能获得优异强韧性匹配的针状铁素体/贝氏体组织,这对于降低钢材成本具有重要的意义。X80 管线钢热轧板材化学成分设计见表 1。

表 1 X80 管线钢化学成分(质量分数)

项目	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Mo	Ce
范围	≤0.07	≤0.30	≤1.80	≤0.015	≤0.005	0.05 ~ 0.08	≤0.025	0.12 ~ 0.27	
X80	0.05	0.21	1.78	0.010	0.001	0.08	0.020	0.20	
X80(RE)	0.06	0.21	1.75	0.011	0.002	0.08	0.020	0.19	0.005 0

1.2 生产工艺设计

X80 管线钢热轧钢板的力学性能要求如表 2 所示。根据合金成分体系和力学性能要求,利用技术中心冶轧中试试验平台,在真空感应炉冶炼成 25 kg 的钢锭,冶炼过程添加稀土铈铁合金,成分检验后再经 Φ550 mm 轧机按照表 3 所示的控轧控冷工艺轧制成 11 mm 厚的钢板。轧后沿长度方向切取

300 mm 的钢板放入卷取炉模拟钢卷自回火过程,钢板冷却至室温后,进行性能检验。X80 管线钢热轧钢板实验室热轧工艺参数见表 3。

表 2 X80 管线钢力学性能

性能	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa
要求	≥555	≥625

表 3 热轧工艺参数

钢种	成品厚度 /mm	加热炉 温度/℃	中间坯 厚度/mm	粗轧开轧 温度/℃	精轧开轧 温度/℃	终轧温度 /℃	卷取温度 /℃	冷速 /(℃·s ⁻¹)
X80	11	1 165	35	1 053	947	826	404	23
X80(RE)	11	1 166	35	1 065	945	823	374	25

2 试验结果分析

2.1 稀土对显微组织的影响

图 1 为添加稀土 Ce 和未添加稀土试验钢的金相组织照片。由图 1 可见,添加稀土 Ce 的试验钢晶粒更加细小,显微组织更加均匀,可见稀土元素 Ce

的添加有利于提高试验钢的低温韧性。

2.2 稀土对冲击韧性及 DWTT 的影响

添加稀土 Ce 对试验钢冲击韧性及 DWTT 的影响结果见图 2、图 3。图 2 为添加稀土元素 Ce 后对试验钢冲击性能的影响规律曲线,添加稀土元素 Ce 后,在不同试验温度下,试样的冲击性能有明显提

高。-40℃时不添加稀土元素的试样冲击功为176 J,添加稀土元素 Ce 后的试样冲击功达到210 J,增幅达到19.3%。图3显示的是稀土 Ce 对试样落锤剪切面积的影响规律,添加稀土元素 Ce 后的试样落锤剪切面积明显增大。稀土 Ce 对夹杂物产生

变性作用,钢中的夹杂物充分细化,同时稀土 Ce 对夹杂物的变性作用使夹杂物的塑性增加,降低了钢材在低温时的裂纹扩展敏感性,有利于降低管线钢的脆脆转变温度。

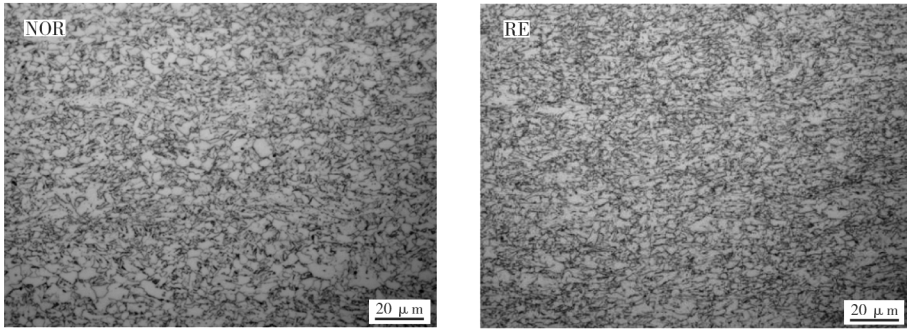


图1 未添加稀土和添加稀土 Ce 试验钢的金相组织

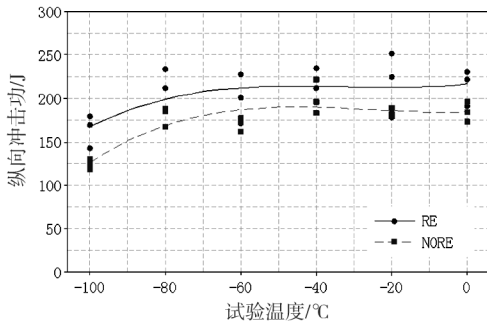


图2 稀土对冲击功的影响

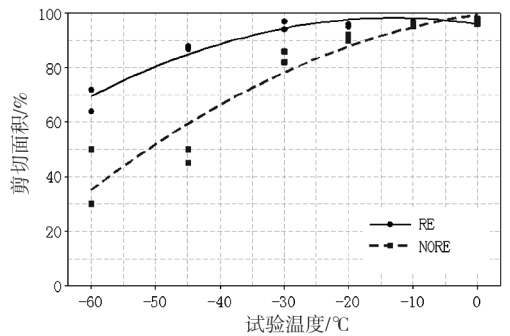


图3 稀土对落锤剪切面积的影响

2.3 稀土对焊接接头组织及性能的影响

为了考察添加稀土对试验钢焊接性能的影响,

在实验室开展焊接评价试验,表4为焊接评价试验方案。

表4 焊接评价试验方案

焊接位置	填充材料	尺寸 /mm	电流 /A	电压 /V	焊接速度 / (cm · min ⁻¹)	线能量 / (kJ · cm ⁻¹)
根焊	JM-100C	1.2	200~280	20~30	30~40	10~15
实际控制	JM-100C	1.2	240	25.2	33	10.9
填充	JW-8M2		550~650	25~35	40~50	22~28
实际控制	JW-8M2		600	30	44	24.5

添加稀土元素 Ce 和未添加稀土元素的管线钢试样焊接接头宏观及显微组织照片如图4所示。

由图4可见,添加稀土 Ce 的试验钢不同焊缝区

域的晶粒更加细小,有利于提高试验钢焊缝及热影响区的低温韧性。焊接完成后进行拉伸试验、冲击试验。试验结果见表5、表6。

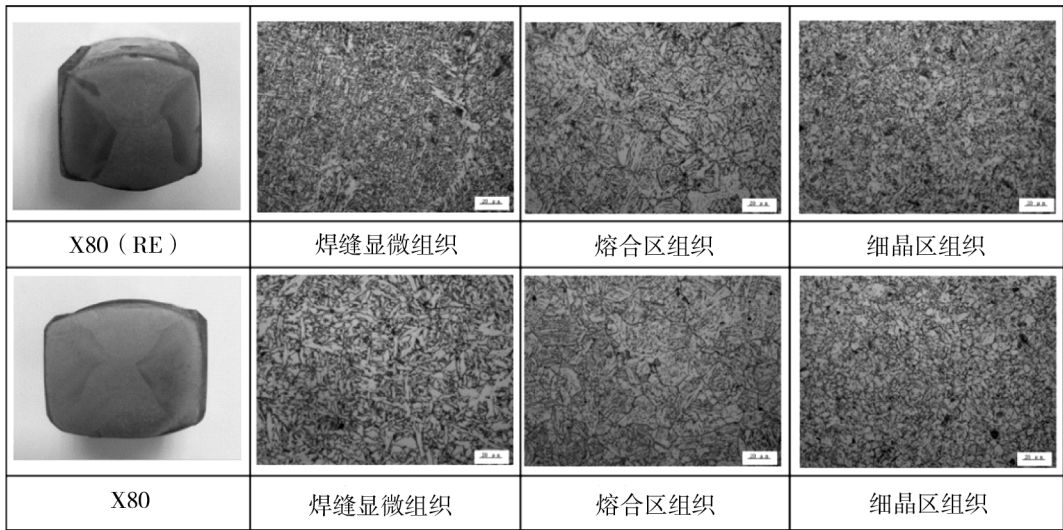


图 4 添加稀土 Ce 和未添加稀土的试验钢金相组织

表 5 焊缝及热影响区拉伸试验

样品	试样编号	试样位置	试样形式	抗拉强度 R_m /MPa	断裂位置
X80 (RE)	1#	焊接接头	矩形	741	断于熔合线
X80 (RE)	1#	焊接接头	矩形	743	断于熔合线
X80	2#	焊接接头	矩形	746	断于熔合线
X80	2#	焊接接头	矩形	748	断于熔合线
Q/SY GJX 0503.2—2016 要求				≥ 625	

表 6 试验钢冲击试验

样品	试样编号	试样位置	冲击功 A_{KV} /J	断口剪切面积 S_A /%
X80 (RE)	1#	焊缝	184	77
X80 (RE)	1#	热影响区	216	88
X80	2#	焊缝	131	73
X80	2#	热影响区	189	73
Q/SY GJX 0503.2—2016 要求			≥ 80	

由表 5 和表 6 可见,焊接拉伸及冲击试验结果均满足标准要求。添加稀土元素 Ce 后,管线钢试样焊后热影响区的冲击功提高较为明显。不添加稀土元素的试样焊后热影响区的冲击功为 189 J,添加稀土元素 Ce 后的试样热影响区冲击功达到 216 J,增幅为 14.3%。

3 结论

(1) 添加稀土元素 Ce 的管线钢晶粒更加细小,改善了显微组织的均匀性。稀土元素 Ce 的添加有利于提高试验钢的低温韧性。

(2) $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时添加稀土元素 Ce 后的试样冲击功达到 210 J,与未添加稀土的试样相比增幅达到 19.3%。稀土元素 Ce 有利于降低管线钢的韧脆转变温度。

(3) 添加稀土元素 Ce 后,管线钢试样焊后热影响区的冲击功提高较为明显。不添加稀土元素的试样焊后热影响区的冲击功为 189 J,添加稀土元素 Ce 后的试样热影响区冲击功达到 216 J,增幅为 14.3%。

参 考 文 献

- [1] 刘迎来,池强,王鹏. 加热温度对 X80 弯管钢组织与性能的影响[J]. 金属热处理, 2010, 35(10):2-4.
- [2] 袁良增,姜金星,赵丽洋,等. 加热温度对 X80 管线钢显微组织和低温韧性的影响[J]. 上海金属, 2023, 45(4):77-80.
- [3] 董露,郝世英,张骁勇,等. 加热温度对 X100 热煨弯管钢组织和性能的影响[J]. 材料热处理学报, 2013, 34(6):42-46.
- [4] 章传国,郑磊. 轧后加热温度对高 Nb X80 管线钢板组织性能的影响[J]. 钢铁, 2013, 48(1):82-86.
- [5] 田晨超,许飞,焦磊,等. 加热温度对 X80 钢级热煨弯管组织性能的影响[J]. 焊管, 2014, 37(6):11-16.
- [6] 刘云旭. 金属热处理原理[M]. 北京:机械工业出版社, 1981.
- [7] 谭会杰,王海燕,李德超,等. X80 管线钢连续冷却相变及组织研究[J]. 金属热处理, 2015, 40(7):91-94.
- [8] Xu W, XIAO F R, FU Y H, et al. Material Development for Grade X80 Heavy-wall Hot Induction Bends [J]. Material and Engineering A, 2011, 530:539-547.
- [9] 蒋昌林,林涛,诸建阳,等. 加热温度对 X80 钢级弯管用管线钢板冲击韧性的影响[J]. 宽厚板, 2019, 25(4):5-8.
- [10] LUO X, CHEN X H, WANG T, et al. Effect of Morphologies of Martensite-austenite Constituents on Impact Toughness in Intercritically Reheated Coarse-grained Heat-affected Zone of HSLA Steel [J]. Material and Engineering A, 2018, 710:452-463.
- [11] 胡廉祥,蔡珣,戎咏华. 材料科学与工程基础[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2010.
- [12] 巩忠旺,赵志伟,陈跃华,等. 中俄东线工程用 $\Phi 1\ 422\ \text{mm}$ X80 钢级感应加热弯管研发[J]. 钢管, 2020, 49(3):25-29.
- [19] 郭学益,陈远林,田庆华,等. 氢冶金理论与方法研究进展[J]. 中国有色金属学报, 2021, 31(7):1891-1906.
- [20] 李少飞,顾华志,黄奥. 钢铁行业氢冶金技术的发展初探[J]. 耐火材料, 2021, 55(4):360-363.
- [21] 王婷婷. 世界氢冶金技术发展现状分析[J]. 中国钢铁业, 2021(5):46-49.
- [22] 王晶,王朋. 国内外氢冶金技术研究进展[J]. 河北冶金, 2022(4):1-5.

(上接第 20 页)