

# 铸坯内部质量对厚规格 X80M 热轧钢带 DWTT 性能影响研究

薛志强<sup>1</sup>, 张振宇<sup>1</sup>, 魏晓东<sup>2</sup>

- 内蒙古包钢钢联股份有限公司销售分公司, 内蒙古 包头 014010;
- 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:** 落锤撕裂试验 (DWTT) 是用来检测材料韧性, 主要用于金属材料的低温韧性研究。文章针对厚规格 X80M 热轧钢带试制过程中出现的产品 DWTT 性能不合格问题, 使用光学显微镜对比分析了不同脆性断口面积比例对应试样的组织、形貌。对铸坯厚度方向成分偏析进行检测, 分析得出钢带厚度方向偏析严重是影响 DWTT 性能的主要因素, 通过调整扇形段对弧精度, 优化铸机二冷水比水量, 改善了铸坯中心偏析程度, 有效提高了产品的 DWTT 性能, 实现稳定生产厚规格 X80M 管线钢热轧钢带的目的。

**关键词:** X80M; DWTT; 中心偏析

中图分类号: TG142.1

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2024)02-0036-06

## Research on Effects of Internal Quality of Casting Blank on DWTT (Drop Weight Tear Test) Properties of Heavy Gauge X80M Hot Rolled Steel Strip

Xue Zhi-qiang<sup>1</sup>, Zhang Zhen-yu<sup>1</sup>, Wei Xiao-dong<sup>2</sup>

- Sales Branch Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
- Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** The drop weight tear test (DWTT) is used to test the toughness of materials, mainly for studying the low-temperature toughness of metal materials. In the paper, the microstructure and morphology of samples corresponding to different area proportions of brittle fracture are compared and analyzed with optical microscope aiming at the unqualified DWTT properties of products during trial production process of heavy gauge X80M hot rolled steel strip. The composition segregation in thickness direction of casting blank is tested. It is found that the severe segregation in thickness direction of steel strip is the main factor influencing the DWTT properties by analysis. The center segregation of casting blank and DWTT properties of product are improved effectively by adjusting the arc alignment precision of segment and optimizing the specific water amount of continuous casting machine so that the goal of stable production of hot rolled steel strip for heavy gauge X80M pipeline steel is realized.

**Key words:** X80M; DWTT; center segregation

随着我国钢铁冶金技术及管道制造技术的进步,我国管线钢的品质和使用寿命得到显著提高。在高钢级、大直径以及大壁厚的优质钢管领域,钢铁及焊管企业取得了大量的宝贵经验<sup>[1]</sup>。

国内大多数研究机构和钢铁企业选择 X80M 管线钢热轧卷板的特定厚度作为研发和技术储备的焦点<sup>[2]</sup>。而生产特定厚度的 X80M 管线钢热轧卷板的主要困难在于满足落锤撕裂试验(DWTT)的性能指标<sup>[3]</sup>。落锤撕裂试验是一个衡量材料韧脆性特性的试验项目<sup>[4]</sup>,主要用于金属材料低温韧性的研究。石油管线的技术协议和执行标准要求 22 mm 厚规格的 X80M 管线钢的落锤撕裂韧性断口面积比例超过 85%。厚规格板卷断裂韧性控制是制约大口径厚壁高钢级管线钢开发的技术瓶颈<sup>[5]</sup>,同时,焊接工艺和焊材的匹配程度也限制了管线钢合金元素的添加量<sup>[6]</sup>,因此,单纯增加合金含量提高韧性的方法难以实现,通过优化生产过程中的关键工序来满足板卷的独特性能要求。

本文主要就厚规格 X80M 热轧管线钢在生产试制过程中出现 DWTT 性能不达标的问题,通过对不

同脆性断口面积比例试样的组织形貌与铸坯原料厚度方向成分偏析程度采用电镜进行系统检测分析,得出影响 DWTT 性能的主要因素是钢带厚度方向存在严重的带状偏析,通过优化铸机设备精度和二冷比水量,改善了铸坯中心偏析,有效提高了卷板的 DWTT 性能,解决了厚规格高钢级管线钢在研发和试制过程中 DWTT 性能精准控制的难题,实现了 22 mm 厚规格 X80M 大口径长距离运输管线用钢的技术开发和稳定生产。

## 1 生产情况

### 1.1 前期试制情况

某厂在 X80M 管线钢的开发和试制初期,试制厚度规格为 22 mm 的产品出现了大量的 DWTT 性能不合格问题。图 1 为对试样组落锤撕裂性能检测得出的韧性断口面积比例统计,由图 1 可以见,初验样(a)和复验样(b)试样组的韧性断口面积比例大量低于 85% 的标准要求,这直接导致板卷生产的合格率下降,对整个生产过程产生了很大的影响。

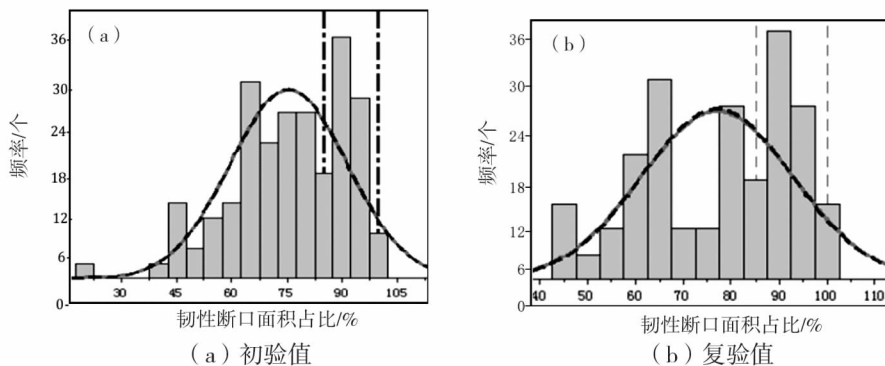


图 1 DWTT 性能频率统计

该批次板卷落锤检测不合格试样的断口类型主要是分层断口,图 2 为韧性断口面积比例低于 85% 的试样断口形貌。由图 2 可见,撕裂断口处有明显的二次裂纹,裂纹垂直于断口平面,平行于钢板平面。

### 1.2 原因分析

针对落锤不合格试样检测厚度方向偏析程度,对试样表面进行了抛光及热酸腐蚀处理,由图 3 低倍检测结果可明显看出试样脆性断口区域对应的中心偏析程度较韧性断口区域严重。

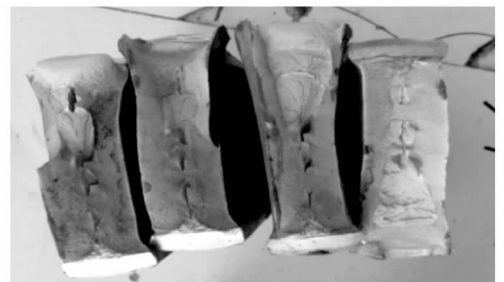


图 2 落锤断口处形貌



图3 落锤试样中心偏析检测

为进一步检验铸坯的成分偏析程度,对同炉低倍试样进行全厚度(230 mm)方向成分检验,取样位置为铸坯宽度方向 1/4 处,试样规格为 20 mm ×

10 mm × 230 mm,将试样分成五块进行抛光,成分检测打点位置详见图4。

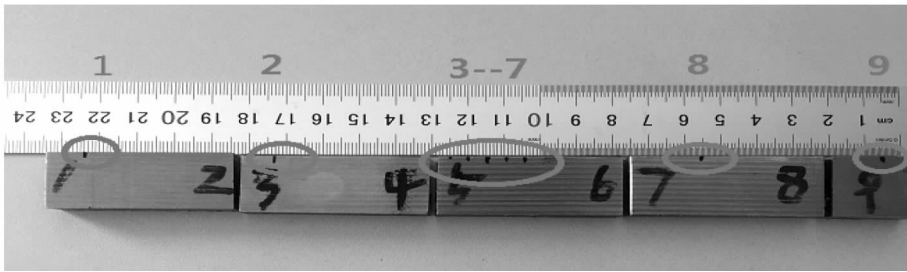


图4 偏析分析试样打点位置

图5为元素C、Mn、P、Nb在铸坯厚度方向的含量分布,C含量的分布范围是0.044%~0.064%,偏析程度为0.02%,偏析指数为1.28;Mn含量的分布范围是1.70%~1.80%,偏析程度为0.10%,偏析指数为1.04;P含量的分布范围是0.012%~

0.016%,偏析程度为0.004%,偏析指数为1.2;Nb含量的分布范围是0.066%~0.084%,偏析程度为0.018%,偏析指数为1.19。检测结果表明该批次的X80M铸坯中心成分偏析非常严重。

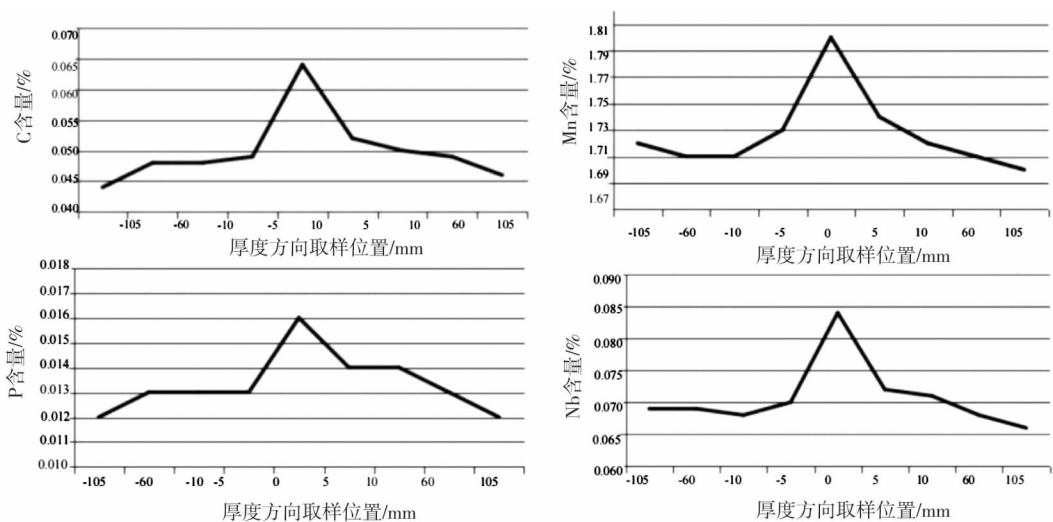
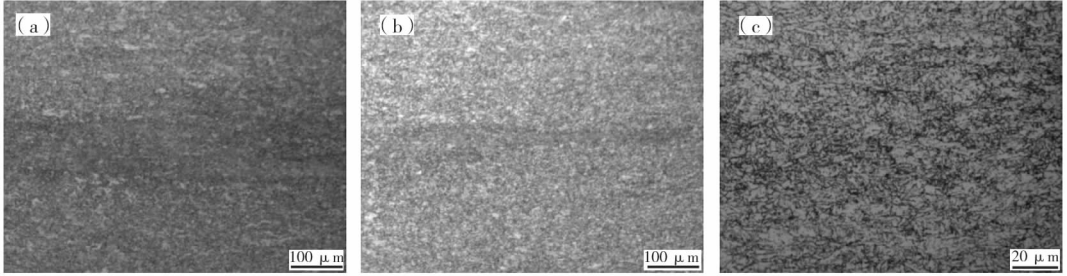


图5 各元素各位置分布情况

通过对不同韧性断口剪切面积的 DWTT 检测试样进行显微组织观察发现,剪切面积越小,样本在厚度方向上的偏析越明显,见图 6。该批次板卷对



(a) 剪切面积73%

(b) 剪切面积85%

(c) 剪切面积95%

图6 不同韧性断口剪切面积试样低倍检测对比

## 2 工艺改进措施及结果讨论

### 2.1 改进措施

铸坯凝固末端附近的钢液流动的动力来源于坯壳的鼓肚,以及钢液凝固时的体积收缩。轻压下技术是在收缩辊缝技术的基础上发展而来,它通过对连铸坯液芯末端附近施加适度的压力,形成必要的压下量,以补偿铸坯在凝固过程中形成的收缩量。

铸机扇形段设备的对弧精度对铸坯的轻压下效果影响显著,经对铸机扇形段弧度检测,对存在问题的扇形段进行了精确的调整修复,以保证生产过程中扇形段轻压下对铸坯中心偏析的改善效果。

辊缝仪测量结果显示,检修后铸机扇形段对弧精度得到了改善,调整后各扇形段之间弧度偏差均小于 0.5 mm,铸机设备整体状况良好,有效提高了铸坯中心偏析的控制水平。

分析了 56 炉次样本的二冷比水量对铸坯中心 C 偏析的影响,在相同拉速和过热度条件下,铸坯中心 C 偏析受二冷比水量的影响见图 7。由图 7 可见,比水量达到 0.8 L/kg 时,C 偏析指数降至最低点。此外,低倍检测结果也验证了在该比水量下,铸坯的等轴晶比例达到最大。在二冷比水量调整到

应的铸坯低倍检测结果均为 B 类 2.0,而且在铸坯的厚度中心处,偏析物呈现了明显的集中趋势。

0.8 L/kg 时,铸坯液相穴末段与轻压下扇形段能够精确匹配,铸坯中心偏析问题得到极大的改善。

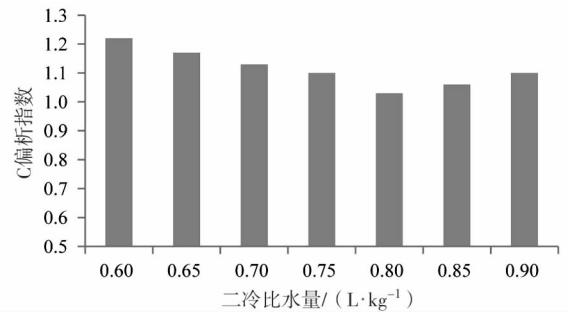


图7 不同二冷比水量对应 C 偏析指数

### 2.2 改进效果及讨论

对采取优化措施后生产的铸坯进行热酸低倍检验,检测结果表明中心偏析为 C 类 2.0,中心疏松评级 0.5 以下占比在 92% 以上,铸坯质量良好,调整后铸坯低倍宏观照片见图 8。通过调整铸机扇形段香蕉梁的基准弧度,保证了扇形段弧度的精度,有效提高了铸坯内部质量,中心偏析评级为 C 类的占比从调整前的 70% 增到了 92% 以上,热轧钢带的 DWTT 性能得到了进一步提高。



(a) 调整前

(b) 调整后

图8 铸坯低倍宏观照片

管线钢的 DWTT 性能与厚度方向的氧化物和硫化物夹杂的聚集程度密切相关<sup>[5]</sup>,若这些偏析物聚集在管线钢的中心,会大幅削弱其韧性,并导致落锤分层现象。因此,要保证管线钢的 DWTT 性能,必须提高对铸坯中心偏析的控制水平,以降低偏析程度对 DWTT 性能的负面影响<sup>[3]</sup>。

铸坯质量提高后,X80M 管线钢热轧卷板的 DWTT 性能有了显著的提高。当板卷在  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  下进行落锤撕裂测试时,所有单取样样本的剪切面积的百分比都超过了 85%,双取样样本的平均剪切面积百分比超过 90% 的情况达到 100%,均满足标准要求,见图 9。

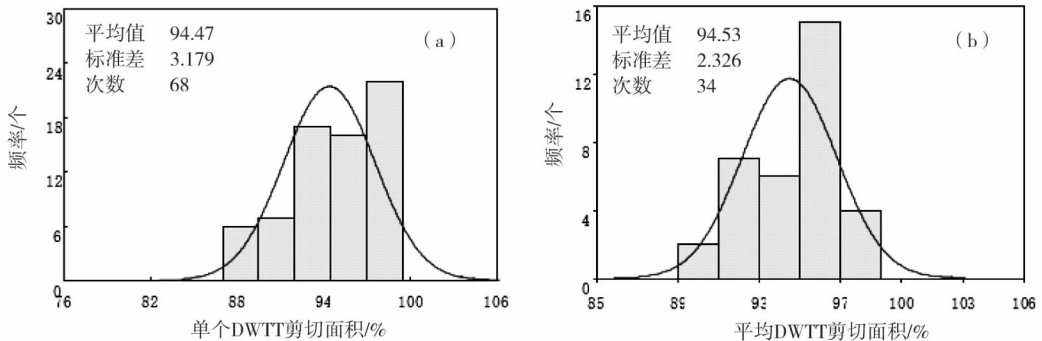


图 9 剪切面积百分比分布图

图 10 显示了 X80M 管线钢热轧卷板系列温度落锤撕裂试验结果,其中板卷  $30^{\circ}$  方向、横向、纵向韧脆转变温度分别为  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这

充分表明了铸坯质量的提高,有效提高了板卷的 DWTT 性能的控制水平。

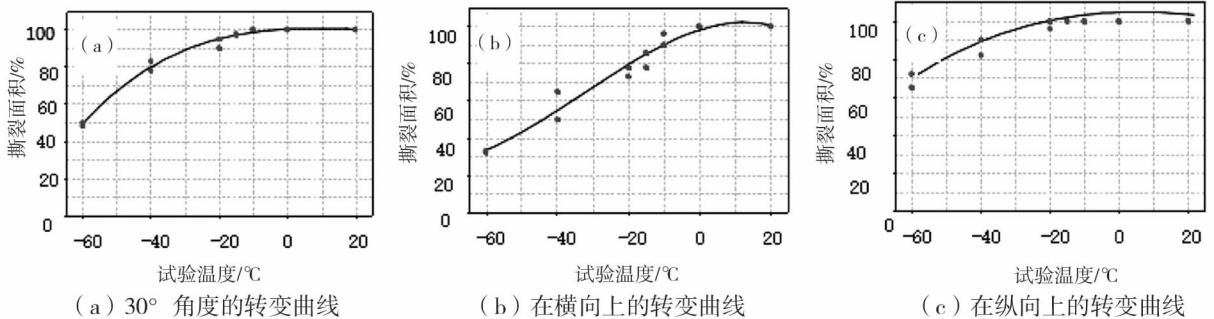


图 10 DWTT 剪切面积系列温度转变曲线

### 3 结论

(1) 铸机在线扇形段之间对弧偏差小于  $0.5\text{ mm}$ ,二冷水比水量在  $0.8\text{ L/kg}$ ,可实现铸坯液相穴末端与轻压下位置的精确匹配,铸坯中心偏析得到有效改善。

(2) 钢板厚度方向偏析程度与管线钢的落锤撕裂性能具有较强的对应性,当偏析物聚集于钢板中部时,会导致管线钢的韧性明显恶化,引起落锤撕裂现象,严重影响管线钢的使用性能,因此,必须对铸

坯中心偏析进行精准控制,以保证管线钢具备优良的 DWTT 性能。

### 参 考 文 献

- [1] 舒玮,王学敏,唐永鹏,等. 微合金钢中氧化物夹杂对焊接热影响区组织、性能的影响[J]. 北京科技大学学报,2010,32(2):191-195.
- [2] 李少华,曾燕屏,全珂. 疲劳载荷作用下 X80 管线钢夹杂物的微观行为[J]. 石油学报,2012,33(3):506-512.

- [3] 周民,杜林秀,衣海龙,等. X80 管线钢落锤撕裂性能的影响因素分析[J]. 钢铁研究学报, 2009,21(9):33-36.
- [4] 刘晓,杨吉春,高学中. 稀土对 2Cr13 不锈钢夹杂物的变质及对冲击韧性的影响[J]. 工程科学学报,2010,32(5):605-609.
- [5] 江海涛,康永林,于浩,等. 国内外高钢级管线钢的开发与应用[J]. 管道技术与设备,2005(5):21-24.
- [6] 米秋占. 管线钢的氢致裂纹[J]. 焊管,2000,23(6):16-19.

(上接第 21 页)

### 3 结论

(1)通过相变规律研究得出,当冷却速率在 20~50 °C/s 之间时,试验钢主要发生贝氏体和马氏体转变(LB+M),生成的贝氏体以板条状的下贝氏体为主,随着冷却速率的增加马氏体逐渐增多。

(2)试验钢终冷温度控制在 380 °C 时,组织为下贝氏体和少量马氏体,屈服强度为 900 MPa,抗拉强度为 1 015 MPa,延伸率为 18%, -30 °C 冲击功为 180 J, -20 °C 落锤剪切面积为 100%。力学性能符合标准要求。试验钢冲击断口形貌为韧窝状,落锤断口无分层和脆断现象,试验钢强韧性匹配良好。

### 参 考 文 献

- [1] 王晓香. 超高强度管线钢管研发新进展[J]. 焊管,2010,33(2):5-12.
- [2] 李继红,杨亮,张敏. X120M 管线钢的研究现状与发展前景[J]. 材料热处理技术,2012,41(22):99-103.
- [3] 郑跃强,唐兴昌,李积鹏. X120M 管线钢的试制及其相变规律[J]. 钢铁研究学报,2015,27(2):45-49.
- [4] 余伟,谢勇,武会宾,等. X120M 管线钢的连续冷却相变及显微组织[J]. 材料热处理学报,2011,32(3):62-66.
- [5] APL Spec 5L, 管线管规范:第 46 版[S].