X80管线钢DWTT断口形貌分析*

李智丽，寇沙沙，刘 莉

（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：对X80管线钢DWTT试样出现的不同类型断口形貌进行了分析。通过金相显微镜、扫描电镜及能谱分析，发现导致其DWTT断口出现不同形貌的原因与材料的显微组织、偏析、夹杂物等有关。

关键词：X80管线钢；DWTT；断口形貌

中图分类号：TG335 **文献标识码**：B **文章编号**：1009－5438(2020)05－0051－04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.05.016

Analysis on Fracture Morphology of DWTT for X80 Pipeline Steel

Li Zhi－li, Kou Sha－sha, Liu Li

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

Abstract: Different types of fracture morphology of DWTT sample for X80 pipeline steel are analyzed. It is found that the causes are related to such as the microstructure, segregation and inclusions of materials by metalloscope, scanning electron microscope and energy spectrum analysis.

Key words: X80 pipeline steel; DWTT; fracture morphology

随着国内经济的快速增长，对煤炭、石油和天然气等能源的需求持续增长，同时为解决日益严重的环境污染问题，大力发展石油和天然气是我国能源发展的必然趋势。采用高压力和大管径管道来输送石油和天然气是最经济与最安全的运输方式。国内各生产厂家陆续研制厚壁大规格X80管线钢，在试制过程中遇到落锤撕裂(DWTT)检验不合问题。DWTT是衡量管线钢管抵抗脆性开裂能力的韧性指标之一[1]。本文选取典型的断口形貌试样，应用金相显微镜、扫描电镜等显微分析技术探讨了DWTT试样不同断口形貌产生的原因。

1 X80管线钢的生产

2 250 mm热连轧机组生产X80管线钢的工艺为：铁水预处理→转炉冶炼→炉外精炼→连铸→板坯再加热→控制轧制→控制冷却→卷取。炉外精炼采用LF和RH精炼手段保证X80管线钢获得低的硫、氮和夹杂物含量。在热轧工艺中，通过控制开轧温度、道次变形量、终轧温度和卷取温度，获得针状铁素体组织。

厚壁大规格的X80管线钢的成分设计采取低碳、高锰、超低硫、Nb－V－Ti微合金化的方案，其化学成分控制见表1，力学性能要求见表2。

* **收稿日期**：2020－05－11

作者简介：李智丽(1971－)，女，辽宁省盘锦市人，硕士，正高级工程师，现从事金属材料热处理及物理检测工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1 X80管线钢的化学成分(质量分数) %

元素	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
标准	≤0.06	≤0.30	≤1.85	≤0.015	≤0.005	≤0.30	≤0.30
元素	Cr	Mo	Nb	V	Ti	Nb + V + Ti	
标准	≤0.30	≤0.25	≤0.09	≤0.03	≤0.025	≤0.15	

表2 X80管线钢的力学性能要求

R_{el}/MPa	R_m/MPa	R_{el}/R_m	A/%	A_{kV}(-20 ℃)/J	剪切面积百分数(-15 ℃)/%	HV10
555~690	625~825	≤0.94	≥16	平均≥240	平均≥85	≤265

2 不同断口宏观形貌分析

在热轧钢板的板宽1/4处、与轧制方向成30°方向取2个试样,试样厚度为全壁厚、宽75 mm、长300 mm,进行-15 ℃的DWTT试验。DWTT试验的断口宏观形貌基本可以分为3种典型类型,如图1所示。一种类型是DWTT值合格的,大于85%,宏观断口呈正常的纤维状韧性断口,如图1(a)所示;另外两种类型都是DWTT值不合格的,在60%~85%,其宏观断口形貌多为混合型断口,其中一种是断口面表现为明显脆性区并在中心区域伴有局部的分层,其余部位为韧性区,如图1(b)所示,另一种则是断口以明显的中心分层开裂为主要特征,伴有少量脆性区,其余为韧性区,如图1(c)所示。

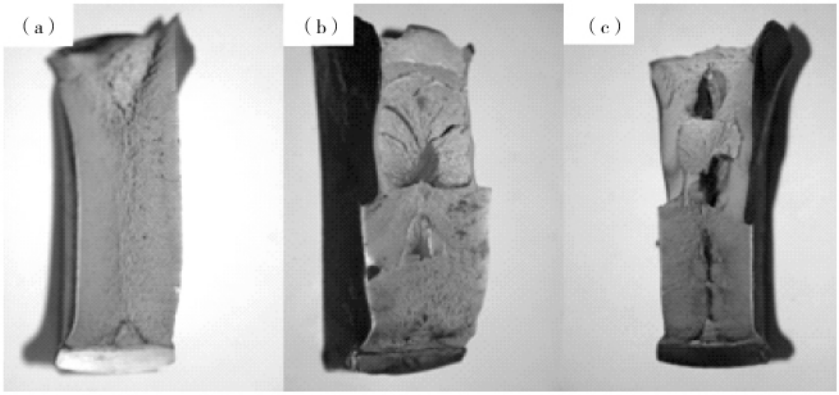


图1 DWTT试验断口的宏观形貌

3 断口的金相和扫描电镜微观分析

3.1 扫描电镜分析

在距断口15 mm处分别切取DWTT试验的3种不同类型断口试样,经超声波清洗后进行扫描电镜分析。

正常的纤维状断口经扫描电镜放大后观察,其断口微观形貌全部为韧窝形貌,如图2(a)所示。脆性区断口的微观形貌则为河流花样的准解理形貌,如图2(b)所示。进一步对比观察,DWTT值偏低不合的试样断口上,其韧性纤维区的韧窝内有大量球状夹杂物,见图3扫描电镜及能谱分析,而DWTT值合格的断口上,其韧性纤维区的韧窝内夹杂物明显较少。对宏观断口分层部位进行扫描电镜和能谱微观分析,结果显示分层缺陷处为脆性断裂,分层断面平滑扩展,能谱检测显示分层面上有碳氮化铌及硫化锰夹杂物存在,如图4所示。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

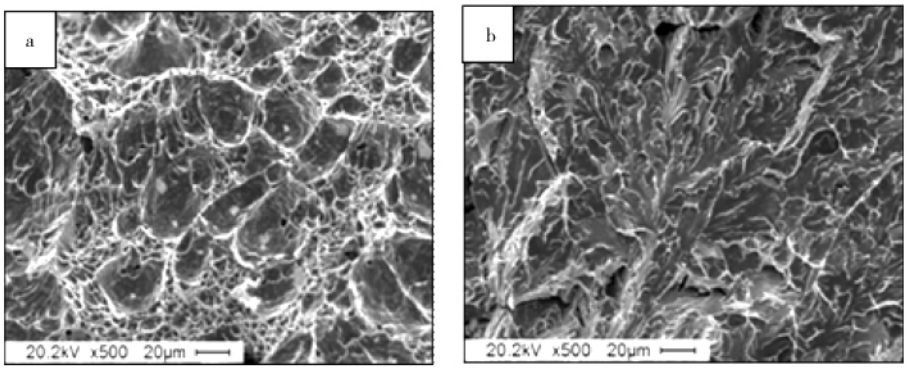


图 2　DWTT 断口的扫描电镜形貌

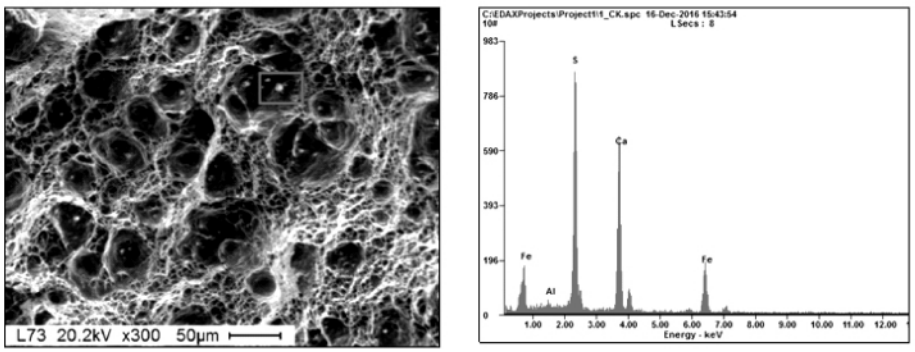


图 3　扫描电镜及能谱分析

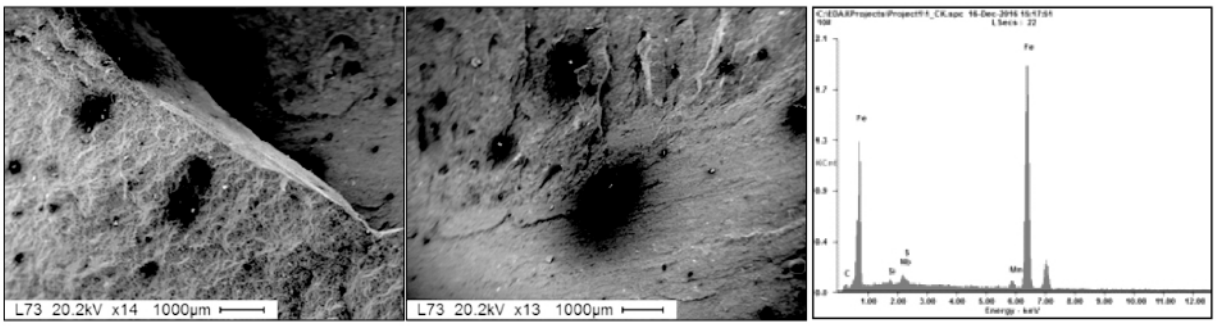


图 4　DWTT 断口分层部位的扫描电镜及能谱分析

3.2　金相分析

选取 3 种典型类型的断口，在距断口 15 mm 处分别切取金相试样，磨制后用 4% 硝酸酒精溶液浸蚀。

3 种典型类型 DWTT 断口的显微组织，如图 5(a) 、(b) 、(c) 所示。图 5(a) 为 DWTT 值合格的正常纤维状断口试样，其金相组织为铁素体 + 弥散分布的小颗粒贝氏体，组织细小、分布均匀; 图 5(b) 为 DWTT 值不合的断口试样，其脆性区部分对应的金相试样，试样的显微组织为铁素体 + 弥散分布的小颗粒贝氏体 + 马氏体，且晶粒度不均匀。图 5(c) 为 DWTT 值不合，断口中心分层试样，在金相试样的中心可见明显的偏析带。进一步放大观察，偏析带中马氏体含量增多并伴随有大颗粒的夹杂物，如图 6(a) 所示，经扫描电镜及能谱分析，夹杂物为 Nb 和 Ti 的碳氮化物，见图 6(b) 、图 6(c) 。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

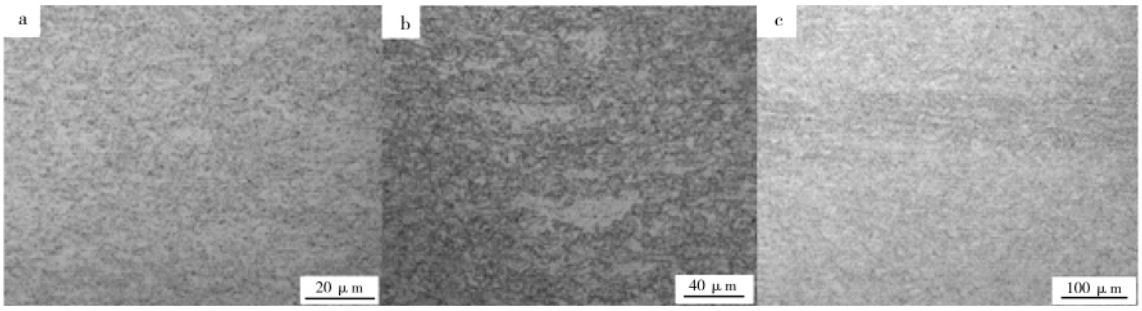


图5 不同类型DWTT断口对应的金相组织

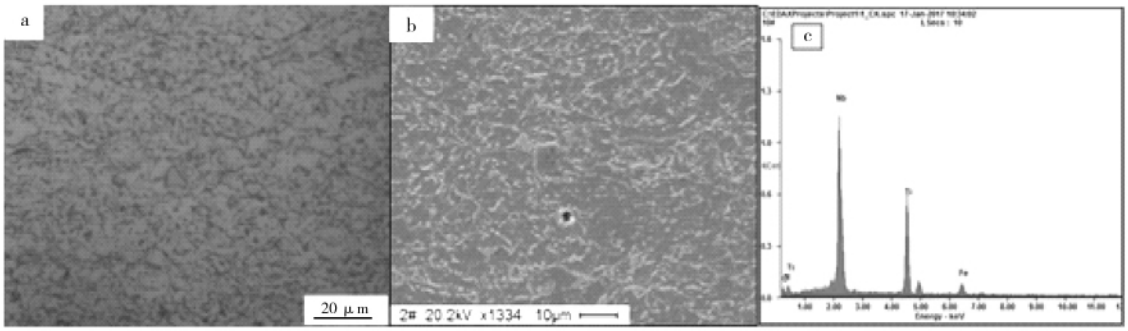


图6 试样中心分层部位的显微组织及电镜能谱分析

4 分析讨论

4.1 显微组织的影响

X80管线钢理想的显微组织是针状铁素体+细小弥散分布贝氏体[2]。针状铁素体是抗裂纹扩展最有效的组织,主要因为此组织内部存在大量的位错,在受到冲击时位错相互缠绕,与碳化物相互钉扎,使裂纹扩展到此处后很难通过,因为裂纹的扩展是靠位错运动实现的,位错受到钉扎不易运动,裂纹就不容易扩展。针状铁素体的形态也很重要,它无方向性,晶界不是平直的,晶粒细小均匀,裂纹要沿晶界扩展就有难度。这就使裂纹沿晶界、晶内都不易扩展,最终表现为好的落锤性能[2]。本文对比了X80管线钢的3种典型的DWTT断口,DWTT值合格的断口试样,其金相显微组织为理想的针状铁素体+细小弥散分布贝氏体组织,晶粒细小均匀;其他两类不合的典型断口试样,其金相显微组织都有不同含量的岛状马氏体组织,这种硬度较高的马氏体组织降低了材料的韧性,是断口上产生脆性区的主要原因,同时,不合格试样的表面与中心的组织晶粒不均匀,也对落锤性能有影响。

4.2 铸坯偏析度的影响

厚壁大规格的X80管线钢的成分采取的是低碳、高锰、超低硫、Nb-V-Ti微合金化,其中w[Mn]在1.70%~1.85%,连铸过程中在板坯中心部位极易产生偏析,偏析度越大轧制时越容易形成带状组织[3]。试样心部的带状组织及成带状的异常组织,因其与基体正常组织间的塑性差异较大,金属间结合力不同,在受强外力作用,且当外力超过金属晶体间的结合力时,为了释放外力,金属即会沿带状撕裂。落锤试验时,在金属结合力薄弱的带状组织及成条带状分布的硬相组织处将优先开裂,形成分层裂纹。

4.3 夹杂物的影响

夹杂物对钢的性能影响很大,特别是对韧性钢的影响较大。夹杂物的存在大大影响了钢的止裂韧性,加速裂纹的扩展,降低管线钢的落锤性能[4]。在试样的中心偏析带上,除异常岛状马氏体组织外,观察到大量的碳氮化物的析出,由于碳氮化物的析出割离基体的连续性,受冲击时在碳化物与基体的交界处产生应力集中,在偏析带异常组织及夹杂物的共同作用下导致断口出现脆性分层开裂。

(下转第58页)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

含量和磷含量较高的双相钢，中心偏析带内有大量的硫化物和磷元素聚集，非金属夹杂物的变形程度与基体不一致，轧制过程中造成钢的内部裂纹。降低钢水的硫含量和磷含量，减轻硫含量和磷含量对偏析的影响。炼钢优化各工序控制，铁水采用深脱硫 KR 工序，经过 KR 脱硫处理 w[S] 在 0.002% 以内；转炉加优质低磷低硫废钢，采用双渣脱磷工艺，依靠高碱度、高氧化性、大渣量的炉渣进行深脱磷，降低钢水的磷含量；精炼炉降低钢中的氧和硫含量；RH 真空处理脱气去夹杂，提高了钢水的洁净度，改善了铸坯中心偏析。

3.3 铸机工序控制

连铸作为一种应用广泛的钢水凝固结晶的技术过程，连铸坯的质量对终端产品质量有着重要的影响，控制连铸坯中心偏析至关重要。在连铸过程中，钢水的非平衡凝固使得溶质元素在固相中不均匀分布，造成成分偏析。成分偏析造成铸坯材质不均匀，降低铸坯和钢铁产品的力学性能[4]，需采取措施改善铸坯中心偏析。

铸机采用低过热度浇注，控制精炼供钢水温度，减小铸坯柱状晶带的宽度，从而达到控制铸坯的凝固结构，降低铸坯成分偏析。铸坯的凝固末端采用轻压下技术，来补偿铸坯最后凝固的收缩，从而抑制残余钢水的流动，减轻或消除中心偏析。采用轻压下可以阻止收缩空隙形成、补偿最后凝固阶段的收缩，消除中心疏松及内部裂纹，减少中心宏观偏析。采用电磁搅拌技术，消除柱状晶“搭桥”，增大中心等轴晶区宽度，达到减轻或消除中心偏析，改善铸坯质量[5]。

4 结论

(1) DP590 双相钢心部位存在着连续马氏体带状组织，马氏体带状组织是导致钢板旋压加工过程中出现开裂的主要原因。

(2) 铸坯中心偏析对低倍组织影响较大，通过低倍检验分析中心偏析为 B 类 0.5 级的 DP590 双相钢钢板母材马氏体带状组织不明显，中心偏析为 B 类 1.0 级的 DP590 双相钢钢板母材存在严重的马氏体带状组织，可见中心偏析是影响马氏体带状组织形成的重要原因。

参 考 文 献

[1] 狄国标，陈连生，刘振宇，等. 低成本热轧双相钢组织性能研究 [J]. 轧钢，2007，24(5)：17－20.

[2] 傅世枢. 当代汽车用钢和超轻钢制汽车技术的开发 [J]. 汽车工艺与材料，2008，(2)：39－48.

[3] 陈训浩. 中心偏析原因、危害、评定以及预防 [J]. 冶金标准化与质量，1998，(4)：12－17.

[4] 陈辉，张立，赵素，等. 连铸中心偏析控制研究进展 [J]. 热加工工艺，2012，41(9)：45－51.

[5] 宋世雄，任晨辉，查显文. 消除连铸板坯中心偏析与中心疏松的研究 [J]. 重型机械，2017，(2)：37－40.

(上接第 54 页)

5 结束语

通过宏观及微观分析，厚壁 X80 管线钢 DWTT 落锤断口出现不同的断口形貌与材料的显微组织、偏析以及夹杂物等有直接的关系。一方面通过改进连铸工艺、优化电磁搅拌，使铸坯的夹杂物得以控制，偏析得到改善；另一方面通过优化轧制工艺，合理控制冷却及卷曲温度获得理想均匀的针状铁素体＋细小弥散分布贝氏体组织。

参 考 文 献

[1] 陈宏达，霍春勇，冯耀荣，等. 管线钢落锤撕裂实验方法的建立、应用及发展 [J]. 钢铁研究学报，2005，17(6)：1－5.

[2] 李国宝，徐洪庆，彭海红. 管线钢落锤性能的影响因素分析 [J]. 宽厚板，2006，12(6)：5－8.

[3] 徐勇，文小明. 厚规格高级别管线钢 X80 的研究与开发 [J]. 金属世界，2015，(4)：31－34.

[4] 饶添荣，李杰. X80 管线钢 DWTT 试验断口分离原因分析 [J]. 上海金属，2011，33(6)：54－56.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net