

轧制工艺对 X80 管线钢组织、织构和性能的影响

韩乐¹ 孙昊¹ 任慧平¹ 王海燕^{1,2} 金自力¹

(1 内蒙古科技大学材料与冶金学院, 包头 014010; 2 北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083)

摘要 利用环境扫描电子显微镜对 X80 管线钢(成分: 0.043C, 0.25Si, 1.86Mn, 0.085Nb, 0.001Ti, 0.028Al, 0.0027N) 的显微组织进行了观察, 并借助于 X 射线衍射仪和电子背散射衍射技术, 分析了管线钢组织与晶粒取向的特点。结果表明, $\{112\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{110\} \langle 110 \rangle$ 取向增加、小角度晶界比率提高, 使管线钢的落锤撕裂面积增大, 韧性提高; 降低终轧温度、提高冷却速度, 能够得到较多的针状铁素体, 对落锤撕裂性能是有利的。

关键词 X80 管线钢 轧制工艺 组织 织构 性能

Effect of Rolling Process on Structure, Texture and Properties of X80 Pipeline Steel

Han Le¹, Sun Hao¹, Ren Huiping¹, Wang Haiyan^{1,2} and Jin Zili¹

(1 School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010; 2 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract Observation of microstructure of X80 pipeline steel (composition: 0.043C, 0.25Si, 1.86Mn, 0.085Nb, 0.001Ti, 0.028Al, 0.0027N) has been carried out by using environmental scanning electron microscope, and characteristics of structure and grain-texture orientation of the pipeline steel are analyzed by X-ray diffraction (XRD) and electron backscatter diffraction (EBSD) technique. Results show that with increasing $\{112\} \langle 110 \rangle$, $\{110\} \langle 110 \rangle$ orientation and small-angle boundary ratio, the pipeline steel's drop weight tear test (DWTT) shearing area ratio enlarges and the toughness of steel increases; with decreasing finishing rolling temperature and increasing cooling rate after rolling, it is available to get more acicular ferrite and favorable to DWTT performance.

Material Index X80 Pipeline Steel, Rolling Process, Structure, Texture, Properties

管线钢的服役条件(大口径、高压)要求其具有较好的韧性和强度配合^[1,2]。国内外曾有过多起长距离管线爆裂事故, 因此提高强韧性的同时, 有效防止脆性断裂、延性断裂扩展成为管线钢的一个重要性能指标^[3]。管线钢的止裂性能与材料成分、夹杂、偏析、组织、轧制工艺等直接相关^[4], 本文借助于扫描电镜(SEM- Scanning Electron Microscope)及电子背散射衍射(EBSE- Electron Backscatter Diffraction)技术研究 X80 管线钢的组织 and 断裂区的取向, 分析不同工艺条件下管线钢的组织 and 易断裂区在微观取向上的差异, 探索组织、微观取向与止裂性能之间的关系。

1 实验材料及方法

本实验采用国内钢厂提供不同批号的 X80 管线钢(表 1), 钢板规格为厚度 18.4 mm、宽度 2 100

表 1 实验 X80 管线钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of experimental X80 pipeline steel / %

C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Ni	Mo	Cu	Al	N
0.043	0.25	1.86	0.007	0.005	0.085	0.001	0.22	0.17	0.21	0.028	0.0027

表 2 实验 X80 管线钢的轧制工艺

Table 2 Rolling process of experimental X80 pipeline steel

编号 (工艺)	加热温度/ ℃	粗轧开轧 温度/℃	精轧开轧 温度/℃	压下率/ %	终轧温度/ ℃	冷却速度/ (℃·s ⁻¹)
1(优化后)	1 180	1 130	910	85	820	23
2(优化前)	1 180	1 130	940	76	850	15

mm, 其对应的工艺见表 2。

(1) 落锤撕裂实验- 将 X80 钢在板宽 1/4 处取样, 加工成 (mm) 300 × 76 × 18.4 的试样, 为了减少异型断口出现的概率, 开人字型缺口。然后在落锤撕裂试验机上将其冲断, 冲击速度为 5 ~ 9 m/s。并检测其撕裂面积百分比。

(2) 组织观察和取向测定- 在落锤撕裂断口处

横向取样。样品经机械抛光、4% 硝酸酒精腐蚀后进行扫描电镜 (SEM) 观察。相应试样再经电解抛光后进行背散射电子显微镜图像和数据分析 (采用的电解抛光液为 80 mL 甲醇 + 20 mL 高氯酸, 抛光电压为 12 V, 时间为 60 s)。

2 实验结果和分析

2.1 力学性能和组织

实验用钢的力学性能如表 3 所示。一般要求撕裂面积在 85% 以上。工艺优化前 X80 钢的 DWTT (Drop Weight Tear Test) 性能不符合标准要求。工艺优化后 DWTT 性能满足标准要求。

表 3 X80 管线钢的力学性能实验结果

Table 3 Test results of mechanical properties of X80 pipeline steel

编号 (工艺)	抗拉强度/ MPa	屈服强度/ MPa	屈强比/ %	伸长率/ %	DWTT (室温)/%
1(优化后)	660	585	89	30.88	91.0
2(优化前)	640	550	86	27.30	80.5

图 1(a) 可见, 优化后 1# 样的组织主要为均匀分布的针状铁素体 (AF) + M/A 岛, 深色区域为针状铁素体, 浅色区域粒状为 M/A 岛。图 1(b) 优化前 2# 试样的组织主要是准多边形铁素体 (QF) + 少量的珠光体组织 (P)。

2.2 X-射线能谱 (XRD) 分析

在图 2 所示的这个截面图上可以观察到一系列重要的取向位置^[5,6], 在 $\phi_1 = 0 \sim 90^\circ, \phi = 0 \sim 90^\circ, \phi_2 = 45^\circ$ 欧拉空间内有 (ϕ_1, ϕ, ϕ_2) 为 $(0^\circ, 0^\circ, 45^\circ)$ 的 $\{100\} \langle 110 \rangle$ 取向, $(0^\circ, 35^\circ, 45^\circ)$ 的 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 取向, $(0^\circ, 55^\circ, 45^\circ)$ 的 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 取向, $(90^\circ, 0^\circ, 45^\circ)$ 的 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 旋转立方取向等。这些织构在钢中往往会集中在某些取向线上, 如在取向分布函

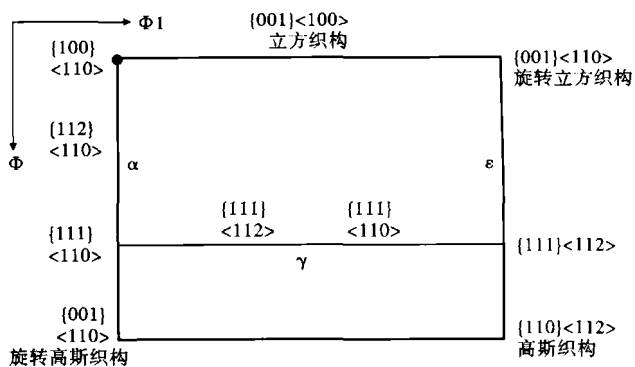


图 2 $\phi_2 = 45^\circ (\phi_1, \phi = 0 \sim 90^\circ)$ 欧拉空间的一部分重要取向
Fig. 2 Partial important orientation of $\phi_2 = 45^\circ (\phi_1, \phi = 0 \sim 90^\circ)$ Euler space

数 (ODF) 图中位置为 $\phi_1 = 0^\circ, \phi = 0 \sim 90^\circ, \phi_2 = 45^\circ$ 代表 $\langle 110 \rangle$ // 轧向 (RD) 的 α 取向线, $\phi_1 = 0 \sim 90^\circ, \phi = 54.73^\circ, \phi_2 = 45^\circ$ 代表 $\langle 111 \rangle$ // 法向 (ND) 的 γ 取向线, $\phi_1 = 90^\circ, \phi = 0 \sim 90^\circ, \phi_2 = 45^\circ$ 代表 $\langle 110 \rangle$ // 横向 (TD) 的 ϵ 取向线。

如图 3(a) 所示, 1# 样品中 γ 取向线附近织构强

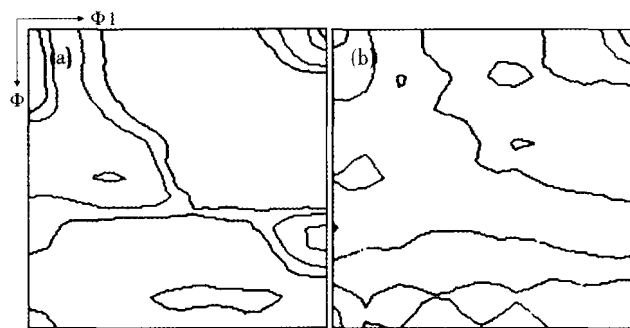


图 3 X80 管线钢的 $\phi_2 = 45^\circ$ 截面取向分布函数图: (a) 试样 1 (优化后); (b) 试样 2 (优化前)
Fig. 3 Orientation distribution function map of $\phi_2 = 45^\circ$ section of X80 pipeline steel: (a) Sample No1 (after optimization); (b) Sample No2 (before optimization)

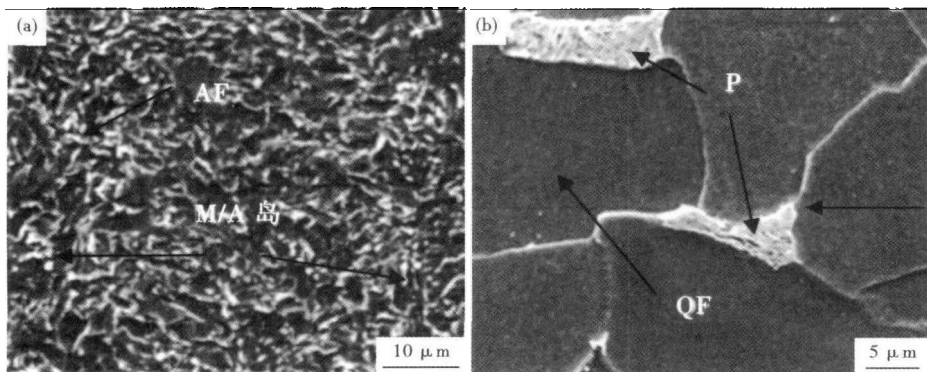


图 1 X80 管线钢显微组织形貌: (a) 试样 1 (优化后); (b) 试样 2 (优化前)

Fig. 1 Morphology of micro structure of X80 pipeline steel: (a) Sample No1 (after optimization); (b) Sample No2 (before optimization)

度不是很大, 取向主要是集中在 α 取向线附近, 密度水平最高达到 4.8, 主要取向是 $\{100\} \langle 110 \rangle$ 和 $\{112\} \langle 110 \rangle$, 还有一部分织构集中在 ϵ 取向线附近, 水平密度也比较高, 其主要取向是 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 旋转立方取向和 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 。图 3(b) 是 2# 样整体织构强度较弱, 取向类型主要为 α 取向线上的 $\{100\} \langle 110 \rangle, \{112\} \langle 110 \rangle,$

以及 ε 取向线上的 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 。密度水平最高为 2.6, 其他小于 2.0, 可以认为大部分是随机取向。

可以看出, X80 管线钢中织构类型主要集中在 α 取向线附近, $\{112\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{100\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 等是其主要的取向。增加 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{110\} \langle 110 \rangle$ 取向可以提高管线钢的 DWTT 性能^[7,8]。

2.3 断口附近电子背散射衍射 (EBSD) 分析

2.3.1 织构类型及比例

图 4 为经 EBSD 测试得到偏差 20° 时的断裂区各织构类型及其所占比例图。从图 4 中可以看出, 1# 试样中 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{110\} \langle 110 \rangle$ 、 $\langle 111 \rangle \langle 110 \rangle$ 组分具有相当高的比例, 均在 16% 以上, 最高 18.4%。

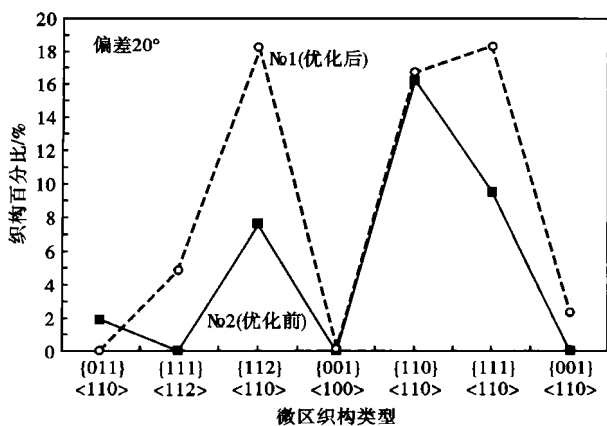


图 4 X80 管线钢的各类型织构百分比

Fig. 4 Percentage of various texture of X80 pipeline steel

$\{111\} \langle 112 \rangle$ 、 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 取向较少; 2# 试样中 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{110\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 的比例较大, 在 7% 以上, 最高可达 16.3%。同时还有少量的 $\{011\} \langle 110 \rangle$ 取向。在宏观的 XRD 观测到占优的 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 取向在微区取向观察中所占比例均较少。综合分析, $\{110\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 在 2 批钢中所占的比例较大, 为管线钢断口附近微区的主要织构类型; 1# 试样较 2# 试样具有较高的织构比例。

2.3.2 取向差分析

在图 5(a) 中小于 15° 的晶界较多, 即 1# 试样以小角度晶界为主; 图 5(b) 中大角度晶界 (大于 15°

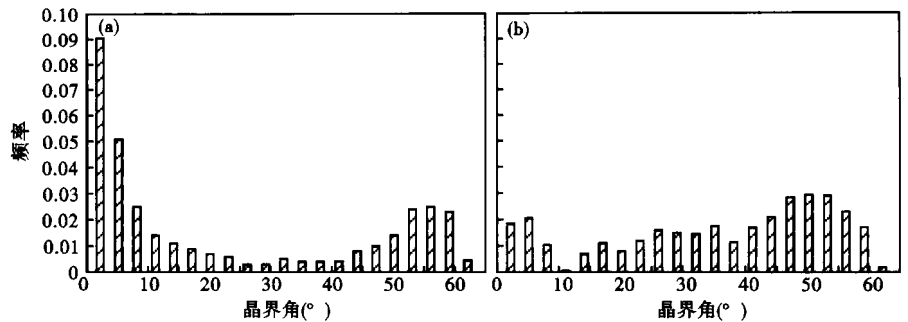


图 5 X80 管线钢的晶粒取向差分布图: (a) 试样 1 (优化后); (b) 试样 2 (优化前)

Fig. 5 Distribution of grain mis-orientation angle of X80 pipeline steel: (a) Sample No1 (after optimization); (b) Sample No2 (before optimization)

的晶界) 相对频率较多, 即 2# 试样以大角度晶界为主。大角度晶界具有较高的晶界能, 小角度晶界具有较低的晶界能, 小角度晶界较大角度晶界不活跃且抗开裂的性能优越^[7]。1# 样 DWTT 性能优于 2# 样, 在于 1# 样中存在的小角度晶界是位错运动和裂纹扩展到有效屏障。

3 结论

(1) $\{112\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{110\} \langle 110 \rangle$ 取向增加、小角度晶界比率提高, 使管线钢的落锤撕裂面积增大, 韧性提高, 止裂效果明显。

(2) 降低终轧温度、提高冷却速度, 可得到较多的针状铁素体, 有利于改善管线钢落锤撕裂性能。

内蒙古自然科学基金项目资助 (2010MS0808)

参考文献

- 张寿禄, 赵泳仙, 崔天燮, 等. 应用 EBSD 研究 X80 管线钢的落锤撕裂性能. 中国体视学与图像分析, 2007, 12(4): 271
- 陈宏达, 霍春勇, 冯耀荣, 等. 管线钢落锤撕裂试验方法的建立、应用及发展. 钢铁研究学报, 2005, 17(6): 1
- Shin Sang Yong, Hwang Byoungchul, Lee Sunghak, et al. Correlation of Microstructure and Charpy Impact Properties in API X70 and X80 Line-pipe Steel. Materials Science and Engineering, 2007, A458: 281
- 李国宝, 徐洪庆, 彭海红. 管线钢落锤性能的影响因素分析. 宽厚板, 2006, 12(6): 56
- 毛卫民, 张新明. 晶体材料织构定量分析. 北京: 冶金工业出版社, 1995
- Hwang Byoungchul, Lee Sunghak, Kim Young Min, et al. Analysis of Abnormal Fracture Occurring during Drop-weight Tear Test of High-toughness Line-pipe Steel. Materials Science and Engineering, 2004, A368: 18
- Yu Hao. Influences of Microstructure and Texture on Crack Propagation Path of X70 Acicular Ferrite Pipeline Steel. Materials, 2008, 15(6): 683
- Baczynski G J, Jonas J J. The Influence of Rolling Practice on Notch Toughness and Texture Development in High-strength Linepipe. Metallurgical Andmaterials Transactions, 1999, 30(12): 3045

韩 乐 (1985-), 男, 硕士研究生, 钢铁材料研究。

收稿日期: 2011-10-27