

南钢 HTP 工艺试制高镍 X80 管线钢的组织性能研究

黄一新

(南京钢铁联合有限公司,江苏 南京 210035)

摘要:对南钢试制的低碳、高镍、不添加钼成分的高温轧制(HTP)的 X80 管线钢钢板的性能进行了分析,针对其显微组织特点进行了详细的观察和研究,并对 DWTT 断口形貌、夹杂物以及第二相 21 粒子的成分、尺寸及分布进行了分析,证实了采用 HTP 工艺技术生产的管线钢板能够完全达到 X80 的现行技术标准要求;而且低碳、高镍、不添加钼的成分可以大幅度降低生产成本,有助于提升管线钢的竞争力。

关键词:管线钢;HTP 工艺;性能;显微组织

中图分类号:TG115. 21;TG115. 5

引 言

采用管线输送石油天然气具有高效、经济、安全、无污染等特点,被认为是长距离输送油气的有效方式。而为了提高输送效率、降低能耗、减少投资和降低管线运营费用,长距离管线输送的关键在于不断提高输送压力,加大管径,降低单位输送成本,且通过减少其管壁厚度来降低材料及相关建设费用。提高管线钢级是减小壁厚,节约钢材,降低管道建设成本的有效途径之一^[1]。提高管线运行压力同时降低管线制造成本的趋势,使得管线行业对管线钢的强度级别要求也越来越高,API X70(483 MPa)和 X80(550 MPa)级别的管线钢的使用将会越来越普遍^[2]。因此高钢级、大口径已经成为管线钢管发展的总趋势;工业发达国家普遍将 X80 列为 21 世纪天然气输送管线的首选钢级^[3]。

南京钢铁股份有限公司采用 HTP 工艺现场试

制了低碳、高镍、不添加钼的 X80 管线钢板。为了研究 HTP 工艺与普通 TMCP 工艺对钢板组织性能的影响,本文针对炉号为 0610060704 的钢板利用光学显微镜、扫描电镜(SEM)和透射电镜(TEM)对显微组织进行观察和分析,并对 DWTT 断口以及夹杂物和第二相粒子的形貌、结构和成分进行了详细的分析研究,并提出了相应的改进措施。

1 试制钢板的化学成分

试制钢板的主要化学成分见表 1。此次试制钢板的化学成分中,镍的含量很高,达到了 0.095%,除了少量的铬(0.26%)外,没有添加钼元素。其中碳当量 C_{eq} 和裂纹敏感系数 P_{cm} 的计算公式如下

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

$$P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

表 1 试制 X80 管线钢的化学成分/%

厚度/mm	w(C)	w(Si)	w(Mn)	w(P)	w(S)	w(Cr)	w(Nb)	w(Mo)	w(Nb+V+Ti)	C_{eq}	P_{cm}
20	0.05	0.21	1.58	0.007	0.000 5	0.26	0.095	0.01	0.107	0.41	0.17

2 试制钢板的力学性能

试制 X80 钢板的主要力学性能见表 2。可以看

出,由高镍 HTP 工艺试制的 X80 钢板的各项性能均满足技术条件要求,而且有一定的余量。

收稿日期:2007-06-01

作者简介:黄一新(1965—),男,高级工程师。电话:(025)57072982,13357708080;E-mail:steel HUANG@njsteel. com. cn。

表 2 试制 X80 钢板的力学性能

取样位置	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 /%	屈强比	平均夏比 冲击功/J	平均剪切 面积/%	DWTT 剪切 面积/%
头	595	697	37	0.85	420	100	95
中	586	710	39	0.82	415	100	96
尾	584	686	37	0.85	430	100	93
技术条件 要求	555~690	625~785	≥21	≤0.92	单个试样最小值≥170 三个试样平均值≥220	单个试样最小值≥80 三个试样平均值≥90	单个试样最小值≥70 三个试样平均值≥85

扫描电镜下观察其显微组织,扫描电镜的型号为 CAMBRIDGE 360。

3 试制钢板的显微组织观察分析

3.1 光学显微组织

采用线切割的方式从试制钢板上截取金相试样,试样尺寸为:8 mm×10 mm×20 mm(钢板原厚度)。将块状试样在磨平、抛光后用 3%的硝酸酒精浸蚀,在光学显微镜下观察显微组织。

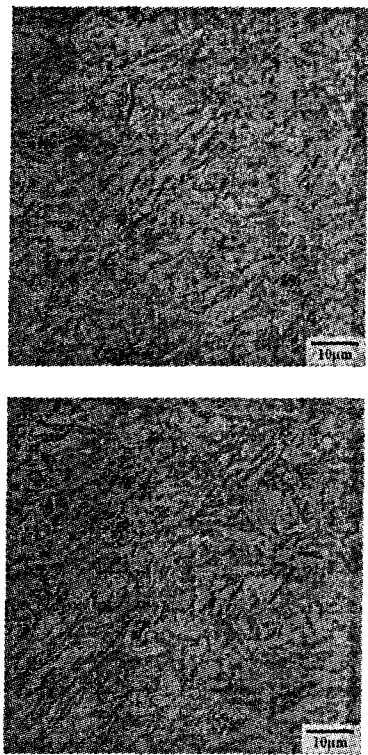


图 1 X80 钢板的光学显微组织

以钢板尾部宽向 1/4 处光学显微组织为例(见图 1),可以看出组织类型为少量的多边形铁素体+细小的针状铁素体+粒状贝氏体,组织中还存在极少量的边界不清晰的板条贝氏体,部分晶粒的长大呈一定的方向性。组织中没有观察到对冲击韧性不利的珠光体组织,这说明在冷速较高的情况下,温度较低的尾部,其组织中形成了极少量的外观形貌上具有特定晶体学方向的板条贝氏体。

3.2 SEM 显微组织

SEM 试样制备方式与光学试样相似,浸蚀后在

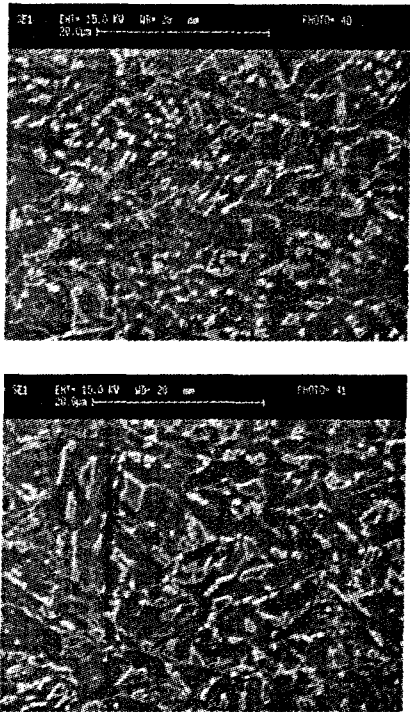


图 2 X80 钢板的 SEM 组织

同样以钢板尾部宽向 1/4 处 SEM 显微组织为例(见图 2),可以看出组织类型为细小针状铁素体晶粒,形状不规则、晶粒界限模糊、没有完整的连续晶界、粒度参差不齐,平均铁素体晶粒尺寸约为 4~5 μm,这是比较典型的针状铁素体特征。即大小不等的晶粒沿着不同的晶体学方向生长,任何一个方向都不占主导地位;同时先前的奥氏体网状晶界逐渐消失,部分块状铁素体晶粒长大时晶界越过原始的奥氏体晶界,外观形貌上表现为晶粒犬牙交错,顺序和方向都显得比较杂乱。试样中有少量的多边形铁素体,尺寸明显比中部的小,周围仍有明亮的马氏体圈存在;MA 岛多呈粒状,尺寸比中部的要小很多,分布于晶内和晶界。

3.3 TEM 显微组织

用电解双喷法制备薄晶体试样过程如下:将试样用线切割切成 0.3 mm 厚的小片,再打磨至 40~60 μm,要求两面磨制均匀,充分磨掉线切割时的热

影响区。磨好的薄片用冲片器冲成 $\Phi 3$ mm 的小圆片,再采用电解双喷使试样穿孔并形成宽大薄区。双喷减薄采用 5% 的高氯酸酒精溶液,在电压 30 V, 电流 50 mA 条件下进行。



(a) 组织形貌



(b) 位错形貌

图3 X80 钢板的薄晶体 TEM 形貌

由钢板尾部宽向 1/4 处 TEM 显微组织看出, 基体组织呈现比较典型的针状铁素体类型; 组织中晶粒的晶体学方向比较混乱, 针片状的晶粒组织并不贯穿整个晶界, 这样组织中晶粒的有效尺寸增大, 组织的止裂效果好, 具有较大的剪切撕裂面积。图 3(b) 为组织中的位错形貌, 可以看出组织中的位错密度较高, 部分位错相互缠结形成位错发团, 将对组织和性能起到良好的作用。

4 DWTT 断口形貌及夹杂物观察分析

试样取自 X80 钢板的 DWTT 断口。将断口用线切割的方式切下, 用酒精清洗后在扫描电镜下进行断口形貌及夹杂物的观察分析。

4.1 DWTT 断口形貌

如图 4 所示, 该断口以韧性断裂形貌为主, 韧窝比较浅, 且大小不一, 呈剪切撕裂特征, 表明其 DWTT 剪切撕裂良好。

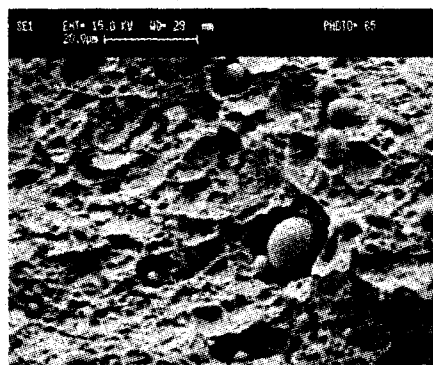


图4 X80 钢板 DWTT 断口形貌

4.2 夹杂物

如图 5 所示, 极个别较大的夹杂物的线度在 50 μm 左右; 夹杂物的形貌各异, 形状不规则, 这说明夹杂物的球化不充分。夹杂物的扫描电镜能谱表明, 其主要成分为 Al、Si、K(渣的成分), 其中 Si 所占成分较大, 应为硅铝酸盐。

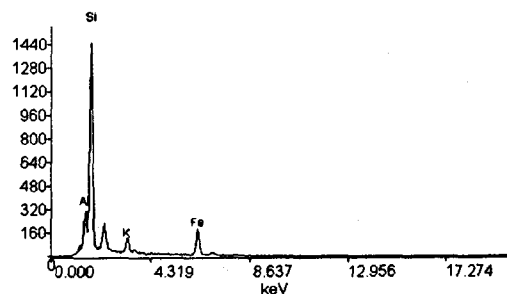
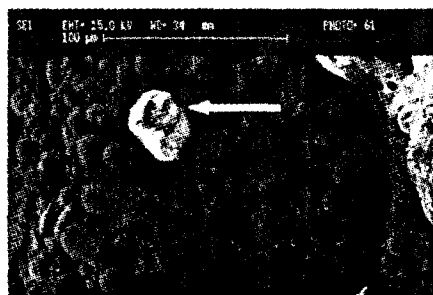


图5 X80 钢板中的夹杂物形貌及能谱

5 第二相粒子观察与分析

碳萃取复型薄膜试样的制备过程如下: 试样打磨—抛光—3% 硝酸酒精浸蚀—真空喷碳—硝酸酒精溶液中脱碳膜—捞取碳膜置于铜网上一干燥后置于干燥皿中以备观察。

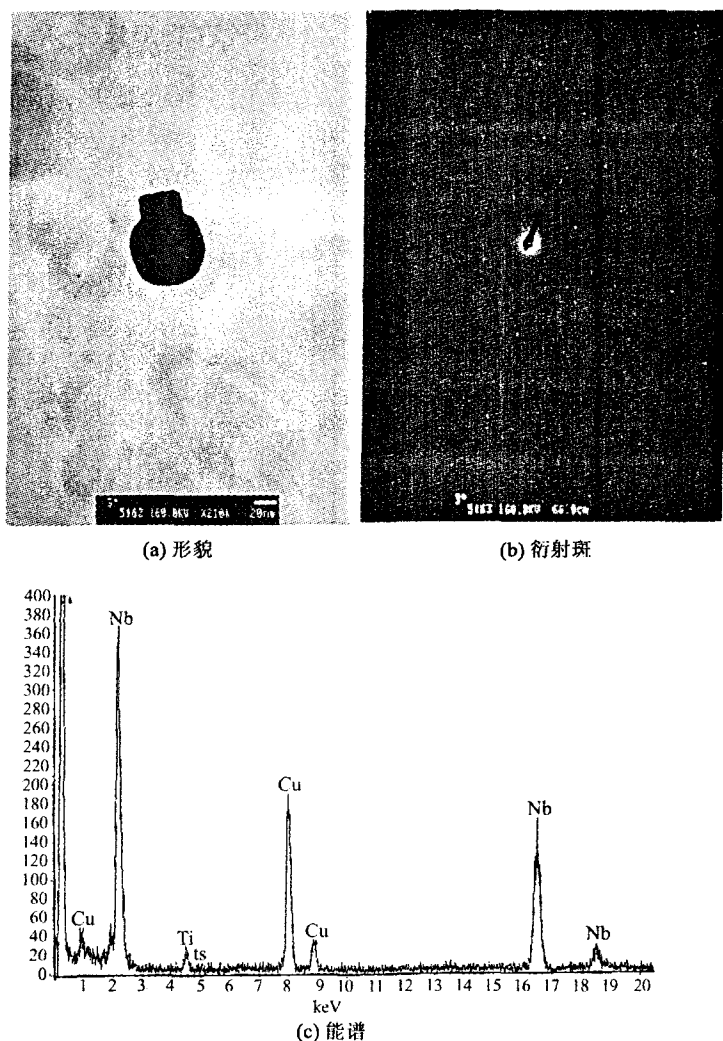


图 6 X80 钢板中第二相粒子的碳复型 TEM 形貌、衍射斑及能谱

图 6(a)为碳复型析出相形貌,明显可以看出该析出物为方形粒子和球形粒子的复合析出物。图 6(b)为其衍射斑,图 6(c)为球形粒子的能谱图。由能谱图可见其主要成分为 Nb, Ti 的含量极少,这说明该复合析出物应为铌的碳氮化物,其中,能谱中的 Cu 为支撑复型样的铜网成分。

6 结论

(1) 由高铌 HTP 工艺试制的 X80 钢板的各项性能均满足技术条件要求,而且有一定的余量,证实了 HTP 工艺技术的可行性。

(2) 由 HTP 工艺生产的高铌 X80 管线钢的光学和扫描组织可以看出,其组织类型为比较理想的针状铁素体组织。理想的针状铁素体的 TEM 组织中,基体组织呈现针片形状,针片宽度不均,且晶体学方向各异,表观形貌犬牙交错,形似混乱,且晶界不是很清晰。组织中的位错密度较高,部分位错相互缠结,形成位错发团。

(4) 组织中的析出物多数情况下为 Nb 和 Ti 的碳氮化物的复合析出物。

(5) 断口处还发现存在极少量形状极不规则的、尺寸较大的夹杂物(尺寸在 $50\text{ }\mu\text{m}$ 左右),此类夹杂物是影响 DWTT 的主要原因之一。钢质纯净和夹杂物的细化、球化是提高 DWTT 剪切撕裂面积的有效措施,应在冶炼和连铸工艺环节予以充分重视,采取措施将夹杂物的尺寸控制在 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下。

参考文献:

- [1] 奚运涛,刘道新,蔡杭平,等. 国产 X80 管线钢的 H_2S 应力腐蚀开裂行为[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2007, 27 (3): 103—105.
- [2] Douglas G Stalhemi. 高温轧制工艺(HTP)在高强度油气输送管线钢生产中的应用[J]. 南钢技术与管理, 2006, (3): 58—62.
- [3] 孔君华,郭斌,刘昌明,等. 高钢级管线钢 X80 的研制与发展[J]. 材料导报, 2004, 18(4): 23—25.