X80 级管线钢的组织和力学性能

张小立[1,2] 冯耀荣[1] 赵文轸[3] 霍春勇[1] 庄传晶[1] 吉玲康[1] 孟 强[4]
(1 中国石油天然气集团公司管材研究所,西安 710065;2 中原工学院材料与化学工程系,郑州 450007;
3 西安交通大学材料科学与工程学院,西安 710049;4 西安石油大学,西安 710065)

摘 要 对成分(%)为 0.04C,1.87Mn,0.27Mo,0.06Nb,0.006V,0.017Ti 的 X80 级管线钢进行了组织和冲击韧性、强度试验,并与 X70 级管线钢进行对比。试验结果表明,当 X80 钢的组织为针状铁素体和细小弥散的贝氏体时,该钢有较好的强韧性,抗拉强度达 750 MPa,屈强比接近 0.85,高于 X70 级管线钢。

关键词 X80 级管线钢 组织 力学性能

Structure and Mechanical Properties of Linepipe Steel X80

Zhang Xiaoli[1,2], Feng Yaorong[1], Zhao Wenzhen[3], Huo Chunyong[1],
Zhuang Chuanjing[1], Ji Lingkang[1] and Meng Qiang[4]
(1 Tubular Goods Research Institute, CNPC, Xi'an 710065;
2 Department of Materials and Chemical Engineering, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007;
3 Materials and Science Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049;4 Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065)

Abstract The structure, strength and impact toughness of linepipe steel X80 - 0.04C, 1.87Mn, 0.27Mo, 0.06Nb, 0.006V, 0.017Ti were tested and compared with linepipe steel X70. The examination results showed that as structure of the linepipe steel X80 was acicular ferrite + fine dispersed bainite, the steel had better strength and toughness, its tensile strength was up to 750 MPa and ratio of tensile strength to yield strength was nearly up to 0.85, all was high than that of pipeline steel X70.

Material Index Linepipe Steel X80, Structure, Mechanical Properties

随着输气管道输送压力的不断提高,输送钢管也相应地迅速向高性能发展。高性能钢管保证了高压输送的安全性,使管道建设的成本显著降低,同时也使管道运营的经济效益更加良好。加拿大的统计分析表明,每提高一个钢级可减少建设成本 7%。我国在西气东输工程中首次应用了 X70 级钢管。

控轧钢的一个近代发展是控制冷却。目前,国际上 X80-X120 管线钢,都采用控轧控冷工艺获得优良性能。轧后引入加速冷却,使 $\gamma\rightarrow\alpha$ 相变温度降低,过冷度增大,从而增大了 α 的形核率。同时由于冷却速度的增加,阻止或延迟了碳、氮化物在冷却中过早析出,因而易于生成更加弥散的析出物。进一步提高冷却速度,则可形成贝氏体或针状铁素体,可进一步改善钢的强韧性。

管材所对 X70 钢的组织与性能已作过较多的研究[1],本实验拟对几个品牌的 X80 钢的组织与力学性能的对应性进行分析,并对 X80 高钢级管线钢理想的组织进行了描述。

1 试验过程

试验研究材料包括两个钢级:X70 和 X80,拥有不同组织且分别购自国内外几家生产厂,均为管线实际使用管材或为管线研究开发的管线钢,其化学成分见表 1。钢管规格 X70 为 Φ 1 016 mm × 21 mm;X80 为 Φ 1 016 mm × 17.5 mm,均为 TMCP 技术生产的产品。

金相样品直接从试验钢板上切取,金相组织

表 1 X80 和 X70 管线钢化学成分/%
Table 1 Chemical compositions of pipeline steel X80 and X70 /%

钢种	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	V	Ti	Cu	B	Al
X80	0.043	0.23	1.87	0.010	0.002 8	0.025	0.27	0.230	0.060	0.006	0.017	0.13	0.001 1	0.042
X70	0.066	0.15	1.59	0.013	0.003 0	0.027	0.19	0.078	0.037	0.034	0.013	0.08	0.000 8	0.023

观察在 MEF4M 金相显微镜及图像分析系统上进行,观察面为平行轧向的样品正面,经粗磨、细磨、抛光和 3%硝酸酒精腐蚀而成。

从试验钢板端部垂直于轧制方向切取冲击样坯,经机床加工成 7.5 mm × 10 mm × 55 mm 的夏氏 V 型缺口冲击试样,在 10,0,-20,-40,-60,-80 ℃温度下,分别按照 GB2975-82,GB/T229294 的标准规定,在 JB2300B 机械式半自动冲击试验机上进行冲击试验。

拉伸试样均采用 Φ12.5 mm 的试样,并按 ASTM A370-2002 标准规定,在 MTS810-15 自动拉伸试验机上进行。

2 试验结果与分析

2.1 冲击韧性和金相组织

如图 1 所示,试验钢的冲击韧性随温度的降低而减小,且在 10 ~ -40 ℃区间,下降趋势较小,在 -40 ~ -80 ℃区间,下降趋势较大。

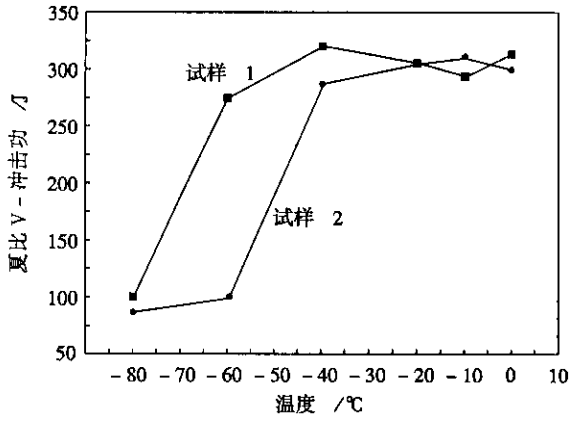


图 1 温度对实验 X80 管线钢冲击韧性的影响

Fig.1 Effect of temperature on Charpy impact energy of test pipeline steel X80

如图 2 所示,X80 级管线钢的金相组织是由 B(以 B 粒为主) + PF + P 组成,其中:B-贝氏体,PF-多边铁素体,P-珠光体,均为典型的 AF 组织。

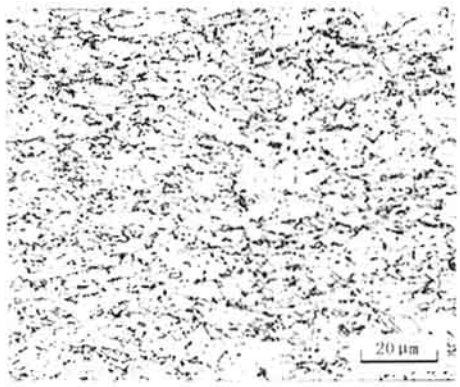


图 2 试验 X80 级管线钢的组织 ×500

Fig.2 Structure of test pipeline steel X80 ×500

为了准确掌握各 X80 级管线钢的相组织形态,进一步对其进行了 SEM 扫描电镜的观察,其组织见图 3。

从图 3 可以看出,X80 和 X70 管线钢的区别在于贝氏体相的多少,在 X70 管线钢中贝氏体相明显少于 X80 钢,且前者的分布均匀性较后者差;另外对于 1# 和 2# X80 管线钢,铁素体形状都显著被拉长,成细条状,呈典型的针状铁素体形貌,而 4# X80 的铁素体晶粒呈等轴多边形;在铁素体晶内和晶粒界面处,以上高钢级管线钢都存在由 M-A 岛构成的贝氏体粒,所不同的是 2# 和 4# X80 的贝氏体粒细小弥散,而 1# X80 的贝氏体粒较为粗大成片状。因而由图 3 可见,2# X80 钢应该拥有极佳的力学性能。

从表2可见,在贝氏体中,C、Mn含量都较铁

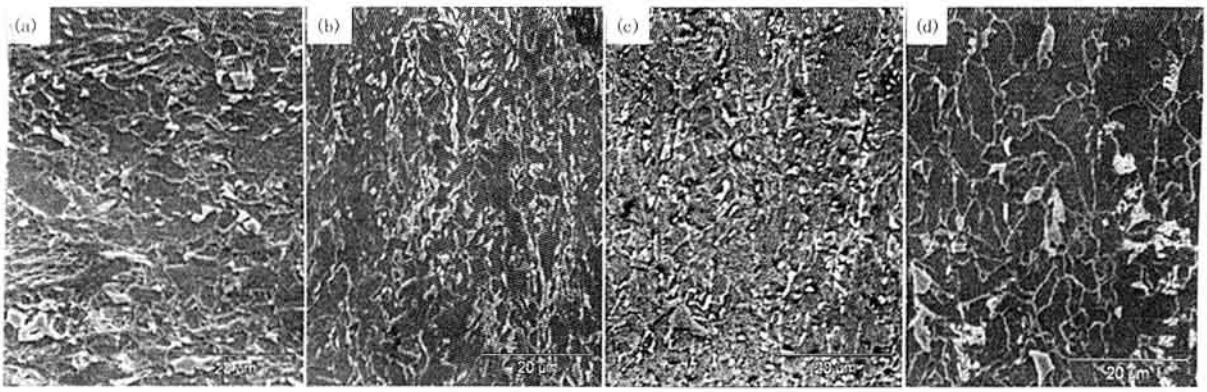


图 3 管线钢 SEM 组织形貌:X80 级钢-试样 1# (a);2# (b):4# (c);X70 级钢-(d)

Fig.3 SEM morphology of pipeline steel: X80 steel - sample 1# (a);2# (b);4# (c);X70 steel - (d)

表 2　X80 管线钢中各相的元素能谱分析/%

Table 2　Energy spectrum analysis results of phases in pipeline steel X80 /%

组织	C	K	Mn	Fe
贝氏体	3.73	0.19	2.23	93.85
铁素体	1.39	0.05	1.93	96.63

素体中高。贝氏体中的高 C、Mn 含量使得贝氏体相拥有较高的强度和硬度，增加组织中的贝氏体含量将提高钢材的整体强度和硬度。

2.2　力学性能

不同高钢级 X80 管线钢的抗拉强度和屈强比的对比分别见表 3。从表 3 可见，抗拉强度从高到低为 $2^{\#} > 1^{\#} > 4^{\#}$，这和显微组织的预测结果是一致的，另外 X70 管线钢的抗拉强度最低，这和其与上述 X80 相比较为粗大的晶粒尺寸和较少的贝氏体含量是一致的；而屈强比从高到低的顺序为 $4^{\#} > 1^{\#} > 2^{\#}$。

表 3　X80 管线钢抗拉强度和屈强比与 X70 管线钢的比较

Table 3　Comparison of tensile strength and ratio of tensile strength to yield strength between pipeline steel X80 and X70

试样编号	管线钢种	抗拉强度/MPa	屈强比
$1^{\#}$	X80	751 ~ 754	0.847 ~ 0.863
$2^{\#}$	X80	765 ~ 768	0.815 ~ 0.847
$4^{\#}$	X80	666 ~ 685	0.910 ~ 0.953
$5^{\#}$	X70	668 ~ 674	0.810 ~ 0.821

管线钢管的屈强比（屈服强度与抗拉强度之比）是钢管抵抗破裂的重要参数，它表示了材料从屈服到最后断裂过程中的变形能力[2]。以往世界上各石油公司的天然气管线钢管的技术条件对屈强比的限定值多数在 0.85 以下，根据此规范只有 $2^{\#}$ X80 管线钢达到要求。但在管线钢管的强度水平有了很大提高之后，较低的屈强比要求与高强度钢管的发展产生了矛盾。

现有的技术规范中，API 5L 规定对冷扩径钢管屈强比不允许超过 0.93；ISO3183-3 规定低于 X52 的钢管屈强比不允许超过 0.90，钢级超过 X52 的钢管屈强比不允许超过 0.92。EPRG 的研究表明，在钢管承受内压变形时，环向变形存在一个极限值，该值取决于钢管的屈强比[3]。当屈强比升高时，环向变形极限值下降。环向变形极限值对应于钢管拉伸试验室的均匀伸长率。

近年来的技术规范一般按照强度级别规定屈强比的限定值。对 X65 以上的钢管屈强比的限定值一般都提高到 0.90 ~ 0.92。最新的 ISO 和 DNV 的规范都是如此。根据国外 X70 管线钢管的实物质量水平，我国西气东输管线的屈强比最大值定为 0.90，其中 5% 屈强比允许到 0.92[4]。若根据此标准，也只有 $1^{\#}$ 和 $2^{\#}$ X80 钢符合要求。另外，根据 2005 年 3 月 1 日实施的 Q/CNPC107-2005 和 Q/CNPC105-2005 企业标准，对 X80 螺旋缝埋弧焊钢管用热轧板卷技术条件和热轧钢板技术条件，其屈强比要求为 $\leqslant 0.92$，根据此标准 $1^{\#}$ 和 $2^{\#}$ X80 钢全部符合要求，而 $4^{\#}$ 屈强比接近上限，并且只有部分符合要求。

文献[5]也认为，当 X80 管线钢中针状铁素体的比例增多时，材料将获得高的夏比冲击韧性，这与本文所得结论是一致的。然而根据屈强比的定义来看，对于 $1^{\#}$ X80 钢，由于其组织的针状铁素体和细小弥散贝氏体的形貌，使得该材料强韧性都得到了很好的匹配，因而是高钢级管线钢质量控制和发展的趋势。

3　结论

在 X80 高钢级管线钢中，针状铁素体和细小弥散的贝氏体相结合的组织是 X80 钢的理想组织形貌。该组织可以使得材料的强度达到最高，而屈强比接近 0.85，从而达到强韧性的很好匹配。

参考文献

1　霍春勇.高压天然气高强度管线钢管关键技术研究[博士论文].西安：西安交通大学，2005，4

2　霍春勇，马秋荣，袁鹏斌，等.西气东输管线钢技术条件关键技术指标研究.西气东输管道与钢管应用基础及技术研究论文集.北京：石油工业出版社，2004，11

3　Wsloterdijk. Effect of Tensile Properties on the Safety of Pipelines, EPRG Anniversary Meeting, Brussels, Nov. 1997

4　王茂棠.西气东输管线用钢、钢管"技术条件"编制中的几个问题及回顾.焊管，2003，26(2)：1

5　Hiroyuki Motohashi, Naoto Hagiwara, Tomoki Masuda. Tensile Properties and Microstructure of Weld Metal of X80 Steel. Materials Science Forum, 2003, 426-432：4013-4018

张小立(1969-)，女，博士后，2004 年西安交通大学毕业，从事粉末冶金难熔金属成型工艺、性能以及管线钢组织和性能的研究。

收稿日期：2005-12-01