

工艺条件对 X65 管线钢的组织与性能的影响

廖代强, 李胜利, 王亚男

(鞍山科技大学 材料科学与工程学院, 辽宁 鞍山 114044)

摘要:通过拉伸和金相实验分析研究了控轧控冷工艺对酒钢 X65 管线钢的力学性能和显微组织的影响。结果表明:在一定范围内控制开轧和终轧温度,变形过程中提高强制冷却速度,降低终冷温度,可以明显提高 X65 钢的力学性能,得到较多均匀的针状铁素体组织。

关键词:显微组织;管线钢;冷却速度

中图分类号:TG113 **文献标识码:**A **文章编号:**1762-4410-(2004)02-0106-03

现代钢铁材料研究的主要方向是如何利用现有的材料,通过细化组织,提高材料的综合力学性能,从而达到提高材料使用寿命的目的^[1]。对于管线钢,其主要的性能要求是:强度、韧性、焊接性和耐腐蚀性^[2]。合理的化学成分设计是改善产品最终性能的方法之一,而控轧控冷工艺是另一种有效的改善产品性能的方法^[3]。控轧能使晶粒细化,能提高强度和韧性;控冷可以使晶粒极大的细化从而进一步提高强度但不影响脆性转变温度^[4-5]。本文主要研究控轧控冷工艺对 X65 管线钢组织性能的影响,为进一步改善钢的组织强韧性能奠定基础。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料

实验采用酒泉钢铁集团公司 91-8672 号高炉冶炼的用于轧制 X65 管线钢的连铸板坯。该连铸板坯初始厚度为 160 mm,经过初轧后板厚为 12 mm,其质量百分数为 C,0.0800%;Si,0.2700%;Mn,1.2900%;P,0.0090%;S,0.0030%;Ni,0.0195%;Nb,0.0320%;V,0.0550%;Ti,0.0210%。

钢中的 Mn 有明显的细化晶粒作用。Nb, V, Ti 合金元素极易与钢中碳、氮结合形成碳化物、氮化物或碳氮化物。这些化合物在高温下溶解,低温下析出。因此,加热时可阻止原始奥氏体晶粒长大,轧制时可推迟再结晶及抑制晶粒长大。冷却时可沿晶界、亚晶界和形变带析出,起到沉淀强化的作用。

1.2 实验方法

以初轧得到的厚 12 mm 的板坯为原料,把试样加热至 1 200 °C,保温 1 h,然后以 10 °C/s 冷却到开轧温度,分别在三个温度范围内轧制,尽量缩短道次间隔时间。变形工艺如下:12 mm→7 mm→4 mm)。实验室实测控轧控冷工艺条件见表 1。

把控轧控冷后的试样金相磨光、抛光、腐蚀后进行金相观察,然后进行拉伸实验。试样均从热轧板的中心部位横向截取,试验参照 ASTM E-8M(96)标准进行,拉伸实验在 SCHENCK-100KN 型伺服拉伸实验机上进行。

表 1 实验室实际控轧控冷工艺条件

Tab. 1 TMCP condition in experiment

编号	$(T_s/T_f)/^{\circ}\text{C}$	$v_1/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1})$	$T_c/^{\circ}\text{C}$
1	879/790	5	614
2	880/795	12.5	640
3	878/813	13.8	510
4	895/850	12.2	520
5	842/754	19	520
6	826/765	12.7	617

收稿日期:2003-11-02.

作者简介:廖代强(1977-),男,四川宜宾人,2001 级研究生.

2 实验结果及分析

对上面的试样进行力学性能测试,得到结果见表 2. 为了比较实际结果与标准管线钢的力学性能,表 3 给出美国 API 标准的部分级别的管线钢性能要求.

表 2 X65 管线钢实验室控轧控冷工艺条件下的力学性能

Tab. 2 Mechanical properties of X65 pipeline steel at TMCP conditions

编号	$(T_s/T_f)/C$	$v_f/(C \cdot s^{-1})$	T_c/C	样品取向	屈服强度 σ_s/MPa	抗拉强度 σ_b/MPa	延伸率 / %	屈强比
1	879/790	5	614	横向	455	530	34	0.86
				纵向	450	515	30	0.87
2	880/795	12.5	640	横向	445	525	32	0.85
				纵向	460	530	33	0.87
3	878/813	13.8	510	横向	485	555	31	0.87
				纵向	495	545	32	0.90
4	895/850	12.2	520	横向	—	555	29	—
				纵向	465	535	27	0.87
5	842/754	19	520	横向	450	550	31	0.81
				纵向	495	575	30	0.86
6	826/765	12.7	617	横向	450	530	30	0.85
				纵向	485	550	32	0.88

由表 2,在综合考虑拉伸强度、塑性等方面,以 3 号试样所具有的性能为最佳. 由表 2 还可以看出,通过控轧控冷工艺所得的力学性能获得了较高的屈服强度和抗拉强度,其值均高于标准要求. 尤其是试样 5,其性能已经达到 X70 的要求. 表 2 工艺条件下所得 1,2,3,5 号试样的显微组织分别见图 1(a—d). 从图 1 中可以看出,随着开轧 / 终轧温度的降低,铁素体晶粒得到进一步的细化,这主要是由于随着变形温度的降低,变形组织内产生大量的晶体缺陷,铁素体的形核地点的

表 3 API 标准管线钢的力学性能

Tab. 3 Mechanical properties of pipeline steel in standard API

钢	σ_s	σ_b	δ_5
API-X60	413	517	—
API-X65	448	530	24
API-X70	483	566	23
API-X80	551	620	22

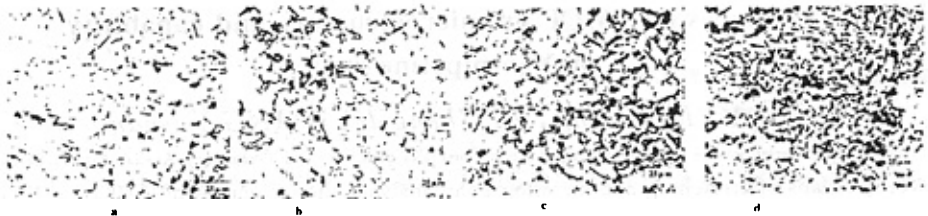


图 1 不同热加工工艺条件下的显微组织

Fig. 1 Micrograph of the ditlerent TMCP

数量增多,最终能得到细小的铁素体组织. 在图 1a 中几乎未出现具有抗腐蚀的能力的针状铁素体,即使有也是极少量存在,在金相显微镜下无法分辨. 但随着冷却速度的降低,针状铁素体明显增多,所得晶粒也越细小. 结合前面的变形工艺和图 1 还可以分析出,随着强制冷却速度的加大,碳化物来不及溶解,对奥氏体晶粒长大的阻碍作用使得奥氏体晶粒较小,同时奥氏体晶内的位错、变形带等缺陷增加,导致铁素体的形核率明显增加,因而针状铁素体的数量急剧增加. 终冷温度对屈服强度有影响,但不显著. 见图 1d.

由实验数据可知,屈服强度随开轧 / 终轧温度的降低而升高. 用 Matlab 对表 2 数据进行回归,得到下面的回归方程式

$$\sigma_s = 369 + \frac{145477}{T_s} + \frac{21975}{T_f} + 0.03V_c - 0.17T_c \quad (1)$$

由式(1)计算出各试样的 σ_s 与实测值的比较见图2。由图可以看出该回归方程具有良好的可信性。

低温控轧控冷可以产生大量的变形带,使位错密度增加,从而使强度、硬度升高,但对韧性有一定的影响。控轧控冷通过在奥氏体再结晶区多道次变形产生大量的细小晶粒,从而使变形后室温组织细小,这对韧性有利。这可以大大提高韧性。综合起来,韧性不但不会下降反而有所提高。

3 结 论

(1) 随着开轧、终轧温度的降低,冷却速度的增加和终冷温度的降低,可以显著的细化 X65 管线钢的显微组织,得到较多的针状铁素体,从而提高其力学性能。

(2) 在本实验条件下,得到 X65 管线钢 TMCP 工艺参数与力学性能的关系为

$$\sigma_s = 369 + \frac{145477}{T_s} + \frac{21975}{T_f} + 0.03V_c - 0.17T_c \quad (2)$$

参 考 文 献:

[1]宋久余.金属材料的设计选用预测[M].北京:机械工业出版社,1998:2.
 [2]李鹤林.天然气输送管研究应用中的几个热点问题[J].焊管,2000(23):43-49.
 [3]李曼云,孙本荣.钢的控制轧制和控制冷却技术手册[M].北京:冶金工业出版社,1996:25.
 [4]MEYER L.带钢轧制过程中材料性能的优化[M].赵辉译.北京:冶金工业出版社,1998:41.
 [5]赵明纯,单以银.控轧控冷工艺对 X60 管线钢的组织与性能的影响[J].金属学报,2001,37(2):179-183.
 [6]葛悉琦,程晓如,李虎兴.变形条件对 X65 钢变形抗力的影响[J].钢铁,1997,32(2):32-35.

Influences of TMCP on microstructure and capability of X65 pipeline steel

LIAO Dai-qiang, LI Sheng-li, WANG Ya-nan

(School of Material Science and Engineering, Anshan University of Science and Technology, Anshan 114044, China)

Abstract: By means of stretching and metallography analysis, the influences of TMCP on X65 pipeline steel have been studied both in mechanic capability and microstructure. The results showed that if the start-rolling and end-rolling temperatures are controlled, the cooling velocity is increased and end-cooling temperature is decreased at the same time, the mechanic capability of X65 will be enhanced and more of homogeneous needle-shaped ferrite is obtained.

Key Words: microstructure; pipeline steel; cooling velocity

(Received November 2, 2003)

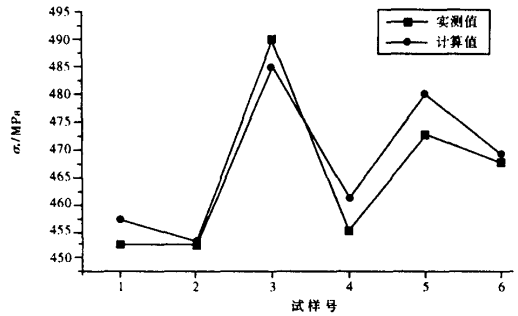


图 2 实测值与回归计算值的比较

Fig. 2 Contrast between regressive and actual value