

## Cr 对 0.035C-0.12Nb X80 管线钢相变和组织的影响

牛延龙<sup>1,2</sup> 孙新军<sup>2</sup> 刘清友<sup>2</sup> 孙力军<sup>1</sup>

(1 昆明理工大学材料与冶金工程学院,昆明 650093; 2 钢铁研究总院结构材料研究所,北京 100081)

**摘要** 通过 Formastor-F II 热膨胀仪测定了 50 kg 真空感应炉冶炼的 X80 管线钢(% :0.034~0.036C,1.79~1.80Mn,0.26~0.62Cr,0.12Nb,0.01Ti,0.0037~0.0038N)铸坯在 0.5~50 °C/s 冷却速率下奥氏体连续冷却的相变点,并观察其显微组织。结果表明,在同一冷却速率下,随钢中 Cr 含量增加,过冷奥氏体连续冷却贝氏体相变点降低,组织中更易生成板条状贝氏体,显微硬度明显提高。

**关键词** X80 管线钢 Cr 贝氏体相变 组织

## Effect of Cr on Phase Transformation and Structure of 0.035C-0.12Nb X80 Pipeline Steel

Niu Yanlong<sup>1,2</sup>, Sun Xinjun<sup>2</sup>, Liu Qingyou<sup>2</sup> and Sun Lijun<sup>1</sup>

(1 Faculty of Material Science and Metallurgy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093; 2 Institute for Structural Materials Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

**Abstract** Transformation point of continuous cooling austenite at cooling rate 0.5~50 °C/s in cast billet of X80 pipeline steel (% :0.034~0.036C, 1.79~1.80Mn, 0.26~0.62Cr, 0.12Nb, 0.01Ti, 0.0037~0.0038N) melted by 50 kg vacuum induction furnace was determined by Formastor-F II dilatometer, and structure of steel was observed. Results showed that at same cooling rate, with increasing Cr content in steel the overcooling austenite continuous cooling transformation point to bainite decreased, the lath bainite easily formed in structure, and the microhardness obviously increased.

**Material Index** X80 Pipeline Steel, Cr, Bainite Transformation, Structure

### 1 试验材料和方法

用 50 kg 真空感应炉冶炼 X80 管线钢(表 1)。铸坯静态相变在 Formastor-F II 型热膨胀仪上测定。利用光学电子显微镜观察试样微观组织形貌。用 FM-300 数字显微硬度计测定试样的硬度。

### 2 试验结果及讨论

#### 2.1 Cr 含量对 X80 管线钢相变点的影响

由表 2 可以看出,随着冷却速率的增大,两种钢的贝氏体开始转变温度都有所降低。但 0.62% Cr 钢贝氏体开始转变的温度总低于 0.26% Cr 钢贝氏体开始转变的温度。这是因为 Cr 的界面结合能  $E_0 = 10 \text{ kJ/ml}^{[1]}$ , 固溶的 Cr 可以对界面产生明显的溶质拖曳作用,增加过冷奥氏体的稳定性,相变点降低。

表 1 试验钢化学成分/%  
Table 1 Chemical composition of test steel / %

编号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb	Ti	N
1#	0.034	0.17	1.80	0.011	0.001	0.26	0.18	0.26	0.12	0.01	0.003 8
2#	0.036	0.17	1.79	0.005	0.005	0.62	0.18	0.29	0.12	0.01	0.003 7

表 2 Cr 含量和冷却速率对 X80 管线钢过冷奥氏体连续冷却贝氏体转变点的影响

Table 2 Effect of Cr content and cooling rate of X80 pipeline steel on bainite transformation point of continuous cooling supercooled austenite

冷却速率/ (°C · s <sup>-1</sup> )	0.26% Cr 钢转变点/°C		0.62% Cr 钢转变点/°C	
	开始	结束	开始	结束
0.5	615	500	590	478
2.0	605	495	580	465
10	600	488	565	445
50	580	470	530	418

从表 2 中还可以看出,0.62% Cr 钢贝氏体生成区间较 0.26% Cr 钢稍大,有利于冷却过程控制和获得均匀的组织<sup>[2,3]</sup>

#### 2.2 Cr 含量对 X80 管线钢显微硬度和组织的影响

在冷却速率相同时,0.62% Cr 钢的显微硬度值明显大于 0.26% Cr 钢的显微硬度值(图 1),这说明 Cr 的加入可以明显强化贝氏体组织,提高钢的强度。

由图 2 可见,随着冷却速率

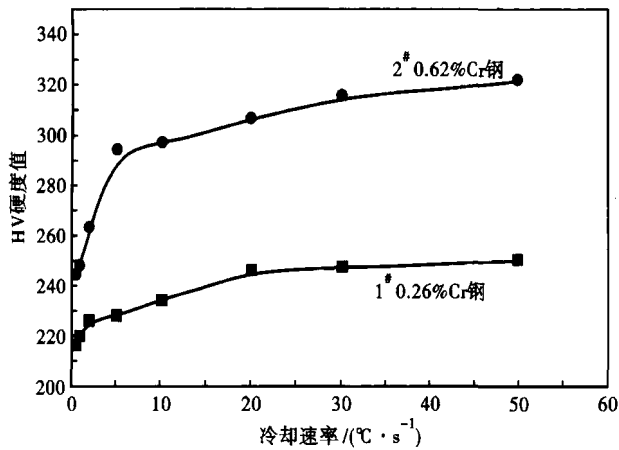


图 1 Cr 含量和冷却速率对 X80 管线钢显微硬度的影响  
Fig. 1 Effect of Cr content and cooling rate on microhardness of X80 pipeline steel

的增加,0.26% Cr 钢和 0.62% Cr 钢的显微硬度均增高。冷却速率为 0.5 ~ 2 °C/s 时,0.26% Cr 钢和 0.62% Cr 钢均得到典型的粒状贝氏体组织,0.62% Cr 钢中的 M-A 组元和硬度均明显大于 0.26% Cr 钢; ≥ 10 °C/s 时,0.62% Cr 钢得到尺寸不等,方向各异的板条贝氏体组织;0.26% Cr 钢在冷却速率为 20 °C/s 时才出现板条特征。

### 2.3 Cr 对管线钢力学性能的影响

试验钢由 50 mm 板坯,1000 ~ 840 °C 轧至 12 mm 板,水冷至 540 °C 或 580 °C 再炉冷至室温。

从表 3 可见,由于 Cr 含量的增加,显著提高了钢的强度,造成在相同的轧制工艺下 2# (0.62% Cr)

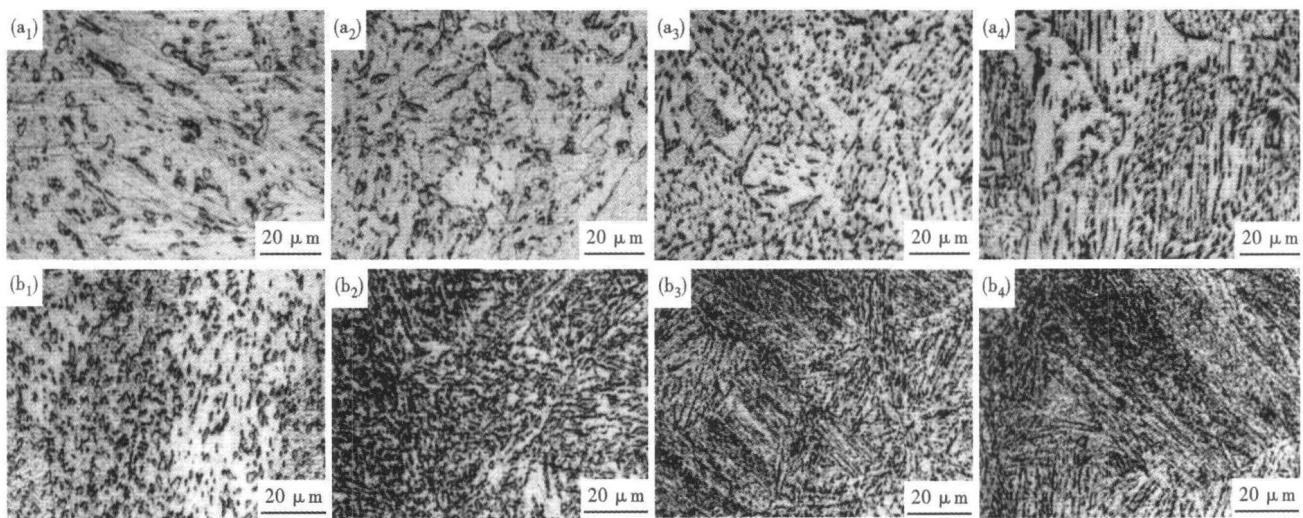


图 2 Cr 含量和冷却速率对 X80 管线钢组织的影响:(a<sub>1</sub> ~ a<sub>4</sub>)0.26% Cr,(b<sub>1</sub> ~ b<sub>4</sub>)0.62% Cr;(a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>) 0.5 °C/s,(a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>) 2 °C/s- 粒状 β + M-A 岛;(a<sub>3</sub>) 10 °C/s- 粒状 + 板条状 β,(b<sub>3</sub>) 10 °C/s- 板条状 + 粒状 β;(a<sub>4</sub>) 20 °C/s- 板条状 + 粒状 β,(b<sub>4</sub>) 20 °C/s- 板条状 β  
Fig. 2 Effect of Cr content and cooling rate on structure of X80 pipeline steel:(a<sub>1</sub> ~ a<sub>4</sub>) 0.26% Cr,(b<sub>1</sub> ~ b<sub>4</sub>) 0.62% Cr;(a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>) 0.5 °C/s,(a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>) 2 °C/s- granule β and M-A island,(a<sub>3</sub>) 10 °C/s- granule + lath β,(b<sub>3</sub>) 10 °C/s- lath + granule β;(a<sub>4</sub>) 20 °C/s- lath + granule β,(b<sub>4</sub>) 20 °C/s- lath β

表 3 Cr 含量对 12 mm X80 管线钢板卷的力学性能的影响  
Table 3 Effect of Cr content on mechanical properties of 12mm coil of X80 pipeline steel

编号	R <sub>p0.2</sub> /MPa	R <sub>m</sub> /MPa	A/%	Z/%	A <sub>KV</sub> /J			
					室温	0 °C	20 °C	-40 °C
1-1	570	725	22.5	74	238	232	235	230
1-2	685	755	22.0	74	230	228	236	230
2-1	645	820	22.0	73	226	228	232	222
2-2	655	830	23.5	75	225	230	230	220

钢的屈服强度(R<sub>p0.2</sub>)和抗拉强度(R<sub>m</sub>)明显大于 1# (0.26% Cr) 钢。2# 钢的伸长率(A)和断面收缩率(Z)与 1# 钢相比没有明显的变化;2# 钢虽然强度显著提高,夏比冲击功(A<sub>KV</sub>)有所降低,韧性下降,但仍能满足 X80 管线钢的力学性能要求。

### 3 结论

0.62% Cr 钢比 0.26% Cr 钢更容易得到贝氏体

组织。在相同的轧制条件下,0.62% Cr 钢的屈服强度和抗拉强度大于 0.26% Cr 钢,韧性有所降低,但仍能满足 X80 管线钢的力学性能要求。

国家科技支撑计划资助项目(No. 2006BAE03A15)

### 参考文献

- 1 Beche A, Zurob H S, Hutchinson C R. Quantifying the Solute Drag Effect of Cr on Ferrite Growth Using Controlled Decarburization Experiments. Journal of Minerals, Metals & Materials (JOM), 2007, 38 (12): 2950
- 2 王克鲁,鲁世强,康永军,等.微合金低碳贝氏体钢形变奥氏体连续冷却转变行为.金属热处理,2008,33(10):10
- 3 贺信莱,尚成嘉.高性能低碳贝氏体钢.北京:冶金工业出版社,2008

牛延龙(1982-),男,硕士,从事微合金钢研究。

收稿日期:2009-03-09