

Nb- 和 V- 微合金化对高碳钢热加工性的影响

刘 平 李 峰 陈爱梅 史凤武
(包钢(集团)公司技术中心, 包头 014010)

摘 要 用 Gleeble 1500D 热模拟机试验了 0.03% Nb、0.03% Nb-0.02% V 和 0.05% V 微合金化 0.75% ~ 0.78% C 高碳钢 280 mm × 380 mm 铸坯上钻取的 Φ10 mm × 120 mm 试样在 1 300 ~ 800 °C 的断面收缩率和抗拉强度。结果表明,第 1 脆性区 ≥ 1 200 °C 和第 3 脆性区 1 000 ~ 800 °C V-钢的热塑性优于 Nb-V 钢和 Nb 钢。扫描电镜和能谱分析表明,Nb-钢铸坯存在 Fe-Nb-C 共晶体,加入 V 的 Nb-V 钢铸坯存在 Fe-Nb 共晶体。

关键词 Nb- V- 微合金化 高碳钢 热加工性

Effect of Nb- and V- Microalloying on Hot Workability of High Carbon Steel

Liu Ping, Li Feng, Chen Aimei and Shi Fengwu
(Technical Center, Baotou Iron and Steel (Group) Corp., Baotou 014010)

Abstract The reduction of area and tensile strength of Φ10 mm × 120 mm specimen drilled and turned from 280 mm × 380 mm cast billet of 0.03Nb, 0.03Nb-0.02V and 0.05V Microalloyed 0.75 ~ 0.78C high carbon steel have been tested at 1 300 ~ 800 °C by Gleeble 1500D thermal simulation machine. Results showed that the hot plasticity of V-steel in first brittle zone ≥ 1 200 °C and third brittle zone 1 000 ~ 800 °C was better than that of Nb-steel and Nb-V steel. It was indicated by scanning electron microscopy and energy spectrum analysis that Fe-Nb-C eutectic existed in cast billet of Nb- steel, and Fe-Nb eutectic existed in cast billet of Nb-V steel added V.

Material Index Nb- V- Microalloying, High Carbon Steel, Hot Workability

1 Nb、V 微合金化高碳钢的高温性能

试样取自 280 mm × 380 mm 连铸大方坯距离表面 20 mm 以下区域,其化学成分见表 1。试样尺寸 Φ10 mm × 120 mm,在 Gleeble 1500D 试验机上进行

高温性能测试。以 10 °C/s 的速率将试样加热至 1 300 °C 保温 2 min,再以 3 °C/s 的速率降温至目标温度并保温 2 min,然后以 1×10^{-3} /s 的变形速率拉伸试样。

表 1 试样钢的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of test steels / %

钢号	试样号	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	N
Nb-钢	1 [#]	0.75 ~ 0.78	0.62 ~ 0.73	0.94 ~ 1.14	≤0.02	≤0.01	0.03	-	0.005 0 ~ 0.006 5
Nb-V 钢	2 [#]	0.75 ~ 0.78	0.62 ~ 0.73	0.94 ~ 1.14	≤0.02	≤0.01	0.03	0.02	0.005 0 ~ 0.006 5
V- 钢	3 [#]	0.75 ~ 0.78	0.62 ~ 0.73	0.94 ~ 1.14	≤0.02	≤0.01	-	0.05	0.005 0 ~ 0.006 5

由于 Nb 和 V 的原子半径不同,它们的 C、N 化合物在奥氏体与铁素体中的溶度积不同,因此其作用机制和所发挥的能力不相同^[1,2]。将图 1 曲线分成 3 个区间,可见,1 300 ~ 1 200 °C 属于第 1 脆性区,Z 值(断面收缩率)和 R_m 值(抗拉强度)排序为 V- 钢 > Nb-V 钢 > Nb- 钢;在 1 200 ~ 1 000 °C,3 个钢种的 Z 值全部大于 60%,Z 值排序为 Nb-V 钢 > Nb- 钢 > V- 钢, R_m 值排序为 Nb- 钢 > Nb-V 钢 > V- 钢;在 1 000 ~ 800 °C,Nb-V 钢和 Nb- 钢在 950 °C 时已经进入第 3 脆性区,V- 钢在 900 °C 时进入第 3 脆性区,Z 值排序为 V- 钢 > Nb-V 钢 > Nb- 钢, R_m 值排序为

Nb- 钢 > V- 钢 > Nb-V 钢。

在第 1 脆性区和第 3 脆性区,V- 钢的塑性指标高于 Nb- 钢,因此 Nb- 钢过矫直点温度要大于 950 °C,V- 钢过矫直点温度要大于 900 °C^[3]。

2 在高碳钢铸坯中 Nb、V 的析出机制

图 2(a)为 Nb-V 钢含 Nb + V 铸坯晶面生长的 Nb 共晶体,图 2(b)为 Nb- 钢含 Nb 铸坯晶面生长的 Nb 共晶体。该 Nb 共晶体形成于第 1 脆性区。Nb- 钢 Nb 共晶体的形状为叶片状,主要成分是 Fe、Nb、C,并含有少量的 Ti;Nb-V 钢共晶体的形状为棱块

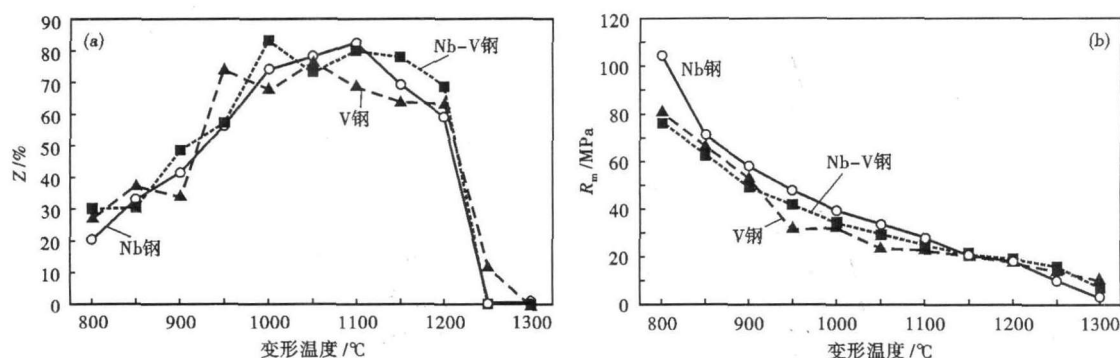


图 1 3 种微合金化钢的热塑性(a)和高温抗拉强度(b)

Fig. 1 Hot plasticity (a) and high temperature tensile strength (b) of 3 kinds of Microalloyed steels

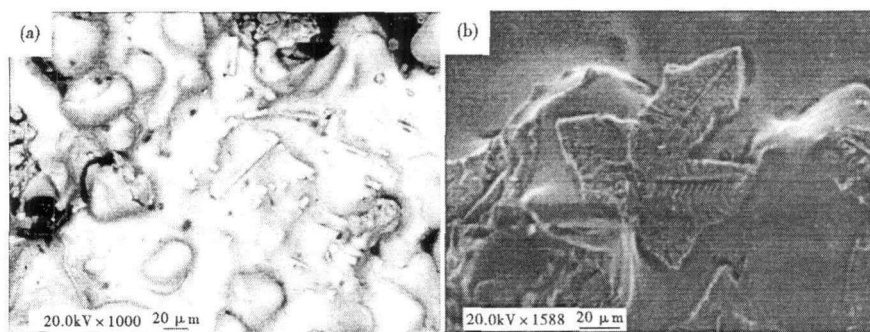


图 2 共晶体形貌:(a) Fe-Nb, Nb-V 钢铸坯;(b) Fe-Nb-C, Nb- 钢铸坯

Fig. 2 Morphology of eutectic: (a) Fe-Nb in cast billet of Nb-V steel; (b) Fe-Nb-C in cast billet of Nb- steel

状,主要成分是 Fe、Nb,并含有少量的 Ti、V。同时,在 Nb- 钢和 Nb-V 钢铸坯中发现存在尺寸仅有几个 μm 的点状 NbN 析出物分布在晶界;在 V- 钢铸坯中仅有几个 μm 的点状 TiVN 析出物分布在晶界。

在 1 200 $^{\circ}\text{C}$ 以上,Nb-V 钢和 Nb- 钢的 Z 值和 R_m 值比 V- 钢低的原因是因为在晶界间的液膜内有 Nb 共晶体生成,降低了晶间液膜的结合力。Nb- 钢与 Nb-V 钢 Nb 共晶体成分差异,说明 Nb 微合金化高碳钢中生成的是 Fe-Nb-C 共晶体;Nb + V 微合金化高碳钢中生成的是 Fe-Nb 共晶体,没能生成 Fe-Nb-C 共晶体的原因可能与溶解在奥氏体中的 VC 有关,VC 的生成降低了晶界富 Nb 液体的碳含量。

在 1 200 ~ 1 000 $^{\circ}\text{C}$,Nb-V 钢和 Nb- 钢的 Z 值和

表 2 900 ~ 1 000 $^{\circ}\text{C}$ 3 种微合金化钢的断面收缩率/%
Table 2 Reduction of area of 3 kinds of Microalloyed steels at 900 ~ 1 000 $^{\circ}\text{C}$ / %

钢号	样号	温度 / $^{\circ}\text{C}$		
		1 000	950	900
Nb- 钢	1#	74	56	41
Nb-V 钢	2#	83	56	48
V- 钢	3#	67	74	33

R_m 值高于 V- 钢。说明钢液在完全凝固后,在晶界存在的 Nb 共晶体具有改善塑性和强化作用。棱块状的 Fe-Nb 共晶体对塑性的改善作用强,叶片状的 Fe-Nb-C 共晶体的强化作用大。原因是镶嵌在晶间的棱块状和叶片状的共晶体,提高了晶界的结合力,阻止了微细裂纹的扩展。

表 2 所示,在 1 000 $^{\circ}\text{C}$ 以下 Nb-V 钢和 Nb- 钢的 Z 值

开始下降,从 1 000 ~ 950 $^{\circ}\text{C}$,Nb- 钢试样断面收缩率下降 24%,Nb-V 钢试样下降 33%。在 950 $^{\circ}\text{C}$ 以下 V- 钢 Z 值才开始降低,从 950 ~ 900 $^{\circ}\text{C}$,断面收缩率下降 55%。

3 结论

$\geq 1 200$ $^{\circ}\text{C}$,Nb、V 微合金化高碳钢存在第 1 脆性区,V- 钢的塑性好于 Nb- 钢。Nb- 钢在第 1 脆性区温度下,生成了 Fe-Nb-C 共晶体;加 V 的 Nb-V 钢生成了 Fe-Nb 共晶体。

参考文献

- 1 雍岐龙,裴和中,田建国. 铌在钢中的物理冶金学基础数据. 钢铁研究学报,1998,10(2):46
- 2 雍岐龙,阎生贡,裴和中. 钒在钢中的物理冶金学基础数据. 钢铁研究学报,1998,10(5):63
- 3 吴冬梅,王新华,费惠春. 含铌钛钢 X-52 连铸坯的高温延塑性. 北京科技大学学报,1997,19(3):248

刘 平(1964-),男,硕士,高级工程师,副所长,1987 年包头钢铁学院毕业,炼钢工艺与质量研究。

收稿日期:2008-05-22