

## 热轧冷却速率对微合金非调质钢 34Mn2VN 组织的影响

张玉胜<sup>1,2</sup> 刘雅政<sup>1</sup> 刘 照<sup>3</sup> 乔爱云<sup>2</sup> 李 晓<sup>2</sup> 井溢农<sup>2</sup>

(1 北京科技大学材料学院,北京 100083; 2 包钢集团公司无缝钢管厂,包头 014040;

3 河北工程大学机电学院,邯郸 056038)

**摘 要** 用 Gleeble-1500 热模拟试验机研究了非调质钢 34Mn2VN ( % : 0.30 ~ 0.34C, 1.20 ~ 1.70Mn, 0.014 ~ 0.018N, 0.07 ~ 0.12V) 在 950 °C、平均应变速率 2 s<sup>-1</sup>、应变 15% 后以 0.1 ~ 45 °C/s 不同冷却速率下冷却的动态 CCT 曲线和组织转变。结果得出,当冷却速率控制在 0.8 ~ 2.0 °C/s 时所得到细小的铁素体和少量贝氏体组织,具有较高的冲击韧性。生产应用表明,采用该冷却速率生产 Φ139.7 × 7.7 (mm) 和 Φ114.0 × 6.4 (mm) 管材的冲击功为 47.8 ~ 50.9 J。

**关键词** 非调质钢 34Mn2VN 动态 CCT 曲线 组织 冲击韧性

## Effect of Finished Rolling Cooling Rate on Structure of Microalloy Non Quenched-Tempered Steel 34Mn2VN

Zhang Yusheng<sup>1,2</sup>, Liu Yazheng<sup>1</sup>, Liu Zhao<sup>3</sup>, Qiao Aiyun<sup>2</sup>, Li Xiao<sup>2</sup> and Jing Yinong<sup>2</sup>

(1 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Seamless Steel Tube Plant, Baotou Iron and Steel (Group) Co Ltd, Baotou 014040;

3 Department of Machinery and Electricity, Hebei University of Engineering, Handan 056038)

**Abstract** Dynamic continuous cooling transformation (CCT) curves and structure transition of non quenched-tempered steel 34Mn2VN (0.30 ~ 0.34C, 1.20 ~ 1.70Mn, 0.014 ~ 0.018N, 0.07 ~ 0.12V) at 950 °C with average strain rate 2 s<sup>-1</sup> and 15% strain, then cooling with 0.1 ~ 45 °C/s different rate have been studied by Gleeble-1500 thermal simulation machine. The results obtained that as cooling rate was controlled within 0.8 ~ 2.0 °C/s, the fine ferrite and minor bainite structure was obtained, it had higher impact toughness. Commercial production application showed that the impact energy of Φ139.7 × 7.7 (mm) and Φ114.0 × 6.4 (mm) steel tubes produced with that cooling rate was 47.8 ~ 50.9 J.

**Material Index** Non Quenched-Tempered Steel 34Mn2VN, Dynamic CCT Curves, Structure, Impact Toughness

微合金非调质钢是在中碳钢和中碳锰钢中添加微合金化元素(如 V、Nb、Ti 等),并控制其热加工及轧后冷却工艺(控制轧制工艺),通过析出强化和细化晶粒而使其强度、硬度和韧性提高,达到调质钢的性能水平,省略了调质处理工序。这种新型钢种与调质钢相比,能使总的制造成本降低 15% 以上<sup>[1]</sup>。

在石油管材中 J55、N80 级石油套管占 80% 左右,尤其是 N80 级油井管用量最大,约占 50%<sup>[2]</sup>。N80 级非调质钢 34Mn2VN 套管要求有较高的强度和低温冲击性能,目前生产石油套管厂家普遍采用 API SPEC 5CT 标准,主要性能指标为:

$$\sigma_s = 552 \sim 758 \text{ MPa}; \sigma_b \geq 689 \text{ MPa}$$

$A_{KV}(0 \text{ }^\circ\text{C})$ : 30 J/15 J (纵向/横向的均值), 试样尺寸 (mm): 10 × 10 × 55

15 J/10 J (纵向/横向的均值), 试样尺寸

(mm): 5 × 10 × 55

$$e = 1944 A^{0.2} / U^{0.9} (\%)$$

式中:  $e$ - 标距为 50.8 mm (2.0 in) 时的最小伸长率;  $A$ - 试样截面积;  $U$ -  $\sigma_b$  下限值。

通常生产非调质 N80 级石油套管采用在线正火工艺,达到批量生产<sup>[3,4]</sup>。为进一步节能降耗,在包钢 Φ180 mm 生产线上不采用在线正火工艺,开发了非调质 N80 级石油套管,但是冲击韧性波动较大,某些批次性能较差。为解决冲击韧性偏低、不稳定的问题,进行了热轧过程中的相变规律的研究,为优化冷却工艺,提高钢管的冲击韧性提供理论依据。

### 1 实验材料与生产工艺流程

N80 级非调质钢 34Mn2VN 管坯由包钢炼钢厂生产,该钢种的工艺流程为: 80 t 顶、底复吹转炉冶

炼-LF 精炼-挡渣出钢-圆管坯连铸(Φ180 mm,长 8 m 定尺)。

为了研究轧制过程中的相变规律,在包钢无缝厂 Φ180 mm 机组进行了轧卡实验,在脱管后取热轧态试样,化学成分如表 1 所示。

表 1 34Mn2VN 钢的主要化学成分/%  
Table 1 Main chemical composition of steel 34Mn2VN /%

C	Mn	P	S	N	V
0.30~0.34	1.20~1.70	≤0.030	≤0.030	0.014~0.018	0.07~0.12

## 2 实验方法及结果分析

### 2.1 临界点的测定

临界点的测定在 DT-1000 型膨胀仪上进行,将校准后的热电偶点焊在试样上,然后将试样置入膨胀仪中,确保试样的端面与石英组件接触良好。在加热炉中通入氮气,以防止样品的氧化。测得 34Mn2VN 钢种的  $A_{c3} = 797\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $A_{c1} = 715\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $A_{r3} = 725\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $A_{r1} = 602\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### 2.2 连续冷却过程中相变规律研究

将试样加工成 Φ4 mm × 8 mm 的圆棒,在 Gleeble-1500 热模拟试验机上进行实验。试样点焊上热电偶,在保护气氛中以 10 °C/s 加热到 1050 °C,保温 5 min 后以 5 °C/s 冷却到 950 °C。模拟定减径工艺以应变 15%、平均应变速率 2 s<sup>-1</sup> 变形<sup>[5]</sup>。变形之后取 11 个典型的冷却速率分别冷却。

热模拟实验后的试样在线切割机上沿中间部位垂直于轴向切开,经砂纸研磨、抛光后用 4% 的硝酸酒精溶液浸蚀,在光学显微镜下观察组织,用 LEICA VMHT 30M 硬度仪测定各个冷却速率下试样的室温显微组织硬度。

绘制温度-时间曲线,采用切点法确定相变点,再根据相变点在温度-时间曲线上确定不同冷却速率下到达相变点所用的时间。

最后,在温度-时间(常用对数)坐标上绘制的动态 CCT 曲线如图 1。

从 CCT 曲线可以看到,当冷却速率低于 0.8 °C/s 时,主要发生珠光体和铁素体相变(P + F);当冷却速率达到 1 °C/s,出现贝氏体组织;而冷却速率超过 10 °C/s 时,发生马氏体转变;当冷却速率超过 40 °C/s,只发生马氏体转变。

和图 1 中 CCT 曲线各个冷却速率对应的相变点如表 2。

从图 2 可知,当冷却速率低于 0.8 °C/s 时,得到

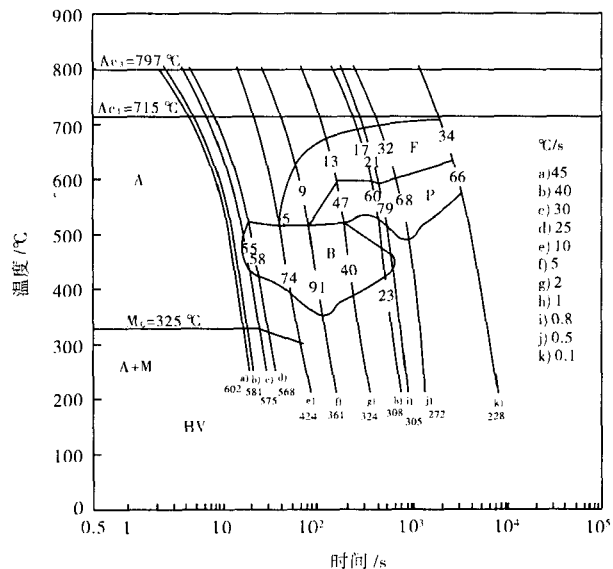


图 1 34Mn2VN 钢的动态 CCT 曲线  
Fig. 1 Dynamic CCT curves of steel 34Mn2VN

表 2 34Mn2VN 钢 CCT 曲线各个冷却速率对应的相变点/°C  
Table 2 Critical point corresponding to CCT curves of steel 34Mn2VN with different cooling rate /°C

冷却速率/ (°C · s <sup>-1</sup> )	Fs	Ff	Ps	Pf	Bs	Bf	Ms
(a) 45							325
(b) 40							325
(c) 30					497	432	325
(d) 25					528	430	322
(e) 10	540	520			520	376	294
(f) 5	646	519			519	314	
(g) 2	672	590	590	526	526	394	
(h) 1	679	599	599	539	453	420	
(i) 0.8	686	594	594	481			
(j) 0.5	688	600	600	486			
(k) 0.1	712	637	637	577			

铁素体 + 珠光体组织(F + P),铁素体晶粒未能充分细化,不能满足钢管的高强韧性的要求。当冷却速率达到 2.0 °C/s,出现的贝氏体组织转变比较明显,贝氏体组织的出现会降低钢管的冲击韧性。但是,以 2.0 °C/s 冷却,晶内的铁素体量增加,而且先共析的铁素体晶粒比较细小,这个因素对提高冲击韧性有利。为使成品得到较好的综合力学性能,必须使铁素体晶粒尽可能细小,同时尽量避免出现贝氏体转变。所以,在选择控冷速度的时候要兼顾两者的影响。

根据表 2,冷却速度为 0.8 ~ 2.0 °C/s,686 ~ 590 °C 是铁素体相变温度区间;590 ~ 481 °C 为珠光体相变温度区间。冷却速度控制在 0.8 ~ 2.0 °C/s 时,可以得到有利于提高冲击韧性的细小铁素体块组织。当冷却速率为 1.0 °C/s 和 2.0 °C/s 时,程度不同的

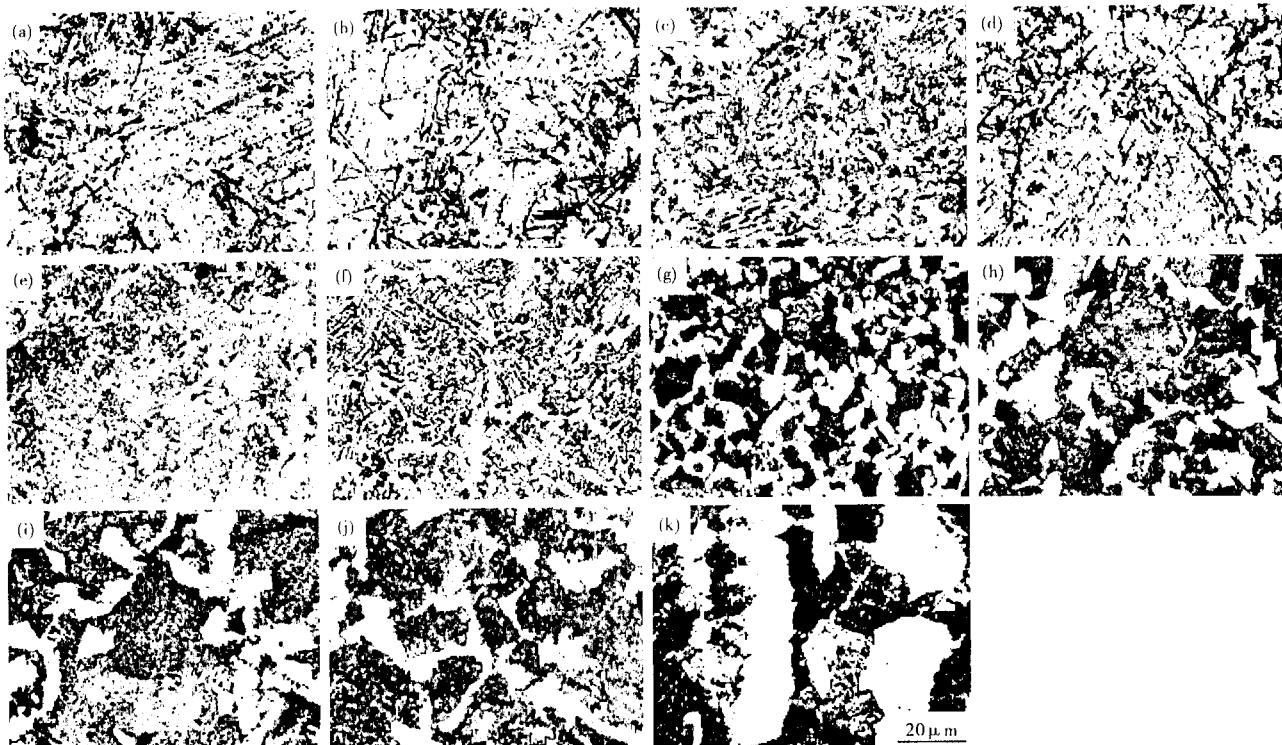


图 2 34Mn2VN 钢 CCT 曲线各个冷却速率对应的组织形貌: (a) 45 ℃/s; (b) 40 ℃/s; (c) 30 ℃/s; (d) 25 ℃/s; (e) 10 ℃/s; (f) 5 ℃/s; (g) 2 ℃/s; (h) 1 ℃/s; (i) 0.8 ℃/s; (j) 0.5 ℃/s; (k) 0.1 ℃/s

Fig. 2 Morphology of structure of steel 34Mn2VN corresponding to CCT curves with different cooling rate: (a) 45 ℃/s; (b) 40 ℃/s; (c) 30 ℃/s; (d) 25 ℃/s; (e) 10 ℃/s; (f) 5 ℃/s; (g) 2 ℃/s; (h) 1 ℃/s; (i) 0.8 ℃/s; (j) 0.5 ℃/s; (k) 0.1 ℃/s

贝氏体组织对冲击韧性将有一定的影响。但是,当铁素体晶粒很细小时,存在微量的贝氏体组织仍然能够保证良好的综合力学性能。为提高 N80 非调质套管的综合性能,理想的冷却速率控制在 0.8 ~ 2.0 ℃/s 范围内,既可以得到较细小的铁素体块又避免出现较多的贝氏体组织。

由此,确定冷却工艺为:热轧后 686 ℃ 前快速冷却,686 ~ 590 ℃ 温度区间按照 0.8 ~ 2.0 ℃/s 冷却速率冷却,在 590 ℃ 以下采用快冷或自然冷却方式均可。

采用该工艺,现场生产了 24 炉规格  $\Phi 139.7 \text{ mm} \times 7.7 \text{ mm}$  和 23 炉规格  $\Phi 114.0 \text{ mm} \times 6.4 \text{ mm}$  的 N80 级套管,总重 4 465 t,组织均为铁素体 + 珠光体,性能稳定,冲击韧性显著提高。其中,  $\Phi 139.7 \text{ mm} \times 7.7 \text{ mm}$  的产品一次合格率为 95.83% (以前为 88.14%),产品的综合力学性能均好于以往任何一次生产,冲击功达到 47.8 J (纵向全尺寸),  $\Phi 114.0 \text{ mm} \times 6.4 \text{ mm}$  的产品各项性能一次合格率 100%,冲击功达到 50.9 J (纵向全尺寸)。

### 3 结论

(1) 非调质钢 34Mn2VN 的临界点:  $A_{c3} = 797 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $A_{c1} = 715 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $A_{r3} = 725 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $A_{r1} = 602 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

(2) 对所研究的钢种,冷却速率为 0.8 ~ 2.0 ℃/s 时,686 ~ 590 ℃ 是铁素体相变温度区间;590 ~ 481 ℃ 为珠光体相变温度区间。随冷却速率增大,铁素体晶粒细化。

(3) 包钢生产 N80 级石油套管,控制要点是在终轧后至 686 ℃ 前应尽可能快速冷却,686 ~ 590 ℃ 严格按照 0.8 ~ 2.0 ℃/s 冷却速率冷却,在 590 ℃ 以下可快冷或自然冷却。

(4) 研究成果成功应用于现场生产,能提高产品的冲击韧性和综合力学性能。

### 参考文献

- 1 成海涛,崔瑞炯. 浅谈我国微合金非调质油井管的发展. 钢管, 2002, 31(3): 7
- 2 胡严政,黄涛,张军,等. 非调质钢 N80 级油井管的研制与开发. 钢管, 2004, 33(2): 16
- 3 余伟,陈银莉,蔡庆伍,等. N80 级石油套管在线常化工艺的优化. 钢铁, 2002, 37(5): 46
- 4 闫晓洛,赵超,李宜增. 在线常化工艺在石油套管生产上的应用. 天津冶金, 1999(增刊): 8
- 5 王有铭,李曼云,韦光. 钢材的控制轧制和控制冷却. 北京: 冶金工业出版社, 1995

张玉胜(1968-),男,高级工程师,硕士研究生,1992 年东北大学毕业,从事冶金材料研究。

收稿日期:2006-05-30