

· 工艺材料进展 ·

## V-N 微合金化含钨改型 Cr5W 冷轧工作辊用钢

武建平<sup>1,2</sup> 贾建平<sup>1</sup> 王自东<sup>2</sup>

(1 中钢集团邢台机械轧辊有限公司, 邢台 054025; 2 北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083)

**摘要** 开发了加 V-N 合金的含钨改型 Cr5W 工具钢 (C: 0.70 ~ 0.90C, ≤1.00Si, 0.20 ~ 0.60Mn, 4.50 ~ 5.50Cr, 1.00 ~ 1.50W, ≤0.15Mo, ≤0.3V; 300 × 10<sup>-6</sup> ~ 350 × 10<sup>-6</sup>N)。Cr5W 钢 960 °C 淬火后组织为马氏体 + 碳化物, 平均 HRC 硬度值为 63.5, 180 °C 回火后的平均 HRC 值为 63.2, 高于 Cr5 钢 (C: 0.70 ~ 0.90C, ≤1.00Si, 0.20 ~ 0.60Mn, 4.50 ~ 5.50Cr, 0.15 ~ 0.70Mo; 80 × 10<sup>-6</sup> ~ 120 × 10<sup>-6</sup>N) 180 °C 的回火硬度 (HRC 值 62.3), 在相同硬度下, Cr5W 钢的相对耐磨性较 Cr5 钢提高 50%。

**关键词** 改型 Cr5W 钢 钨 冷轧工作辊 V-N 微合金化

## V-N Microalloyed Modified Containing Tungsten Cr5W Steel for Cold Rolling Working Roll

Wu Jianping<sup>1,2</sup>, Jia Jianping<sup>1</sup> and Wang Zidong<sup>2</sup>

(1 Xingtai Machinery & Mill Roll Co Ltd, Sinosteel, Xingtai 054025;

2 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

**Abstract** The modified containing tungsten added V-N microalloying Cr5W tool steel - 0.70 ~ 0.90C, ≤1.00Si, 0.20 ~ 0.60Mn, 4.50 ~ 5.50Cr, 1.00 ~ 1.50W, ≤0.15Mo, ≤0.3V, 300 × 10<sup>-6</sup> ~ 350 × 10<sup>-6</sup>N has been developed. Test results indicated that the structure of modified Cr5W steel quenched at 960 °C was martensite + carbide, of which the average HRC hardness was 63.5, and the average HRC hardness of modified Cr5W steel after temper at 180 °C was 63.2 higher than hardness (average HRC 62.3) of 180 °C tempered Cr5 steel (0.70 ~ 0.90C, ≤1.00Si, 0.20 ~ 0.60Mn, 4.50 ~ 5.50Cr, 0.15 ~ 0.70Mo, with 80 × 10<sup>-6</sup> ~ 120 × 10<sup>-6</sup>N); and with same hardness value the relative wearing resistance of modified Cr5W steel increased by 50% as compared with that of Cr5 steel.

**Material Index** Modified Cr5W Steel, Tungsten, Cold Rolling Working Roll, V-N Microalloying

常规 Cr5 材质以 Cr-Mo 合金为主, 使用较普遍, 而对 Cr-W 合金用于冷轧辊的研究和使用并不普及。

本研究在常规 Cr5 钢的基础上, 通过适当加入 W 元素合金化, 并采用 V-N 合金进行变质处理, 开发了一种新型含 W 的冷轧工作辊用钢。

### 1 材料的化学成分及生产工艺

#### 1.1 材料的化学成分

V-N 的复合加入比 V 的单独加入具有更好的强化效果, 其机理主要是生成的 V(CN) 起着细化晶粒和沉淀强化的作用<sup>[1,2]</sup>。V-N 微合金化 Cr5W 钢和对比材料 Cr5 钢的化学成分列于表 1。

#### 1.2 材料的冶炼及锻造

Cr5W 钢在 1 t 中频感应炉上冶炼, 分别按不加、加入 V-N 合金并浇铸成 50 kg 铸锭, 对铸锭切片进行金相检测。通过 5 t 锤锻造成 Φ60 mm 的试棒。不加 V-N 合金的铸锭 N 含量为 (80 ~ 120) × 10<sup>-6</sup>, 加 V-N 合金的铸锭 N 含量为 (300 ~ 350) × 10<sup>-6</sup>。

### 2 组织检测

图 1(a) 是不加 V-N 变质处理的 Cr5W 钢铸态组织, 碳化物沿晶界严重聚集; 图 1(b) 是加 V-N 变质处理的 Cr5W 钢铸态组织, 碳化物网有明显改善。

V-N 微合金化 Cr5W 钢具有良好的锻造性能, 碳化物网状不明显。

### 3 材料的热处理工艺、性能试验及结果

#### 3.1 淬火试验

对锻造后的试棒, 经调质热处理后切成试片, 进行了 920 ~ 1040 °C 的淬火工艺试验, 组织和硬度检测结果如表 2。

由表 2 可见, 淬火温度达 960 °C 以上时碳化物减少, 马氏体针粗大。所以淬火温度应选在 960 °C 为宜。

表 1 试验钢的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of test steels /%

材质	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
Cr5	0.70 ~ 0.90	≤ 1.00	0.20 ~ 0.60	4.50 ~ 5.50	-	0.15 ~ 0.70	-
	0.70 ~ 0.90	≤ 1.00	0.20 ~ 0.60	4.50 ~ 5.50	1.00 ~ 1.50	≤ 0.15	≤ 0.30

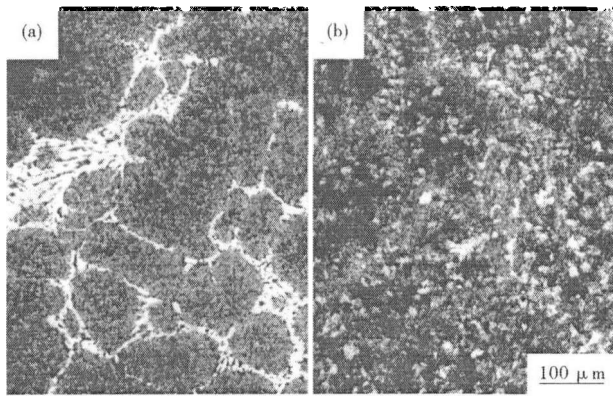


图 1 Cr5W 钢铸态组织: (a) 不加 V-N 合金, 钢中 N 含量  $(80 \sim 120) \times 10^{-6}$ ; (b) 加 V-N 合金, 钢中 N 含量  $(300 \sim 350) \times 10^{-6}$

Fig. 1 As cast structure of steel Cr5W: (a) non-added V-N alloy, N content in steel-  $(80 \sim 120) \times 10^{-6}$ ; (b) added V-N alloy, N content in steel-  $(300 \sim 350) \times 10^{-6}$

表 2 Cr5W 钢淬火后的组织和硬度

Table 2 Structure and hardness of quenched modified Cr5W steel

淬火温度/℃	组织	马氏体级别	硬度值(HRC)
920	细 M + C	1.5	62.9
940	细 M + C	1.5	63.4
960	M + C	3.0	63.5
980	M + C	3.0	63.7
1 000	M + C	4.0	64.0
1 020	M + C	4.0	65.8
1 040	M + C	4.0	63.6

### 3.2 回火试验

Cr5W 钢经 960 ℃ 油淬, 液氮冷处理, 在 140 ~ 260 ℃ 回火 2 h。回火后进行了硬度与金相检测, 并和常规 Cr5 材质 940 ℃ 淬火、相同温度下回火的试样进行硬度对比, 结果如表 3。由表 3 可见, 相同回火温度下, Cr5W 钢的硬度比 Cr5 钢的硬度高。

### 3.3 耐磨性能试验

Cr5W 钢 960 ℃ 油淬 + 液氮冷处理 + 180 ℃ 2 h 回火; Cr5 钢 940 ℃ 油淬 + 液氮冷处理 + 140 ℃ 2 h 回火, 回火后试样的硬度如表 4。可见在相同硬度时, Cr5W 钢比 Cr5 钢抗回火温度约提高 40 ℃。

表 3 回火温度对常规 Cr5 钢和 Cr5W 钢硬度的影响

Table 3 Effect of tempering temperature on hardness of modified Cr5W steel

回火温度/℃	常规 Cr5 HRC 值	Cr5W HRC 值
140	63.2	64.1
160	62.7	64.3
180	62.3	63.2
200	62.1	62.6
220	61.2	61.9
240	60.9	62.1
260	60.0	61.2

表 4 Cr5 钢和 Cr5W 钢相对耐磨性比较

Table 4 Comparison of relative wearing resistance between Cr5 steel and modified Cr5W steel

钢种	热处理	HRC 值		相对耐磨性 (Ms)	
Cr5	940 ℃, 油	63.0		1.645 0	
	+ 液 N 处	63.5	63.3	1.591 6	1.794 1
	理 + 140	63.0	(均值)	2.443 7	(均值)
	℃ 2 h	63.5		1.509 2	
Cr5W	960 ℃, 油	63.0		3.245 9	
	+ 液 N 处	63.5	63.3	2.873 0	2.655 4
	理 + 180	63.5	(均值)	2.461 5	(均值)
	℃ 2 h	63.0		2.184 7	

表 4 用 Ms (对照试样质量损失与试验试样的质量损失之比) 来表征材料的相对耐磨性, Ms 数值越大, 则表明材料的耐磨性越好。在相同硬度下, Cr5W 钢的 Ms 约为 Cr5 钢的 1.5 倍, 提高约 50%。

### 4 结果分析

在高碳合金钢中, W 含量  $\geq 1\%$  时, 会生成难熔的大颗粒  $M_6C$ 。当加入 V-N 合金时, 钢中增氮提高了氮化钒的析出驱动力。在低氮情况下, 析出相以碳化物为主, 随着 N 含量的增加, 逐渐转变为以氮化物为主的析出相。当钢中的 N 含量  $\geq 200 \times 10^{-6}$  时, 在整个析出温度范围内均是析出 VN 或富氮的  $V(C, N)$ 。氮化物比碳化物有更高的稳定性, 且分布更细小和弥散<sup>[3]</sup>。正是由于这个原因, 抑制了  $M_6C$  的生成与长大, 这就是含钨的 Cr5W 钢碳化物网状得以明显改善的原因。

### 5 结论

(1) Cr5W 钢中形成的大块网状碳化物可通过 V-N 变质处理予以改善。

(2) 采用适量的 V-N 合金变质处理含钨的 Cr5W 冷轧辊新材料可提高抗回火稳定性约 40 ℃。在同等硬度前提下, 相对耐磨性可提高约 50%。

(3) 含钨新冷辊材料 Cr5W 钢具有较高的耐磨性和抗回火稳定性能, 可用做现代化轧机冷轧工作辊常规 Cr5 钢的替代产品。

### 参考文献

- 王亦工, 冯运莉. V-N 微合金化提高低合金结构钢强韧性研究. 金属热处理, 2005, 30(9): 27
- 杨才福, 张永权. 钒氮微合金化技术在 HSLA 钢中的应用. 钢铁, 2002, 37(11): 42
- 齐俊杰. 微合金化钢. 北京: 冶金工业出版社, 2006: 65

武建平 (1966-), 男, 高级工程师, 1988 年毕业于北京科技大学, 从事电渣冶金和材料研究。

收稿日期: 2007-03-28