

铌含量对 Cr8WMo2V2SiNb 钢组织和性能的影响

刘建华¹ 马党参¹ 张占普² 吴立志² 陈再枝¹ 迟宏宵^{1,3}

(1 钢铁研究总院,北京 100081; 2 河冶科技股份有限公司,石家庄 050031;

3 昆明理工大学材料与冶金工程学院,昆明 650093)

摘 要 研究了 0~0.89% Nb 含量对淬火(1 000~1 200 ℃)-回火(200~650 ℃)Cr8WMo2V2SiNb 钢组织和力学性能的影响。结果表明,随着 Nb 含量提高,钢的铸态组织和共晶碳化物形态得以改善,难熔铌的碳化物增多,明显抑制了淬火奥氏体晶粒长大;加铌可相应提高淬火温度,增加钢的二次硬化能力和耐磨性,使钢具有较高综合机械性能。

关键词 铌 Cr8WMo2V2SiNb 钢 组织 二次硬化 力学性能

Influence of Niobium Content on Structure and Mechanical Properties of Steel Cr8WMo2V2SiNb

Liu Jianhua¹, Ma Dangshen¹, Zhang Zhanpu², Wu Lizhi², Chen Zaizhi¹ and Chi Hongxiao^{1,3}

(1 Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081; 2 Heye Special Science and Technology Co Ltd, Shijiazhuang 050031;

3 Institute of Materials and Metallurgy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

Abstract Influence of 0~0.89% Nb content on structure and mechanical properties of quenched (1 000~1 200 ℃) - tempered (200~650 ℃) steel Cr8WMo2V2SiNb has been studied. Results showed that with increasing Nb content the as-cast structure and eutectic carbide morphology improved, the amount of refractory carbides increased remarkably to restrain the growth of austenite grain; and the quenching temperature of steel could appropriately increased by adding Nb to increase secondary hardening ability and wear resistance and get higher integrated mechanical properties of steel.

Material Index Niobium, Steel Cr8WMo2V2SiNb, Structure, Secondary Hardening, Mechanical Properties

铌是一种对碳有极强亲和力的合金元素,国外早在 20 世纪 70 年代中期,就开始在工具钢中加入铌^[1],铌和碳形成稳定的碳化物既可以抑制晶粒长大,提高钢材的强韧性,又可替代部分价格昂贵的钒,提高钢材的耐磨性能。

1 试验材料及方法

试验钢材的生产工艺为:中频感应炉+电渣重熔(Φ215 mm 锭)→SX55 精锻机开坯(100 mm 方)→轧制成材(Φ13 mm)→钢材退火。退火硬度 HB193~212,退火组织为球状珠光体。表 1 为试验钢材的化学成分。

2 试验结果及讨论

2.1 铌对铸态组织的影响

表 1 试验钢材的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test steels /%

编号	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Nb
1 [#]	1.00	0.86	0.33	7.85	0.96	1.68	1.98	-
2 [#]	0.99	0.86	0.34	7.67	0.93	1.52	1.98	0.57
3 [#]	0.97	0.80	0.33	7.71	0.93	1.51	1.96	0.89

注:钢中 P 含量 0.018%~0.019%,S 含量 0.001%~0.004%。

铸态组织中碳化物的分布和细化影响工具钢产品的性能^[2]。钢中加入一定数量的铌,改变了钢的结晶方式,细化了初生晶粒,细化了共晶莱氏体(图 1a₁,b₁,c₁)。

由于铌的加入量不同,铸态钢的共晶碳化物形态和种类发生很大变化,碳化物形态由“片层状”、“迷宫”状变成不规则单层的片状和块状。1[#]钢(无铌)的共晶碳化物形貌呈“片层状”和“迷宫”状;主要是 MC 型的 VC 碳化物和少量由 W、Mo、Cr、V 复合的 M₂C 型碳化物。2[#]钢(0.57% Nb)以 MC 型(NbV)C 为主,也有少量的 VC;3[#]钢(0.89% Nb)由于铌含量相对较高,铸态组织中除了(NbV)C 复合碳化物外,还有少量白色 NbC。

可见,随着铌含量的增加,钢中 MC 型共晶碳化物变化趋势是 VC→(V、Nb)C→NbC,这是由于铌比钒与碳有更强的亲和力。另外钢中还存在一定数量的 M₇C₃ 型碳化物(图 1a₂,b₂,c₂)。

2.2 铌对淬火组织和性能的影响

图 2(a,b)为试验钢材经 820 ℃预热 30 min 在 1 000~1 200 ℃淬火后硬度及晶粒度变化曲线,可

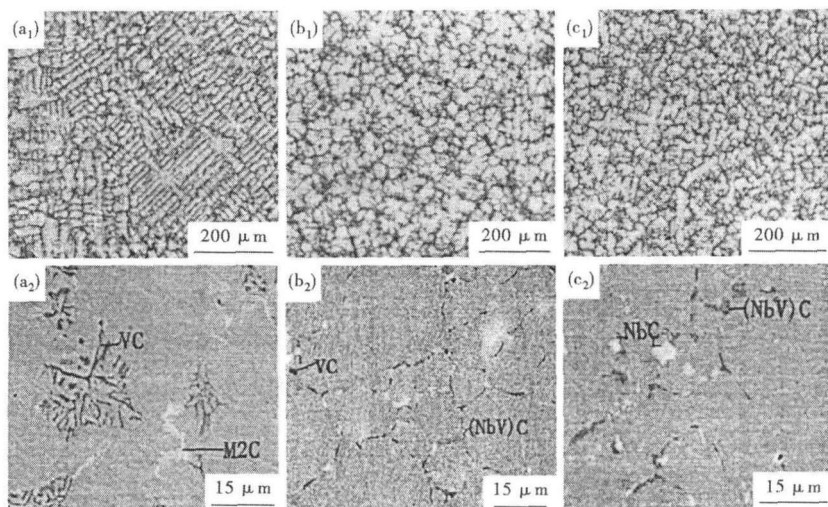


图1 上- 试验钢铸态金相组织;下- 试验钢材共晶碳化物形态,SEM:(a_1, a_2)0Nb;
(b_1, b_2)0.57% Nb;(c_1, c_2)0.89% Nb

Fig.1 Top- as-cast structure of test steels; Below- Morphology of eutectic carbide of test steels: (a_1, a_2)0Nb;(b_1, b_2)0.57% Nb;(c_1, c_2)0.89% Nb

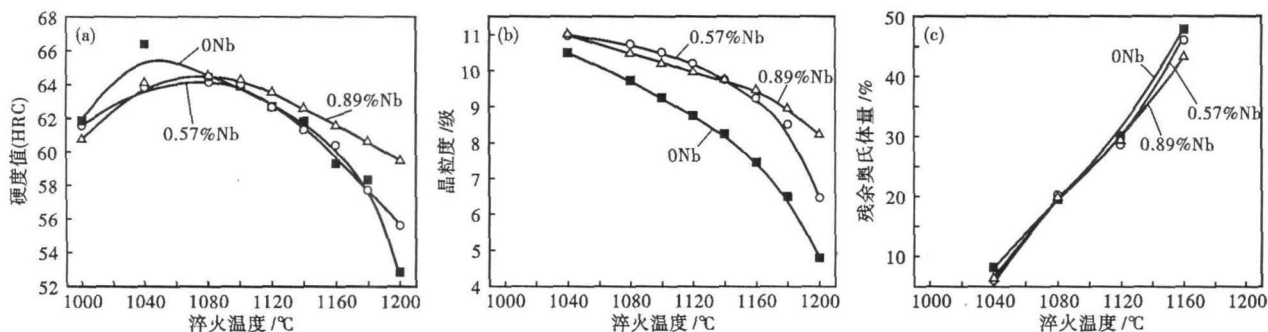


图2 淬火温度对试验钢材硬度(a),晶粒度(b)和残余奥氏体(c)的影响

Fig.2 Effect of quenching temperature on hardness (a), grain size (b) and residual austenite (c) of test steel products

余奥氏体。0.57% Nb 和 0.89% Nb 钢的淬火组织比较正常,而这一温度对无铌钢来说有些偏高,晶界已开始变粗,晶粒也略微长大。

2.3 铌对回火组织和性能的影响

图3(a_2, b_2, c_2)是试验钢材540℃回火后的扫描电镜组织,3种试验钢材的回火基体组织均为回火索氏体+碳化物。随着铌含量的增加,组织更加致密,碳化物数量增加,特别是大颗粒的不规则形状碳化物有明显增加的趋势。

本试验从200~650℃共选取了11个回火温度,图4是3种钢材经1080℃淬火,然后在不同温度回火后的硬度变化情况。从图4可见,3种试验钢材都存在明显的二次硬化现象,这主要是由于钢中含有一定数量的W、Mo、V等强碳化物形成合金元素,在回火过程中碳化物的析出与残余奥氏体的

见,无铌钢的峰值温度为1040℃,比加铌(0.57% Nb、0.89% Nb)钢淬火硬度曲线峰值提前了40℃,这主要是Nb钢中形成了大量的NbC和(NbV)C,这些碳化物比VC在钢中的固溶温度更高,钉扎在奥氏体晶界的时间更长,抑制了晶粒的长大,使钢的硬度相对下降更缓慢,而且这种作用随着铌含量的增加而更加明显。图2(c)是试验钢材随淬火温度的升高,残余奥氏体量变化情况。

图3(a_1, b_1, c_1)是试验钢材经1080℃淬火后的金相组织,试样用4%硝酸酒精腐蚀,从图3(a_1, b_1, c_1)中可见,钢的显微组织均为淬火马氏体+碳化物+残

转变对钢有极强的二次硬化作用。3种钢的回火曲线变化趋势基本相同,钢的峰值温度均在540℃左右,这也进一步表明,钢中W、Mo等合金元素形成的 M_6C 型碳化物比Nb、V等形成的MC型碳化物对钢的二次硬化作用更重要。表2给出了3种试验钢材经1090℃淬火+550℃回火后的力学性能。总的来看,3种试验钢材均具有较高的强度和较好的韧性,但加入适量的Nb可提高钢的综合力学性能。

2.4 铌对耐磨性能的影响

根据模具的服役条件,对试验钢材共选择了两种试验方法(即磨粒磨损和金属间磨损)进行磨损试验。磨粒磨损试验在ML-10磨损试验机上进行,试样尺寸为 $\Phi 5.5 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$,磨盘转速60 r/min,磨料为280# SiC水砂纸,试样径向进给量4 mm/s,载荷5.2 kg。

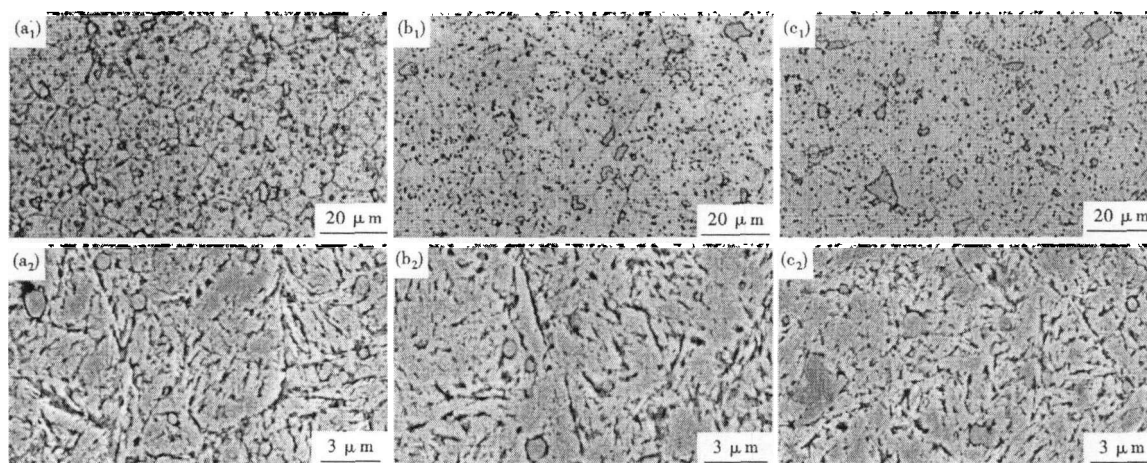


图3 试验钢材的组织: a_1, b_1, c_1 - 1 080 °C 淬火; a_2, b_2, c_2 - 1 080 °C 淬火 + 540 °C 回火; (a_1, a_2) 0Nb; (b_1, b_2) 0.57% Nb; (c_1, c_2) 0.89% Nb
Fig.3 Morphology of test steel products: a_1, b_1, c_1 - 1 080 °C quenching; a_2, b_2, c_2 - 1 080 °C quenching + 540 °C tempering; (a_1, a_2) 0Nb; (b_1, b_2) 0.57% Nb; (c_1, c_2) 0.89% Nb

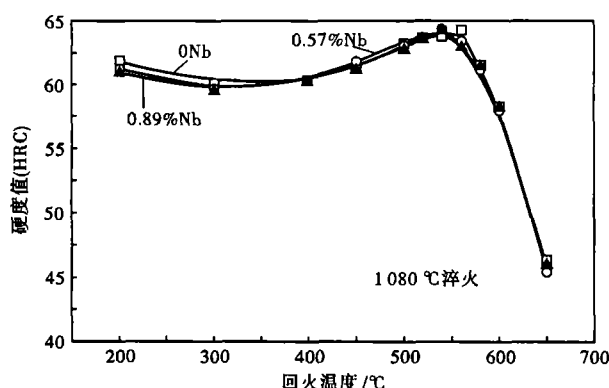


图4 试验钢材的回火硬化曲线

Fig.4 Curves of tempering hardening of test steel products

表2 试验钢材的力学性能, 1 090 °C 淬火-550 °C 回火
Table 2 Mechanical properties of test steel products, quenching at 1 090 °C-tempering at 550 °C

编号	抗压强度 σ_{bc}/MPa	抗弯强度 σ_{bb}/MPa	冲击韧性(无缺口) $a_k/(\text{J} \cdot \text{cm}^{-2})$	硬度值 (HRC)
1 [#]	3 863	4 270	112	64.2
2 [#]	3 730	4 710	115	63.3
3 [#]	3 740	4 610	120	62.8

金属间磨损在 M200 型磨损试验机上进行, 试样尺寸 10 mm × 12 mm × 15 mm, 相对磨擦副为 CrWMn 钢环, 外径 45 mm, 厚度 10 mm, 外圆柱面光洁度 $Ra = 3.2 \mu\text{m}$, HRC60, 圆环转速 200 r/min, 载荷 30 kg (294N), 试验时间 30 min, 表 3 为试验钢材的磨损试验结果。

从两种试验结果可以看出, 在相同的热处理工艺下, 含 Nb 钢的耐磨性明显优于不含 Nb 的 1[#] 钢, 在金属间磨损中尤为突出, 对于含 Nb 钢来说, 适当

表3 磨粒磨损和金属间磨损试验结果

Table 3 Results of particle abrasion and inter-metallic slide abrasion test

编号	热处理工艺	磨粒磨损损失/ mg	金属间磨损损失/ mg
1 [#]	1 080 °C 淬火 +	37.5	11.6
2 [#]	540 °C 回火	37.7	7.6
3 [#]		40.7	8.1
2 [#]	1 120 °C 淬火 +	34.1	7.4
3 [#]	540 °C 回火	30.1	7.0

提高淬火温度有利于 NbC、(NbV)C 等难溶碳化物的溶解与析出, 更好的提高其耐磨性能。

4 结语

(1) 钢中加入适量的铌可有效抑制奥氏体晶粒长大, 细化钢的初生晶粒, 改变共晶碳化物的形貌和分布; 随着铌含量的增加, 抑制作用也随之增强。

(2) Cr8WMo2V2SiNb 钢具有较宽的淬火温度范围, 有利于热处理操作, 用户可根据使用要求进行选择。

(3) Cr8WMo2V2SiNb 钢的铌含量应控制在 0.4% ~ 0.8%, 过低达不到细化晶粒、增加强韧性和耐磨性的效果, 过高将增加碳化物的不均匀性, 大块的不规则碳化物在受力时容易成为裂纹源, 导致力学性能的降低。

参考文献

- 1 Franz Jeglitsch. 铌在工具钢与硬质合金中的应用. 张敏译. 微合金化技术, 2005, 5(1): 48
- 2 张永, 马党参, 刘建华, 等. Nb 含量对 W3Mo2Cr4V 高速钢组织和力学性能的影响. 特殊钢, 2007, 28(3): 44

刘建华 (1953-), 女, 高级工程师, 模具材料研究。

收稿日期: 2008-05-16