

Nb 含量对 W3Mo2Cr4V(Nb) 高速钢组织和力学性能的影响

张永^{1,2} 马党参² 刘建华² 陈再枝² 雍岐龙^{1,2}

(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 研究了 0~1.5%Nb 对 25 kg 真空感应炉冶炼的 W3Mo2Cr4V 钢(%:0.8~1.1C,3.8~4.1Cr,2.9~3.2W,1.8~2.1Mo,1.0~1.3V)组织和力学性能的影响。试验结果表明:随着 Nb 含量提高,铸态组织中铌碳化物增多;淬火奥氏体晶粒变细;1 180 °C 淬火时,1.2%~1.5%Nb 钢比≤0.1%Nb 钢 HRC 值提高了 6.0;二次硬化能力和红硬性也得到了提高;使钢在较高淬火温度下的机械性能得到改善。

关键词 含 Nb 高速钢 W3Mo2Cr4V 二次硬化 力学性能

Effect of Nb Content on Structure and Mechanical Properties of High Speed Steel W3Mo2Cr4V(Nb)

Zhang Yong^{1,2}, Ma Dangshen², Liu Jianhua², Chen Zaizhi² and Yong Qilong^{1,2}

(1 Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093; 2 Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The effect of 0~1.5% Nb on structure and mechanical properties of steel W3Mo2Cr4V (0.8~1.1C, 3.8~4.1Cr, 2.9~3.2W, 1.8~2.1Mo, 1.0~1.3V) melted by 25 kg vacuum induction furnace has been studied. Test results showed that with increasing Nb content the amount of niobium carbide in cast structure increased; quenching austenite grain was refined; as quenched at 1 180 °C, compared with HRC value of ≤0.1% Nb steel the HRC value of 1.2%~1.5% Nb steel increased by 6.0; the secondary hardening ability and red hardness of Nb steel were obviously increased; and the mechanical properties of Nb steel quenched at higher temperature improved.

Material Index Nb Bearing High Speed Steel W3Mo2Cr4V, Secondary Hardening, Mechanical Property

20 世纪 70 年代中期,国外就开始加强铌在高速钢中的使用研究^[1],但国内此方面的研究做得还较少。铌是对碳有极高亲和力的元素,能形成十分稳定的碳化物,所以在工具钢生产中,铌很适合作为形成碳化物的合金元素^[2]。本文研究了铌含量变化对 W3Mo2Cr4V(Nb) 钢组织和力学性能的影响。

1 试验材料及方法

本试验在 25 kg 真空感应炉上冶炼了 4 炉不同铌含量的钢(将 4 炉钢分别称为 1[#]、2[#]、3[#]、4[#]钢),化学成分见表 1。4 炉钢的碳含量是根据平衡碳公式($C = 0.033W + 0.063 Mo + 0.200V + 0.060 Cr + 0.112 Nb$)^[3]来确定的。钢锭锻造成 Φ14 mm、Φ18 mm 棒材,经退火后组织为粒状珠光体,HB 硬度值为 210~221。

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

C	P	S	Cr	W	Mo	V	Nb
0.8~1.1	<0.010	<0.010	3.8~4.1	2.9~3.2	1.8~2.1	1.0~1.3	0~1.5

注:4 炉试验钢铌含量分别为 1[#]钢≤0.1%、2[#]钢 0.4%~0.7%、3[#]钢 0.8%~1.1%、4[#]钢 1.2%~1.5%。

试样在箱式马弗炉加热,油淬;回火时保温 1 h,空冷,重复 3 次回火。红硬性试验在钢经过淬、回火处理后,分别加热到 600,625,650 °C,保温 4 h,空冷后测其硬度值。无缺口冲击试样尺寸为 10 mm×10 mm×55 mm;抗弯试样 Φ5 mm×70 mm,3 点弯曲,跨距 50 mm,用 MTS880 试验机检验。

2 试验结果与分析

2.1 Nb 含量对铸态组织中碳化物的影响

经 SEM 观察和能谱分析得出,试验钢中碳化物有 M₂C 和 MC 两种类型;如图 1(a)、(b)、(c)、(d),随铌含量增加,碳化物的形态、种类和数量均发生了变化。M₂C 碳化物(图中白亮区域)逐渐变得粗大,片层变厚出现交错;MC 碳化物(图中浅灰色区域)由 1[#]钢中仅是形状不规则的 W、Mo、V 复合一种类型,变为 2[#]钢中 W、Mo、V 复合,W、V、Nb 复合和富铌的 MC 三种类型,且数量增多。3[#]和 4[#]钢中碳化物类型与 2[#]钢基本相同,只是 MC 碳化物中 W、Mo、V 复合的 MC 消失了,同时 W、V、Nb 复合的 MC 量减少,富铌的 MC 数量增加,弥散分布。但同时也可发现 V、Nb 复合加入后,碳化物的形态均较差,且一次碳化物尺寸也较为粗大(这可能与 NbC

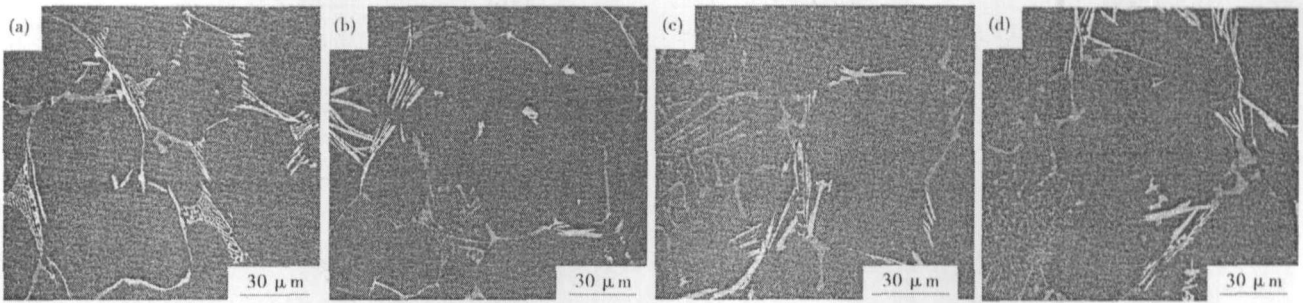


图1 W3Mo2Cr4V(Nb) 钢中铸态碳化物, SEM: (a) ≤0.1% Nb; (b) 0.4%~0.7% Nb; (c) 0.8%~1.1% Nb; (d) 1.2%~1.5% Nb
Fig.1 Cast carbides in steel W3Mo2Cr4V(Nb), SEM: (a) ≤0.1% Nb; (b) 0.4%~0.7% Nb; (c) 0.8%~1.1% Nb; (d) 1.2%~1.5% Nb

形成温度较高,而高速钢的浇注温度偏低,其反应不充分有关^[4]。

分析可得,随 Nb 加入量的提高,MC 碳化物中的合金元素 Mo 和 V 部分被 Nb 取代,而固溶在钢基体中。由此达到了以铌取代钒形成一次碳化物,迫使钒固溶在基体的目的。钢中加入铌,使得在钢液冷却生成一次碳化物过程中,铌取代部分钒与碳结合生成一次碳化物,迫使钒更多地固溶在钢基体中,以提高二次硬化能力。

2.2 Nb 含量对淬火晶粒度、组织和硬度的影响

由图 2(a) 可见,随淬火温度升高,1# 钢奥氏体晶粒长大最快,2# 钢晶粒长大倾向明显变缓,铌含量逐渐增加,晶粒长大倾向进一步变缓。1# 钢在 1160 °C 淬火时出现混晶现象,2# 钢在 1180 °C 淬火时才开始出现混晶。在同一淬火温度(尤其较高温度),随着铌加入量的提高,晶粒也随之变细。1200 °C 淬火时,1#~4# 钢晶粒度分别为 6,7,8,8.5 级。

铌含量增加使奥氏体晶粒变细的同时,钢的硬度也显著提高,1180 °C 淬火时 4# 钢比 1# 钢硬度(HRC)提高了约 6.0,如图 2(b)。

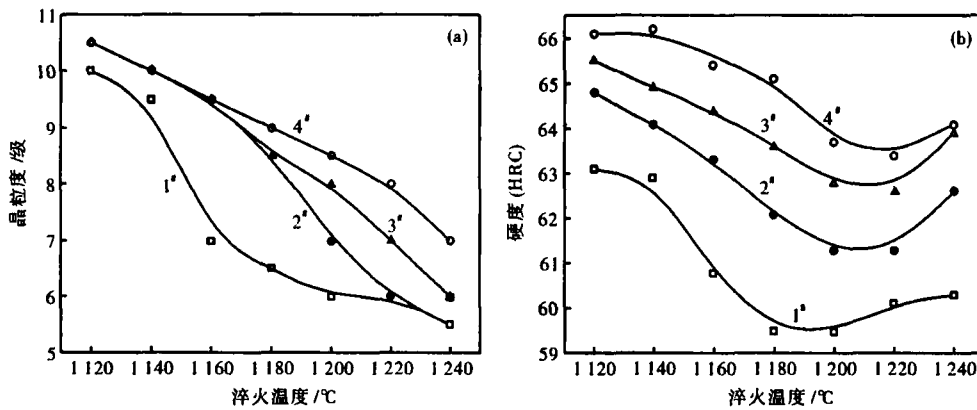


图2 W3Mo2Cr4V(Nb) 钢的淬火晶粒度(a)与硬度(b)
Fig.2 Quenching grain size (a) and hardness (b) of steel W3Mo2Cr4V(Nb)

2.3 Nb 含量对力学性能的影响

由图 3(a) 可见,试验钢二次硬化峰值出现在 560 °C 左右回火时,随铌含量增加,相应提高淬火温度,硬度峰值也相应升高,1# < 2# < 3# 钢(4# 钢峰值低于 3# 钢,可能是由于 4# 钢在 1200 °C 淬火时温度不够高),3# 钢比 1# 钢硬化峰值提高近 HRC1.0。

通常把红硬性作为高速钢的重要性能指标,红硬性实质上是反映高速钢的抗回火稳定性,它与钢的二次硬化能力有关^[5]。图 3(b) 给出了红硬性试验结果。在所选的淬火温度下,虽然 2# 钢红硬性比

1# 钢提高不明显,甚至 650 °C 时有所下降;但 3# 钢红硬性比 1# 钢相比已有明显提高。这是由于高速钢的红硬性主要决定于淬火加热时溶入奥氏体的合金碳化物量。提高淬火温度,使更多的碳化物溶入奥氏体中可提高红硬性^[6]。铌含量增高时使奥氏体晶粒变细,在保证晶粒不粗化的前提下提高淬火温度,使更多的碳化物溶解,随后回火时析出更多的碳化物,从而获得更高的室温硬度与红硬性。

图 4 所示,经 1160 °C 淬火 + 580 °C 回火后,3#、

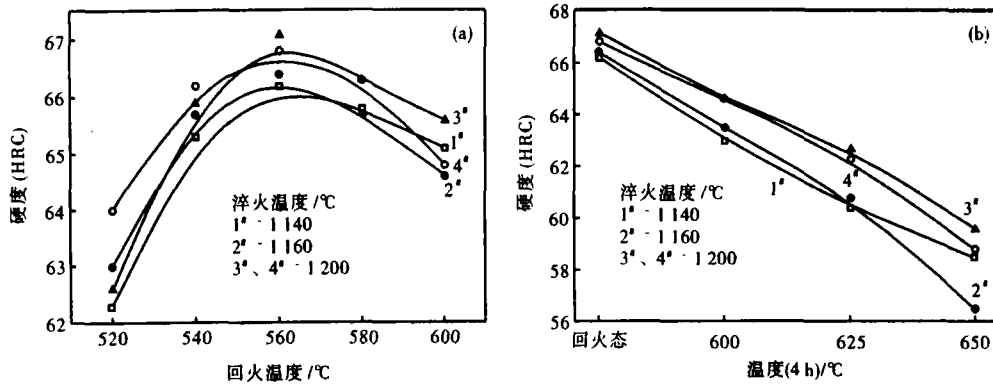


图 3 W3Mo2Cr4V(Nb) 钢的二次硬化(a)与红硬性(b)
Fig. 3 Secondary hardening (a) and red hardness (b) of steel W3Mo2Cr4V(Nb)

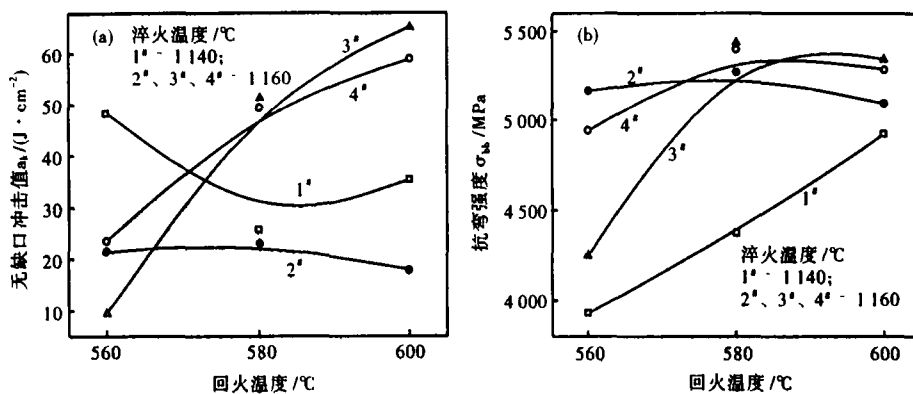


图 4 W3Mo2Cr4V(Nb) 钢的冲击韧性(a)与抗弯强度(b)
Fig. 4 Toughness (a) and bending strength (b) of steel W3Mo2Cr4V(Nb)

4[#]钢比2[#]钢的 a_k 明显提高,σ_{bb}也有所提高,这是由于钨含量提高时奥氏体晶粒相应变得细小,使钢的机械性能得以改善;但发现当回火温度高于 580 °C 时,4[#]钢 a_k 与 σ_{bb} 低于 3[#]钢,分析认为钨含量过高时增加了碳化物的不均匀性,反而会使机械性能降低。通过 SEM 观察冲击断口发现,在相同淬火温度下,4[#]钢中存在较多的淬火加热时未溶的、有棱边的块状 Nb 的碳化物。具有尖锐棱边的颗粒比球状或近球状的颗粒对断裂韧性的危害要大得多^[7],这些碳化物的聚集区域容易成为裂纹源,导致了钢的韧性下降。

3 结论

(1) 钢中加入钨时,钨取代一部分钒形成碳化物,迫使钒更多地固溶在基体中,对高速钢的二次硬化有利。但 V、Nb 同时加入时,一次碳化物的形态较差,尺寸也较为粗大。

(2) 钨含量提高时,钢中稳定的富钨一次碳化物量也在增加,对淬火加热时奥氏体晶粒长大的抑制作用也随之增强,可提高钢的淬火温度。

(3) 钨含量提高时,可使 W3Mo2Cr4V(Nb) 钢获得更高的室温硬度与红硬性。

(4) 钨含量提高时,一方面使奥氏体晶粒变细,使钢的机械性能得以改善;同时又增加了碳化物的不均匀性,淬火加热时,未溶的富钨碳化物增多,发生聚集,容易成为裂纹源,导致钢的机械性能降低。

参考文献

- 1 Franz Jeglitsch. 钨在工具钢与硬质合金中的应用. 张敏译. 微合金化技术, 2005(1): 48
- 2 钨·科学与技术. 中信微合金化技术中心编译. 北京: 冶金工业出版社, 2003
- 3 肖纪美. 高速钢的金属学问题. 北京: 冶金工业出版社, 1976
- 4 邓玉昆, 陈景榕, 王世章. 高速工具钢. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- 5 刘佐仁. 淬火温度对高速钢力学性能的影响. 钢铁, 2001, 36(7): 56
- 6 戚正风, 冯屈原, 吴立志, 等. 高速钢的红硬性. 金属热处理, 2001, 26(12): 10
- 7 雍岐龙. 钢铁材料中的第二相. 北京: 冶金工业出版社, 2006

张永(1981-), 男, 硕士研究生, 2007 年昆明理工大学毕业, 从事高速钢和模具钢的研究。

收稿日期: 2006-12-27