

· 组织和性能 ·

V 含量对高氮 20MnSi 钢自然时效性能的影响

杨吉春 张 剑 周 莉 栗宏伟

(内蒙古科技大学材料与冶金学院, 包头 014010)

摘 要 试验钢(/% : 0.22C, 1.46 ~ 1.66Mn, 0.45 ~ 0.58Si, 0.011 ~ 0.013S, 0.010 ~ 0.012P, 0.014 ~ 0.047V, 0.040 ~ 0.044N) 由真空感应炉冶炼, 浇铸成 10 kg 锭, 锻成 25 mm × 25 mm 坯, 并进行 870 °C 40 min 空冷热处理, 经 180 天自然时效后, 观察该钢的组织 and 测试其力学性能。结果表明, 自然时效后高氮 20MnSi 螺纹钢晶粒变细小, 晶粒尺寸为 0.8 ~ 6 μm, 带状组织消失, 因 V(CN) 析出, 钢的屈服强度提高 25 ~ 93 MPa, 抗拉强度提高 17 ~ 157 MPa, 伸长率由 9% ~ 15% 提高至 26.0% ~ 31.5%, 并且自然时效后试验钢的脆性区消失。

关键词 20MnSi 钢 高氮 钒 时效 组织 力学性能

Influence of V Content on Natural Ageing Properties of High Nitrogen Steel 20MnSi

Yang Jichun, Zhang Jian, Zhou Li and Li Hongwei

(School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010)

Abstract The structure and mechanical properties of test steel (/% : 0.22C, 1.46 ~ 1.66Mn, 0.45 ~ 0.58Si, 0.011 ~ 0.013S, 0.010 ~ 0.012P, 0.014 ~ 0.047V, 0.040 ~ 0.044N) melted by vacuum induction furnace cast to 10 kg ingot, forged to 25 mm × 25 mm billet, heat-treated at 870 °C for 40 min, air cooling and natural aged for 180 days are observed and tested. Results show that after natural ageing the grains in high nitrogen steel 20MnSi is fined with grain diameter 0.8 ~ 6 μm and banded structure disappearing, due to V(CN) precipitation its yield strength increases by 25 ~ 93 MPa, tensile strength increases by 17 ~ 157 MPa, elongation increases from original 9% ~ 15% to 26.0% ~ 31.5%; and after natural ageing the brittlement zone in test steel disappears.

Material Index Steel 20MnSi, High Nitrogen, Vanadium, Ageing, Structure, Mechanical Properties

热轧带肋钢筋在自然放置一段时间后会强度有所降低、延伸率有所增高的应变时效现象^[1]。这就导致建筑构件质量下降, 成为安全隐患。

近年来受冶金资源等限制, 高氮钢的研究已成为国际冶金界研究的热点^[2]。高氮钢通过氮元素与其他合金元素交互作用^[3], 可以赋予该钢种许多有益的性能。但由于氮元素是比较强的时效元素^[4], 它在钢中以游离态的形式存在, 这就使得高氮 20MnSi 螺纹钢性能在自然时效后性能变化比较大。本文通过优化成分, 对不同钒含量下的高氮 20MnSi 进行时效研究, 并对时效后的试验钢进行细致分析。

1 试验材料与方法

本试验选用 FeV80 作为微合金化的添加剂, MnN、MnSiN 作为钢中增 N 合金, 利用 ZG-0.003A 型真空感应熔炼炉进行常压充氮冶炼, 采用 20 kg 坩埚熔炼, 调整功率为 5 kW 进行炉料预热, 然后缓慢升到 28 kW 进行熔炼, 冶炼的锭重为 10 kg。试验钢成分如表 1。

试验钢冶炼步骤: 去氧化铁皮→烘干→装料→

表 1 20MnSi 试验钢化学成分 /%

Table 1 Chemical composition of test steel 20MnSi /%

试验钢	C	Mn	Si	S	P	V	N
1#	0.22	1.49	0.54	0.011	0.011	0.014	0.042
2#	0.22	1.54	0.49	0.013	0.012	0.027	0.042
3#	0.22	1.66	0.58	0.013	0.012	0.039	0.040
4#	0.22	1.46	0.45	0.011	0.010	0.047	0.044

抽真空→充氮气至常压→钢料完全融化→由布料器加入氮化合金→电磁搅拌 5 ~ 10 min→待钢液平静→浇铸。将钢锭加热到 1 200 °C, 保温 1 h, 终锻温度保持 950 °C 左右, 锻造成 25 mm × 25 mm 方坯, 锻后空冷至室温。

对锻造后的钢样进行热处理, 在 897 °C 下保温 40 min, 随后将试样空冷至室温。并将试验钢自然放置 180 天进行时效试验, 并对自然时效前后的试验钢进行金相组织观察和力学性能拉伸试验, 随后利用 Quanta400 型扫描电镜对断口进行显微形貌分析。

2 试验结果与分析讨论

图 1(a₁, b₁, c₁, d₁) 为时效前的试验钢显微组织, 由图 1(a₁, b₁, c₁, d₁) 可见, 试验钢的显微组织主

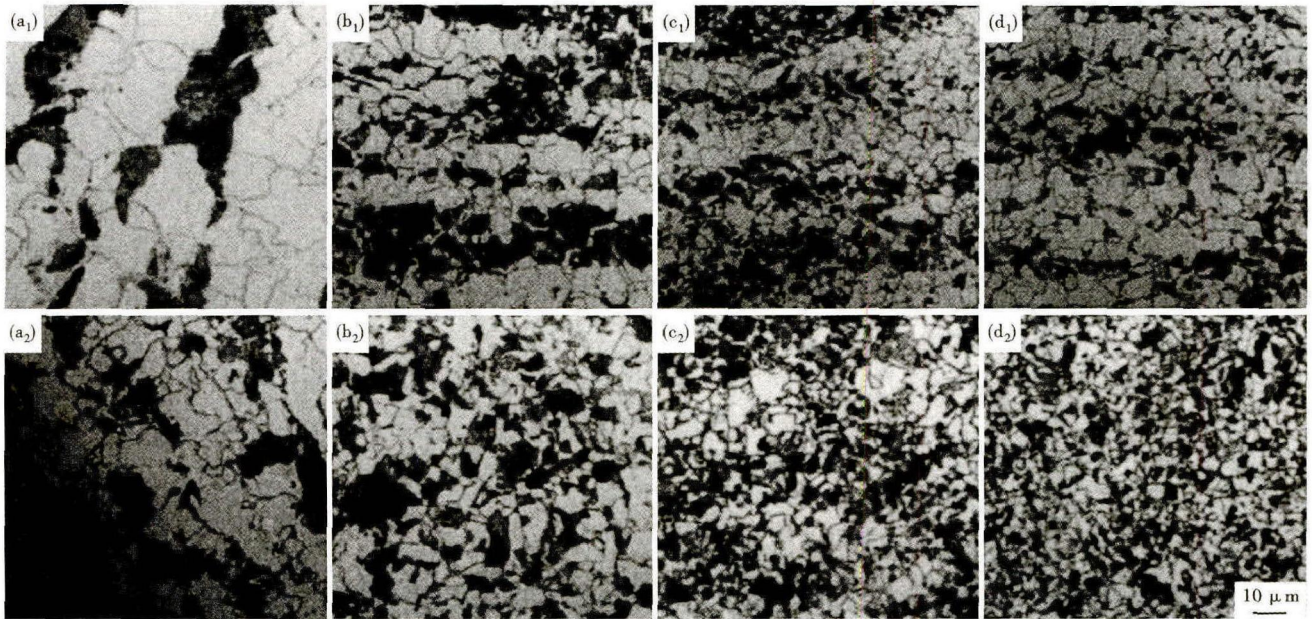


图 1 自然时效对试验钢 20MnSi 组织的影响:(a₁)(b₁)(c₁)(d₁)未时效;(a₂)(b₂)(c₂)(d₂)180 天自然时效,V 含量/%:(a₁)(a₂) 0.014;(b₁)(b₂)0.027;(c₁)(c₂)0.039;(d₁)(d₂)0.047

Fig. 1 Influence of natural ageing on structure of test steel 20MnSi: (a₁), (b₁), (c₁) and (d₁) non-ageing; (a₂), (b₂), (c₂) and (d₂) natural ageing for 180 days; V content /%: (a₁) (a₂) 0.014; (b₁) (b₂) 0.027; (c₁) (c₂) 0.039 and (d₁) (d₂) 0.047

要是铁素体和珠光体,并且可以看出在 1#~4# 试验钢中出现了带状组织,并利用 GB/T13299-1991 标准,对带状组织进行评级。除 1# 试验钢达到 1 级外,其余都达到了 5 级。这是由于在热变形过程中,加工温度过低,C、Mn、Si 元素很容易形成枝晶偏析^[5],从而出现了沿加工方向的带状组织,并且随着晶粒的减小,带状组织增多。在 1# 试验钢铁素体基体中,出现了游离的渗碳体,并评级达到 1 级,随着 V 的加入游离的渗碳体消失;并且 V 的加入使组织中珠光体聚集带变得不平直,甚至在周围铁素体附近有新的珠光体形成,大大缓解了带状组织对试验钢力学性能、切削加工性能和塑性成形的影响。而且 V 的加入使试验钢晶粒明显变小,1#~4# 试验钢的平均晶粒尺寸经 ippr 软件统计后分别为 14.6、8.9、4.3、5.1 μm,V 的加入会生成的 V(CN)析出相,这些析出相在晶界处聚集,从而阻碍了晶粒的长大。

图 1(a₂, b₂, c₂, d₂) 为时效后的试验钢组织图,由图 1(a₂, b₂, c₂, d₂) 可见,自然时效后,试验钢晶粒变细小。经 ippr 软件统计后,平均晶粒尺寸分别是 8.6、5.1、3.6、1.9 μm;在图 1(a₂, b₂, c₂, d₂) 中可以看出,试验钢带状组织基本消失不见,而且晶粒尺寸经自然时效后晶粒细化明显,而且组织变得更加均匀,但有大层片间距的珠光体生成。这是因为 C、N 元素在室温条件下都有扩散能力,由于冷却和枝晶

偏析造成的 C、N 元素过饱和,而处于不平衡状态。这就导致渗碳体形核会向着周围浓度低的铁素体形核,从而形成大层片状的珠光体。

表 2 为试验钢未时效和室温下自然时效 180 天后的拉伸性能的检验结果。未时效的 1# 和 2# 试验钢出现了脆断,这是由于高氮 20MnSi 螺纹钢中还有大量游离的 N 元素,从而导致试验钢脆性增加;尽管时效后还是发生了脆断,但抗拉强度分别增加了 157 MPa 和 143 MPa,伸长率也分别增加了 20.2% 和 22%。在 3# 和 4# 试验钢中屈服强度分别增加了 93 MPa 和 25 MPa,抗拉强度也分别增了 82 MPa 和 17 MPa。游离的 C、N 元素在自然时效过程中,会钉扎在位错、晶界处,从而导致时效后强度提高。同时试验钢也随着 V 含量的增加屈服

表 2 自然时效对试验钢 20MnSi 力学性能的影响
Table 2 Influence of natural ageing on mechanical properties of test steel 20MnSi

试验钢	工艺	R _{e1} /MPa	R _m /MPa	A/%	R _{e1} /R _m
1#	未时效	0	897	5	0
	时效后	0	1 047	25.2	0
2#	未时效	0	1 048	8	0
	时效后	0	1 191	30.0	0
3#	未时效	851	1 018	15	0.84
	时效后	944	1 100	26.0	0.85
4#	未时效	885	1 050	9	0.84
	时效后	910	1 067	31.5	0.85

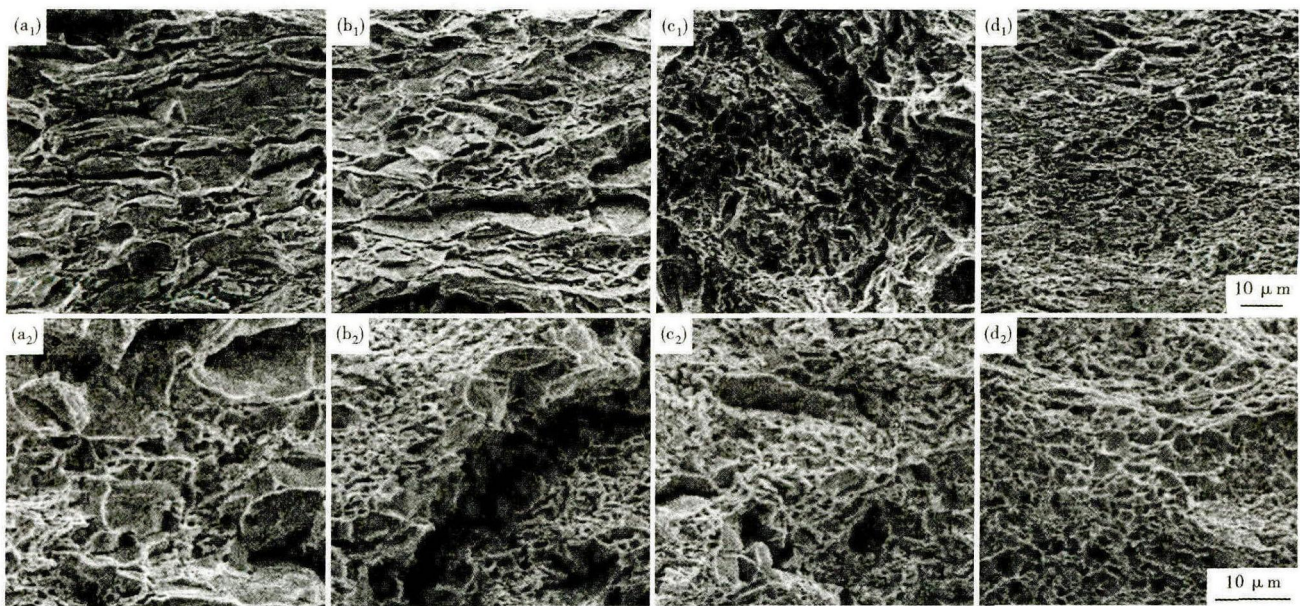


图2 自然时效对试验钢20MnSi拉伸断口形貌的影响:(a₁)(b₁)(c₁)(d₁)未时效;(a₂)(b₂)(c₂)(d₂)自然时效180天,V含量/%;(a₁)(a₂)0.014;(b₁)(b₂)0.027;(c₁)(c₂)0.039;(d₁)(d₂)0.047

Fig.2 Influence of natural ageing on tensile fracture morphology of test steel 20MnSi: (a₁), (b₁), (c₁) and (d₁) non-ageing; (a₂), (b₂), (c₂) and (d₂) natural ageing for 180 days; V content /%: (a₁) (a₂) 0.014; (b₁) (b₂) 0.027; (c₁) (c₂) 0.039 and (d₁) (d₂) 0.047

强度和抗拉强度也增加,这是由于生成的V(CN)析出相,造成了沉淀强化。但是从表2中可以看出,时效后的伸长率却并没有降低,这是由于时效前试验钢带状组织的存在会表现出各向异性^[6],从而在试验钢拉伸过程中,会出现应力集中等,导致伸长率过低。而且可以看出随着试验钢组织变均匀、带状组织消失,伸长率逐渐增大。

由图2(a₁, b₁, c₁, d₁)可见,试验钢断口形貌有大量舌状花样的脆性区,经ipp软件统计,1[#]~4[#]试验钢脆性区所占的比例分别为(%)97,65,23,5.6。脆性区随着V的加入逐渐减少,这是由于V固定了试验钢中游离的N元素,并随着V的加入引起试验钢脆断的N元素被V固定,并以V(CN)的形式析出。图2(a₂, b₂, c₂, d₂)为时效后的试验钢断口形貌,自然时效后1[#]~4[#]脆性区分别为(%)66,54,9,0。脆性区明显比未时效时减少,游离的N元素被V固定,减少了氮元素在位错和晶界处的偏聚,抑制了脆性区的形成。

3 结论

(1)自然时效后的高氮20MnSi螺纹钢,晶粒细化程度增加;带状组织消失,组织变均匀,试验钢塑韧性增加,脆性区减少。但珠光体周围的铁素体上析出了层片间距较大的渗碳体。

(2)V的加入降低了试验钢中游离的N元素,并以V(CN)的形式析出,导致自然时效后试验钢的屈服强度和抗拉强度增加,同时伸长率增加。

(3)实验结果表明在高氮20MnSi螺纹钢中,V的加入能很好的改善试验钢的组织 and 力学性能,并且自然时效后提高了试验钢的综合性能。

国家自然科学基金项目资助(51364031)

参考文献

- [1] 鲁统湘. 热轧带肋钢筋时效后拉伸性能变化的研究[J]. 江苏建材, 2008, 23(2): 27-29.
- [2] 季爱兵, 储少军, 马绍华, 等. 吹氮冶炼高氮钢的原理与实验[J]. 钢铁, 2007, 42(3): 22-29.
- [3] 陆利明, 壮云乾, 蒋国昌. 高氮钢的研究和发展[J]. 特殊钢, 1996, 17(3): 1-6.
- [4] 冯运莉, 齐长发. VN合金在HRB400钢筋生产中的应用[J]. 钢铁钒钛, 2002, 23(4): 27-30.
- [5] 王松林, 陈俊德, 赵成英. 消除钢管中带状组织的热处理[J]. 技术与装备, 2010, 31(4): 26-33.
- [6] 刘富军, 刘年富, 廖卫团. 带状组织对低碳微合金钢性能的影响及控制[J]. 南方金属, 2011, 2(1): 7-10.

杨吉春(1963-),男,博士(北京科技大学),教授,博士生导师,1984年包头钢铁学院(本科)毕业,冶金新工艺新技术研究。E-mail: yangjichun@163.com

收稿日期:2014-12-23