

沉淀硬化 FV520B 钢的低温性能研究

周倩青¹, 雍兴平², 李秀艳³, 翟玉春¹

1. 东北大学材料冶金学院, 沈阳 110004; 2. 沈阳鼓风机(集团)有限公司, 沈阳 110142;
3. 中国科学院金属研究所, 沈阳 110016

摘要:通过不同热处理和低温拉伸实验、XRD 和 SEM 等方法研究了不同时效处理后沉淀硬化马氏体不锈钢 FV520B 的低温力学性能。结果表明,在高温回火条件下, FV520B 钢具有良好的低温拉伸性能,冷却至液氮温度时仍保持与室温下相当的塑性,这与钢中存在的逆变奥氏体有关;低温下变形时,逆变奥氏体部分地转变为马氏体,提高了钢的塑性。不同逆变奥氏体含量的钢,在拉伸过程中转变的逆变奥氏体量也不同。

关键词:马氏体不锈钢, 拉伸性能, 逆变奥氏体, 低温

中图分类号: TG172.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6495(2009)03-0299-03

STUDY ON CRYOGENIC TENSILE PROPERTIES OF PRECIPITATION HARDENED FV520B STEEL

ZHOU Qian-qing¹, YONG Xing-ping², LI Xiu-yan³, ZHAI Yu-chun¹

1. School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004;
2. Shenyang Blower Works Group Co., Ltd, Shenyang 110142;
3. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016

Abstract: The cryogenic properties of a precipitation-hardened martensitic stainless steel, FV520B, after different heat treatments were studied by using X-ray diffraction, SEM and tensile testing. The results showed that the steel tempered at relatively high temperatures has pretty good low temperature tensile properties. The ductility of the steel at -196°C remained at the same level as that at room temperature, which is due to the existence of reverse austenite. Part of the reverse austenite transformed to martensite during deformation, which improved the ductility of the steel at low temperatures. The amounts of the transformed reverse austenite during the tensile deformation were different in the steel contained different amounts of reverse austenite.

Keywords: martensitic stainless steel; tensile properties; reverse austenite; cryogenic

FV520B 是英国 Firth-Vickers 材料研究室研究开发的一种沉淀硬化马氏体不锈钢,因其具有高强度、良好的冲击韧性,良好的耐蚀性能和焊接性能,被广泛应用于齿轮、轴、轮盘、叶片、转子、泵件等场合^[1,2]。由于该类钢的强度和塑性、韧性随热处理,尤其是时效处理工艺变化较大,可以通过时效处理工艺在较宽的范围内进行调整。

目前 FV520B 钢采用的热处理制度为淬火加时效的工艺方法。时效制度主要有两种,一种是在 $400\sim 470^{\circ}\text{C}$ (A_{c1} 以下)进行低温时效,得到(马氏体+弥散细小的富 Cu 强化相)组织^[3],获得 $1000\sim 1200\text{ MPa}$ 的较高强度,但此时钢中具有完全的马氏体组织和少量的强化相,韧性较低;另一种是在 $580\sim 650^{\circ}\text{C}$ (A_{c1} 以上)进行较高温度时效,这时由于

时效温度在 A_{c1} (约 580°C) 以上,组织中可以得到一定量的逆变奥氏体^[4]。

一般认为,在低碳马氏体钢中,逆变奥氏体一般分布在马氏体板条间或原奥氏体晶界处,具有很高的热稳定性和机械不稳定性^[5]。即逆变奥氏体在较低的温度下也不会转变为马氏体,而在变形过程中会转变为马氏体,从而提高了材料低温下的塑性和韧性^[6],但是具体的机制还缺乏研究。另外, FV520B 经不同的热处理后钢中的逆变奥氏体含量不同,其对该钢的性能有何影响也需要深入研究。

本文采用拉伸实验方法,研究了 FV520B 沉淀硬化马氏体钢的低温性能及逆变奥氏体含量的影响,期望对该钢的应用起到一定理论指导作用。

1 实验方法

实验用料取自进口的厚度为 15mm 的 FV520B 钢锻造板材,其化学成分为 (mass%): 13.4 Cr, 0.30 Nb, 1.50 Mo, 0.32 Si, 0.034 C, 0.006 S, 0.62 Mn, 5.42 Ni, 0.04 W, 0.04 V, 1.50

收稿日期: 2009-02-23 初稿; 2009-03-13 修改稿

作者简介: 周倩青 (1965 -), 女, 博士研究生, 工程师, 从事冶金物化研究。

Tel: 024 - 83687731 E-mail: zhai li4019@sina.com

Cu, 0.021 P. 从板材上切取 100 mm × 15 mm × 15 mm 的试块. 试块经 1050℃ 正火处理 1 小时/空冷后, 进行不同温度的时效处理: 600、630、700℃/1 小时/空冷.

热处理后的试样加工成为 Φ5 mm × 25 mm 的标准棒状拉伸试样, 在 CS-10 t 万能试验机上进行低温拉伸实验, 实验温度为: 室温、-50、-100、-140、-196℃. 试样拉伸前首先在实验温度下保温 30 min, 拉伸速率为 2 mm/min, 每个温度下拉伸三个试样取平均值. 在 HITACHI SN-3400 扫描电镜上观察试样断口形貌.

采用 XRD 测量时效后以及低温保温后的低温拉伸试样中的逆变奥氏体的相对含量. 保温试样从低温容器中取出后, 立即进行奥氏体含量的测定. 拉伸试样的逆变奥氏体含量在轻磨断口后露出的小平面上测定. 采用 Cu-Kα 辐射, 以 0.04° 步长在 40° ≤ 2θ ≤ 120° 范围内步进扫描. 奥氏体含量由以下公式进行计算:

$$V_{\gamma} + V_{\alpha} = 1 \quad (1)$$

$$V_{\gamma} = \frac{1.4I_{\gamma}}{I_{\alpha} + 1.4I_{\gamma}} \quad (2)$$

式中, V_{γ} 和 V_{α} 分别为奥氏体和马氏体的体积百分含量, I_{γ} 和 I_{α} 分别为 (111) 和 (110) 峰强.

2 结果与讨论

不同时效处理的 FV520B 钢在不同温度下的拉伸性能见表 1, 拉伸前后钢中的逆变奥氏体含量也示于其中. 由表 1 可见, 室温下 FV520B 钢具有良好的强度和塑性组合. 随着温度降低, 钢的强度升高, 塑性略有变化. 在液氮温度下,

Table 1 Tensile properties of FV520B steel versus temperatures and amounts of reverse austenite before and after tensile test

heat treatment ℃	tensile temperature ℃	γ% after aging	γ% before test	γ% after test	σ _b MPa	σ _{0.2} MPa	δ %	Ψ %
1050 + 600	room temperature	6			1058	975	18.6	63.7
	-50		7.8	1	1118	998	20.0	65.1
	-100		6.8		1178	1020	22.8	64.7
	-140		7.3		1268	1120	22.0	62.1
	-196		6.8	1	1464	1299	24.0	53.8
1050 + 630	RT	22			987	766	20.4	67.8
	-50		8.4	2.3	1079	782	22.0	64.8
	-100		7.7		1168	835	21.6	64.6
	-140		8.7		1272	905	20.8	61.0
	-196		7.7	1.3	1345	1027	19.6	59.3
1050 + 700	RT	2			1033	820	16.4	67.6
	-50		2.9	2.1	1170	978	16.4	67.2
	-100		3.1		1253	1037	16.0	63.6
	-140		3.3		1324	1109	18.0	62.4
	-196		3.6	1.6	1509	1288	18.4	57.6

FV520B 钢仍具有相当高的塑性. 不同时效处理后, 钢的性能差别不大. 随温度降低, 630℃ 时效处理的钢的延伸率和断面收缩率均略有降低, 而 600℃ 和 700℃ 时效处理的钢的断面收缩率略有降低, 延伸率却略有升高.

前期的研究结果表明^[7], FV520B 钢中的逆变奥氏体含量随温度的升高先升后降. 这是由于在 Ac1 以上, 随着时效温度升高, 高温下钢中形成的奥氏体含量增加. 但是在较高的温度下, 一方面由于形成的奥氏体含量较多, 一方面由于元素扩散加剧, 高温下 C、Ni 等奥氏体稳定化元素尤其是 Ni 元素向奥氏体的富集程度减弱, 形成的奥氏体中的 Ni 元素含量较低, 在冷却过程中 Ni 等奥氏体稳定化元素含量低的奥氏体又转变为马氏体. 因此较高温度下时效, 冷却后钢中的奥氏体含量反而比较少. 由表 1 可以看出, 600℃ 时效后 FV520B 钢中的逆变奥氏体含量较低, 仅为 6%; 630℃ 时效处理后钢中的逆变奥氏体高达 22%; 700℃ 处理后, 逆变奥氏体含量又降低, 低于 2%.

一般认为, 低碳马氏体钢的良好低温韧性与其中的逆变奥氏体在变形过程中转变为马氏体有关, 塑性与之类同. 这一点从 630℃ 时效处理后的试样可以看出, 在该温度下时效的钢中含有 22% 的逆变奥氏体. 低温下保温一段时间后, 钢中的逆变奥氏体含量有所降低, 这可能是由于部分逆变奥氏体在相应的低温下达到了马氏体转变温度, 保温过程中转变成了马氏体. 拉伸后, 钢中的逆变奥氏体含量进一步降低, 这种逆变奥氏体向马氏体的转变增加了钢在低温下的塑性. 不同温度拉伸后断口附近的逆变奥氏体含量的降低程度略有不同. 在 -196℃ 拉伸后, 断口附近的逆变奥氏体含量仅为 1.3% 左右.

但是在本文中, FV520B 钢经过 600℃ 时效处理后, 钢中的逆变奥氏体含量较少, 700℃ 时效处理后甚至不含有逆变奥氏体, 而该钢仍具有良好的低温性能. 这用一般的机制难以解释. 通过研究发现, 这是因为在低温下的不同温度保温后, 600℃ 和 700℃ 时效处理后的钢中的逆变奥氏体含量不降反升. 经过低温保温后, 630℃ 时效处理的钢中逆变奥氏体含量降低, 而 600℃ 和 700℃ 时效处理后的钢中发生了逆变奥氏体增多的现象. 这一结果尚未见有文献报道. 低温保温过程中形成的逆变奥氏体在拉伸变形过程中也会发生马氏体转变, 从而增加了钢在低温下的塑性. 低温处理前钢中原始的逆变奥氏体含量不同, 因此在低温保温过程中增加的奥氏体含量也不同, 进一步的机制正在研究中. 由于热处理和低温处理在钢中产生的逆变奥氏体中的碳含量不同, 塑性本身存在差别, 发生向马氏体转变的程度也不同, 综合在一起, 决定了钢的塑性.

不同时效处理后 FV520B 钢的拉伸断口形貌见图 1. 从图中可以看出, 在室温下拉伸, 不同时效处理的试样拉伸断口呈现塑性韧窝状形貌, 韧窝内有碳化物. 在低温下拉伸, 不同时效处理的试样基本呈现韧窝与沿马氏体板条解理混合的形貌.

3 结论

1. 在较高温度下时效处理后的 FV520B 钢具有良好的

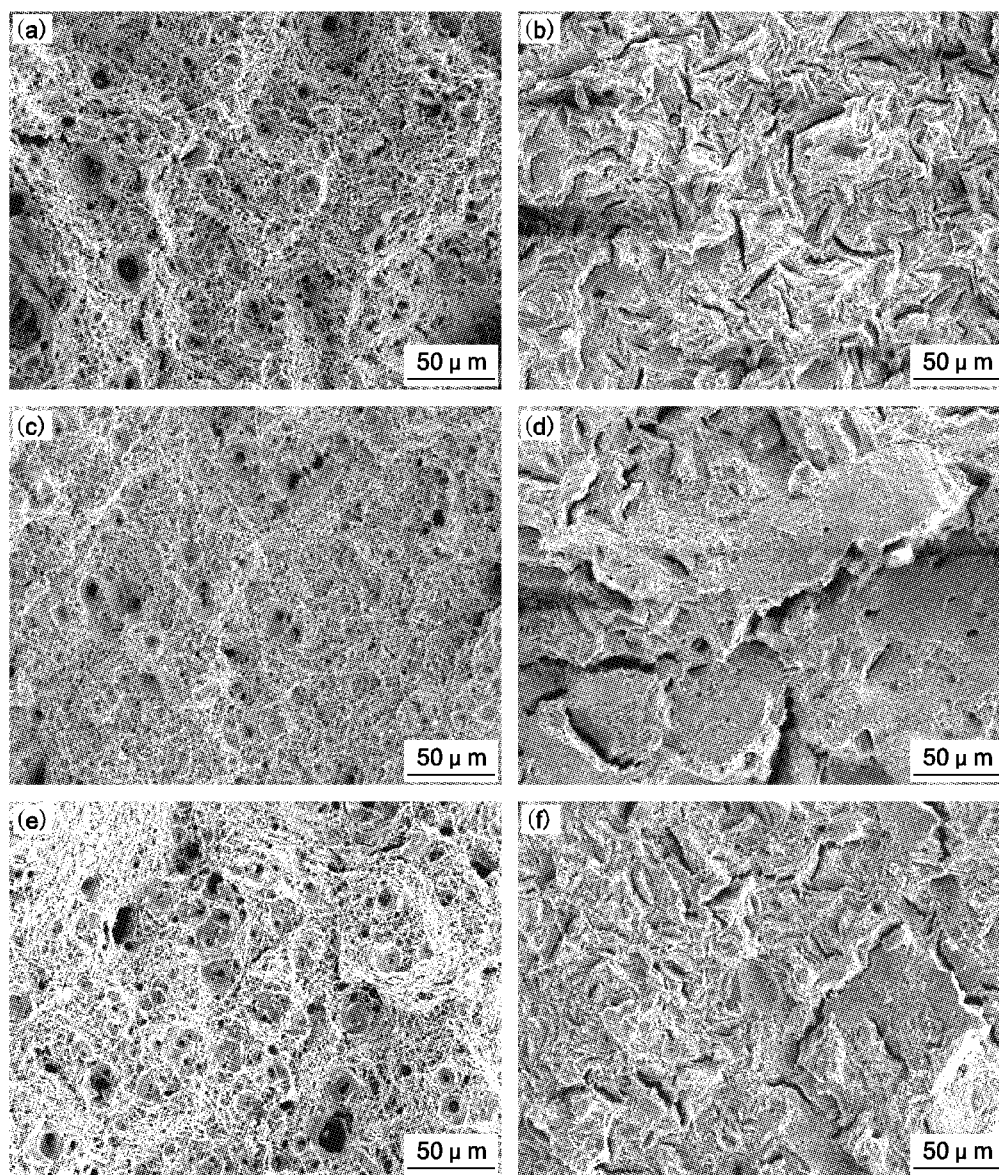


Fig.1 SEM photographs of fracture surfaces of FV520B steel aged at different temperatures: (a)600°C/1 h, tested at RT, (b)600°C/1 h, tested at -196°C , (c)630°C/1 h, tested at RT, (d)630°C/1 h, tested at -196°C , (e)700°C/1 h, tested at RT and (f)700°C/1 h, tested at -196°C

低温力学性能.

2. 钢中的逆变奥氏体在变形过程中部分地转变为马氏体,保证钢在低温下仍具有良好的塑性.

参考文献:

- [1]李荣鹏. 铸造马氏体沉淀硬化不锈钢叶轮材料及工艺的研究[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2006. 5.
- [2]刘晓禹,于丽萍. 热处理对马氏体不锈钢 FV520B 的组织 and 力学性能的影响[J]. 一重技术,2005,4:27.
- [3]牛靖,董俊明,薛锦,等. 高韧性不锈钢 FV520(B) 的析出硬化行为研究[J]. 铸造技术,2006,27(9):921.
- [4]Habibi Bajguirani H R. The effect of ageing upon the microstructure and mechanical properties of type 15-5PH stainless steel [J]. Materials Science and Engineering A,2002,338:142.
- [5]Kobayashi T, Tachibana H, Ueda Y. Effect of Nickel on Strengthening and Toughening of 13% Cr Cast Stainless Steel by Quenching from ($\alpha + \gamma$) Temperature Range [J]. Tetsu-to-Hagane,1982,68:1054.
- [6]Sastry C N. Mechanical Stability of Retained Austenite in Quenched and Tempered AISI-4340 Steel [J]. Metall Trans A, 1982,13:676.
- [7]周倩青,雍兴平,翟玉春. 时效处理对 FV520B 马氏体时效钢的氢脆敏感性的影响[J]. 腐蚀科学与防护技术,2008,20(6):416.