

# 时效处理对 Fv520(B) 钢 抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀性能的影响

萧福仁 乔桂英 谭朝鑫

(燕山大学 秦皇岛 066004) (沈阳鼓风机厂)

**摘要** 采用 X 射线衍射、TEM、SEM 等研究了时效温度对 Fv520(B) 钢组织、力学性能及抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀性能的影响。结果表明：在 470~620°C 时效温度范围内，随温度升高，该钢的强度下降，残余奥氏体含量增加，抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀能力增强。该钢抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀性能与时效相形态、马氏体基体回火程度及残余奥氏体数量有关。

**关键词** Fv520(B) 钢，时效，应力腐蚀

## 1 前言

随着石油、化工、能源工业的发展，钢在 H<sub>2</sub>S 介质中腐蚀破裂的现象越来越引起人们的重视<sup>[1]</sup>。Fv520(B) 钢作为一种优良的马氏体时效硬化不锈钢，具有较高的强度、较好的加工性，广泛地应用于石油、化工等工业生产中。研究该钢的应力腐蚀性能显得十分必要。目前，关于该钢的研究报道很少。本工作采用 H<sub>2</sub>S 介质对该钢不同时效温度条件下的抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀性能进行了初步研究。

## 2 试验过程

试验用 Fv520(B) 钢的化学成分 (wt%) 为：0.05C, 0.40Si, 0.80Mn, 14.50Cr, 5.50Ni, 1.80Cu, 1.70Mo, 0.35Nb, 0.007P, 0.006S。试样经 1050°C/1h 空冷固溶处理，850°C/2h 空冷中间调整处理后在 430°C~650°C 温度内时效 2~4h 空冷。采用金相、X 射线衍射、TEM 分析等技术，对不同时效处理后的组织进行分析。

应力腐蚀试验在国产 P-1500 型应力腐蚀试验机上进行，采用恒载荷拉伸试验法，对不同工艺条件下 (470°C、560°C、620°C 时效) 的试样分别测定在不同负荷下的断裂时间。试验溶液为：5%NaCl+0.5%HAc+ 饱和 H<sub>2</sub>S 水溶液。pH 值控制在 3~3.5，并定时通入 H<sub>2</sub>S 气体，以保证溶液始终为 H<sub>2</sub>S 饱和。采用 SEM 对应力腐蚀断口形貌进行观察。

### 3 试验结果及分析

#### 3.1 机械性能与抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀性能

Fv520(B) 钢经不同温度时效后的机械性能如图 1a 所示。可见在 470°C 时达到最大的时效硬化效果, 其  $\sigma_b$  达到 1180MPa 以上。随着时效温度升高, 发生过时效现象, 强度下降, 塑性增大。在 620°C 强度降到最低值。当时效温度超过 620°C 时, 强度又有所回升。

图 1b 为该钢经过 470°C、560°C、620°C 时效后, 在 H<sub>2</sub>S 介质中的应力腐蚀性能。可见该钢在 470°C 时效时抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀能力最低, 随着时效温度升高, 抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀能力升高。

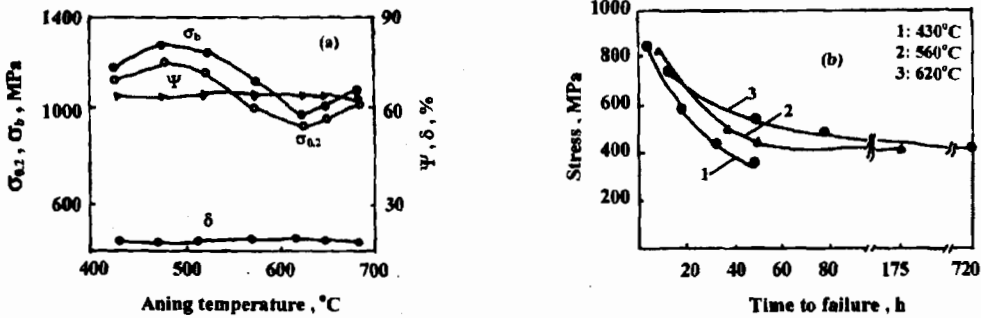


Fig.1 Effect of aging temperature on mechanical properties (a) and stress corrosion resistance in H<sub>2</sub>S (b) for Fv520(B) steel

#### 3.2 断口分析

图 2 为不同时效温度下应力腐蚀断裂后断口 SEM 照片, 分析断口边缘可见, 在本试验中所有的时效条件下都存在应力腐蚀现象, 断口为穿晶准解理型, 同时存在大量二次裂纹, 参照文献 [4], 可看出为氢脆特征。这与传统理论相一致 [1~4], 即在 H<sub>2</sub>S 介质中所产生的应力破裂机制主要为氢致开裂。随着时效温度的升高, 断口中二次裂纹减少, 表明抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀能力提高。在断口心部出现部分韧窝, 但对于低温时效的试样, 断口心部还有裂纹存在。随着温度的进一步升高, 韧窝有变大变深的趋势。而最后断裂区主要与材料本身的性能有关, 断口形貌的这种变化表明材料塑性随温度升高而增加。



Fig.2 Fracture micromorphology of stress corrosion in H<sub>2</sub>S medium of Fv520(B) steel aged at 470°C

#### 3.3 组织分析

Fv520(B) 钢经 1050°C/1h 空冷后的为典型的低碳马氏体组织, 金相观察未发现  $\delta$  铁素体。X 射线分析残余奥氏体量为 8.6%。再经 850°C/2h 空冷中间调整处理后, 组织为细小的板条马氏体组织。TEM 分析有少量碳化物析出, 碳化物种类主要为 NbC、M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> 型碳化物, 此时的残余奥氏体量为 4.1%。

在时效过程中组织变化主要为时效硬化相的析出、马氏体基体回火、逆变奥氏体的生成等。TEM 分析表明在 470°C 时效时, 已明显看到有  $M_{23}C_6$  相析出(图 3a), 同时在位错处还存在其它析出相(图 3b), 只因析出相十分细小, 无法通过电子衍射确定其具体结构。对照性能测试结果, 此时达到最大时效硬化效果, 表明时效相已大量析出, 其尺寸较小, 且与基体保持共格关系, 因而具有最大的硬化效果。在 520°C 时效时, 时效相开始长大; 在 560°C 时效时, 时效相已开始脱溶(图 3c)。对已经长大的时效相经 TEM 分析, 证实主要为  $\epsilon$ -Cu 相、NbC、 $Mo_2C$  和  $M_{23}C_6$  等<sup>[5]</sup>, 同时基体开始回复再结晶; 在 620°C 时效时, 时效相已完全脱溶, 但尺寸仍十分细小, 仍具有一定强化效果, 基体也已完全再结晶。TEM 分析还发现在 520°C 以上时效时, 奥氏体量增多, 这表明时效过程中伴随着有逆转变奥氏体生成的过程。逆转变奥氏体主要在马氏体板条界及原奥氏体晶界上形成(图 3d)。由于逆转变奥氏体是由马氏体通过切变机制所形成的, 保持了原马氏体的成分, 因此其稳定性极高, 在随后的冷却过程中不发生转变, 以残余奥氏体的形式保留下来, 导致室温残余奥氏体数量增多。X 射线定量分析结果表明在 520°C 以上时效时, 随时效温度升高残余奥氏体量增加(图 4)。在 620°C 时, 达到极大值。

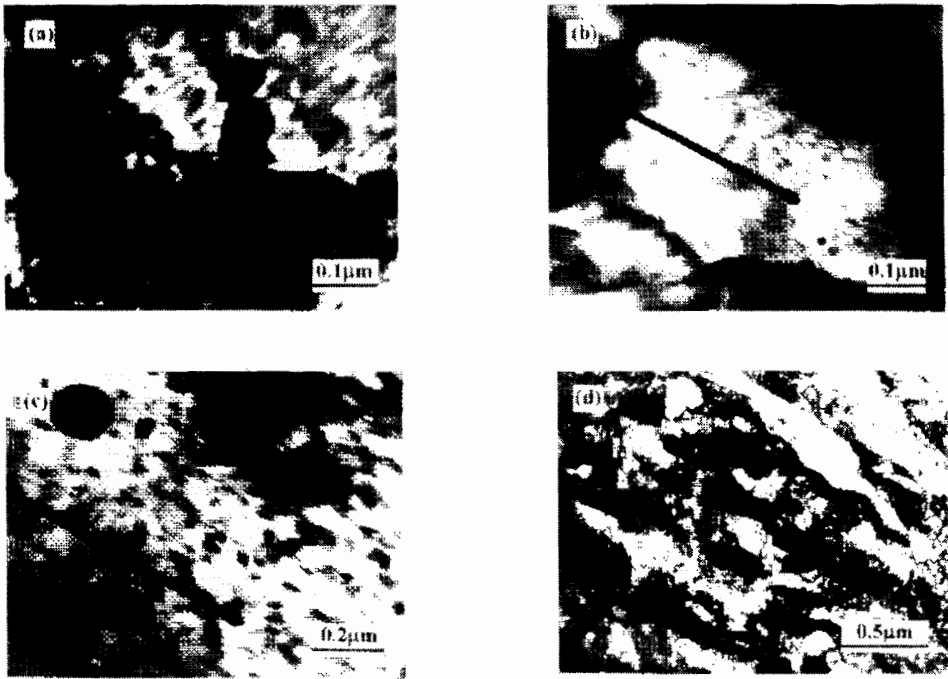


Fig.3 TEM micrographs of Fv520(b) steel aged at different temperatures (a) 470°C  $M_{23}C_6$ , (b) 470°C precipitation at dislocations, (c) 560°C aging phases, (d) 620°C remaining austenites

## 4 讨论

目前认为钢在  $H_2S$  介质中应力破裂机制主要为氢损伤<sup>[1~4]</sup>。从 Fv520(B) 钢应力腐蚀断口分析中, 可以看到明显的氢致脆化损伤的现象, 说明该钢在  $H_2S$  介质中的应力开裂为氢致延迟开裂。 $H_2S$  作为一种渗氢介质提供了氢的来源, 而且还起着毒化剂的作用<sup>[1,3,4]</sup>, 阻碍氢原子结合成氢分子的反应, 提高表面氢浓度, 加速了氢向钢中的扩散溶解过程, 从而破坏材料内在的连续性。钢中存在大量的氢, 且具有较大的可迁移、富集倾向, 必然会导致损伤

现象的发生。因此, 一切能加速氢扩散聚集的因素, 都能加速钢在 H<sub>2</sub>S 介质中腐蚀开裂。

Fv520(B) 钢经 470°C 时效后的组织为回火马氏体 + 与基体共格的时效相 + 少量残余奥氏体。此时的马氏体未完全回火, 存在较大的畸变及高位错密度, 时效析出相较小, 且与基体保持共格关系, 存在较大共格畸变, 此时钢的  $\sigma_s$  特别高, 极易引起氢致损伤<sup>[3]</sup>, 因此抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀性能最低。随时效温度的升高, 马氏体基体开始回复再结晶, 时效相也开始脱

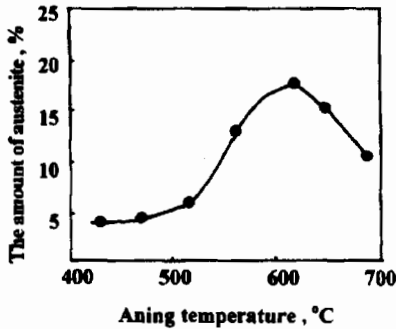


Fig.4 Dependence of the amount of austenite on aging temperature

溶, 同时有逆变奥氏体生成, 使室温残余奥氏体量增加(图4)。何建宏等<sup>[6]</sup>在 22Cr-5Ni-3Mo 双相不锈钢研究中发现奥氏体含量小于 37% 时, 氢脆敏感性随奥氏体含量增加而减小。并且氢致裂纹极易沿低温转变反常组织(马氏体或贝氏体)传播<sup>[7]</sup>。因此马氏体板条界及原奥氏体晶界的残余奥氏体(图 3d), 能减小氢致裂纹扩展速率, 使抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀能力提高。620°C 时效时, 马氏体已完全回火, 残余奥氏体量最大, 因此, 抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀能力最好。

## 5 结论

1) Fv520(B) 钢在 470°C 时效时, 强度达到极大值, 随着温度继续升高强度下降, 在 620°C 时达到最低值。该钢抗 H<sub>2</sub>S 腐蚀性能在 470°C 时最低, 在 620°C 时最好。

2) Fv520(B) 钢在时效过程中, 有逆变奥氏体生成, 导致残余奥氏体量增多, 在 620°C 达到极大值。

3) Fv520(B) 钢抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀性能随时效温度升高而升高是由于马氏体基体的回火、时效相析出长大、残余奥氏体的增多共同作用的结果。

4) Fv520(B) 钢经 1050°C 固溶处理 + 850°C 中间调整处理 + 560°C 时效处理, 可得到最佳的力学性能和抗 H<sub>2</sub>S 应力腐蚀性能的配合。

致谢 感谢沈阳金属所余百年老师在应力腐蚀性能试验及结果分析上的帮助。

## 参 考 文 献

- 1 余百年. 钢的 H<sub>2</sub>S 腐蚀及研究方向, 中国科学院金属研究所, 1981. 金情 81-222
- 2 陈世英, 张德康. 不锈钢应力腐蚀破裂, 北京: 科学出版社, 1997. 190
- 3 萧纪美. 不锈钢的金属学问题, 北京: 冶金工业出版社, 1983. 407
- 4 褚武扬. 氢损伤和滞后断裂, 北京: 冶金工业出版社, 1988. 10
- 5 乔桂英, 萧福仁, 谭朝鑫. 时效温度对 Fv520(B) 钢组织及力学性能的影响, 钢铁, (待发表)
- 6 何建宏等. 金属学报, 1989, 25(1); A37
- 7 Miyoshi E, et al. Trans. ASME, Series B, 1976, 78(4): 1221

## INFLUNCE OF AGING TREATMENT ON STRESS CORROSION RESISTANCE OF Fv520(B) STEEL IN H<sub>2</sub>S MEDIUM

XIAO Fu-ren    QIAO Gui-ying

TAN Chao-xin

(*Yanshan University, Qinhuangdao 066004*)

(*Blower Factory of Shenyang*)

### ABSTRACT

The effects of aging temperature on microstructure, mechanical properties and stress corrosion resistance in H<sub>2</sub>S medium of Fv520(B) steel (0.05C, 14.5Cr, 5.5Ni, 1.8Cu, 1.70Mo, 0.35Nb) have been studied by X-ray diffraction, TEM and SEM. The results show that the strength decreases with the increasing aging temperature in the rang of 470-620 °C. The amount of austenite and the stress corrosion resistance increases with the increasing aging temperature, and reaches the highest level at 620°C. Aging phases begin to precipitate at 470 °C, and grow with the increase of the aging temperature. The stress corrosion resistance is related to the shape of aging phases, tempering level of martensite and the amount of remaining austenite. The best mechanical properties and stress corrosion resistance can be obtained by aging at 560°C.

**KEY WORDS** Fv520(B) steel, Aging, Stress corrosion