

# 时效温度对马氏体沉淀硬化不锈钢 0Cr15Ni5WMoVNb 力学性能的影响

郭燕飞<sup>1,2</sup> 杨卓越<sup>2</sup> 丁雅莉<sup>2</sup> 刘志勇<sup>1</sup> 陈嘉砚<sup>2</sup>

(1 郑州大学物理工程学院材料物理教育部重点实验室, 郑州 450052; 2 钢铁研究总院结构材料研究所, 北京 100081)

**摘要** 0Cr15Ni5WMoVNb 钢( % : 0.068C, 14.54Cr, 5.32Ni, 0.88W, 0.92Mo, 0.20V, 0.10Nb) 经 5 t 中频感应炉 + 2 t 真空电渣重熔炉冶炼, 经锻造、热轧成  $\Phi 45$  mm 棒材, 试样经 1 000  $^{\circ}\text{C}$  30 min 固溶空冷 +  $-70^{\circ}\text{C}$  2 h 冷处理后进行 400 ~ 600  $^{\circ}\text{C}$  4 h 时效空冷。试验结果表明, 在 450  $^{\circ}\text{C}$  时效 0Cr15Ni5WMoVNb 钢的强度最大, 以准解理断裂为主, 冲击功低为 40 J, 随时效温度上升, 冲击功显著上升, 强度下降, 在 510  $^{\circ}\text{C}$  时效该钢有良好的强韧性, 抗拉强度  $R_m$  1 300 MPa, 屈服强度  $R_{p0.2}$  1 100 MPa, 冲击能  $A_{KV}$  100 J。

**关键词** 沉淀硬化不锈钢 0Cr15Ni5WMoVNb 时效温度 强度 冲击韧性

## Effect of Aging Temperature on Mechanical Properties of Martensite Precipitation Hardening Stainless Steel 0Cr15Ni5WMoVNb

Guo yanfei<sup>1,2</sup>, Yang Zhouyue<sup>2</sup>, Ding Yali<sup>2</sup>, Liu Zhiyong<sup>1</sup> and Chen Jiayan<sup>2</sup>

(1 Key Lab of Materials Physics, Ministry of Education, School of Physical Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052; 2 Institute for Structure Materials, Iron & Steel Research Institute, Beijing 100081)

**Abstract** The studied steel 0Cr15Ni5WMoVNb ( % : 0.068C, 14.54Cr, 5.32Ni, 0.88W, 0.92Mo, 0.20V, 0.10Nb) is melted by 5 t medium frequency induction furnace + 2 t vacuum electro-slag remelting furnace, then forged and hot rolled to  $\Phi 45$  mm bar products, and the test specimens solid-solution-treated at 1 000  $^{\circ}\text{C}$  for 30 min + cold-treated at  $-70^{\circ}\text{C}$  for 2 h are aged at 400 ~ 600  $^{\circ}\text{C}$  for 4 h. Test results show that with aging at 450  $^{\circ}\text{C}$ , the strength of steel 0Cr15Ni5WMoVNb is up to maximum value with main quasi-cleavage fracture and low impact energy- 40 J, with increasing aging temperature the impact energy of steel increases obviously and strength decreases, and with aging at 510  $^{\circ}\text{C}$  the steel has excellent strength-toughness i. e. tensile strength  $R_m$  1 300 MPa, yield strength  $R_{p0.2}$  1 100 MPa and impact energy  $A_{KV}$  100 J.

**Material Index** Precipitation-Hardening Stainless Steel, 0Cr15Ni5WMoVNb, Aging Temperature, Strength, Impact Toughness

马氏体沉淀硬化不锈钢以高的强韧性和耐蚀性引起了材料研究者的关注, 除了研究强韧化机制外<sup>[1,2]</sup>, 还针对不同使用要求开发出很多马氏体沉淀硬化不锈钢品种, 0Cr15Ni5WMoVNb 马氏体沉淀硬化不锈钢就是其中之一。

### 1 实验材料和过程

0Cr15Ni5WMoVNb 钢(表 1)用 5 t 中频感应炉 + 2 t 真空电渣重熔炉冶炼工艺冶炼, 随后经过锻造、热轧制成  $\Phi 45$  mm 棒材。用 Formast-D 热膨胀相变仪测定其相变点分别为  $A_s$  630  $^{\circ}\text{C}$ 、 $A_f$  735  $^{\circ}\text{C}$ 、 $M_s$  80  $^{\circ}\text{C}$ 。试样经 1 000  $^{\circ}\text{C}$  30 min 固溶空冷、 $-70^{\circ}\text{C}$  2 h 冷处理后, 将试样分组分别进行 400 ~ 600  $^{\circ}\text{C}$  4 h 时效, 空冷。用 PHILIPS APD-10X 射线衍射仪测定不同温度时效试样

的相组成, 并根据衍射峰的强度计算残余/逆转变奥氏体体积分数。

### 2 实验结果与分析

由图 1 可见, 抗拉强度( $R_m$ )和屈服强度( $R_{p0.2}$ )在 450  $^{\circ}\text{C}$  出现时效峰(图 1)。时效温度超过 450  $^{\circ}\text{C}$  抗拉强度明显下降; 但 450 ~ 540  $^{\circ}\text{C}$  时效屈服强度仅略有下降, 即钢的形变强化能力下降、屈强比( $R_{p0.2}/R_m$ )上升, 540  $^{\circ}\text{C}$  时效屈强比上升到最高值(0.94), 时效温度超过 540  $^{\circ}\text{C}$  以后屈服强度下降更快一些, 屈强比也在下降, 这些变化规律与微观组织随时效温度的演化有关, 时效峰的出现与  $M_2C$  析出弥散强

表 1 实验用钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test steel / %

C	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Nb	W	Al	Si	Mn	P	S
0.068	14.54	5.32	0.92	0.2	0.11	0.10	0.88	0.044	0.29	0.40	0.013	0.001 5

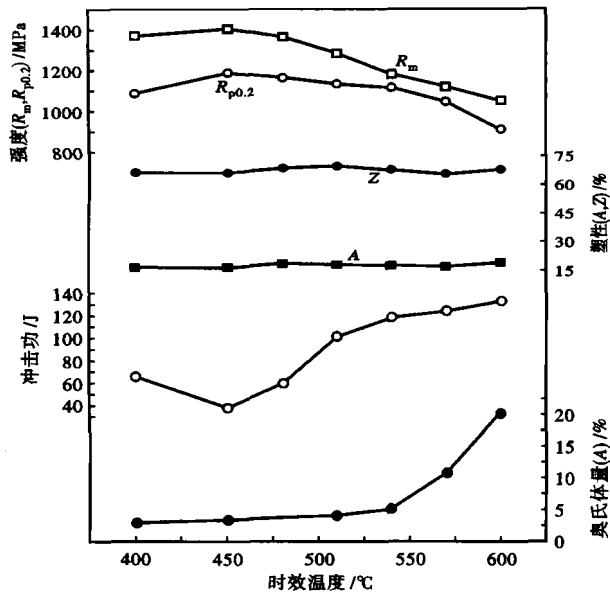


图1 时效温度对0Cr15Ni5WMoVNb钢力学性能和奥氏体含量的影响

Fig. 1 Effect of aging temperature on mechanical properties and volume fraction of austenite of steel 0Cr15Ni5WMoVNb

化有关<sup>[3,4]</sup>,过时效后抗拉、屈服强度下降与弥散析出相聚集、长大、马氏体基体的回复有关,而540℃以上屈服强度快速下降与逆转变奥氏体的形成有关,X射线衍射证明510℃开始奥氏体体积分数明显增加,说明开始发生马氏体向奥氏体逆转变(图1),随时效温度上升通过逆转变形成的奥氏体快速增加,致使屈服强度下降。

400~480℃时效冲击韧性很低(图1),450℃时效出现冲击韧性的最低值,时效温度超过450℃以后冲击韧性上升,尤其是时效温度从480℃提高到510℃,冲击韧性上升非常显著,超过510℃后冲击韧性反而缓慢上升。冲击试样断口观察表明(图2),V型缺口根部裂纹形成区尺度对时效温度不敏感,但裂纹扩展区形貌存在较大的差异,450℃时效的试样以准解理断裂为主,480℃时效的试样裂纹扩展区出现明显的塑性变形撕裂带,510℃以上时效的试样以韧性断裂为主,这与冲击韧性的测试结果是一致的。

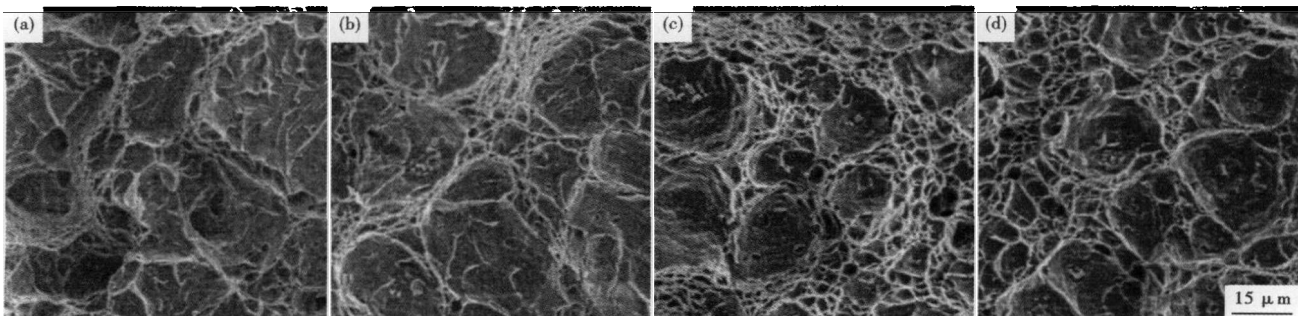


图2 450℃(a),480℃(b),510℃(c),540℃(d)时效时0Cr15Ni5WMoVNb钢裂纹扩展区的形貌,SEM

Fig. 2 Morphology of fracture crack propagation region of steel 0Cr15Ni5WMoVNb aged at 450℃(a), 480℃(b), 510℃(c), and 540℃(d), SEM

### 3 结论

(1)经固溶处理后0Cr15Ni5WMoVNb钢在450℃附近出现时效峰,超过450℃时效屈服强度缓慢下降,但抗拉强度快速下降,以致于在540℃时效出现最高的屈强比,超过540℃时效出现较多的逆转变奥氏体使强度急速下降。

(2)480℃以下时效发生准解理为主的断裂,冲击韧性很低,时效温度从480℃提高到510℃冲击韧性显著上升,但强度下降较小,为追求强韧性配合、保证材料的可靠性,建议在510℃附近时效后使用。

### 参考文献

- 1 Guo Z, Sha W, Vaumousse D. Microstructural Evolution in a PH13-8 Stainless Steel After Ageing. *Acta Materialia*, 2003, 51:101
- 2 Mats Hattestrand, Jan-Nilssona, Krystyna Stiller, et al. Precipitation Hardening in a 12% Cr-9% Ni-4% Mo-2% Cu Stainless Steel. *Acta Materialia*, 2004, 52:1023
- 3 Dawood M A, Mahallawi I S El, Abd El Azim M E, et al. Thermal Aging of 16Cr-5Ni-1Mo Stainless Steel Part 1-Microstructural Analysis. *Materials Science and Technology*, 2004, 20:363
- 4 Dawood M A, Mahallawi I S El, Abd El Azim M E, et al. Thermal Aging of 16Cr-5Ni-1Mo Stainless Steel Part 2-Mechanical Property Characterization. *Materials Science and Technology*, 2004, 20:370

郭燕飞(1983-),男,硕士生,马氏体沉淀硬化不锈钢研究。

收稿日期:2010-02-25