

时效处理对 15-5PH 沉淀硬化马氏体不锈钢组织和力学性能的影响

裴海祥^{1,2} 王西涛¹ 王立新² 邢丽娜²

(1 北京科技大学新金属材料国家重点实验室,北京 100083; 2 太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003)

摘要 研究了1 000 ℃和1 040 ℃ 30 min 水冷固溶 480 ~ 620 ℃ 4 h 时效对 15-5PH 钢(成分:0.065C,0.46Si,0.58Mn,0.022P,0.004S,14.77Cr,5.19Ni,2.91Cu,0.22Nb)组织和力学性能的影响。结果表明,该钢在 480 ℃ 4 h 时效后,开始析出富铜相和碳化物Nb(C,N),随时效温度升高,部分析出相长大;550 ℃时效 15-5PH 钢具有最佳综合力学性能:屈服强度 $R_{p0.2}$ 530 ~ 625 MPa,抗拉强度 R_m 1 050 ~ 1 070 MPa,冲击功值 a_{kv} 113 ~ 115 J/cm²。

关键词 15-5PH 沉淀硬化马氏体不锈钢 时效 力学性能

Effect of Ageing Treatment on Structure and Mechanical Properties of Precipitation-Hardening Martensite Stainless Steel 15-5PH

Pei Haixiang^{1,2}, Wang Xitao¹, Wang Lixin² and Xing Lina²

(1 State Key Laboratory for Advanced Metals and Materials, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Technology Center, Stainless Steel, Co Ltd, Taiyuan Iron and Steel Co, Taiyuan 030003)

Abstract Effect of ageing treatment at 480 ~ 620 ℃ for 4 h on structure and mechanical properties of steel 15-5PH (composition:0.065C, 0.46Si, 0.58Mn, 0.022P,0.004S, 14.77Cr, 5.19Ni, 2.91Cu, 0.22Nb) solid-solution-treated at 1 000 ℃ and 1 040 ℃ for 30 min water cooling has been studied. Results show that with ageing at 480 ℃ for 4 h, the copper-rich phases and carbide Nb(C, N) begin to precipitate, and with increasing ageing temperature, partial precipitates coarsen; with ageing at 550 ℃ the steel 15-5PH has optimum comprehensive mechanical properties i. e. yield strength $R_{p0.2}$ 530 ~ 625 MPa, tensile strength R_m 1 050 ~ 1 070 MPa and impact energy value a_{kv} 113 ~ 115 J/cm².

Material Index Precipitation-Hardening Martensite Stainless Steel 15-5PH, Ageing, Mechanical Properties

对 15-5PH 钢已有研究^[1-6],本文较为系统地研究了在不同温度时效时 15-5PH 钢的力学性能及微观组织变化,并对两者之间的联系做了分析。

1 试验方法

在实验室经 400 kg 非真空感应炉→电渣炉成 Φ 260 mm 铸锭→1 000 ℃锻造成 150 mm × 150 mm 的锻件。15-5PH 钢的成分为(成分):0.065C、0.46Si、0.58Mn、0.022P、0.004S、14.77Cr、5.19Ni、2.91Cu、0.22Nb。

对 1 000 ~ 1 040 ℃ 水冷,480 ~ 620 ℃ 4 h 空冷的锻件进行拉伸强度、冲击功等力学性能测试。用 JEOL-2100 透射电镜对热处理后的试样进行微观组织观察。

2 试验结果

2.1 力学性能

从表 1 可见,两种固溶温度在不同温度时效后的屈服强度和抗拉强度性能变化趋势相同,在 480 ℃时达到最高值,之后不断下降;韧性则在 550 ℃时达到一个较高的值。

2.2 透射电镜组织观察

表 1 时效温度对 15-5PH 钢力学性能的影响

Table 1 Effect of ageing temperature on mechanical properties of steel 15-5PH

固溶温度/ ℃	时效温度/ ℃	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	冲击功值 a_{kv} / (J · cm ⁻²)
1 000	-	395	910	99
	480	730	1 160	86
	550	625	1 050	113
	620	450	1 020	115
1 040	-	405	920	96
	480	640	1 150	88
	550	530	1 070	115
	620	470	1 000	118

从图 1 可见,经 620 ℃ 4 h 时效后位错密度有所降低。两个马氏体板条间的衍射图,标定结果表明,马氏体板条间晶带轴满足 $[001] // [\bar{1}11]$ 。

2.3 透射电镜析出相观察

所有试样(包括固溶处理试样,见图 2)均发现 Nb(C,N)的析出相,大多含有少量的 Ti,尺寸大多在 100 nm 以上。

在 1 000 ℃ 固溶试样上未发现铜的析出相,在 1 000 ℃ 固溶 + 480 ℃ 时效 4 h 上发现了大量铜的析出相(图 3a₁, b₁, c₁),尺寸在 10 ~ 20 nm,形态多为鱼骨状。1 000 ℃ 固溶 + 550 ℃ 时效 4 h 和 1 000 ℃

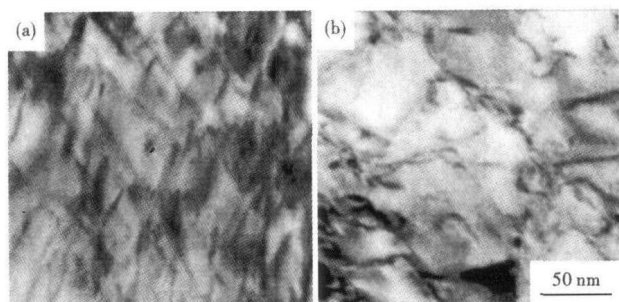


图 1 1000 °C 水冷(a)和1000 °C 水冷 + 620 °C 时效(b)的 15-5PH 钢马氏体组织形貌

Fig. 1 Morphology of martensite of steel 15-5PH water-quenched at 1000 °C (a) and water-quenched at 1000 °C + aged at 620 °C (b)

固溶 + 620 °C 时效 4 h 也发现了大尺寸铜的析出相。在 1000 °C 固溶的试样上未发现碳化物的析出，

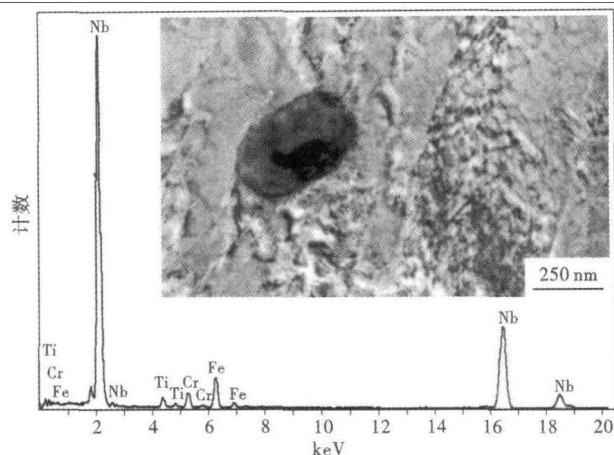


图 2 1000 °C 水冷 15-5PH 钢中的 Nb(C,N) 析出相的形貌和能谱图

Fig. 2 Morphology of precipitated Nb(C,N) particle in steel 15-5PH water-quenched at 1000 °C and energy dispersive spectrum

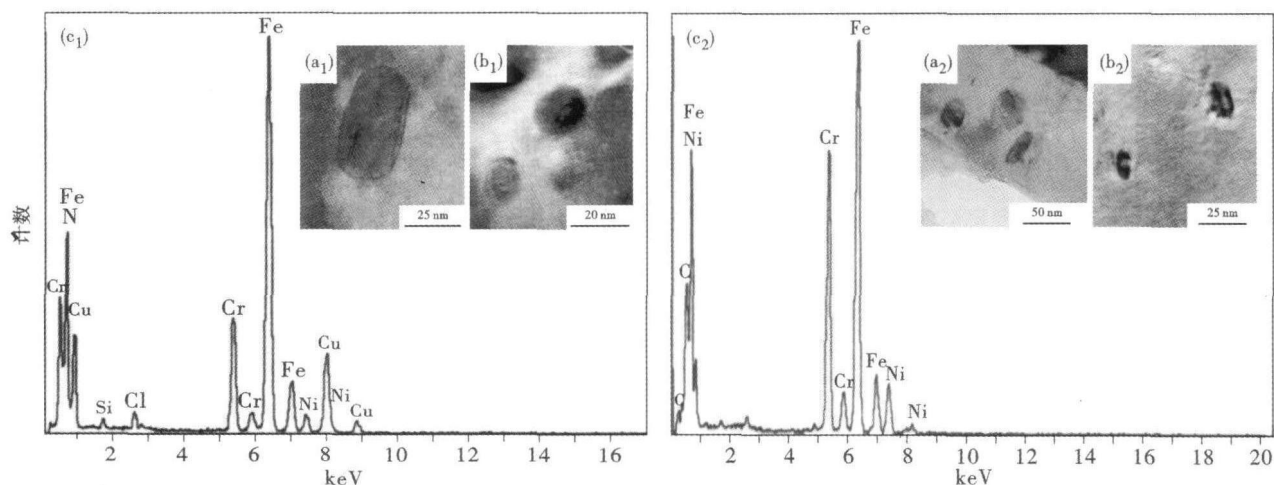


图 3 1000 °C 固溶 + 620 °C (a₁, a₂) 和 480 °C (b₁, b₂) 时效后 15-5PH 钢中富铜相 (a₁, b₁) 和碳化物 (a₂, b₂) 形貌以及富铜相 (c₁) 和碳化物 (c₂) 能谱图

Fig. 3 Morphology of copper-rich phase (a₁, b₁) and carbide (a₂, b₂) in steel 15-5PH solid-solution-treated at 1000 °C + aged at 620 °C (a₁, a₂) and at 480 °C (b₁, b₂), and energy dispersive spectrum of copper-rich phase (c₁) and carbide (c₂)

在时效后的试样上均发现了碳化物,但数量较少,尺寸在 20 nm 左右,时效温度增加(图 3a₂, b₂, c₂) 碳化物的尺寸逐渐长大。

3 结论

(1) 1000 °C 和 1040 °C 的固溶处理对 15-5PH 钢力学性能影响不大,550 °C 时效处理后该钢具有最佳的强度与韧性配合。

(2) 经时效处理后,马氏体位错密度有所降低。

(3) Nb(C,N) 在固溶试样中已发现,富铜相、碳化物在 480 °C 开始析出,随时效温度升高,部分富铜相、碳化物开始长大;富铜相的形状多为鱼骨状,数量较碳化物析出相多,是主要的强化相。

参考文献

- 1 Habibi Bajguirani H R. The Effect of Ageing Upon the Microstructure and Mechanical Properties of Type 15-5 PH Stainless Steel[J]. Materials Science and Engineering, 2002, A338: 142-159.
- 2 Aghaie-Khafri M, Adhami F. Hot Deformation of 15-5 PH Stainless Steel [J]. Materials Science and Engineering, 2010, A527: 1052-1057.
- 3 钟平,夏明赞, E 俊丽,等. 时效对 0Cr15Ni5Cu2Ti 钢微观组织与力学性能的影响[J]. 航空材料学报, 2003, 23(4): 21-25.
- 4 郭燕飞,杨卓越,丁雅莉,等. 时效温度对马氏体沉淀硬化不锈钢 0Cr15Ni5WMoVNb 力学性能的影响[J]. 特殊钢, 2010, 31(4): 56-57.
- 5 李国明,陈珊,常万顺,等. 时效温度对新型马氏体沉淀硬化不锈钢性能的影响[J]. 热加工工艺, 2009, 38(8): 129-131.
- 6 陈斌,宋志刚,郑文杰. 热处理对马氏体沉淀硬化不锈钢 0Cr15Ni5Cu3Nb 锻件机械性能的影响[J]. 特殊钢, 2004, 25(1): 24-26.

裴海祥(1972-),男,博士生,高级工程师,钢铁组织分析。

收稿日期:2012-03-09