

铌微合金化对 1Cr21Ni5Ti 屈服强度的影响

卢焰¹ 贾新朝¹ 陈兆生¹ 姚草根¹ 周奠华²

(1 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

(2 宝山钢铁股份有限公司特殊钢分公司技术中心,上海 200940)

文 摘 为了提高 1Cr21Ni5Ti 双相不锈钢的屈服强度,对其进行了铌微合金化,通过化学分析、金相观察、拉伸试验等,对微合金化前后的性能进行了对比研究。结果表明,经过 Nb 微合金化处理的 1Cr21Ni5Ti 屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 显著提高,达到了技术条件的规定。

关键词 1Cr21Ni5Ti,双相不锈钢,铌微合金化,屈服强度

Influence of Niobium Microalloying on Yield Strength of 1Cr21Ni5Ti

Lu Yan¹ Jia Xinchao¹ Chen Zhao sheng¹ Yao Caogen¹ Zhou Dianhua²

(1 Aerospace Research Institute of Material and Processing Technology, Beijing 100076)

(2 Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Special Steel Branch, Special Steel R & D Center, Shanghai 200940)

Abstract The application of niobium microalloying on 1Cr21Ni5Ti duplex stainless steel is introduced. The effect of niobium microalloying on yield strength of 1Cr21Ni5Ti duplex stainless steel is studied by means of chemical analysis, microstructure observation and tensile test. Yield strength $\sigma_{0.2}$ of 1Cr21Ni5Ti after niobium microalloying is improved remarkably.

Key words 1Cr21Ni5Ti, Duplex stainless steel, Niobium microalloying, Yield strength

1 前言

1Cr21Ni5Ti 是仿制前苏联 811 不锈钢生产的奥氏体-铁素体双相不锈钢,它将奥氏体不锈钢的良好韧性和焊接性与铁素体不锈钢的较高强度和耐腐蚀性能结合在一起,具有良好的力学和工艺性能^[1]。可替代 1Cr18Ni9Ti 应用于抗氧化腐蚀并要求较高强度的设备部件,如航空发动机壳体和火箭发动机燃烧室外壁、法兰盘、主导杆等关键件^[2]。从 2001 年开始,国内几家公司生产的双真空 1Cr21Ni5Ti 棒材,均出现了屈服强度 ($\sigma_{0.2}$) 检验不合格的现象。文献 [3] 表明,在钢中加入铌、钒、钛等微合金化元素,在热循环的过程中,通过碳化物的溶解和析出,可以明显改善材料的力学性能。因此,为了提高 1Cr21Ni5Ti 棒材的屈服强度,对其进行了铌微合金化试验。

2 试验

2.1 方案设计

微合金化元素是指在钢中添加 0.1% (质量分数,下同) 左右时,对钢的性能和微观组织有显著影响的元素,Nb、Ti、V 是目前主要微合金化元素。文献 [4] 称,对于 C 质量分数为 0.01% ~ 0.5% 的钢,Nb、Ti、V 共析出强化屈服强度的作用如图 1 所示,其

中铌提高屈服强度的作用最显著。

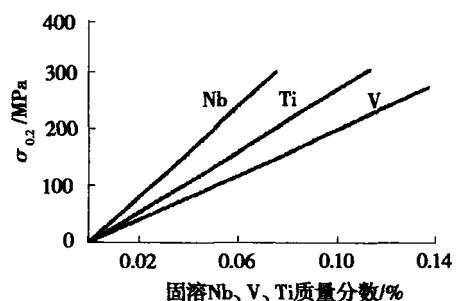


图 1 Nb、Ti、V 析出强化产生的屈服强度增量

Fig 1 Yield strength increment by precipitation strengthening of microalloying elements

2.2 1Cr21Ni5Ti 棒材的试制

采用上海五钢生产的两炉钢进行对比,1[#]钢为工艺改进前生产的,2[#]钢为采用铌微合金化工艺生产的,规格均为 100 mm,冶炼工艺均采用真空感应 + 真空自耗,其具体化学成分见表 1。两炉钢绝大多数元素含量相近,C、Ti 含量相同,钛碳比 [Ti]/(C - 0.02) 均为 4.67。

收稿日期:2006-02-16;修回日期:2006-03-28

作者简介:卢焰,1976 年出生,工程师,主要从事黑色金属材料的研究工作

表 1 1Cr21Ni5Ti 棒材的化学成分

Tab 1 Chemical composition of 1Cr21Ni5Ti bar

%(质量分数)

材 料	C	S	P	Cr	Mn	Si	Ni	Ti	Al	Cu	W	V	Mo	N	Nb
1 [#] 钢	0.11	0.008	0.024	20.60	0.48	0.58	5.40	0.42	0.04	<0.01	<0.01	0.12	<0.01	0.014	0.030
2 [#] 钢	0.11	0.007	0.029	21.1	0.50	0.56	5.56	0.42	0.006	0.031	0.014	0.15	0.071	0.010	0.15

2.3 性能测试

分别从 1[#]、2[#]钢棒上,切取试样,经过 1 000 × 30 min,空冷,固溶处理后,进行力学性能测试和金相组织观察。

3 结果与讨论

3.1 力学性能

使用 MTS RT/50 电子万能拉伸试验机和 300 N 冲击试验机进行试验,测得数据见表 2。

表 2 1Cr21Ni5Ti 的力学性能

Tab 2 Mechanical property of 1Cr21Ni5Ti

材 料	σ_2 /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%	ψ /%
1 [#] 钢	340	772.5	28.3	65.7
2 [#] 钢	415	752.5	34.3	60.0
技术条件	350	650	20	45

3.2 金相组织观察

在光学显微镜下观察其组织形貌,见图 2,其中深色组织为 α 相,白色组织为 β 相。

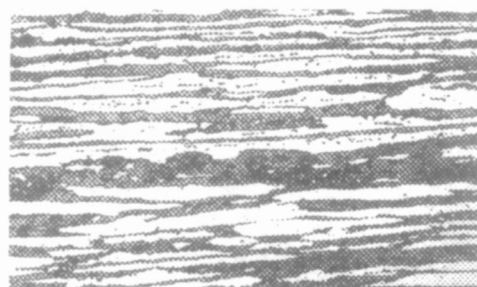
(a) 1[#]钢(b) 2[#]钢

图 2 固溶处理后的试样金相组织 300 ×

Fig 2 Microstructure after solution

由表 2 可见,1[#]钢 σ_2 为 340 MPa,未达到技术条件要求,而微合金化后的 2[#]钢, σ_2 达到了 410 MPa,增加了 70 MPa,其他力学性能也满足技术条件要求。

由图 2 可知,微合金化工艺改进前后试样金相组织均为奥氏体 + 铁素体,且延轧制方向呈均匀细长条

状分布,2[#]钢的 α 相中铁素体晶粒更加细致均匀。1Cr21Ni5Ti 在固溶冷却时,金属碳化物会从奥氏体中弥散析出,而当不锈钢中的碳化物形成时,金属元素与碳结合力的强弱顺序,由强到弱排列依次为: Ti、Nb、V、Mo、Cr、Mn、Fe,在钛碳比不变的情况下,其与碳结合析出的 TiC 数量也相同,因此,当 1Cr21Ni5Ti 经过微合金化处理后,活性仅次于 Ti 的强碳化物形成元素 Nb 含量明显提高,其与碳结合析出的 NbC 数量也显著增加。一方面,由于 Nb 本身为铁素体生成元素,其含量的增加有利于 α 相的生成和扩大,促进铁素体量的增加,同时,Nb 元素替代 Cr 优先与碳结合析出碳化物后,阻止了相邻铁素体区 Cr 及其他合金元素的贫化,抑制了 α 相的转变,控制了奥氏体含量的增加;另一方面,上述增量 Nb 与 C 结合成细小碳化物,在 1Cr21Ni5Ti 再结晶过程中优先沉淀析出,这些强碳化物质点的弥散分布,在冷却过程中阻碍铁素体晶粒的进一步长大,并通过钉轧效应阻止了晶界的迁移和位错的运动,限制了奥氏体晶粒生长,细化了晶粒组织。上述两方面的综合作用,使得 1Cr21Ni5Ti 双真空棒材的 σ_2 大幅度提高^[5-6]。

4 结论

(1) 1Cr21Ni5Ti 双相不锈钢双真空棒材可以进行 Nb 的微合金化处理。

(2) Nb 含量的增加有利于 1Cr21Ni5Ti 晶粒组织细化。

(3) 经过 Nb 微合金化处理的 1Cr21Ni5Ti 屈服强度 σ_2 显著提高。

参考文献

- 1 吴玖等. 双相不锈钢. 北京:冶金工业出版社, 1999: 322
- 2 雷德江. 关于双相不锈钢 1Cr21Ni5Ti 试制中几个问题的探讨. 四川冶金, 2001; (3): 4
- 3 杨作宏, 陈伯春. 谈微合金元素 Nb、V、Ti 在钢中的作用. 甘肃冶金, 2000; 12 (4): 20
- 4 胡心彬, 李麟, 吴晓春. 铌微合金化在特殊钢中的应用. 金属热处理, 2003; 28 (6): 5
- 5 王正樵, 吴幼林. 不锈钢. 北京: 化学工业出版社, 1991: 232
- 6 Su Jie, Yang Zhuoyue, Chen Jiayan. Embrittlement characteristic of 1Cr21Ni5Ti duplex stainless steel aged at 400 ~ 600 °C. Proceedings of ICASS, 2004: 792

(编辑 吴坚)

宇航材料工艺 2007年 第3期