

固溶温度对超级双相不锈钢 S32750 板材组织和耐蚀性的影响

李国平 李俊 张威 范新智
(太原钢铁(集团)有限公司,太原 030003)

摘要 研究了 920 ~ 1 100 °C 固溶处理温度对 S32750 钢中板 (% :0.022C、25.35Cr、7.17Ni、4.05Mo、0.28N) 组织和 6% FeCl₃ + 0.05NHCl 溶液耐蚀性的影响。结果表明, ≤1 000 °C 固溶处理时, 钢中析出脆性 σ-相, 铁素体含量 ≤11%, 钢的硬度增加, 钢的塑性、韧性和耐蚀性急剧下降, 于 1 050 ~ 1 100 °C 固溶处理, 钢中组织为 46% ~ 47% 铁素体 + 奥氏体组织, 具有良好的综合力学性能和高的耐蚀性。

关键词 超级双相不锈钢 S32750 固溶温度 组织 耐蚀性

Influence of Solution Temperature on Structure and Corrosion Resistance of Plate of Super Duplex Stainless Steel S32750

Li Guoping, Li Jun, Zhang Wei and Fan Xinzhi
(Taiyuan Iron and Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract Influence of solution-treated temperature at 920 ~ 1 100 °C on structure and corrosion resistance of medium plate of steel S32750 (% :0.022C, 25.35Cr, 7.17Ni, 4.05Mo, 0.28N) in 6% FeCl₃ + 0.05NHCl liquor has been studied. The results showed that with solution-treated at ≤1 000 °C, the σ-phase precipitated in steel, the ferrite content in structure was ≤11%, the hardness of steel increased and the plasticity, toughness and corrosion resistance of steel rapidly decreased; and with solution-treated at 1 050 ~ 1 100 °C, the structure of steel was 46% ~ 47% ferrite + austenite, it had excellent comprehensive mechanical properties and corrosion resistance.

Material Index Super Duplex Stainless Steel S32750, Solution Temperature, Structure, Corrosion Resistance

1 试验用钢的化学成分和工艺制度

S32750(00Cr25Ni7Mo4N) 钢 Cr、Mo 含量较高, 试验钢成分为 (0.022C、0.58Si、1.03Mn、0.027P、0.001S、25.35Cr、7.17Ni、4.05Mo、0.28N), σ 相的析出比较敏感, 析出的上限温度可达 1 000 °C。

试验料为厚度 12 mm 热轧态的不锈钢板, 生产工艺为: AOD 冶炼 → 连铸 → 中板热轧 → 固溶处理。

在实验室采用热轧状态的试样, 固溶处理温度为 920 ~ 1 100 °C, 保温 1 h, 水淬。

2 试验结果及其讨论

2.1 固溶处理对力学性能的影响

当固溶温度在 920 ~ 1 050 °C 时, S32750 钢的伸长率(A)不足 10%, 硬度值(HB)大于 330, 断口呈明显的脆断特征。而固溶温度在 1 050 ~ 1 100 °C, 伸长率(A)一般在 20% ~ 30%, HB 值为 240 ~ 270(图 1)。

950 °C 固溶处理的拉伸脆性断口进行扫描电镜和能谱分析表明, 在断口上形成了大量富 Cr、Mo 的金属间化合物 σ 相(图 2), 对断口进行磁性对比, 该断口磁性明显减弱。随着 Cr、Mo 含量的提高, 该相

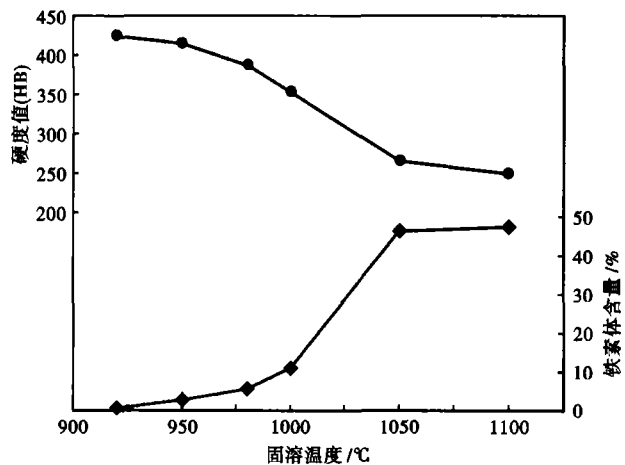


图 1 固溶温度对 S32750 钢硬度和铁素体含量的影响
Fig. 1 Influence of solution-treated temperature on hardness and ferrite content of steel S32750

在钢中稳定存在的上限温度提高, 一般认为, 在双相不锈钢 σ 相的析出机制为“α → γ + σ”^[1]。一旦大量析出, 会严重恶化材料的塑性、韧性以及耐蚀性。

2.2 固溶处理对相比例的影响

对于双相不锈钢而言, 相比比例的控制直接关系到材料最终的使用性能, 特别是焊接性能。较为理想的是 α: γ 接近 1:1, 或者是 γ 略多一些, 这样可以

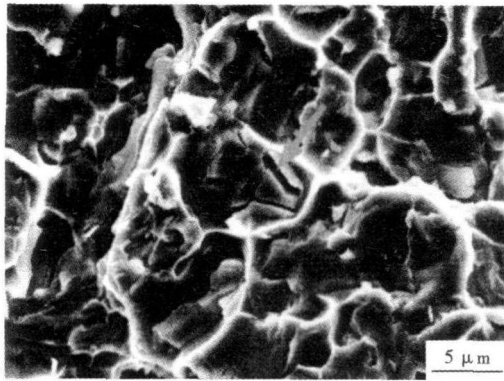


图 2 S32750 钢拉伸脆性断口形貌, SEM

Fig. 2 Morphology of tensile brittle fracture of steel S32750, SEM

保证焊接热影响区的 γ 不低于 30%, 从而大大改善焊接热影响区 (HAZ) 的韧性²¹。

从图 1 可见, 经过 1 050 °C 固溶处理的 S32750 钢中铁素体含量为 46.40%, 金相组织显示深色的 α 与浅色的 γ 以合适的比例共存 (图 3a), 随温度的升高, 铁素体含量呈增加的趋势, 但两相比例变化较小。而 920 ~ 1 000 °C, 铁素体含量很少, 金相组织显示有大量的析出相 (图 3b), 经能谱分析, 析出相为高 Cr、Mo 的 σ 相, 而且随温度的升高, 铁素体含量逐渐增加。正是因为无磁性的 σ 相析出, 导致了铁素体含量的大幅降低。

2.3 固溶处理对耐蚀性的影响

S32750 超级双相不锈钢含有高 Cr、Mo、N, 在 Cl^- 富集的环境下, 该钢种的耐点蚀指数 PREN 一般大于 40 ($\text{PREN} = \text{Cr} + 3.3\text{Mo} + 16\text{N}$)^[3]。表 1 列出了不同温度、不同介质条件下, S32750 超级双相不锈钢的腐蚀性能测试结果。

表 1 固溶温度对 S32750 钢耐蚀性的影响

Table 1 Influence of solution temperature on corrosion resistance of steel S32750

试样状态	ASTM G48A ⁽¹⁾ , 35 °C/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	ASTM G48A ⁽¹⁾ , 50 °C/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	击穿电 位 ⁽²⁾ /V
热轧态	0	0.08	1.220
920 °C 1 h	6.83	50.62	0.660
950 °C 1 h	5.66	30.50	-
1 050 °C 1 h	0	0.03	1.200

注: (1) 试验介质 6% $\text{FeCl}_3 + 0.05\text{NHCl}$, 24 h; (2) 击穿电位试验标准 GB/T17899-1999; 试验溶液: 3.5% 氯化钠溶液, 试验温度 30 °C; 参比电极: 饱和甘汞电极, 辅助电极: 石墨电极, 扫描速率 20 mV/min。

从表 1 试验的数据可见, S32750 超级双相不锈钢经过 1 050 °C 热处理后的耐点蚀性能很好, 甚至按照 ASTM G48A 在 50 °C 的腐蚀环境下, 仍然有非常好的耐蚀性能, 这一点要远好于普通的 S31803 钢, 说明 S32750 钢较 S31803 钢更能满足极为苛刻的腐蚀环境。而经过 920 °C、950 °C 处理的试样, 即使在 35 °C 的条件下, 耐点蚀性能都很差, 这说明了 σ 相析出带来了材料耐蚀性能降低。然而热轧状态的耐蚀性能与 1 050 °C 热处理后基本一致, 这也说明热轧状态并没有大量 σ 相析出。

3 结论

(1) S32750 超级双相不锈钢中, σ 相析出的温度上限因钢中 Cr、Mo 含量的提高而提高, 在 1 000 °C 固溶处理也有析出的危险。

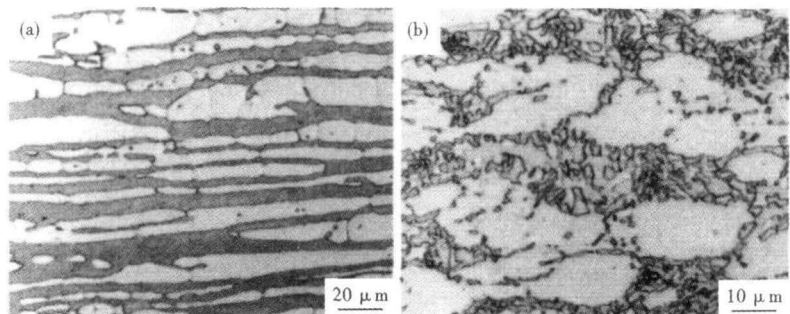


图 3 固溶处理温度对 S32750 相组织的影响: (a) 1 050 °C; (b) 950 °C

Fig. 3 Influence of solution-treated temperature on phase structure of steel S32750: (a) 1 050 °C; (b) 950 °C

(2) S32750 超级双相不锈钢一旦析出 σ 相, 导致材料的硬度升高、塑韧性降低、相比比例失调, 并明显恶化钢的耐蚀性能。

(3) S32750 超级双相不锈钢合理的固溶温度为 1 050 ~ 1 100 °C, 这时会得到理想的组织相比比例和良好的力学、耐蚀性能。

参考文献

- 1 陈嘉砚, 杨卓越, 杨武, 等. 双相不锈钢中 σ 相的形成特点及其对性能的影响. 钢铁研究学报, 2006, 18(8): 1
- 2 魏振宇, 吴玖. 双相不锈钢论文集. 北京: 冶金部钢铁研究总院, 1992
- 3 吴玖. 双相不锈钢. 北京: 冶金工业出版社, 1999

李国平 (1975-), 男, 高级工程师, 1995 年内蒙古科技大学毕业, 从事不锈钢新产品、新工艺的研究。

收稿日期: 2008-09-25