

固溶处理对超级双相不锈钢 S32750 组织和性能的影响

李 俊

(太钢不锈钢股份有限公司技术中心, 太原 030003)

摘 要 研究了 950 ~ 1 200 °C 60 min 水冷的固溶处理对超级双相不锈钢 S32750 (/% : 0. 02C、0. 49Si、1. 03Mn、0. 026S、0. 001P、25. 01Cr、7. 03Ni、3. 80Mo、0. 29N) 12 mm 板的组织、力学性能和耐蚀性的影响。结果表明, 随固溶温度升高, 钢中铁素体相增加, 奥氏体相减少; 在 950 °C 加热时铁素体中析出大量 σ -相, 使钢的性能恶化, 在 1 050 ~ 1 100 °C 固溶处理后, 钢中铁素体相和奥氏体相各占 50%, S32750 钢具有较好的综合力学性能和优良的耐蚀性能。

关键词 超级双相不锈钢 S32750 固溶温度 组织 力学性能 耐蚀性

Effect of Solid Solution Treatment on Structure and Properties of Super Duplex Stainless Steel S32750

Li Jun

(Technology Center, Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The effect of solid solution treatment at 950 ~ 1 200 °C for 60 min water cooling on structure, mechanical properties and corrosion resistance of 12 mm plate of super duplex stainless steel S32750 (/% : 0. 02C, 0. 49Si, 1. 03Mn, 0. 026S, 0. 001P, 25. 01Cr, 7. 03Ni, 3. 80Mo, 0. 29N) has been studied. Results show that with raising solution temperature the ferrite phase in steel increases and the austenite phase decreases; heating at 950 °C a large number of σ -phase precipitates in ferrite led to the deterioration of performance; as solid solution treated at 1 050 ~ 1 100 °C the volume of ferrite phase and austenite phase in steel respectively accounts for 50%, and the steel S32750 has better comprehensive mechanical properties and corrosion resistance.

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

超级双相不锈钢 (SDSS) S32750 是由瑞典 SANDVIC 公司 20 世纪 80 年代研制开发, 由于其超低碳和高铬、高钼和高氮的成分设计, 耐点蚀指数 PREN 值大于 40, 使其具有较高的强度、优良的耐氯化物应力腐蚀性能等特点, 主要被应用于石油石化、海水淡化和核能等苛刻的环境^[1]。

1 试验材料及标准

试验材料为太钢生产的 S32750 超级双相不锈钢 12 mm 厚的中板, 其成分见表 1。试样在马弗炉加热, 950 ~ 1 200 °C 60 min 水冷。金相组织中相比例测定按照 ASTM E562 A《用系统的人工数点记数法测量体积因素的标准试验方法》执行, 选 5 个视场后求平均值。观察组织中析出相采用 ASTM A923《检测双相不锈钢中有害金属夹杂物的试验方法》标准执行。硬度检验采用 ASTM A370《钢制品力学性能试验方法和定义》测定 HB 值。点腐蚀采用 ASTM G48A (试验介质为 6% FeCl₃ 溶液 + 0.05mol HCl, 24

h) 进行。击穿电位试验参考 GB/T17899-1999 (试验介质为 NaCl 溶液, 30 °C, 参比电极: 饱和甘汞电极, 辅助电极: 石墨电极, 扫描速率为 20 mV/min)。

2 试验结果及分析

2.1 固溶温度对相比比例和组织的影响

由图 1(a) 可见, 随着温度升高, 铁素体相逐渐增加, 奥氏体相逐渐减少, 在 1 050 ~ 1 150 °C 两相比比例接近 1:1。

由图 1(b) 可见, 在 900 °C 固溶处理时, 会析出 σ 相、Cr₂N 和 χ 相, 析出速度较快。在 700 °C 时会析出 R 相, R 相是一种富含 Mo 的金属间脆性相^[2], 其化学式为 Fe₂Mo, 析出温度在 550 ~ 750 °C, 而 650 °C

表 1 试验钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of test steel / %

项目	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	N
标准成分	≤ 0.03	≤ 0.8	≤ 1.2	≤ 0.02	≤ 0.035	24.00 ~ 26.00	6.00 ~ 8.00	3.00 ~ 5.00	0.24 ~ 0.32
实际成分	0.02	0.49	1.03	0.026	0.001	25.01	7.03	3.80	0.29

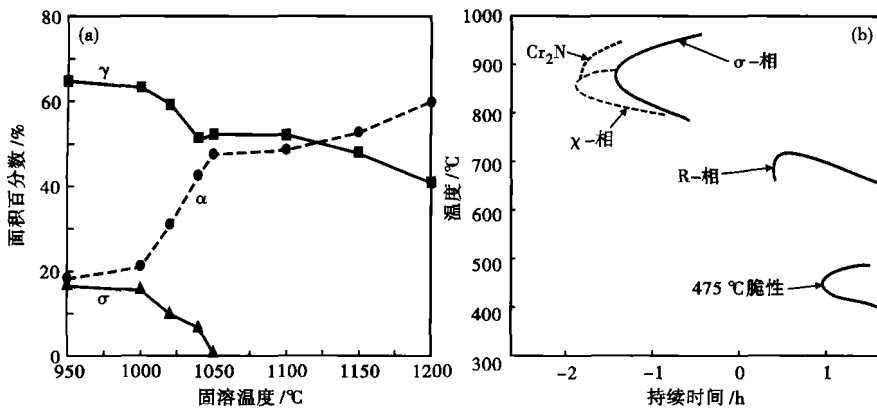


图 1 (a) 固溶温度对 S32750 钢各相面积百分数的影响; (b) S32750 钢中间相析出的 TTT(时间-温度转变) 曲线
 Fig.1 (a) Influence of solution temperature on area percentage of each phase in steel S32750; (b) TTT curves for intermediate phase precipitates of steel S32750

Mo,降低钢的耐腐蚀性能。但最近也有文献报道,σ 相的析出使组织晶粒细化和内应力催化,使钢加工过程出现超塑性,但这需要对 σ 相的析出量及加工过程的应变速率进行严格控制^[4,5]。

对组织中 σ、γ 和 α 相进行能谱分析,结果见表 2,Cr、Mo 元素等在 α 相中富集,而镍元素在 γ 相中富集,σ 相比 α 相中含有更高的 Cr、Mo 含量,因此,σ 相形成需要合金元素的置换扩散和重新分布,在

为析出峰,析出状态为片状或粒状,尺寸在 150 ~ 500 nm,条带状分布于 α 相晶界。

图 2(a) 为 1 050 °C 固溶处理后的金相照片,奥氏体相和铁素体相沿轧制方向以条带状交替分布,无中间相析出。图 2(b) 为 950 °C 固溶处理后的金相照片,黑色区域为 σ 相,σ 相主要在 α 相和 γ 相相界处形成,在 α 相中长大,形成 σ 相的周围 Cr、Mo 等铁素体形成元素贫化,随后形成 γ 相,即发生 α → γ₂ + σ 共析反应,许多学者研究认为反应结束后,γ 相进一步转化成 σ 相,发生 γ → α → σ 转变,但这一转变方式还有待试验验证。

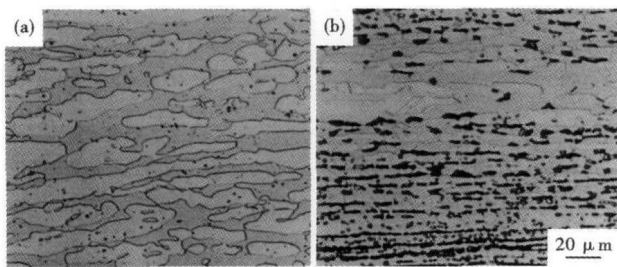


图 2 固溶处理温度对 S32750 钢组织的影响: (a) (γ + α), 1 050 °C; (b) (γ + σ), 950 °C
 Fig.3 Influence of solid solution temperature on structure of steel S32750: (a) (γ + α), 1 050 °C and (b) (γ + σ), 950 °C

在 950 °C 固溶处理,σ 相的析出量约为 16.7%,据文献^[3]报道,σ 相析出量只需 5% 就能使钢的综合性能严重恶化。σ 相是一种高 Cr、Mo 的金属间化合物,σ 相硬而脆,为复杂的四方结构,硬度 HV 高达 900 ~ 1 000,钢中出现少量的 σ 相就会使钢的韧性和塑性急剧下降,此外 σ 相的析出使周围贫 Cr、

表 2 S32750 钢中各相的成分分析 / %

Table 2 Analysis of each phase in steel S32750 / %					
相	Si	Fe	Cr	Ni	Mo
σ	0.87	59.77	29.62	3.33	6.41
γ	0.52	65.84	22.94	8.15	2.55
α	0.51	65.31	26.77	4.47	2.94

单一的铁素体或奥氏体相中析出非常慢,但在高 Cr、Mo 元素含量的 γ + α 双相组织中析出非常快^[3,6]。

2.2 固溶温度对力学性能的影响

由图 3 可见,固溶温度在 950 ~ 1 050 °C 时,随着固溶温度的降低,钢的屈服强度、抗拉强度逐渐升高,伸长率逐渐降低,这主要是因为随着温度的降低,σ 相析出的量越多,钢的性能越差^[7,8]。固溶温度在 1 100 ~ 1 200 °C 时,随着固溶温度的升高,钢的屈服强度、抗拉强度逐渐升高,伸长率逐渐降低,这

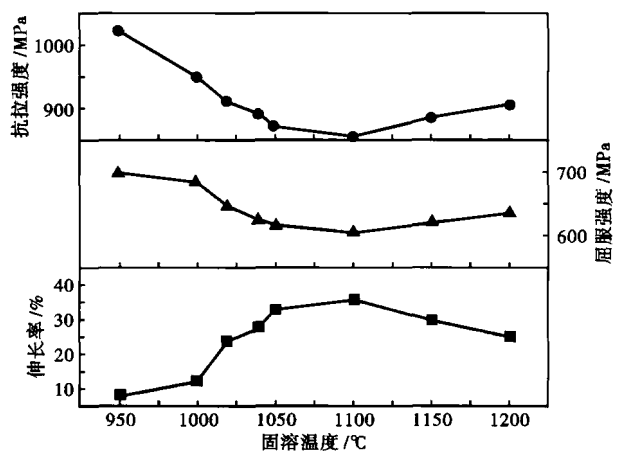


图 3 固溶温度对 S32750 钢力学性能的影响
 Fig.3 Influence of solid solution temperature on mechanical properties of steel S32750

主要是因为 100 °C 以上随着固溶温度的升高,铁素体量增加,而铁素体相的强度高、塑性差,这是导致性能变化的主要原因。在 1050 ~ 1100 °C,钢的综合性能比较稳定,其中 1100 °C 该钢的综合力学性能最佳。

图 4(a) 1050 °C 时固溶处理后拉伸断口的形貌为韧性断裂,照片上为明显的韧窝形貌,说明在该温度下材料的塑性较好。图 4(b) 950 °C 时固溶处理后拉伸断口的形貌为混合性断裂,该断口上有明显的河流状,又有明显的韧窝,但从整个断面来看,仍以解理断裂为主。

2.3 固溶温度对耐腐蚀性能的影响

在氯化物环境中,通常用耐点腐蚀指数 PREN 值来描述钢的冶炼化学成分与耐点腐蚀指数之间的关系式: $PREN = Cr + 3.3Mo + 16N$, 超级双相不锈钢 S32750 由于含有较高的 Cr、Mo、N, 其 PREN 值为 42,

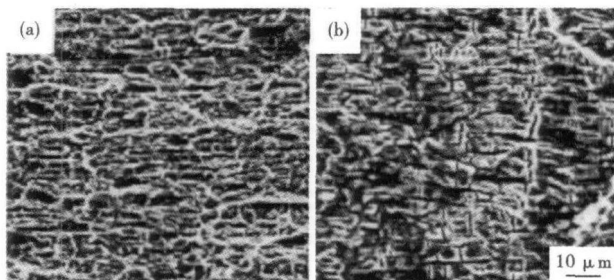


图 4 固溶处理温度对 S32750 钢拉伸断口形貌的影响: (a) 1050 °C 和 (b) 950 °C, SEM

Fig. 4 Influence of solid solution temperature on morphology of tensile fracture of steel S32750: (a) 1050 °C and (b) 950 °C, SEM

表 3 不锈钢材料的耐点蚀指数
Table 3 Pitting resistance index of stainless steels

材料	PREN
S32750	42
S22205	35
317L	30
316L	25
304	19

参考文献

- 1 吴 玖. 双相不锈钢. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- 2 肖纪美. 不锈钢的金属学问题. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- 3 陈家砚, 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
- 4 吴忠忠, 宋之刚, 郑文杰, 等. 固溶温度对 00Cr25Ni7Mo4N 超级双相不锈钢显微组织及耐点蚀性能的影响. 金属热处理, 2007, 27(4): 51
- 5 李国平, 李 俊, 张 威, 等. 固溶温度对超级双相不锈钢 S32750 板材组织和耐腐蚀性的影响. 特殊钢, 2009, 30(2): 61
- 6 李奇志, 李慧中. 热处理对双相不锈钢组织与性能的影响. 湖南有色金属, 2006, 22(1): 31
- 7 王晓峰, 陈伟庆, 毕洪运. 固溶处理对 00Cr25Ni7Mo4N 双相不锈钢组织和力学性能的影响. 特殊钢, 2009, 30(3): 58

远高于其他的不锈钢(表 3)^[9,10]。

由表 4 和图 5 可以看出, S32750 钢经过 1050 °C 固溶处理后的耐腐蚀性能(图 5b 无明显点蚀坑)明显优于 950 °C 固溶处理后的耐点蚀性(图 5a 点蚀坑明显), 即使在 50 °C 介质中仍然具有优良的耐点蚀能力。

表 4 固溶温度对 S32750 钢耐腐蚀性能的影响

Table 4 Influence of solution temperature on corrosion resistance of steel S32750

固溶温度/ °C	G48A, 35 °C/ (g · m ⁻² · h ⁻¹)	G48A, 50 °C/ (g · m ⁻² · h ⁻¹)	击穿电位/ V
950	6.83	30.50	0.72
1050	0	0.13	1.20

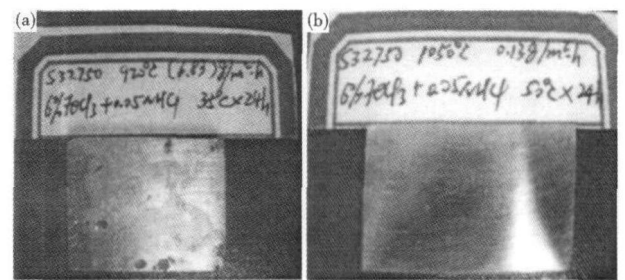


图 5 固溶处理温度对 S32750 钢的耐点腐蚀的影响: (a) 950 °C 固溶, 35 °C, 有点腐蚀坑; (b) 1050 °C 固溶, 50 °C, 无明显的点腐蚀坑

Fig. 5 Influence of solid solution temperature on pitting corrosion resistance of steel S32750: (a) 950 °C solution, 35 °C, existing pitting erosion; (b) 1050 °C solution, 50 °C, no obvious pitting erosion

3 结论

(1) S32750 钢在 1050 ~ 1100 °C 固溶处理时, 可以获得最佳的相比、良好的两相组织以及综合的力学性能和优良的耐腐蚀性能。

(2) S32750 钢在 ≤ 950 °C 固溶处理时, 会析出金属间相, 特别是 σ 相, 严重恶化钢的性能。

(3) 高于 1200 °C 固溶处理时, 组织中铁素体增加, 奥氏体减少, 钢的综合力学性能下降。

李 俊(1978-), 男, 硕士, 工程师, 双相、耐热不锈钢的新产品的研发. E-mail: lijun2@tisco.com.cn

收稿日期: 2012-01-21