

固溶处理对双相不锈钢 S32003 组织的影响

张寿禄^{1,2}

(1 太原钢铁(集团)有限公司先进不锈钢材料国家重点实验室,太原 030003;

2 山西太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003)

摘 要 通过金相、扫描电镜、透射电镜观察和 X 射线能谱仪分析,研究了 900 ~ 1 250 °C 固溶处理对 S32003 双相不锈钢组织的影响。结果表明,900 °C 固溶处理时,钢中有氮化物析出,固溶温度 ≥ 950 °C 时,氮化物全部溶解;随着固溶温度升高, α 相含量增加, γ 相含量下降。最佳固溶处理温度在 1 040 °C;随着固溶温度的提高, α 相和 γ 相的晶粒尺寸在逐渐增大,1 100 °C 以上晶粒明显长大。

关键词 双相不锈钢 S32003 固溶处理 组织 氮化物 背散射电子图像

Effect of Solution Treatment on Microstructure of Duplex Stainless Steel S32003

Zhang Shoulu^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Advanced Stainless Steel Materials, Taiyuan Iron & Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003;

2 Technology Center, Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract Effect of solution-treated at 900 ~ 1 250 °C on microstructure of steel duplex stainless S32003 has been studied by metallographic, scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM) observation and X-ray energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis. The results show that the nitride precipitates in steel at 900 °C, in order to dissolve nitride of hot rolling steel, solution temperature must be up to 950 °C; With the increase of solution temperature, α -phase content in steel increases and γ -phase content decreases. The optimum solution temperature is 1 040 °C; As the solution temperature increase, the grain size of α and γ -phase is gradually growing up, the grain is obvious coarsening when the temperature is greater than 1 100 °C.

Material Index Duplex Stainless Steel S32003, Solution Treatment, Structure, Nitride, Backscatter Electron Image

双相不锈钢是指金相组织由铁素体相(α)和奥氏体相(γ)组成的不锈钢^[1-2]。S32003 双相不锈钢与 S31803 相比,适当减少了 Cr、Ni、Mo 的含量,在铁素体和奥氏体的比例接近 1:1 的前提下,其耐点蚀指数在 29 左右,耐腐蚀性介于 316L 和 S31803 之间,达到了降低成本的目的^[3,4]。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验用 S32003 钢(成分:0.016C、0.64Si、1.25Mn、0.001S、0.025P、21.59Cr、3.46Ni、1.71Mo、0.151N)生产工艺流程为:180 t AOD 冶炼→连铸(连铸坯断面尺寸为 220 mm × 1 240 mm)→铸坯修磨→板坯加热(加热温度 1 250 °C)→热轧(终轧温度 980 °C,轧后空冷,热轧板成品厚度 12 mm)→固溶处理→性能检验→表面酸洗。热处理试样从热轧板上切取。

1.2 试验方法

固溶处理为 900 ~ 1 250 °C,30 min,水冷。使用 LECO IA32 图像分析软件测定相比,每个试样随

机测量 10 个视场后取平均值。

2 试验结果与分析讨论

2.1 热轧态组织观察

大生产的 S32003 双相不锈钢在热轧后空冷,图 1(a)是试样经机械抛光后采用扫描电镜背散射电子探测器观察到的成分衬度图像,显示热轧态的铁素体(深色基体)和奥氏体(浅色)两相的分布,可见两相组织沿轧制方向呈纤维状分布。图 1(b)是试样经电解抛光后采用扫描电镜背散射电子探测器观察到的电子通道衬度图像照片,可见两相晶粒均处于变形状态,同时可以观察到在相界上有少量析出物颗粒。

2.2 固溶温度对析出相溶解的影响

经透射电镜和 X 射线能谱仪分析热轧态的相界析出物为 Cr_2N (图 2),而氮化物析出显著降低钢的耐腐蚀性能^[1]。固溶处理结果显示,在 900 °C 固溶依然可以观察到明显的析出物(图 3a),当固溶温度大于 950 °C 后,析出相全部溶解(图 3b)。

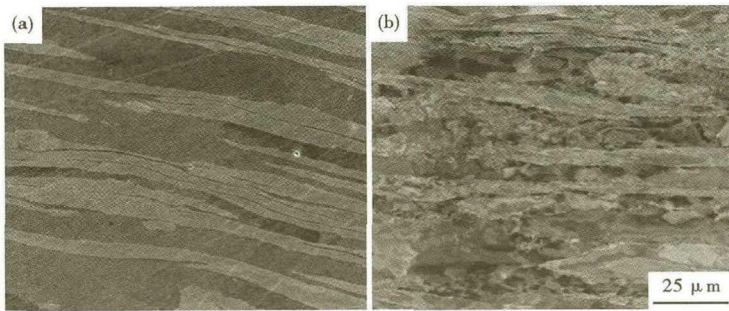


图 1 S32003 双相不锈钢热轧态组织 (SEM-BSE 图像): (a) 机械抛光; (b) 电解抛光
Fig. 1 SEM-BSE images of hot-rolled S32003 duplex stainless steel: (a) mechanical polishing, (b) electropolishing

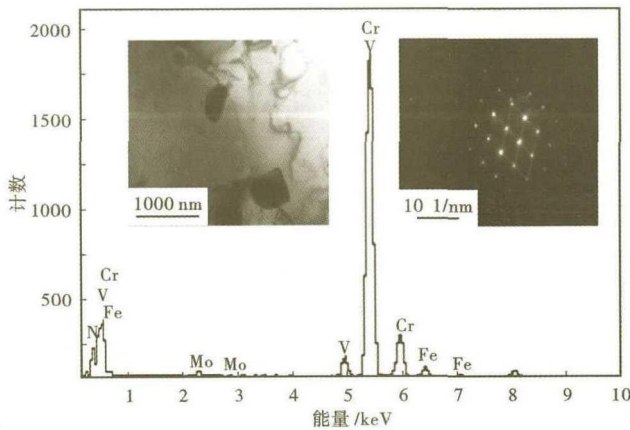


图 2 热轧 S32003 双相不锈钢 Cr₂N 析出物的 TEM 形貌、衍射斑点和 EDS 谱图
Fig. 2 TEM photograph, diffraction spot and EDS spectrum of Cr₂N precipitate in S32003 duplex stainless steel after hot rolling

S32003 钢中 Cr₂N 的析出温度 700 ~ 900 °C, Cr₂N 在相界以及铁素体晶界、晶内析出。Cr₂N 与二次奥氏体 (γ₂) 往往是伴生存在的, 氮化物周围的贫铬区促进 γ₂ 形成, 从而影响了钢的耐蚀性。

2.3 固溶温度对 α 相和 γ 相含量的影响

S32003 双相不锈钢中的铁素体 (α) 和奥氏体 (γ) 两相在不同固溶温度下的相比比例, 测量结果见

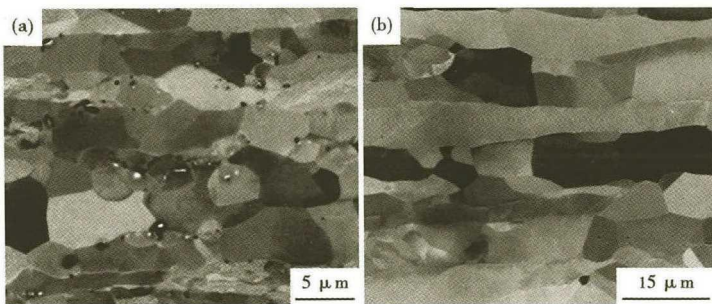


图 3 S32003 双相不锈钢 900 °C (a)、950 °C (b) 固溶后的 SEM-BSE 图像
Fig. 3 SEM-BSE images of S32003 duplex stainless steel solution-treated at 900 °C (a) and 950 °C (b)

表 1。图 4 是 S32003 双相不锈钢不同固溶温度下的金相染色后的组织照片, 每幅照片中白色区域为奥氏体相, 深色区域为铁素体相。从测量结果看, 热轧态的铁素体含量比较高 (约为 62.74%), 随着加热温度的提高, 铁素体含量先降低后升高, 在 950 ~ 1 050 °C 达到最低值 (约 55% 左右), 此时的两相比例最接近 1, 此后随着温度的升高, 铁素体的含量快速升高, 1 250 °C 时达到 78.08%。两相比例接近 1:1 最佳, 铁素体量过大, 塑性较差, 奥氏体量过大, 耐应力腐蚀性能降低, 在约含 50% 铁素体

相时应力腐蚀断裂敏感性最小^[5]。另外, 考虑到热轧组织中的 Cr₂N 型析出相溶解温度要大于 950 °C, 因此, S32003 双相不锈钢固溶处理温度采用 (1 040 ± 10) °C。

2.4 固溶温度对晶粒尺寸和奥氏体相再结晶的影响

图 5 是电解抛光制样后用扫描电镜背散射探测器拍摄的电子通道衬度图像, 从图 5 可见, 随着固溶温度的提高, 两相的晶粒尺寸在逐渐增大, 在 1 050 °C 以下晶粒尺寸长大缓慢, 到了 1 100 °C 晶粒开始明

表 1 不同固溶温度下 S32003 双相不锈钢中的相比比例
Table 1 Phase proportion in S32003 duplex stainless steel at different solution treatment temperature

固溶温度 / °C	相比比例 / %	
	α 相	γ 相
热轧态	62.74	37.26
900	58.14	41.86
950	54.90	45.1
1 000	55.72	44.28
1 050	55.95	44.05
1 100	62.05	37.95
1 150	64.24	35.76
1 200	72.71	27.29
1 250	78.08	21.92

显长大, 特别是铁素体晶粒长大更明显。在 1 150 °C 以下两相晶粒基本保持条状相间分布, 在 1 200 °C 和 1 250 °C 下两相晶粒均长大成等轴状并且晶粒特别粗大 (图 4)。

热轧态的两相组织沿轧制方向呈纤维状分布。随固溶处理温度的升高, 两相晶粒发生回复、再结晶, 晶粒由纤维状向等轴状过渡, 双相不锈钢在热轧过程中由于两相的形变软化机制不同^[6], 铁素体相相对容易回复和再结晶。从图 5 可见, 在本实验的 900 °C 到 1 250 °C 固溶温度下铁素体相都已完全再

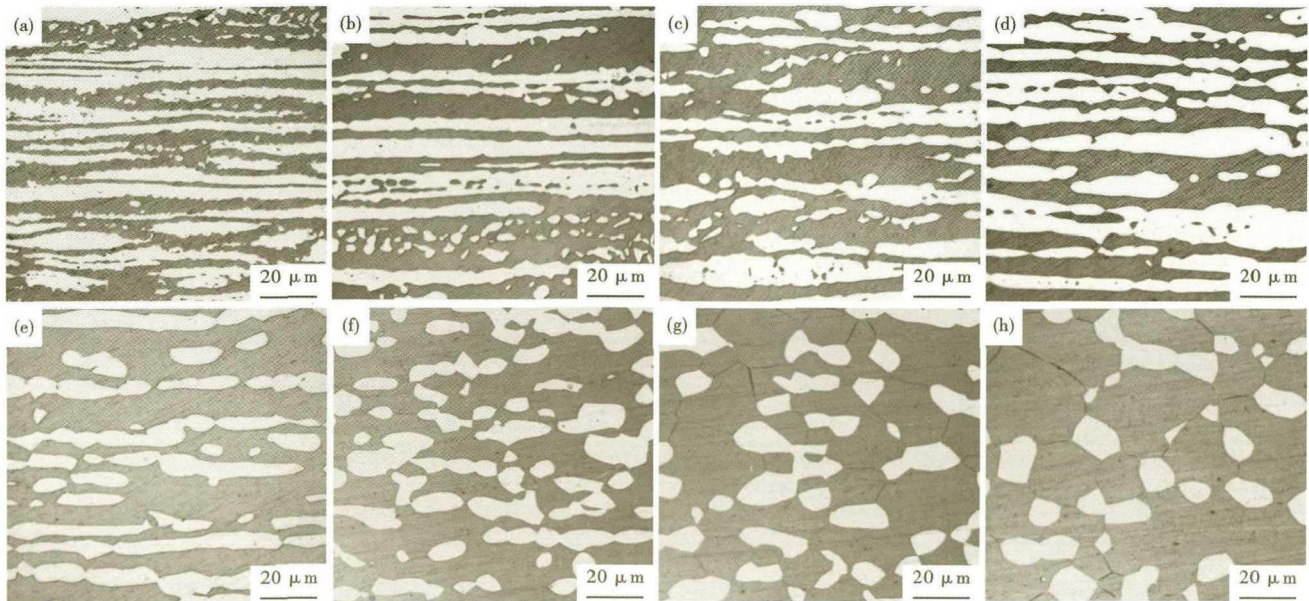


图4 S32003 钢固溶处理的金相组织,白色区为 γ 相,灰色区为 α 相:900 °C (a),950 °C (b),1000 °C (c),1050 °C (d),1100 °C (e),1150 °C (f),1200 °C (g)和1250 °C (h)

Fig.4 Metallograph of S32003 steel solution-treated at 900 °C (a), 950 °C (b), 1000 °C (c), 1050 °C (d), 1100 °C (e), 1150 °C (f), 1200 °C (g) and 1250 °C (h): white- γ phase; grey- α phase

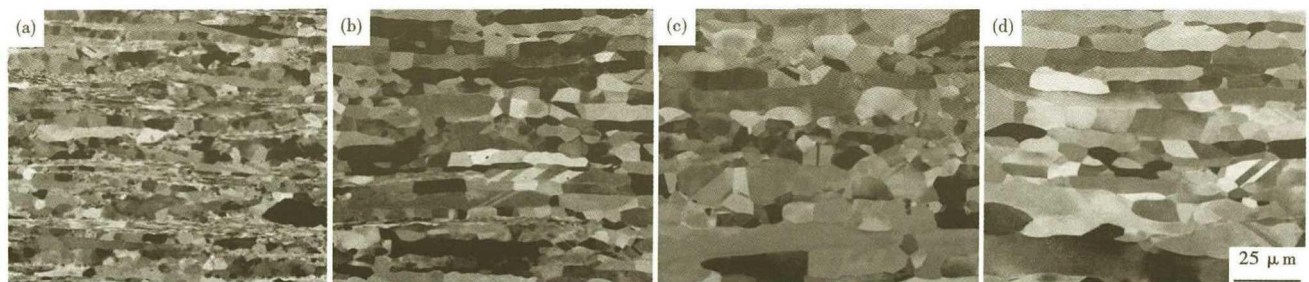


图5 固溶温度对 S32003 钢晶粒大小的影响:(a)900 °C;(b)950 °C;(c)1000 °C;(d)1050 °C

Fig.5 Effect of solution treatment temperature on grain size of S32003 steel: (a)900 °C;(b)950 °C;(c)1000 °C;(d)1050 °C

结晶,然而对于奥氏体相来说,在900 °C固溶处理后绝大部分仍处于变形状态(图5a),950 °C固溶处理后依然有部分处于变形状态(图5b),直到1000 °C奥氏体相才基本完全再结晶。

3 结论

(1)要消除 S32003 双相不锈钢中的氮化物析出相,加热温度应大于950 °C。

(2)随着固溶温度升高,S32003 双相不锈钢中铁素体相的比例增加,奥氏体相的比例下降。建议大生产固溶处理工艺为温度(1040 ± 10)°C,保温30 min,然后水冷。

(3)随着固溶温度提高,两相晶粒尺寸逐渐增大,在1050 °C以下晶粒尺寸长大缓慢,高于1100 °C晶粒急剧长大,且晶粒逐渐由条状长大成等轴状。

(4)在整个固溶温度范围内铁素体相都已发生

完全再结晶,而奥氏体相在900 °C下依然保持变形状态,直到1000 °C才基本完全再结晶。

参考文献

- [1] 陆世英. 不锈钢概论[M]. 北京:中国科学技术出版社,2007.
- [2] 吴 玖. 双相不锈钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2000.
- [3] 丰 涵,宋志刚,译. 含钼经济型双相不锈钢(UNS S32003)用于波斯湾机场屋顶的案例分析[J]. 不锈,2011(4):41-42.
- [4] 周保仓编译. 经济型双相不锈钢 AL2003TM(UNS S32003)的开发[J]. 不锈,2005(2):21-24.
- [5] 徐增华. 金属腐蚀材料[J]. 腐蚀与防护,2001,22(7):321-324.
- [6] Cabrera J M, Mateo A and L Janes L, et al. Hot Deformation of Duplex Stainless Steels[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 143-144(10):321-325.

张寿禄(1969-),男,硕士(2010年北京科技大学),高级工程师,1992年北京科技大学(本科)毕业,钢铁材料组织研究。E-mail:zsl-tisco@163.com

收稿日期:2019-05-17