

冷轧和固溶处理对改进型 202 不锈钢组织和力学性能的影响

范植金¹ 黄 静¹ 李洪波² 许文启² 汤小兰²

(1 武钢集团技术中心, 武汉 430080; 2 武钢集团海南公司, 海口 571924)

摘 要 研究总冷轧变形量 12.5% ~ 46.4% 和 900 ~ 1 150 °C 固溶处理对成分(%)为: 0.04C, 8.18Mn, 15.21Cr, 4.05Ni, 1.65Cu, 0.12N 的改进型 202 亚稳奥氏体不锈钢 3 mm 板组织和性能的影响。结果表明, 经总变形量 46.4% 冷轧后, 形变诱发产生约 26% α' 马氏体, 该钢的强度达 1 200 MPa; 固溶处理使 α' 马氏体发生逆转 ($\alpha' \rightarrow \gamma$), 900 °C 固溶可使 α' 马氏体完全转变成 γ 奥氏体并完成全部再结晶; 改进型不锈钢经 900 ~ 1 100 °C 固溶处理具有预期的组织和良好的综合力学性能。

关键词 改进型 202 不锈钢 冷变形 固溶 组织 力学性能

Effect of Cold Rolling and Solid Solution Treatment on Structure and Mechanical Properties of Modified Type 202 Stainless Steel

Fan Zhijin¹, Huang Jing¹, Li Hongbo², Xu Wenqi² and Tang Xiaolan²

(1 Technology Center, Wuhan Iron and Steel (Group) Co, Wuhan 430080;

2 Hainan Company, Wuhan Iron and Steel (Group) Co, Haikou 571924)

Abstract The effect of total reduction ratio 12.5% ~ 46.4% and solid solution treatment at 900 ~ 1 150 °C on the structure and properties of 3 mm sheet of a modified type 202 metastable austenite stainless steel- 0.04C, 8.18Mn, 15.21Cr, 4.05Ni, 1.65Cu, 0.12N has been studied. The results showed that with 46.4% reduction cold rolling, about 26% deformation-induced α' martensite was formed and the tensile strength of the steel was up to 1 200 MPa; the counter-transformation of α' martensite ($\alpha' \rightarrow \gamma$) occurred by solid solution treatment, and with solid solution at 900 °C the α' martensite was completely transformed to γ austenite and the full recrystallization of steel was finished; and the expected structure and excellent comprehensive mechanical properties were obtained by solid solution treatment at 900 ~ 1 100 °C.

Material Index Modified Type 202 Steel, Cold Deformation, Solid Solution, Structure, Mechanical Properties

202 型不锈钢属以 Mn、N 代 Ni 奥氏体不锈钢, 相对 304 型不锈钢节约了 50% 的 Ni, 且亦具有良好的耐蚀性^[1]。为进一步提高 202 型不锈钢的性能, 又相继开发了一些改进型 202 不锈钢, 但国内外对其微观组织结构和力学性能还缺乏较深入的研究, 为此, 对一种改进型 202 不锈钢的组织结构和力学性能变化特点进行了研究。

1 实验材料及方法

实验材料采用经“EAF + AOD + CC”工艺生产的改进型 202 不锈钢热轧固溶酸洗卷, 固溶温度为 1 060 °C, 钢卷公称尺寸为 3.0 mm × 1 219 mm × C, 卷重 10.23 t, 其化学成分如表 1 所示。在 4 辊可逆式冷轧机上进行冷轧试验。4 辊可逆式冷轧机的规格: $\Phi 395$ mm/ $\Phi 1 240$ mm × 1 430 mm。开卷机功率 298 kW, 轧机 2 984 kW (2 × 1 492 kW), 卷取机 840 kW。轧制工艺参数见表 2。

将冷轧至 1.5 mm 厚度的试验板材剪切成

表 1 实验用改进型 202 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test modified type 202 steel /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	N
0.04	0.43	8.18	0.040	0.006	15.21	4.05	1.65	0.12

表 2 改进型 202 不锈钢板的轧制工艺参数

Table 2 Rolling parameters of modified type 202 steel

道次	出口厚度/ mm	道次变形率/ %	总变形率/ %	弯辊/ %	轧制速度/ m·min ⁻¹
1	2.45	12.5	12.5	-20	80
2	2.20	10.2	21.4	-30	100
3	2.00	9.1	28.6	-40	120
4	1.80	10	35.7	-20	120
5	1.63	9.4	41.8	10	150
6	1.55	4.9	44.6	20	150
7	1.50	3.2	46.4	-40	150

注: 乳化液浓度 3.5%, 温度 50 °C。

1.5 mm × 25 mm × 200 mm 规格的试样, 在实验室马弗炉进行固溶处理试验。固溶处理温度从 900

℃开始依次增加 50 ℃至1 150 ℃,保温时间都为 8 min,出炉后立即水冷。

2 实验结果

2.1 力学性能变化

改进型 202 不锈钢冷轧变形时,加工硬化率高,变形率 ≥ 30%时,增加幅度减缓,至 46.4%时, HV5 硬度高达 370、抗拉强度高达1 200 MPa,分别比热轧固溶态增加 HV5 200 和 600 MPa(图 1)。

图 2(a)表明,改进型 202 不锈钢冷轧板经 900 ℃固溶后,强度开始急剧下降,断面收缩率急剧上升;在 950 ~ 1 050 ℃区间,强度变化不大,断面收缩率略呈缓慢上升趋势;超过1 100 ℃固溶,

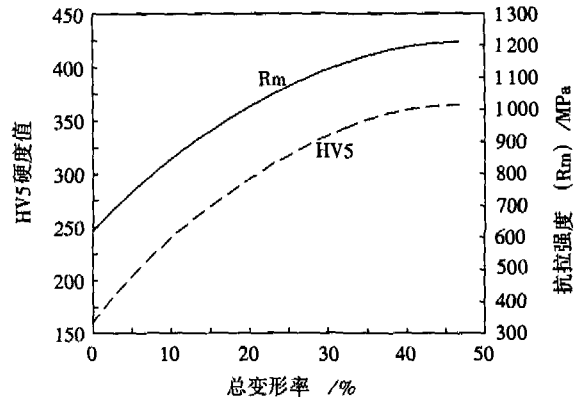


图 1 冷轧总变形率对改进型 202 钢硬度、抗拉强度的影响

Fig. 1 Effect of cold rolling total deformation reduction on hardness and tensile strength of modified type 202 steel

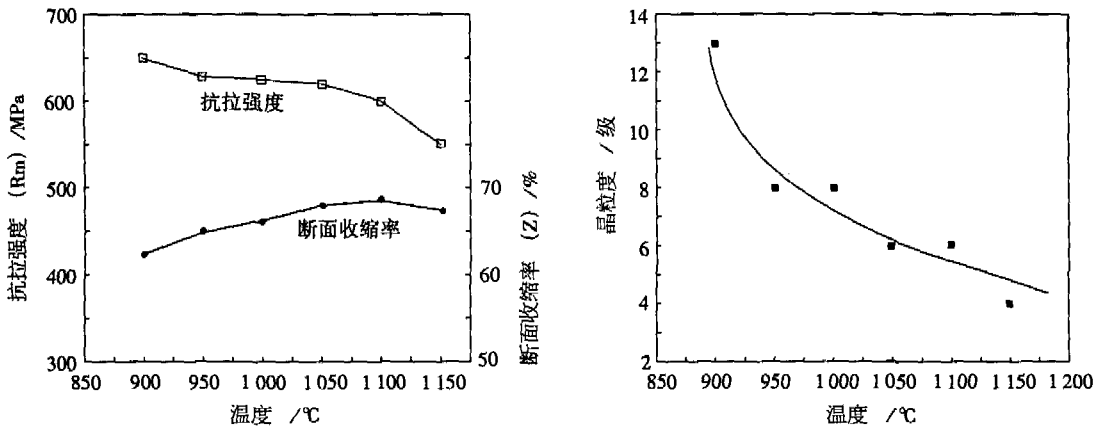


图 2 固溶温度对冷轧改进型 202 钢力学性能(a)和奥氏体晶粒度(b)的影响:冷轧总变形率 46.4%

Fig.2 Effect of solid solution temperature on mechanical properties (a) and austenite grain size (b) of modified type 202 steel: total deformation reduction 46.4%

强度和断面收缩率都开始下降。

2.2 金相组织、晶粒度变化

图 3 可见,改进型 202 不锈钢冷轧前(热轧固溶态)组织和冷轧后固溶态组织都为“奥氏体 + α 相”,α 相(铁素体)呈“串珠状”,与奥氏体基体的界限明显。冷轧未固溶组织中,除“变形奥氏体 + α 相”外,还存在大量类似滑移带组织。

图 2(b)试验结果表明,超过 900 ℃固溶,晶粒开始明显长大;在 950 ~ 1 100 ℃区间,随着温度升高,晶粒长大趋势变化趋缓,变化幅度在 2 级范围;超过1 100 ℃固溶,晶粒又开始加速长大。

2.3 X-射线衍射分析

X-射线衍射分析测定的“体心立方相”和“面心立方相”相对量(忽略碳化物量)见表 3。实验钢经 46.4%的冷轧变形后,“体心立方相”相对量

由冷轧前 15%增加到了 41%,也就是说新产生了 26%的“体心立方相”。冷轧变形诱发形成的“体心立方相”在经 900 ℃以上固溶处理后完全消失,实验钢中的“体心立方相”相对量恢复到冷轧前 15%的水平。

3 讨论

3.1 改进型 202 不锈钢中的 α 相

根据不锈钢在热轧温度时的铬镍当量公式^[2]计算,实验钢的铬当量 = 16.5%,镍当量 = 10.38%。在 Pryce 和 Anrews 的热轧不锈钢组织图中^[2],实验钢的铬、镍当量的交点位于 γ 区,但接近 γ + α 区。这说明实验钢由高温冷到室温,在组织理论上讲应该是单相奥氏体组织,但由于其基体的化学组成是紧挨着 γ - (γ + α) 相区边界,所

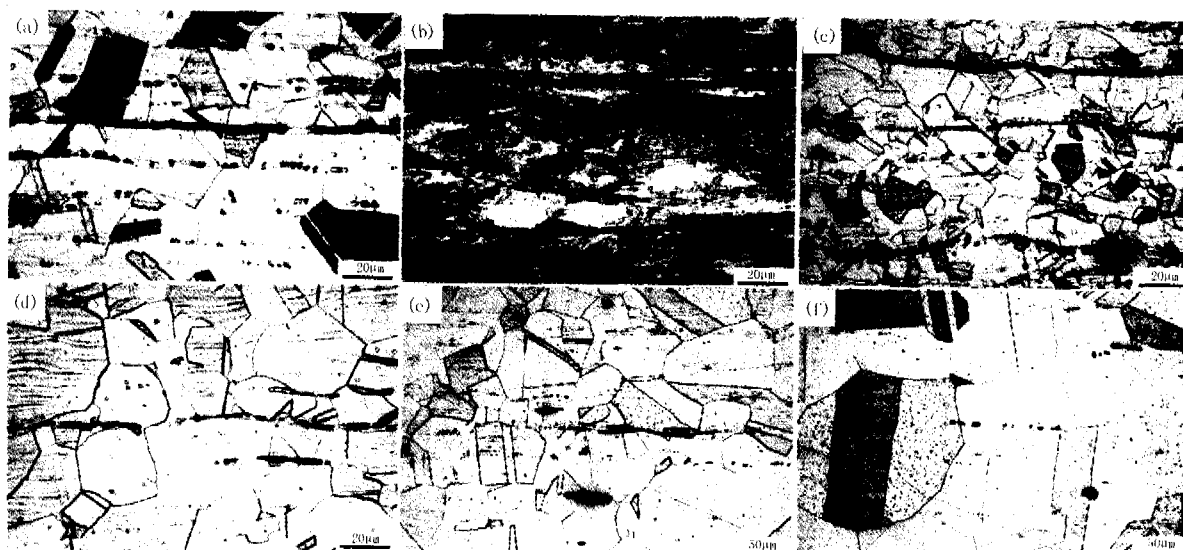


图 3 改进型 202 钢的组织: (a) 热轧 + 固溶; (b) 冷轧, 总变形率 46.4%; (c) 冷轧 + 900 °C 固溶; (d) 冷轧 + 1 000 °C 固溶; (e) 冷轧 + 1 100 °C 固溶; (f) 冷轧 + 1 150 °C 固溶

Fig. 3 Structure of modified type 202 steel: (a) hot rolling + solid solution; (b) cold rolling, 46.4% total reduction; (c) cold rolling + 900 °C solid solution; (d) cold rolling + 1 000 °C solid solution; (e) cold rolling + 1 100 °C solid solution; (f) cold rolling + 1 150 °C solid solution

表 3 改进型 202 钢不同状态下“体心立方相”和“面心立方相”相对量测定结果

Table 3 Measuring results of relative amount of “body-centered cubic phase” and “face-centered cubic phase” in modified type 202 steel at different conditions

试样状态	“体心立方相” 相对量/%	“面心立方相” 相对量/%
热轧固溶, 冷轧前坯料	15	85
冷轧, 总变形率 46.4%	41	59
900 °C 固溶处理	12	88
1 100 °C 固溶处理	15	85

以基体的成分变化很容易导致 α 相的形成, 这些 α 相在加工变形时将沿轧制方向延伸成“串珠状”, 在固溶处理时仍将保留下来。

3.2 冷变形和固溶处理对组织和力学性能的影响

根据含铜、氮奥氏体不锈钢稳定性系数 (Δ) 公式计算^[2], 本实验钢 $\Delta = -2.45$, 属亚稳定奥氏体不锈钢。由奥氏体稳定性对形成 α' 马氏体的门槛应变量的影响图可知^[2], 本实验钢的 α' 马氏体形成初始的应变在 17% 左右, 经 46.4% 的冷轧变形后, 增加的 26% “体心立方结构相”应是应变诱发形成的 α' 马氏体。研究表明^[3], 奥氏体稳定性系数 $\Delta = -2.6$ 的不锈钢经 40% 的冷拉后, 形变诱发 α' 马氏体量达 24%, 与本试验结果基本吻合。

冷轧态试验板材经 900 °C 固溶处理后, 强度急剧下降, 塑性显著上升, 纤维状组织转变为等轴

状组织, 已完全再结晶, “类滑移带组织”消失, “体心立方结构相”和“面心立方结构相”的相对量恢复到冷轧前水平, 说明 α' 马氏体全部发生了 $\alpha' \rightarrow \gamma$ 逆转变。固溶温度提高至 950 °C 时, 奥氏体晶粒明显长大, 此时 Cr_{23}C_6 碳化物已开始溶解。

4 结论

(1) 改进型 202 不锈钢属亚稳定奥氏体不锈钢, 铬、镍当量的交点位于 γ 区, 但接近 $\gamma + \alpha$ 区。

(2) 改进型 202 不锈钢的冷加工硬化非常显著, 46.4% 的冷轧变形可形成约 26% 的 α' 马氏体。

(3) 改进型 202 不锈钢冷轧板经 900 °C 以上温度固溶处理后, 再结晶已完成, α' 马氏体全部发生了 $\alpha' \rightarrow \gamma$ 的逆转变。

参考文献

- 1 長谷川正義監修. ステンレス鋼便覧第 3 版. 日本: 日刊工業新聞社, 1995
- 2 唐纳德 皮克纳, I. M. 伯恩斯坦. 不锈钢手册. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 3 本田雄亮, 柳沼秀和, ほか. 伸線加工を施した高強度ステンレス鋼線の水素吸蔵と脆化感受性. 材料とプロセス, 2005, 18(3): 332

范植金(1963-), 男, 高级工程师, 1984 年武汉科技大学毕业, 从事特钢产品和中厚板新钢种研究。

收稿日期: 2005-10-07