

退火处理对 00Cr12Ti 铁素体不锈钢组织和性能的影响

李 烁 陈雨来 江海涛 唐小勇 甄翠娜

(北京科技大学高效轧制国家工程研究中心, 北京 100083)

摘 要 研究了 700 ~ 900 °C 退火对 25 kg 真空感应炉冶炼、7 道次热轧成 3 mm 板再冷轧成 1 mm 板的 00Cr12Ti 钢的组织 and 力学性能的影响。结果表明, 850 °C 2 min 退火, 冷轧板具有良好的综合力学性能, 抗拉强度 ≥ 400 MPa, 伸长率 34.5%, 加工硬化指数 n 值 0.26, 塑性应变比 r 值 1.1; 通过电子背散射衍射技术 (EBSD) 分析得出冷轧板 850 °C 退火时 {111} 取向最多, 再结晶充分。

关键词 铁素体不锈钢 退火处理 力学性能 取向分布

Effect of Annealing Processing on Structure and Properties of Ferritic Stainless Steel 00Cr12Ti

Li Shuo, Chen Yulai, Jiang Haitao, Tang Xiaoyong and Zhen Cuina

(National Engineering Research Center for Advanced Rolling Technology, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract Effect of annealing at 700 ~ 900 °C on structure and mechanical properties of 00Cr12Ti steel 1 mm sheet produced by 25 kg vacuum induction furnace melting, 7 passes hot rolling to 3 mm plate and cold rolling process has been studied. Results showed that with annealing at 850 °C for 2 min the cold rolled sheet has excellent comprehensive mechanical properties- tensile strength ≥ 400 MPa, elongation 34.5%, work-hardening exponent n 0.26 and plastic strain ratio r 1.1; and with electro backscattering diffraction (EBSD) analysis it was obtained that the most {111} orientation was obtained as cold rolled sheet annealed at 850 °C and the steel recrystallized completely.

Material Index Ferritic Stainless Steel, Annealing Process, Mechanical Properties, Orientation Distribution

铁素体不锈钢具有优良的耐氯化物应力腐蚀、耐点腐蚀和耐缝隙腐蚀性能, 与奥氏体不锈钢相比, 铁素体钢的强度高, 冷加工硬化倾向较低^[1,2]。铁素体不锈钢这些特有性能, 可以很好地满足汽车排气系统用钢的要求, 已成为汽车排气系统的首选材料^[3]。

1 实验材料和方法

实验材料采用 25 kg 真空感应炉冶炼后获得铸锭, 经锻造后的尺寸 (长 × 宽 × 厚) 为: 80 mm × 80 mm × 60 mm, 其化学成分如表 1 所示。

表 1 实验钢的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of test steel / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Al	N
0.017	0.57	0.36	0.006	0.004	11.93	0.18	0.005	0.015

钢坯在电阻加热炉内加热至 1 180 °C, 在二辊热轧机上经 7 道次轧制, 热轧板厚度为 3 mm。经冷轧后的钢板厚度为 1 mm, 退火处理分别在 700, 720, 750, 780, 800, 820, 850, 880, 900 °C 的不同温度中保温 2 min 后空冷。退火后对试样进行力学性能检

测, 力学性能测试设备为 MTS810 试验机。

在退火钢板上用线切割截取尺寸为 12 mm × 10 mm 金相试样, 观察金相组织。试样经 600# ~ 2 000# 金相水砂纸逐级打磨后, 在预磨机上进行抛光, 然后在含 20% 高氯酸的乙酸溶液中电解抛光, 制备好的试样在型号为 LEO1450 携带 EBSD 系统的电镜上进行点扫描。

2 实验结果及分析

由图 1 可见, 随着温度的提高, 虽然 00Cr12Ti 钢屈服强度和抗拉强度整体下降, 在 800 °C 以前退火, 组织还处在加工应变硬化状态, 而来不及回复与再结晶, 导致钢板的强度与硬度值很高, 伸长率极低^[4]; 从图 1 中发现当温度在 800 °C 以后, 保温 2 min 时, 屈服强度和抗拉强度都达到了相对比较稳定的状态; 随着退火温度的升高, 钢的伸长率有很大程度的改善, 从最初的 6% 到后来的 34.5%, 当温度高于 850 °C 以后, 该钢的伸长率有非常明显的下降趋势; 而加工硬化指数 n 值随着退火温度的升高, 从最初的 0.04 上升到 0.26, 在 850 °C 以后也变化不太明显; 随着退火温度的升高, 塑性应变比 r 值也从最初的 0.3 提升到 1.1, 从 700 °C 到 820 °C 之间, 塑

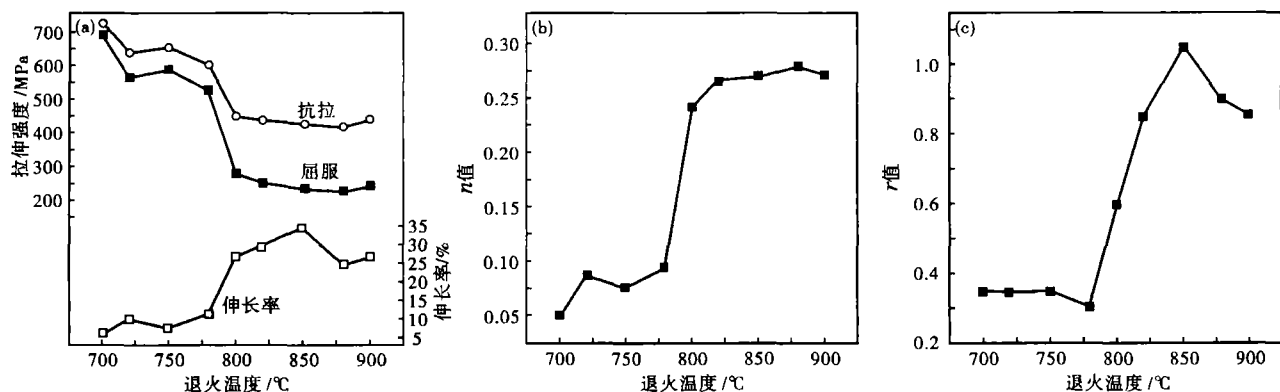


图 1 退火温度对 00Cr12Ti 钢冷轧板强度和伸长率(a), n 值(b)和 r 值(c)的影响

Fig. 1 Effect of annealing temperature on strength and elongation (a), n value (b) and r value of cold rolled sheet of steel 00Cr12Ti

性应变比随着温度的升高逐渐增大,当温度高于 850 °C 时,随着温度的升高而下降;随着退火温度的进一步提高(820 ~ 900 °C),冷轧板已充分再结晶。

图 2 为 00Cr12Ti 铁素体不锈钢冷轧板在 800, 850, 900 °C 下保温 2 min 的电子背散射衍射 (EBSD) 取向分布图与晶粒角度分布图,其中红色晶粒为 $\{111\}$ 取向,蓝色晶粒为 $\{110\}$ 取向,黄色晶粒为 $\{100\}$ 取向,从中可以看出 3 种退火制度下, $\{111\}$ 取向晶粒始终占绝对优势。图 2(a) 表明在 800 °C

保温 2 min 的热处理过程中,00Cr12Ti 的晶粒还存在部分拉长的形变晶粒(纤维条带状组织),再结晶晶粒大都比较细小,小角度晶界相对较多;而在 850 °C 保温 2 min 的热处理过程中,00Cr12Ti 钢铁素体晶粒较大,形变组织基本消失, $\{111\}$ 取向晶粒也达到最多,大角度晶界明显增多,如图 2(b) 所示,这说明了再结晶程度比较充分,从而也说明了此退火温度获得良好力学性能的原因;但是在 900 °C 保温 2 min 的热处理中,如图 2(c) 所示,虽然结晶程度更

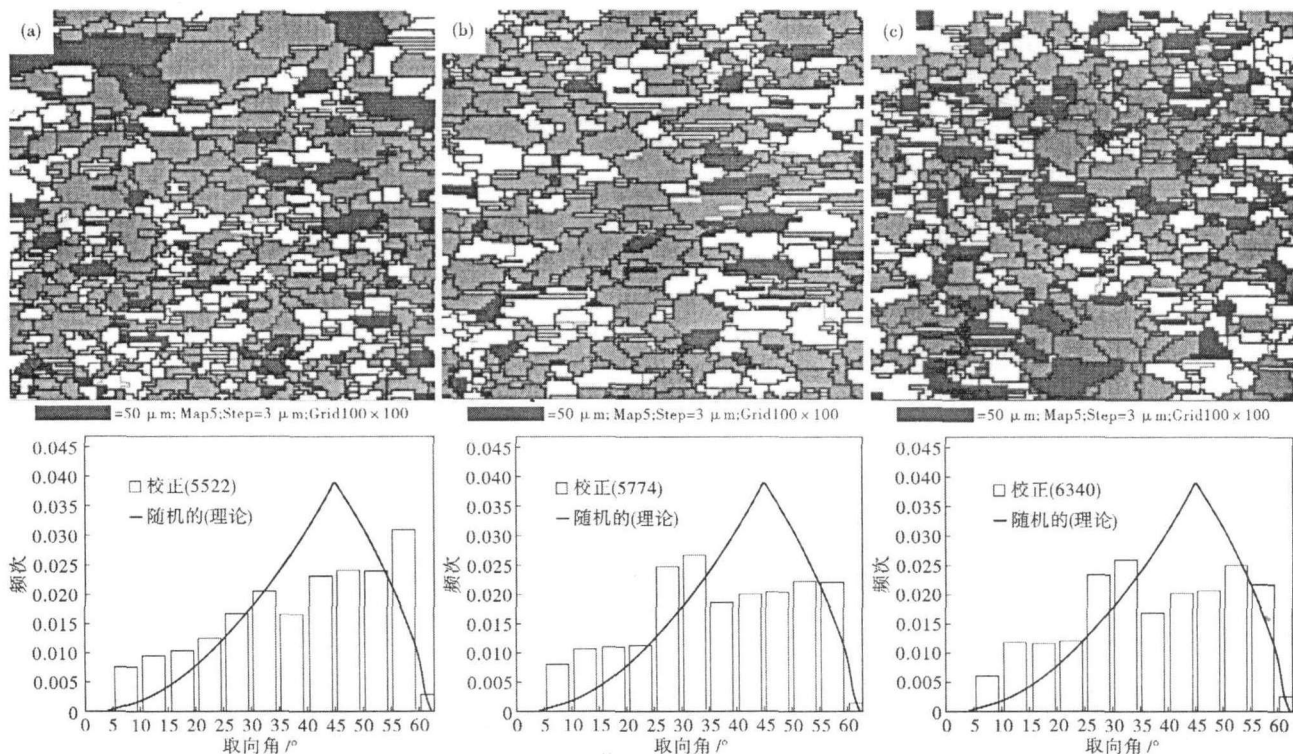


图 2 退火温度对 00Cr12Ti 钢冷轧板晶粒取向与晶粒角度取向差分布的影响:(a)800 °C 2 min;(b)850 °C 2 min;(c)900 °C 2 min

Fig. 2 Effect of annealing temperature on grain orientation and mis-orientation angel distribution of cold rolled sheet of steel 00Cr12Ti: (a) 800 °C for 2 min; (b) 850 °C for 2 min; (c) 900 °C for 2 min

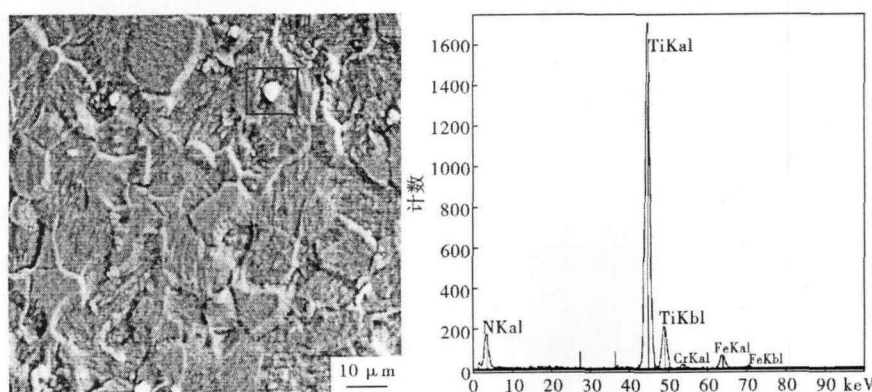


图3 00Cr12Ti 冷轧板 880 °C 退火的组织(SEM)与析出物能谱图

Fig.3 Structure (SEM) and energy spectrum chart of 00Cr12Ti steel cold rolled sheet annealed at 880 °C

加充分,大角度晶界更加集中,但是有利结构 $\{111\}$ 却明显减少,导致了塑性应变比 r 值的降低;而且此温度附近有利于Ti(C,N)二相粒子的析出,从而导致此温度退火钢板强度与硬度稍有上升,如图3所示为880 °C退火钢板组织的扫描照片与能谱图,扫描探针打的点为方框中的圆形颗粒,图中Ti与N的峰值都大大超过基体。因此,方框中的圆形颗粒为TiN析出物。

综上所述,00Cr12Ti 钢板在不同温度下保温2 min的退火过程中,随着温度的升高,在退火温度为700~780 °C时,组织为变形晶粒,基本没有发生晶粒再结晶;当温度升高到780 °C时,试样内开始有少量的再结晶晶粒,随着温度的升高,晶粒逐渐形核、长大。当温度升到800 °C时,钢板内已有大量的再结晶晶核,再结晶晶粒尺寸比较小,但是还存在少部分变形晶粒;当温度为880 °C时,钢板内晶粒已基本发生再结晶,并且有些晶粒开始长大;当温度升至900 °C时,铁素体形变组织发生更加充分的再结晶。

00Cr12Ti 钢冷轧板的静态再结晶规律与钢中含有较多的钛相关。当温度在850 °C以上时Ti容易与钢中的间隙原子C、N形成Ti(C,N)二相粒子析出,弥散分布在组织中;当晶界移动到第二相质点时,质点对晶界起着钉扎作用,降低了晶界的活动性,这样晶粒长大缓慢,而且长到一定尺寸后,基本稳定下来,很难进一步发展,因此晶粒度变化不大^[4]。这从图2的850 °C与900 °C的晶粒取向分布图对比可以看出两者晶粒度大都在20 μm左右。根据文献[5]表明,00Cr12Ti 钢板在900 °C附近退火有碳化物颗粒析出并长大,对钢板伸长率有害。而且从图2(c)中可以看出,有利于深冲性能的

$\{111\}$ 取向晶粒也明显减少,从而导致较差的伸长率与 r 值^[6]。这些都与钢的力学性能相符合。

3 结论

(1) 00Cr12Ti 钢在低于800 °C保温2 min进行退火时,钢板的力学性能较差,主要是铁素体组织没有充分再结晶,大部分还处于加工硬化状态;而在高于800 °C保温2 min退火时,再结晶较充分,力学性能处于一个比较稳定的水平,而在850 °C

保温2 min退火,00Cr12Ti 钢的综合力学性能最佳。

(2) 利用EBSD技术发现,00Cr12Ti 钢存在大量有利于深冲性能的 $\{111\}$ 取向的晶粒,在850 °C退火时达到最多,说明此温度下退火对试验钢板的成形性有利;与800 °C退火钢的组织相比,形变组织基本消失,小角度晶界明显减少,冷轧退火钢板再结晶更加充分。

(3) 实验表明退火温度的升高,虽然能使铁素体组织再结晶更加充分,但是在880 °C与900 °C保温2 min的退火过程中,会有Ti(C,N)二相粒子析出,弥散分布在组织中,且有利于碳化物颗粒析出长大, $\{111\}$ 取向的晶粒也会明显减少,不利取向的晶粒会增多,从而导致00Cr12Ti 钢的强度升高,伸长率与 r 值大幅降低。

参考文献

- 1 Abuzaid, Nabil S. Ground Water Coagulation Using Soluble Stainless Steel Electrodes. *Advances in Environmental Research* Volume:6, Issue:3, September, 2002:325
- 2 毕洪运,李 鑫,欧响波,等. 汽车尾气排放系统低温端用铁素体不锈钢开发. *宝钢技术*, 2007(4):1
- 3 王伟利,毛惠刚. 汽车排气系统用409型铁素体不锈钢的开发研究. *宝钢技术*, 2005(4):56
- 4 宋维锡. *金属学*. 北京:冶金工业出版社, 1989
- 5 李学锋. 汽车用00Cr12Ti 钢的性能优化. *钢铁*, 2004, 39(7):54
- 6 曹圣泉,张津徐,吴建生. IF钢再结晶晶粒尺寸、显微组织和晶界特征分布的EBSD研究. *理化检验-物理分册*, 2004(4):163

李 烁(1983-),男,硕士研究生,2006年山东理工大学毕业,特殊钢研究和开发。

收稿日期:2008-07-15