

退火温度对 08Al 冷轧板力学性能的影响

王 鸣¹, 王 杰¹, 赵 杰¹, 柳金龙², 孙跃军¹

(1. 辽宁工程技术大学材料科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000;

2. 东北大学材料各向异性与织构教育部重点实验室, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 对 08Al 冷轧钢板在不同退火温度下的显微组织与力学性能进行了研究, 讨论了退火温度对 08Al 冷轧板力学性能的影响。结果表明, 在退火温度为 680 ℃ 时 08Al 冷轧板获得较为均匀的组织结构, 当退火温度超过 720 ℃ 时, 出现晶粒异常长大和半网状、网状渗碳体; 随退火温度升高, 08Al 冷轧板的硬度逐渐下降; 屈服比先降低后升高, 在 680 ℃ 时相对较低。

关键词: 08Al 冷轧板; 退火温度; 显微组织; 力学性能

中图分类号: TG162.83 文献标志码: A 文章编号: 1009-6264(2015)增刊 I-0107-04

Effect of annealing temperature on mechanical properties of 08Al cold-rolled sheet

WANG Ming¹, WANG Jie¹, ZHAO Jie¹, LIU Jin-long², SUN Yue-jun¹

(1. Department of Materials Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. Key Laboratory for Anisotropy and Texture of Materials, Ministry of Education, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: Microstructure and mechanical properties of 08Al cold-rolled sheet were investigated under different annealing temperatures. The effect of annealing temperature on the mechanical properties of 08Al cold-rolled sheet was discussed. The results show that the microstructure of the 08Al cold-rolled sheet is more uniform at the annealing temperature of 680 ℃. The abnormal grain growth and network cementite appears when the annealing temperature is higher than 720 ℃. The hardness of the 08Al cold-rolled sheet decreases with the increasing annealing temperature. The yield-strength ratio of the 08Al cold-rolled sheet decreases first and then increases as the annealing temperature increases. The value of the yield-strength ratio is the lowest at the annealing temperature of 680 ℃.

Key words: 08Al cold-rolled sheet; annealing temperature; microstructure; mechanical properties

DOI:10.13289/j.issn.1009-6264.2015.s1.021

热处理是冷轧产品生产中的关键工序, 通过对冷轧卷的退火, 可以消除在轧制过程中产生的应力, 改善冷轧钢的力学性能, 满足对冷轧板进行深加工的质量要求^[1-9]。同时在退火过程中要完成铁素体再结晶形核和晶粒长大以及再结晶织构发展, 因此退火工艺的各项参数直接决定了钢板最终的力学性能。吴保才等人^[3]具体讨论了退火温度对 08Al 冷轧板组织和织构的影响, 发现{111} <UVW> 织构组分的百分含量最高, {111} <UVW> / {001} <110> 的比值最大。在 S08Al 冷轧板退火态组织和结构特征的探究中, 何立新等^[6]表示冷轧退火组织与热轧态差别较大, S08Al 带钢冷轧退火态晶粒尺寸明显大于热轧态, 珠光体岛的形貌基本消失, 但组织的不均匀性改

善不大, 说明 S08Al 热轧带钢的组织不均匀性在后续退火过程中不可能完全被消除。本文对 08Al 冷轧板进行了退火处理, 研究了不同退火温度下 08Al 冷轧板显微组织、力学性能的变化规律, 获得了最优的退火温度。对生产中 08Al 退火工艺在力学性能方面的优化具有参考价值和现实意义。

1 实验材料与方法

以厚度为 1 mm 的 08Al 冷轧薄板为实验材料, 在实验室箱式电阻炉中进行真空退火。具体的工艺制度为将实验样品从室温加热到不同的退火温度: 600、640、680 和 720 ℃, 保温 1 h, 然后随炉冷却到室温。采用光学显微镜 (Zeiss Acovert 40 MAT, OM) 和扫描电子显微镜 (SHIMADZU SSX-550, SEM) 进行显微组织观察。

采用维氏显微硬度计对试样进行硬度测试, 测定载荷为 50 g, 加载时间为 10 s, 每个试样测试 5 个硬度值, 然后求取平均值。

冷轧板切割成标准拉伸试样 ($L_0 = 25$ mm), 在每个

收稿日期: 2014-10-10; 修订日期: 2015-04-09

基金项目: 国家自然科学基金 (51404136)

作者简介: 王 鸣 (1982—), 男, 副教授, 博士, 主要从事金属及小尺度相关材料力学行为研究, 发表论文 10 余篇, 电话: 18341871808, E-mail: mwang_lntu@hotmail.com。

测试温度下进行3组拉伸实验。拉伸速率为6 mm/min。常温单向拉伸试验在微型控制电子实验机上进行。

2 结果与讨论

2.1 退火温度对显微组织的影响

图1为不同退火温度下的显微组织照片。由图

1可知,退火温度为600℃时,晶粒较细(图1a)。随退火温度升高,晶粒尺寸逐渐增大(图1b~1d)。当退火温度达到720℃时,出现了比较明显的大晶粒(图1d),出现这种现象的原因是退火温度过高导致了部分晶粒的异常长大。

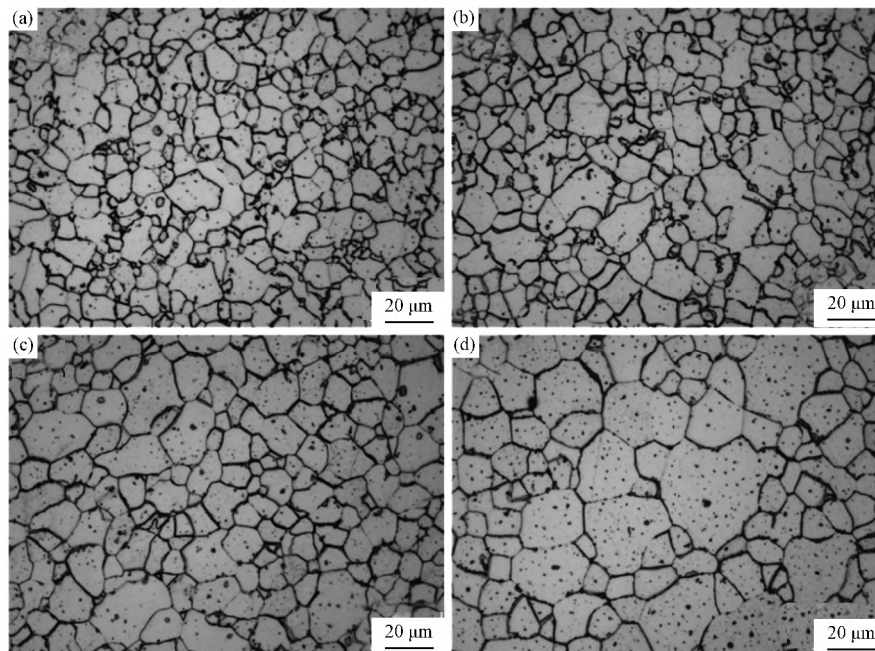


图1 不同退火温度下08Al冷轧板的光学显微组织形貌

Fig. 1 Optical microstructure of the 08Al cold-rolled sheet at different annealing temperatures

(a) 600 °C; (b) 640 °C; (c) 680 °C; (d) 720 °C

对不同退火温度下对08Al冷轧板的晶粒面积进行了统计,结果如图2所示。由图2可知,随退火温度升高,晶粒逐渐长大,在680℃以下时,增大速率较小,当退火温度超过680℃时,晶粒急剧长大。通过各退火温度下晶粒面积的误差棒长短可以知道,晶粒均匀度先降低后升高,在680℃时,晶粒更加均匀,而在720℃时晶粒尺寸分布变得非常不均匀。潘欣等^[10]发现08Al钢板的再结晶温度范围在520~580℃,因此在本实验的退火温度下,08Al冷轧板需要经历再结晶形核以及长大过程。在退火温度为600~680℃时,退火温度越高,再结晶越充分,小晶粒有条件长大,组织也越均匀。而在720℃时,局部超过共析相变点,再结晶长大速率变大,导致部分晶粒急剧长大。

图3为不同退火温度下08Al冷轧板的扫描电镜照片。由图3可知,退火组织均由铁素体和渗碳体组成。在600、640和680℃等退火温度下的渗碳体为游

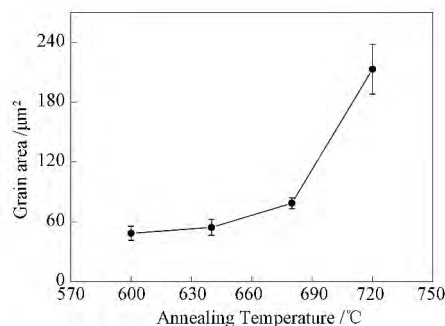


图2 08Al冷轧板晶粒面积与退火温度的变化关系

Fig. 2 Relationship between grain area of the 08Al cold-rolled sheet and annealing temperatures

离渗碳体(图3a~3c)。在720℃的退火组织中出现了明显的半网状和网状的渗碳体(图3d中箭头位置)。在退火温度为720℃的样品中,由于退火温度的不均匀,导致样品局部温度过高,超过共析相变点,析出少量奥氏体,缓慢冷却时导致网状渗碳体离异析出。

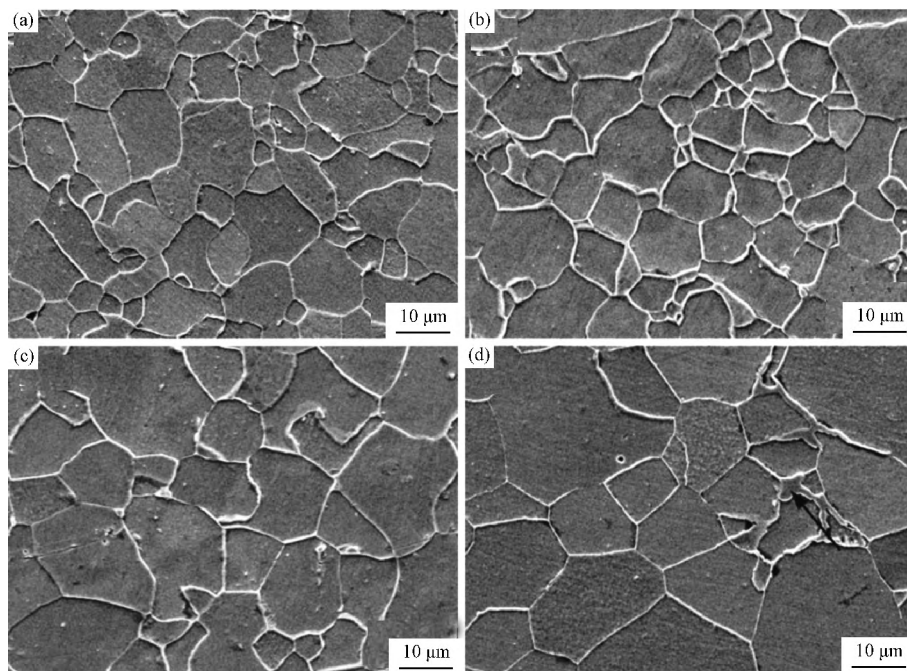


图3 不同退火温度下 08Al 冷轧板的 SEM 显微形貌观察

Fig.3 SEM microstructure of the 08Al cold-rolled sheet at different annealing temperatures

(a) 600 °C; (b) 640 °C; (c) 680 °C; (d) 720 °C

2.2 退火温度对力学性能的影响

2.2.1 退火温度对硬度的影响

图4为08Al冷轧板在不同退火温度下的维氏硬度。由图4可知,随退火温度升高,08Al冷轧板维氏硬度逐渐降低。当退火温度从600 °C升高到640 °C时,硬度值下降幅度不大;当退火温度从640 °C升高到720 °C时,硬度值下降的幅度明显增大。其原因可能为:(1)随退火温度升高,渗碳体析出增多,而在晶粒内部的渗碳体逐渐减少。渗碳体的硬度远远大于铁素体,因此硬度逐渐降低^[11]。(2)随退火温度升高,晶粒逐渐长大,晶界密度降低,晶界对位错运动起到阻碍作用,所以晶粒越大,位错被阻滞的部位越少,因而硬度下降^[12]。

2.2.2 退火温度对拉伸性能的影响

图5(a)为不同退火温度下08Al冷轧板力学性能的变化关系。由图5可知,随退火温度升高,08Al冷轧板的屈服强度和抗拉强度均有不同程度降低。当退火温度从600 °C升高到640 °C时,08Al冷轧板的断裂伸长率升高;当退火温度从640 °C升高到680 °C时,断裂伸长率出现降低趋势,但640 °C和680 °C的数据相差不大。

屈服强度和抗拉强度随温度升高而降低的原因主要是退火消除了冷轧后的加工硬化现象,冷轧钢的

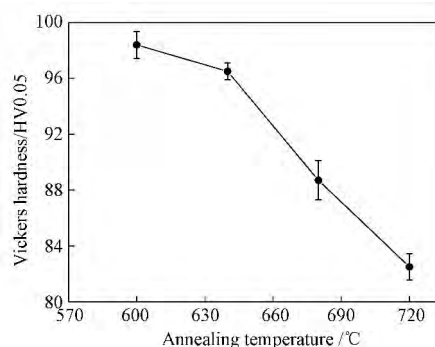


图4 08Al 冷轧板维氏硬度与退火温度的变化关系

Fig.4 Relationship between Vickers hardness of the 08Al cold-rolled sheet and annealing temperature

性能得到明显改善。从晶粒尺寸方面分析屈服强度随退火温度的变化情况,当退火温度上升时,试样的晶粒尺寸逐渐变大。屈服强度与晶粒大小的关系可由 Hall-Petch^[11] 关系式表示:

$$\sigma_{ys} = \sigma_0 + k_y d^{-1/2} \quad (1)$$

式中 σ_{ys} 表示材料的屈服强度; d 为晶粒的平均直径; k_y 为关系式的斜率。根据 Hall-Petch 关系式可以看出,当晶粒尺寸变大时, σ_{ys} 呈现下降的趋势。

断裂伸长率变化的原因可能为随退火温度的升高晶粒逐渐均匀化,出现升高的现象,但随温度的升

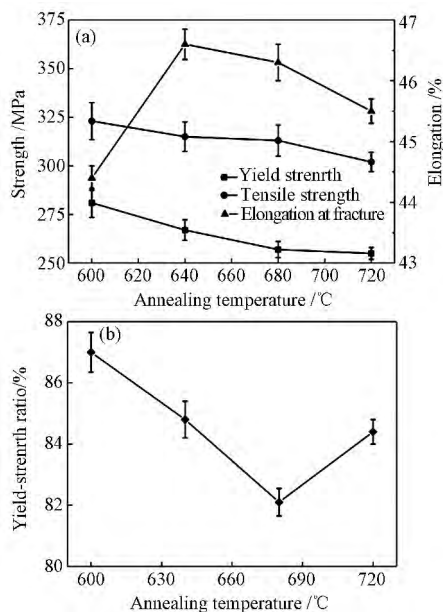


图5 退火温度对08Al冷轧板不同力学性能指标的影响 (a) 力学性能; (b) 屈强比

Fig. 5 The effect of annealing temperature on the different mechanical properties index of the 08Al cold-rolled sheet (a) mechanical properties; (b) yield-strength ratio

高晶粒也逐渐变大,伸长率出现短暂下降,在720 °C退火温度时,组织中出现网状和半网状渗碳体,使试验样品的力学性能降低。

图5(b)为08Al冷轧板的屈强比与退火温度的关系曲线。由图5(b)可知,屈强比随退火温度升高表现出先降低后升高的变化趋势,在680 °C时达到最低值。

屈强比是表征材料由塑性变形到最后断裂过程的形变容量,衡量冷轧板的重要指标^[5]。为保证结构设计的安全性,要求钢材在断裂之前具有足够的塑性变形,所以要求钢材具有低的屈强比。

3 结论

1) 08Al冷轧板在退火温度为680 °C时获得较为均匀的组织结构,当退火温度超过720 °C时会出现晶粒异常长大和半网状、网状渗碳体;

2) 随退火温度升高,08Al冷轧板的硬度逐渐下降。08Al冷轧板的屈强比呈现先降低再升高的趋势,在680 °C时相对较低。

参 考 文 献

- [1] Xu G, Yang Y, Zhang X Q, et al. Influence of annealing technology on drawing properties of cold sheets rolled with compact strip production hot bands [J]. ISIJ International, 2007, 47(12): 1767–1771.
- [2] Cardozo J J, Rivas A L, Colas R. Effect of the annealing conditions on the microstructure and mechanical properties of a 0.04% C Al killed steel [J]. Materials Science Forum, 2007, 539/543: 4208–4213.
- [3] 吴保才, 石 锋, 程新宇, 等. 退火温度对08Al冷轧板组织性能和结构的影响[J]. 材料热处理学报, 2011, 32(12): 61–65.
WU Bao-cai, SHI Feng, CHENG Xin-yu, et al. Effects of annealing temperature on microstructure, property and texture of 08Al cold-rolled sheet [J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2011, 32(12): 61–65.
- [4] Ray R K, Jonas J J. Cold rolling and annealing textures in low carbon and extra low carbon steels [J]. International Materials Reviews, 1994, 39(4): 129–172.
- [5] Jahazi M, Eghali B. The influence of hot rolling parameters on the microstructure and mechanical properties of an ultra-high strength steel [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 103(2): 276–279.
- [6] 何立新, 王 强, 曾新国, 等. S08Al冷轧板退火态组织和结构特征[J]. 轧钢, 2010, 27(3): 16–19.
HE Li-xin, WANG Qiang, ZENG Xin-guo, et al. Microstructure and texture features of the S08Al cold rolled sheet after annealing [J]. Steel Rolling, 2010, 27(3): 16–19.
- [7] 康永林, 景钦广, 吴光亮, 等. 卷取温度、冷轧总变形量对含硼08Al钢力学性能的研究[J]. 钢铁, 2007(4): 67–72.
KANG Yong-lin, JING Qin-guang, WU Guang-liang, et al. Influence of coiling temperature and total cold rolling reduction rate on mechanical properties of B-containing 08Al steel [J]. Iron & Steel, 2007(4): 67–72.
- [8] 李慧琴, 王玉峰, 邢淑清. CSP生产条件下冷轧板退火组织的实验研究[J]. 轧钢, 2007, 24(1): 18–21.
LI Hui-qin, Wang Yu-feng, XING Shu-qing. Experiment study of annealing texture of cold rolled sheet in CSP process [J]. Steel Rolling, 2007, 24(1): 18–21.
- [9] 胡卓超, 赵 骥, 左 良. 电场退火对08Al深冲钢板深冲性能的影响[J]. 东北大学学报, 2002, 23(10): 948–951.
HU Zhuo-chao, ZHAO Xiang, ZUO Liang. Effects of electric field annealing on the deep-drawing properties of 08Al killed steel sheet [J]. Journal of Northeastern University, 2002, 23(10): 948–951.
- [10] 潘欣华, 维 林瑞民, 等. 罩式退火过程中温度场对08Al冷轧钢带再结晶的影响[J]. 金属热处理, 2011, 36(7): 61–63.
PAN Xin, HUA Wei, LIN Rui-min, et al. Effect of temperature recrystallization of 08Al cold rolled steel strip in bell-type furnace annealing [J]. Heat Treatment of Metals, 2011, 36(7): 61–63.
- [11] 徐 洲, 赵连成. 金属固态相变原理[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [12] 石德珂. 材料科学基础[M]. 第二版. 北京: 机械工业出版社, 2003.