

The Effect of Annealing Technics on the Microstructures and Properties of 5083 Aluminum Alloy Sheet

Hengyang Lu^{1,2}, Yunlai Deng^{1,2}, Qingsong Dai^{1,2}, Jiaqi Zhang^{1,2}, Ping Fu^{1,2}

¹School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha

²Key Laboratory of Nonferrous Materials Science and Engineering, Ministry of Education, Central South University, Changsha

Email: dai19890206@sin.com, luckdeng@mail.csu.edu.cn

Received: May 22th, 2014; revised: Jun. 19th, 2014; accepted: Jun. 26th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The effect of annealing technics on the microstructures and properties of 5083 aluminum alloy sheet were analysed by metallography, tensile testing, deep drawing and texture analysis. Results indicated that: the sheet started to recrystallize after 270°C/1 h annealing and recrystallization finished after 360°C/1 h annealing. The strength of 5083 Al declined while elongation rised after annealing. The sheet without annealing treatment was prone to generate cracks at the bottom of the cup under deep drawing cups testing, and the deep drawing performance was improved after annealing. The earing rate was only 2.44% when the annealing technics was 360°C/1 h. The texture detection analysis found that the deformation textures of cold-roll sheet were strong, while deformation textures declined and recrystallization textures enhanced after 360°C/1 h annealing.

Keywords

5083 Aluminum Alloy, Annealing Technics, Microstructures and Properties

退火工艺对5083铝合金板材组织性能的影响

卢恒洋^{1,2}, 邓运来^{1,2}, 戴青松^{1,2}, 张佳琪^{1,2}, 付平^{1,2}

¹中南大学, 材料科学与工程学院, 长沙

²中南大学, 有色金属材料科学与工程教育部重点实验室, 长沙
Email: dai19890206@sin.com, luckdeng@mail.csu.edu.cn

收稿日期: 2014年5月22日; 修回日期: 2014年6月19日; 录用日期: 2014年6月26日

摘要

采用金相观察、室温拉伸、冲杯实验、织构分析等方法分析了不同退火制度对5083铝合金板材组织性能的影响。分析结果表明: 5083铝合金板材经270℃/1 h退火后开始发生再结晶, 360℃/1 h退火后实现完全再结晶; 板材随着退火温度的升高抗拉强度与屈服强度呈下降趋势, 延伸率呈上升趋势; 未经退火处理的冷轧板深冲时底部容易出现裂纹, 退火后深冲性能得到改善, 经360℃/1 h退火的板材深冲性能最好, 制耳率为2.44%; 经织构检测分析发现冷轧板具有强的形变织构, 经360℃/1 h退火后形变织构减弱, 再结晶织构增强。

关键词

5083铝合金, 退火工艺, 组织性能

1. 引言

5083 铝合金 Al-Mg 系不可热处理强化型变形铝合金, 具有质量轻、中等强度、良好的成型性能、耐腐蚀性能、焊接性能等特点, 因此广泛应用于车辆、船舶、航空航天等交通运输制造业及罐料制造业等领域[1]-[3]。5083 铝合金板材经冷轧变形后, 强度提高, 而塑性降低, 给后续深冲等冷变形加工带来困难, 因此在进行成型工艺之前常需要对板材进行退火处理, 以改善板材的成型性能[4]-[5]。本文将对冷变形量为 80% 的 5083 板材在不同温度下进行退火处理, 对板材组织性能进行检测, 分析退火制度对 5083 铝合金板材组织性能的影响。

2. 实验材料和实验方法

本文实验用材料为 5.0 mm 厚 5083-O 态热轧板, 其化学成分如表 1 所示。

将热轧板冷轧至 1 mm, 冷变形量为 80%, 从冷轧板上截取样品分别进行如下处理: 不退火、270℃/1 h 退火、300℃/1 h 退火、330℃/1 h 退火、360℃/1 h 退火、390℃/1 h 退火, 并将样品分别记为 1#、2#、3#、4#、5#、6#。对 6 组样品进行金相观察与纵向室温拉伸检测, 分析不同退火制度对金相组织与力学性能的影响; 对 1#、4#、5#、6#等 4 组样品进行冲杯实验, 分析退火制度对深冲性能的影响; 采用 Brucker D8 Discovery 测量 1#、5#样品的{111}、{200}、{220}、{113} 4 个不完全极图, 运用球谐函数级数展开法求出 $l = 34$ 时的取向分布函数(ODF), 采用 PSO 织构组分法计算真 ODF, 并应用 Texture Calc 软件导出取向线, 分析退火工艺对织构组态的影响[6]-[8]。

Table 1. Chemical composition table (wt%)

表 1. 化学成分表(wt%)

Si	Fe	Mg	Mn	Cr	Zn	Ti	其它		Al
							单个	合计	
0.132	0.159	4.5	0.61	0.1	0.1	0.1	<0.05	<0.15	Bal.

3. 实验结果与分析

3.1. 金相组织

图 1 为 6 种不同热处理制度下样品的纵截面金相组织图。未经退火处理的 1# 样品金相组织沿轧向呈纤维状分布，这也是典型的冷轧金相组织；样品 2# 的金相照片中的个别区域出现了孤立的小晶粒，这说明冷轧板经 270℃/1 h 退火后开始发生再结晶；经 300℃ 退火后的 3# 样品发生了明显的再结晶现象，细小晶粒明显增多，且逐步取代周围的纤维组织；随着退火温度的升高，再结晶程度进一步提高，当退火温度升高到 360℃ 时，细小晶粒已经完全取代冷轧态的纤维组织，板材已经实现完全再结晶；当退火温度进一步提高到 390℃ 时，晶粒开始长大。6 组样品的金相组织说明退火温度对板材金相组织影响较为明显，温度越高，再结晶越程度越高，当温度超过了板材的完全再结晶温度时，晶粒开始长大。

3.2. 力学性能

图 2 为 6 种样品的力学性能检测结果。从检测结果可知冷轧板具有较高的抗拉强度与屈服强度，抗

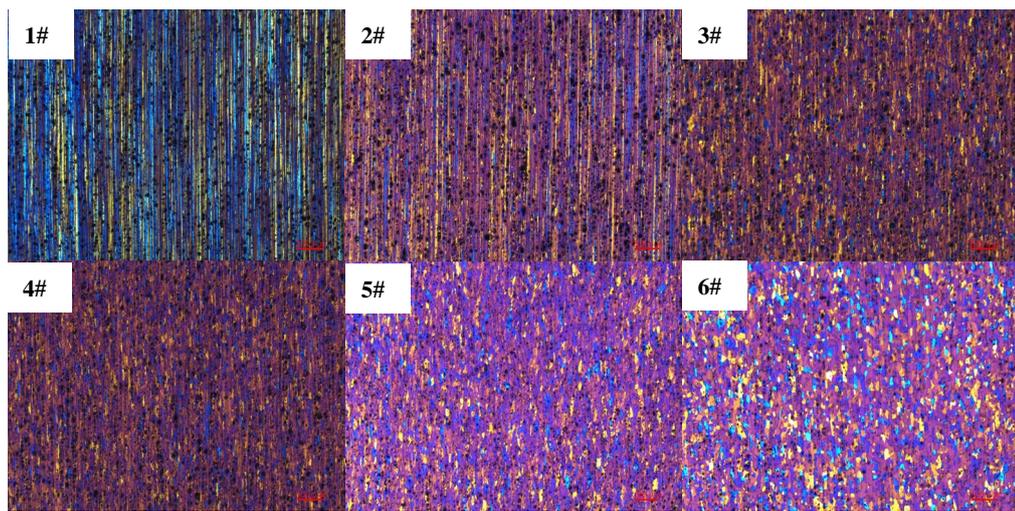


Figure 1. Metallographic structure (x50)
图 1. 金相组织 (x50)

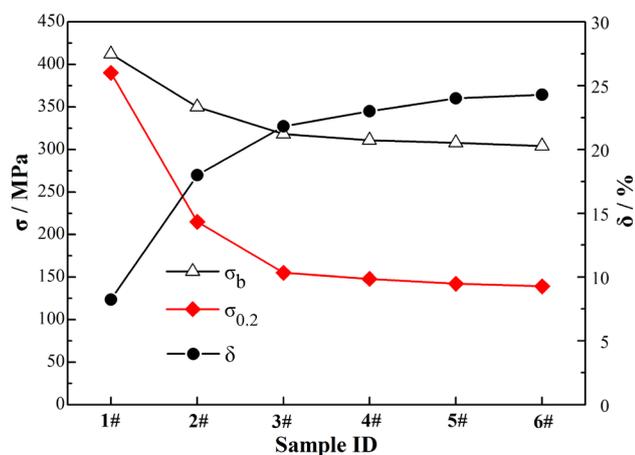


Figure 2. Mechanical properties
图 2. 力学性能

拉强度达 412 Mpa, 屈服强度达 390 MPa, 而延伸率只有 8%。板材经 270℃/1 h 与 300℃/1 h 退火后力学性能变化较大抗拉强度与屈服强度都明显下降, 而延伸率明显升高。在 300℃ 以上对板材进行退火时, 抗拉强度与屈服强度依旧有所下降, 延伸率有所提高, 但是变化不明显, 抗拉强度 σ_b 保持在 300~310 Mpa 左右, 屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 在 140~150 Mpa 左右, 延伸率 δ 在 23%~25% 左右。

3.3. 深冲性能

图 3 为板材的深冲样品图。未经退火的 1# 样品冲杯时底部出现断裂, 而退火后的样品表现出良好的深冲性能, 不但未出现裂边, 而且制耳率都较低。

采用公式(1)对 4#、5#、6# 板材深冲后杯子的制耳率进行计算, 计算结果如表 2 所示。从表 2 可知 5083 铝合金冷轧板经 360℃/1 h 退火后板材的深冲性能最好, 其制耳率只有 2.44%。

$$e = \frac{2 \times (h_{\max} - h_{\min})}{(h_{\max} + h_{\min})} \times 100\% \quad (1)$$

式中 e 为制耳率; h_{\max} 为杯子所有制耳波峰的平均高度; h_{\min} 为杯子所有制耳波谷的平均高度。

3.4. 结构

1# 与 5# 样品在不同取向上织构组态的分布如图 4 所示。从图 4(a) 中的 α 取向线及图 4(b) 中的 β 取向线织构强度 $f(g)$ 值可知, 未退火的 1# 与经过 360℃/1 h 退火的 5# 样相比, 1# 样的 Cu 织构($\{112\}\langle 111\rangle$)、S 织构($\{123\}\langle 634\rangle$)、黄铜织构($\{011\}\langle 211\rangle$)明显强于 5# 样, 其强度是 5# 样的 3 倍左右, Cu 织构($\{112\}\langle 111\rangle$)、S 织构($\{123\}\langle 634\rangle$)、黄铜织构($\{011\}\langle 211\rangle$)是铝合金在轧制过程中产生的典型轧制织构, 这说明 1# 样品具有很强的轧制织构。从图 4(c) 中 Cube-ND 取向线可以看出 5083 铝合金板经 360℃/1 h 退火后立方织构($\{001\}\langle 100\rangle$)与旋转立方织构($\{001\}\langle 110\rangle$)明显增强, 其强度接近于 1# 样的 2 倍, 立方织构($\{001\}\langle 100\rangle$)又叫再结晶织构, 是铝合金退火后发生再结晶时产生的织构, 从 Cube-ND 取向线可以看出 5# 样品产生了较强的再结晶织构。两组样品的织构组态表明冷轧板经 360℃/1 h 退火后轧制织构强度



Figure 3. Samples of deep drawing

图 3. 深冲样品

Table 2. Earing ratio (%)

表 2. 制耳率(%)

编号	退火制度	制耳率
4#	330℃/1 h	4.76
5#	360℃/1 h	2.44
6#	390℃/1 h	3.33

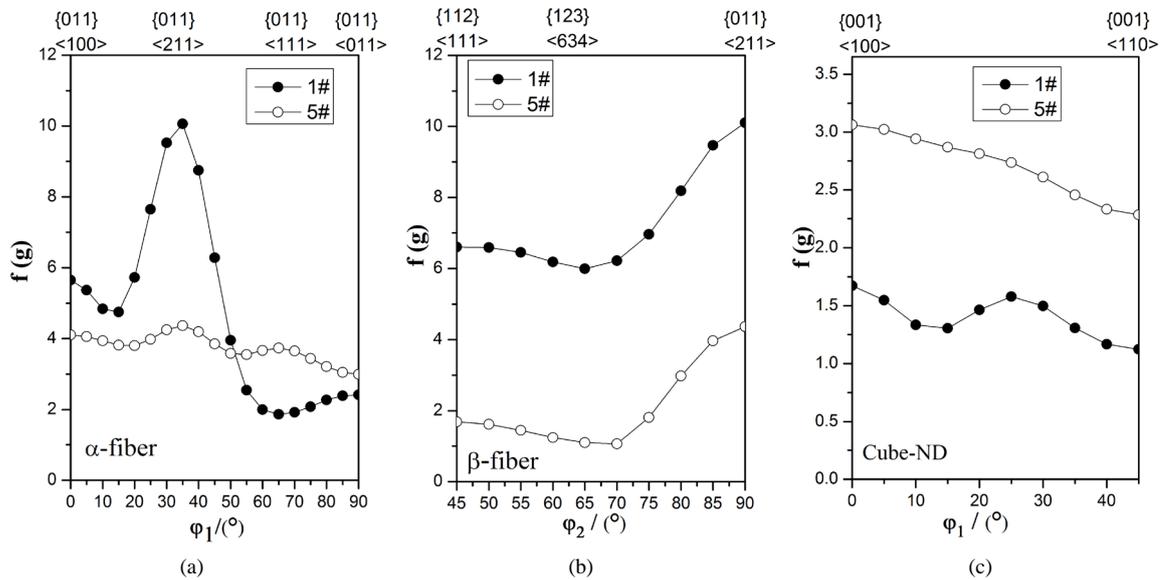


Figure 4. The analysis results of orientation line, (a) α fiber; (b) β fiber; (c) Cube-ND

图 4. 取向线分析图, (a) α 取向线; (b) β 取向线; (c) Cube-ND 取向线

减弱，而再结晶组织强度增强。

4. 分析与讨论

铝合金板材经冷轧过程中晶粒沿着主变形方向拉长，当变形量很大时，各个晶粒已经不能很清楚的辨别开来，晶粒将呈现出纤维状，这也是文中 1# 样品金相组织呈纤维状分布的原因。在冷轧过程中，位错将相互纠缠在一起形成包状亚结构，随着变形量的增大，位错变得更稠密，产生明显的加工硬化，同时发生了晶内及晶间破坏，晶格产生了畸变，出现了残余应力，因此 1# 样品的强度较高，塑性降低，同时使其在深冲过程中容易在底部产生裂纹[9]-[10]。板材在冷轧过程中，各个晶粒滑移伴随着晶粒取向相对于外力有规则的转动，晶粒取向逐渐调整为大体趋于一致的分布状态，因此 1# 样呈现出较强的 Cu 织构($\{112\} \langle 111 \rangle$)、S 织构($\{123\} \langle 634 \rangle$)、黄铜织构($\{011\} \langle 211 \rangle$)等形变织构特征。而强烈的形变织构对板材的深冲性能是不利的，在深冲过程中容易产生 45° 方向制耳[11]-[12]。

板材经冷轧后空位、位错等结构缺陷密度升高，畸变能升高，处在一个热力学不稳定的高自由能状态。重新加热退火后，晶粒吸收能量，板材的组织性能将发生很大的变化，在温度达到一定程度时，无畸变的等轴新晶粒将逐渐取代变形晶粒，因此文中 5083 冷轧板经 $270^\circ\text{C}/1\text{ h}$ 退火后在个别区域出现了细小晶粒，即开始发生再结晶现象，经 $360^\circ\text{C}/1\text{ h}$ 退火后发生了完成再结晶，当进一步升高温度时，晶粒将开始长大[9]-[10]。再结晶的发生使得板材位错密度降低，因此 5083 板材经退火处理后强度降低，塑性提高，同时使其深冲性能得到提高。但是当退火温度高于 300°C 时，力学性能虽有变化，但是变化不明显，这主要是当退火温度提高到 300°C 时，纤维组织已经很大程度被细小晶粒取代，板材已经发生了明显的再结晶，位错密度明显减小，加工硬度已很大程度被消除，当温度提高到 330°C 或 360°C 时，再结晶程度虽然进一步提高，但是组织变化已经不明显，当温度提高到 390°C 时晶粒虽然开始长大，但是退火时间只有 1 h，晶粒还来不及发生明显的长大，因此当退火温度大于 300°C 时，力学性能并没有因温度的提高而发生明显的变化。此外，再结晶将使晶粒组织的取向重新分布，因此经 $360^\circ\text{C}/1\text{ h}$ 退火的样品形变织构强度减小，而立方织构($\{001\} \langle 100 \rangle$)与旋转立方织构($\{001\} \langle 110 \rangle$)增强，立方织构有利于减小形变织构给板材深冲性能带来的不利影响，文中冷轧量为 80% 的 5083 铝合金板材经 $360^\circ\text{C}/1\text{ h}$ 退火后形变织构

与再结晶组织强度配比合理, 因此其制耳率只有 2.44%^{[11]-[12]}。

5. 结论

1) 变形量为 80% 的 5083 铝合金板材经 270℃/1 h 退火后开始发生再结晶, 随着退火温度的升高, 再结晶程度越高, 经 360℃/1 h 退火实现完全再结晶, 当温度进一步升高时, 晶粒开始变得粗大。

2) 5083 板材在 270℃~300℃ 范围内退火时, 强度明显下降, 而延伸率升高, 在 300℃~390℃ 范围内退火板材力学性能变化不明显。

3) 变形量为 80% 的 5083 铝合金冷轧板在深冲时容易出现底部断裂, 在 330℃~390℃ 范围内对板材进行退火后板材的深冲性能明显改善, 板材经 360℃/1 h 退火后深冲性能最好, 制耳率为 2.44%。

4) 5083 铝合金冷轧板呈现出较强的 Cu 织构($\{112\}\langle 111\rangle$)、S 织构($\{123\}\langle 634\rangle$)、黄铜织构($\{011\}\langle 211\rangle$)等形变织构特征, 板材经 360℃/1 h 退火后形变织构减弱, 立方织构($\{001\}\langle 100\rangle$)与旋转立方织构($\{001\}\langle 110\rangle$)增强, 有利于深冲性能的改善。

基金项目

肇庆市科技计划项目(编号: 201210903), 国家重点基础研究发展计划(“973”)项目(编号: 2012CB619500)。

参考文献 (References)

- [1] 齐国栋, 杨鑫, 师雪飞, 左德运 (2010) 退火制度对冷轧和温轧的 5083 铝合金组织性能的影响. *轻合金*, **9**, 70-72.
- [2] Lin, S.P., Nie, Z.R., Huang, H., et al. (2010) Annealing behavior of a modified 5083 aluminum alloy. *Materials and Design*, **31**, 1607-1612.
- [3] Lee, Y.B., Dong, H.S., Park, K.-T. and Nam, W.J. (2004) Effect of annealing temperature on microstructures and mechanical properties of a 5083 Al alloy deformed at cryogenic temperature. *Scripta Materialia*, **51**, 355-359.
- [4] 于国林, 张占锋, 赵永军, 谢延翠, 于莉莉, 徐崇义 (2009) 5083 铝合金 H2n 状态板材退火工艺研究. *轻合金加工技术*, **6**, 21-32.
- [5] 张珂 (2009) 5083H116 合金板材生产工艺优化与组织性能研究. 硕士论文, 重庆大学, 重庆.
- [6] 毛卫民, 张新明 (1995) 晶体材料织构定量分析. 冶金工业出版社, 北京.
- [7] 李树棠 (1999) 晶体 X 射线衍射学基础. 冶金工业出版社, 北京.
- [8] 王超群 (1997) 低分辨织构分析及其在线监测工业应用. *中国有色金属学报*, **4**, 166-170.
- [9] Zhang, H.F. and Yan, H.H. (2009) Deformation behavior of fine-grained 5083 Al alloy at elevated temperature. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, **19**, 307-331.
- [10] Zeng, Q., Wen, X. and Zhai, T. (2008) Texture evolution rate in continuous cast AA5052 aluminum alloy during single pass hot rolling. *Materials Science & Engineering A*, **476**, 290-300.
- [11] 杨敏 (2010) 金属材料织构测量方法的讨论. *化学工程与装备*, **8**, 164-166.
- [12] 杨平 (2007) 电子背散射衍射技术及其应用. 冶金工业出版社, 北京.