

Effect of Process Parameters on Microstructure and Properties of 3003 Aluminum Alloy

Yitan Wang¹, Qingsong Dai^{1,2}, Ping Fu¹, Mingwei Zhao¹

¹Guangxi Liuzhou Yin Hai Aluminum Co., Ltd., Liuzhou Guangxi

²School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha Hunan

Email: 244034502@qq.com

Received: May 4th, 2018; accepted: May 20th, 2018; published: May 29th, 2018

Abstract

Taking 3003 aluminum alloy as the research object, the effects of cold rolling rate and annealing temperature on the microstructure and properties of the sheet were studied. The results show that the work hardening of 3003 alloy sheet is significant. With the increasing of cold rolling deformation, the tensile strength and yield strength of alloy plates increase gradually, while the elongation decreases. And during the annealing of the finished product, recovery and recrystallization occur within the alloy. As the annealing temperature increases, the tensile strength and yield strength gradually decrease, and the elongation gradually increases.

Keywords

3003 Aluminum Alloy, Cold Rolling Deformation, Annealing Temperature, Microstructure and Properties

工艺参数对3003铝合金组织与性能的影响

王绎潭¹, 戴青松^{1,2}, 付平¹, 赵明伟¹

¹广西柳州银海铝业股份有限公司, 广西 柳州

²中南大学材料科学与工程学院, 湖南 长沙

Email: 244034502@qq.com

收稿日期: 2018年5月4日; 录用日期: 2018年5月20日; 发布日期: 2018年5月29日

摘要

以3003铝合金为研究对象,研究了冷变形量及退火温度等因素对3003铝合金板材组织与性能的影响。结果表明:3003铝合金在冷变形时加工硬化现象,随着冷变形量的增加,抗拉强度和屈服强度逐渐增加,而延伸率逐渐减小;而在成品退火时合金内部发生了回复与再结晶,随着退火温度的增加,抗拉强度和屈服强度逐渐减小,而延伸率逐渐增加。

关键词

3003铝合金,冷变形,退火温度,组织与性能

Copyright © 2018 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

1. 引言

3003 铝合金属于 Al-Mg 系不可热处理强化铝合金。由于其具有密度小、良好的加工性能、耐腐蚀性能以及散热性能等特点,广泛应用于热交换器、化工、建筑等领域[1] [2]。3003 铝合金板材是一种常用的高表面、高性能要求且具有高附加值的铝合金板材,对表面质量、性能以及板型等方面要求较高,具有较大的生产价值[3]。因此,本文通过研究不同工艺参数对 3003 铝合金组织与力学的影响规律,为 3003 铝合金板材的生产提供理论依据。

2. 实验材料与方法

2.1. 实验材料

实验材料为 7 mm 厚 3003 铝合金热轧坯料,其化学成分如表 1 所示。

2.2. 实验方法

将 7 mm 厚度的热轧坯料进行冷轧,然后经 420℃/2 h 中间退火后,预留不同的冷加工率(15%、20%、25%、30%、35%),以研究冷变形量对 3003 铝合金组织与性能的影响;将 7 mm 厚度的热轧坯料进行冷轧到成品厚度,然后将板材进行退火处理,退火温度分别为 200℃、220℃、240℃、260℃、280℃、300℃、320℃、340℃、360℃、380℃和 400℃,退火时间为 2 h,以研究退火温度对 3003 铝合金组织与性能的影响。

在 MTS809 材料试验机上分别测试 3003 合金不同冷轧加工率和不同退火制度时的室温拉伸性能;在 OLYMPUS 金相显微镜 CX31 下观察不同状态下经打磨、抛光以及使用 Keller 试剂浸蚀的 3003 金相试样的显微组织。

Table 1. Chemical composition of 3003 aluminum alloy (mass fraction %)

表 1. 3003 铝合金化学成分(质量分数%)

Fe	Si	Cu	Mg	Mn	Zn	Cr	Ti	Al
0.543	0.237	0.093	0.003	1.11	0.021	0.003	0.034	Bal

3. 实验结果

3.1. 冷变形量对 3003 铝合金力学的影响

图 1 所示为中间退火后经不同变形量(15%、20%、25%、30%、35%)轧制到成品厚度时 3003 铝合金板材的力学性能。从图中可知,随着冷变形量的增大,合金的抗拉强度、屈服强度增加,而延伸率降低。且当冷变形量在 15%~25%之间变化时,3003 铝合金板材的抗拉强度和屈服强度分别增加了 23 和 20 MPa,延伸率减少了 2%;当冷变形量在 25%~35%之间变化时,3003 铝合金板材的抗拉强度和屈服强度分别增加了 31 和 37 MPa,延伸率减少了 5%。

3.2. 冷变形量对 3003 铝合金组织的影响

如图 2 所示为不同冷变形量下 3003 铝合金板材的显微组织。可以看出,3003 铝合金在经过 420℃/2 h 中间退火后已完全再结晶如图 2(a)所示,经冷变形后,晶粒沿着轧制方向被拉长,且随着冷变形量的增加,拉长的幅度也逐渐增大。如图 2(b)所示,中间退火后再进行 15%的冷变形量,晶粒基本没发生变化;当冷变形量增加到 20%时,晶粒呈现出轻微的沿轧制方向拉伸,如图 2(c)所示;当冷变形量继续增加到 35%时,晶粒呈现出更加明显如纤维状的条纹,如图 2(d)所示。

3.3. 退火温度对 3003 铝合金力学的影响

如图 3 所示为 3003 铝合金板材经退火后的力学性能,可以看出,随着退火温度的增大,3003 合金板材的抗拉强度和屈服强度逐渐降低,而延伸率则逐渐增大。但在不同的退火温度区间范围内,其变化程度有所不同。退火温度在 240℃以下时,3003 合金板材力学性能变化较为平缓,合金板材的抗拉强度和屈服强度分别降低 35 和 26 MPa,而延伸率仅增加 1%;退火温度在 240℃~300℃之间时,3003 合金板材力学性能变化较为显著,合金板材的抗拉强度和屈服强度分别降低 72 和 113 MPa,而延伸率增加 29%;而退火温度在 300℃以上时,合金板材的抗拉强度和屈服强度基本保持不变,而延伸率则有一定程度的增加。

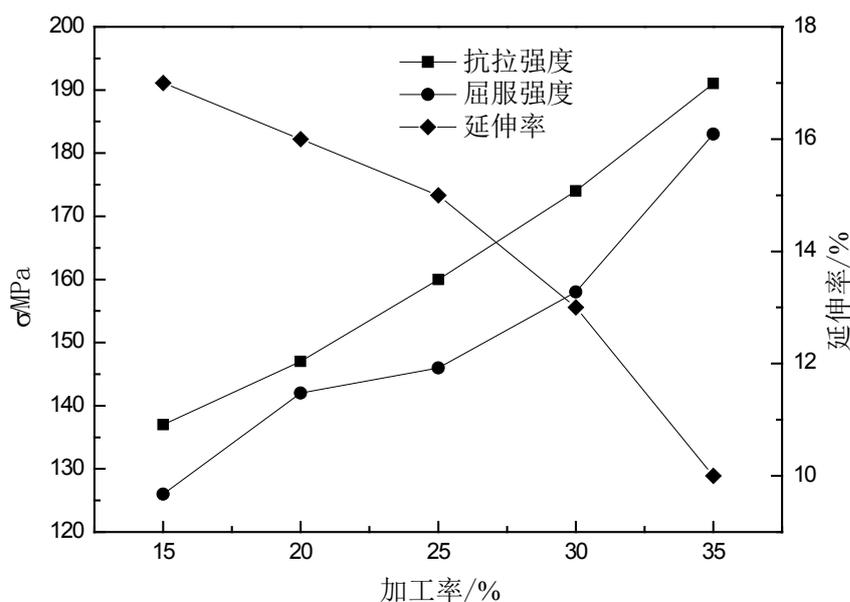


Figure 1. Effect of cold working rate on properties of 3003 aluminum alloy

图 1. 3003 铝合金冷变形量对性能的影响

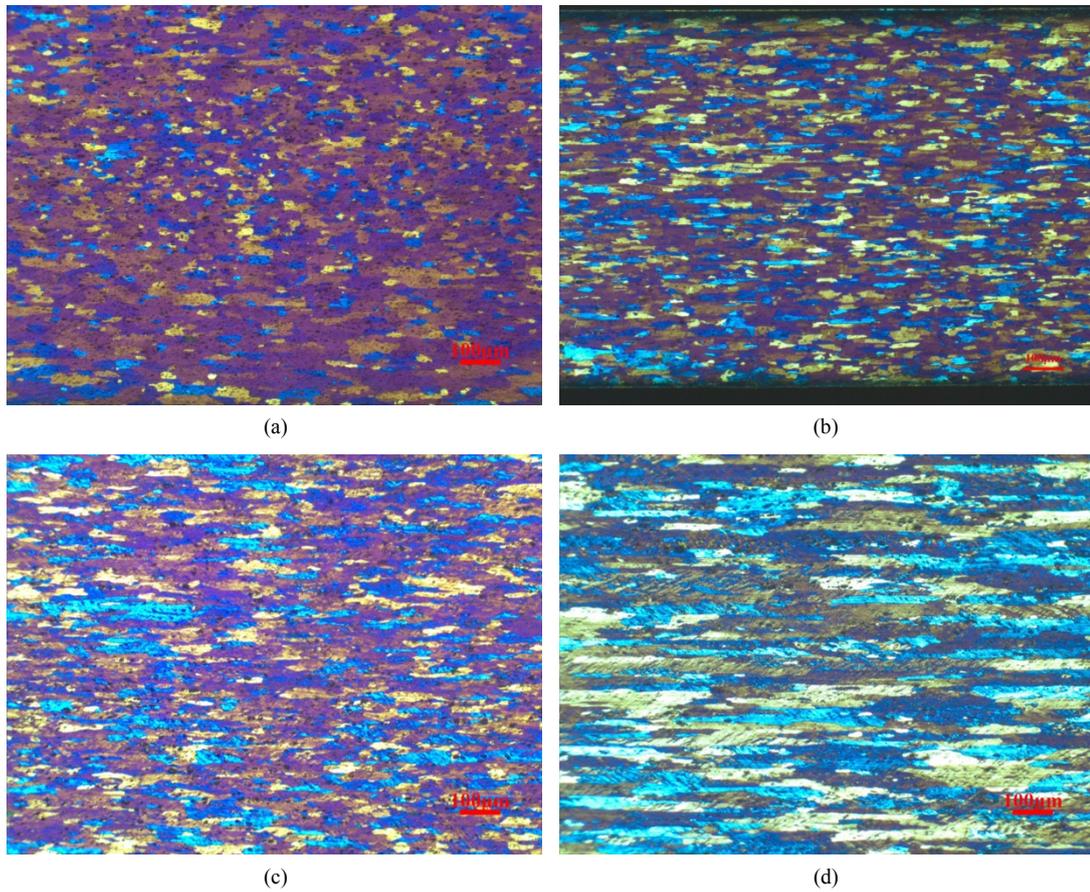


Figure 2. Microstructure of 3003 aluminum alloy at different processing rates. (a) Intermediate annealing state; (b) 15%; (c) 20%; (d) 35%

图 2. 3003 铝合金不同变形量下的显微组织。(a) 中间退火态; (b) 15%; (c) 20%; (d) 35%

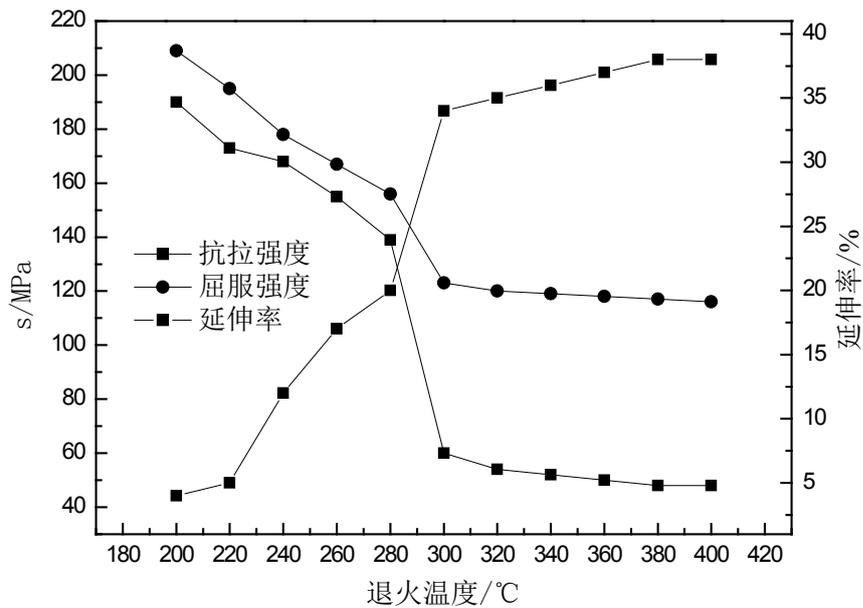


Figure 3. Effect of annealing temperature on properties of 3003 aluminum alloy

图 3. 3003 铝合金退火温度对性能的影响

3.4. 退火温度对 3003 铝合金组织的影响

如图 4 所示为不同退火温度时 3003 铝合金的显微组织。可以看出, 3003 铝合金在经过 71% 的冷变形后, 晶粒沿着轧制方向被拉长、压碎, 形成大量亚晶界等小角度晶界, 导致大量位错堆积, 最终呈现出明显的纤维状组织特征, 如图 4(a) 所示。合金板材在经过退火处理后, 晶粒吸收了能量, 板材的组织性能将产生较大的变化, 当退火温度在 240℃ 以下时, 合金板材主要发生回复, 点缺陷和位错运动加剧, 纤维状组织逐渐消失; 当退火温度在 240~300℃ 之间时, 虽然纤维状组织并未完全消失, 但部分晶粒发生了再结晶, 如图 4(b) 所示。随着退火温度进一步增加至 300℃ 时, 合金板材中的纤维状组织已完全消失, 呈现出明显的再结晶特征, 如图 4(c) 所示。当退火温度继续增加时, 发生了再结晶组织的长大, 如图 4(d) 所示。

4. 分析与讨论

3003 铝合金板材在冷变形时晶粒沿着轧制方向被拉长, 当变形量达到一定程度时, 各个晶粒之间已经不能清楚的辨别开来, 晶粒将呈现出纤维状[4], 这也是文中图 2(d) 金相组织呈纤维状分布的原因。在冷变形时, 合金内部不断发生塑性变形, 导致位错密度也不断增加, 位错反应和相互作用增强, 结果产生固定割阶、位错缠结等障碍, 使得合金继续产生变形变得困难, 在力学上则表现为合金的抗拉强度和屈服强度增大[5]。因此当冷变形量达到 35% 时, 力学性能及折弯性能均不满足板材使用要求。

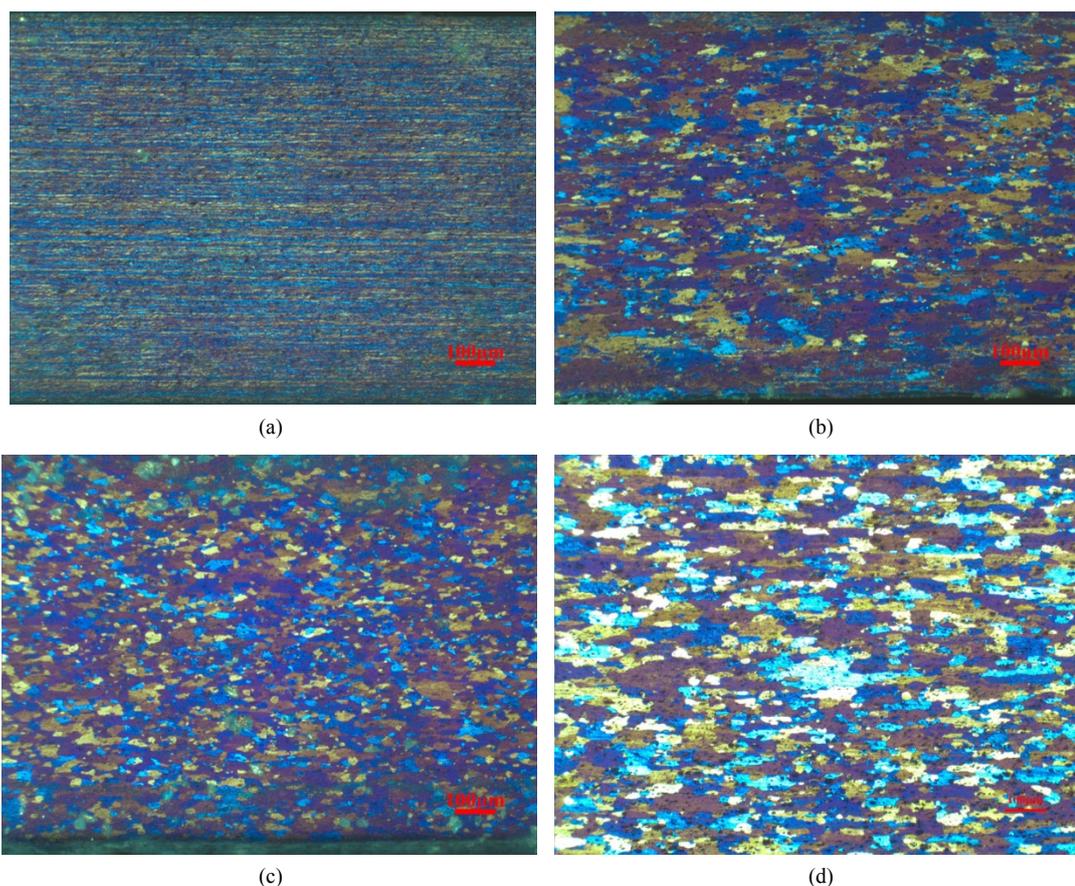


Figure 4. Microstructure of 3003 aluminum alloy at different annealing temperatures. (a) Cold-rolled state; (b) 280°C; (c) 300°C; (d) 400°C

图 4. 3003 铝合金不同退火温度下的显微组织。(a) 冷轧态; (b) 280℃; (c) 300℃; (d) 400℃

3003 合金板材经过冷变形后, 点缺陷、位错等结构缺陷密度增加, 晶格畸变能增大, 此时合金处于一种热力学不稳定的高自由能状态。在经过退火处理后, 晶粒吸收了能量, 当退火温度达到一定程度时, 将出现新的等轴晶粒, 合金内部发生了回复与再结晶[6] [7]。文中当 3003 铝合金退火温度在 240℃ 以下时, 抗拉强度略有降低, 但幅度较小, 表面此时合金内部组织处于回复阶段。由于退火温度较低, 不足以引起晶粒内变形储能, 只能使其在加工硬化中形成的点缺陷和位错在加热过程中发生迁移, 亚组织发生了多边化, 位错重新排布, 亚晶粒粗化, 即位相差很小的两个或多个亚晶粒通过位错的攀移等运动形成一个较大的压晶粒[8]。退火温度在 240℃~300℃ 之间时, 3003 合金板材力学性能变化较为显著, 此时在合金内部个别区域出现了细小晶粒, 开始发生了再结晶。再结晶的发生使得 3003 合金板材位错密度降低, 因此 3003 合金板材经退火处理后强度降低, 塑性提高, 同时使其折弯性能得到提高, 在 280℃ 退火时可以获得强度适中, 折弯性能优异的板材。当退火温度在 300℃ 以上时, 力学性能基本保持不变, 此时合金已完全再结晶, 晶粒将开始长大如图 4(d) 所示。

5. 结论

1) 3003 铝合金在冷变形时加工硬化现象, 随着冷变形量的增加, 抗拉强度和屈服强度逐渐增加, 而延伸率逐渐减小; 其显微组织表现为晶粒沿着轧制方向被拉长, 且随着冷变形量的增加, 拉长的幅度也逐渐增大, 晶粒最终呈现出如纤维状的条纹。

2) 3003 铝合金在成品退火时, 随着退火温度的增加, 抗拉强度和屈服强度逐渐减小, 而延伸率逐渐增加; 其显微组织表现为点缺陷和位错运动加剧, 纤维状组织逐渐消失, 合金内部发生了回复与再结晶。

基金项目

广西创新驱动重大专项(桂科 AA17202011)、广西科技计划项目(桂科 AA16380039)。

参考文献

- [1] 霍庆利, 何树民, 张晶, 等. 3003-O 铝合金深冲带材退火制度的研究[J]. 轻合金加工技术, 2007, 10(35): 22-23.
- [2] 杨余良, 张安乐, 张芳. 铸轧 3003 板坯深加工时晶粒组织的控制[J]. 铝加工, 2008, 4: 29-31.
- [3] 杨璐, 牟春. 3003 铝合金幕墙板生产控制工艺优化[J]. 铝加工, 2002, 95(25): 16-18.
- [4] 卢恒洋, 邓运来, 戴青松, 等. 退火工艺对 5083 铝合金板材组织性能的影响[J]. 材料科学, 2014(4): 139-144.
- [5] 陈建, 高云. 汽车用高强 5754 铝合金的轧制工艺[J]. 锻压技术, 2014, 5(38): 78-81.
- [6] Zhang, H.F. and Yan, H.H. (2009) Deformation Behavior of Fine-Grained 5083A1 Alloy Atelevated Temperature. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, **19**, 307-331. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(10\)60060-X](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(10)60060-X)
- [7] 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 <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.05.010>
- [8] 师雪飞, 冯正海, 罗建华. 退火温度对 4047 铝合金板材组织及性能的影响[J]. 轻金属, 2010(6): 58-60.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2160-7613，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ms@hanspub.org