

文章编号: 1005-8893 (2004) 04-0040-04

## 室温累积叠轧技术对纯铝板材力学性能的影响

魏坤霞<sup>1</sup>, 史庆南<sup>2</sup>, 魏伟<sup>2</sup>, 钟宝伟<sup>1</sup>

(1. 江苏工业学院 材料科学与工程系, 江苏 常州 213016; 2. 昆明理工大学 材料与冶金工程学院, 昆明 650093)

**摘要:** 利用室温累积叠轧 (RT-ARB) 制备超细晶纯铝, 并对其金相显微组织、力学性能进行分析。实验结果表明利用室温累积叠轧工艺可以制备性能较好的纯铝材料, 其中第4道次的材料综合力学性能较好, 与初始态纯铝相比: 抗拉强度为 215.24 MPa, 是初始态 (125.25 MPa) 的 1.72 倍, 并具有较高的延伸率 (18.02%)。

**关键词:** 大塑性变形; 累积叠轧; 纯铝; 力学性能; 超细晶材料

**中图分类号:** TB 383

**文献标识码:** A

大塑性变形技术 (Severe Plastic Deformation, SPD) 是通过剧烈的塑性变形, 使粗大晶粒破碎、细化, 直接获得块状超细晶材料方法的总称, 是近年来提出的制备大块超细晶材料及纳米的新方法、新思路。现在已知 SPD 制备超细晶材料方法有以下几种: 等径角挤压 (Equal Channel Angular Pressing, ECAP)<sup>[1,2]</sup>、反复折皱-压直法 (Repetitive Corrugation and Straightening, RCS)<sup>[3]</sup>、剧烈扭转旋紧法 (Severe Plastic Torsion Staining, SPTS)<sup>[4]</sup>、超声喷丸法 (Ultrasonic Shot Peening, USP)<sup>[5]</sup>、多次锻造法 (Multiple Forging, MF)<sup>[6~8]</sup>、累积叠轧技术 (Accumulative Roll Bonding, ARB)<sup>[9]</sup> 等。其中 ARB 法可连续制备薄板类的超细晶金属结构材料。

累积叠轧技术<sup>[9,10]</sup> (ARB) 是由日本学者 Saito 等提出的一种新的制备超细晶结构材料的大塑性变形方法。在 ARB 中, 通过对板带材料反复叠合轧制而获得超细晶 (纳米晶) 块体材料。其工艺过程为: ①对铸造板材进行表面处理; ②对要进行叠合的一面用特制的线刷进行活化处理, 以使叠合紧密, 防止两层板材相互滑动; ③将板材叠合压紧, 准备轧制; ④将叠合好的板材送入轧机轧制, 为减小工件加工硬化, 防止表面开裂, 在工件进入轧机前有一道加热工序, 加热温度在合金的再结晶

温度以下, 轧制压下量为 50%——保证试样恢复到轧前尺寸。其工艺流程如图 1 所示。据文献 [10~12] 报道, 经过 ARB 变形的 Al-Mg 合金 (晶粒尺寸为 280 nm) 的伸长率高达 220%, IF 钢 (晶粒尺寸为 420 nm) 的抗拉强度达到 870 MPa, 是原始粗晶材料强度的 3 倍多。此外采用 ARB 还可以制备块体纳米复合材料。

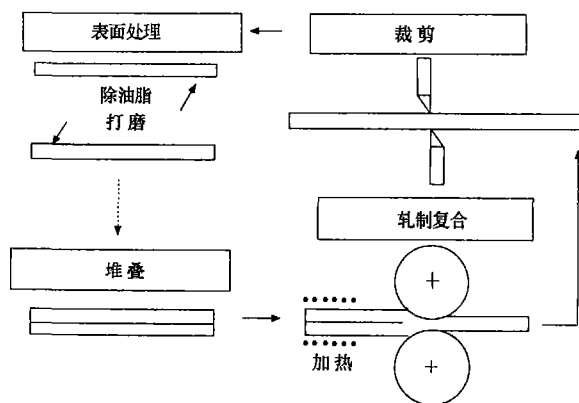


图1 多次累积叠轧复合原理示意图

Fig. 1 Schematic illustration of accumulative roll bonding process

为了简化工艺流程, 提高生产效率, 节约能源, 降低成本。本文尝试了在室温下进行累积叠轧, 并对其可行性及力学性能进行了研究。

收稿日期: 2004-08-29

作者简介: 魏坤霞 (1973-), 女, 河南巩义人, 硕士。

## 1 实验方法

实验材料是在 300 ℃ 下经过 1 h 退火处理的纯铝轧制板料, 它的尺寸为 70 mm×30 mm×1 mm。实验材料的化学成分见表 1。

表 1 实验纯铝板料 (1100) 的化学成分

Table 1 Chemical component of experimental pure aluminum board (1100)

	Fe	S	Cu	Mg	Mn	Zn	Ti	其它
w	0.217	0.75	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05

实验的流程如下所示:

70mm×30mm×1mm 板材→300℃退火 1h→

表面打磨→堆叠→室温轧制→裁剪→试样分析

其中, 所用轧机为二辊冷轧机, 轧辊直径:  $\phi 165$  mm, 辊身长度: 180 mm。采用室温轧制, 轧制速度 2.6 m/min, 每道次的轧制变形量为 50%。制备金相试样的腐蚀液成分为 20 mL 蒸馏水+20 mL 盐酸+20 mL 硝酸+5 mL 氢氟酸。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 金相显微组织分析

图 2 为一组金相显微组织照片。从图 2a 的退火态照片可以看到这个组织比较均匀; 图 2b 是 2 道次的照片, 从整体组织来看还保持较为均匀的组织, 但组织中间有一条颜色较深的黑带, 是累积叠轧焊的结合面。图 2c 是 4 道次的照片, 从照片中可以看到除了中间有一条明显的累积叠轧焊的结合面, 其它部分也有模糊且不连续的结合面, 这些情况在第 7 道次 (图 2d) 更加明显。总的来说, 随着道次的增加, 结合面的结合能力越来越差。造成上述原因可能有: ①在打磨板料时, 打磨时间过久会使表面硬化; ②尽管铝板在轧制前要经过打磨, 但铝的氧化性很强, 能在瞬间形成氧化铝薄膜, 所以表面氧化层不可能完全去除; ③随着道次增加, 变形量越来越大, 加工硬化也变得越来越严重, 因此结合面的结合能力也越来越差。

### 2.2 力学性能分析

#### 2.2.1 拉伸强度及延伸率

拉伸强度是衡量材料力学性能的重要指标之一。由此我们做了静力拉伸实验。图 3 为所测得的累积叠轧各道次的工程应力—应变曲线。

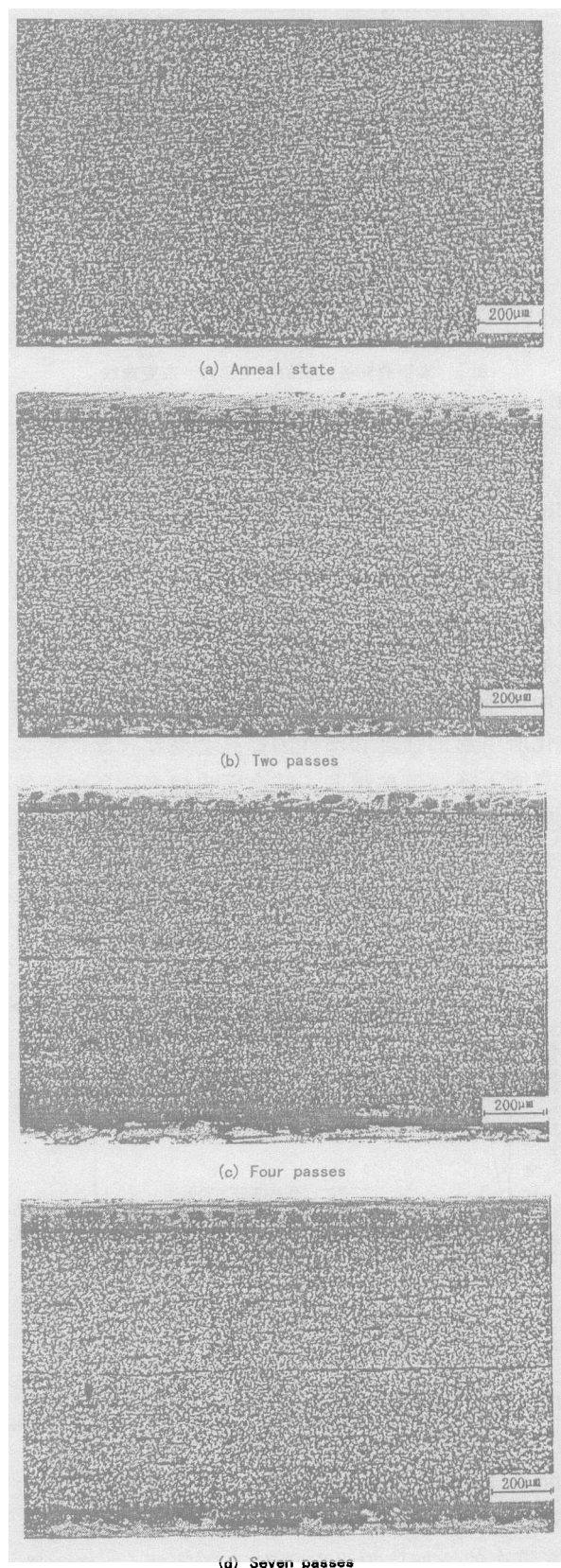


图 2 各道次金相显微组织照片

Fig. 2 Optical micrographs after different passes

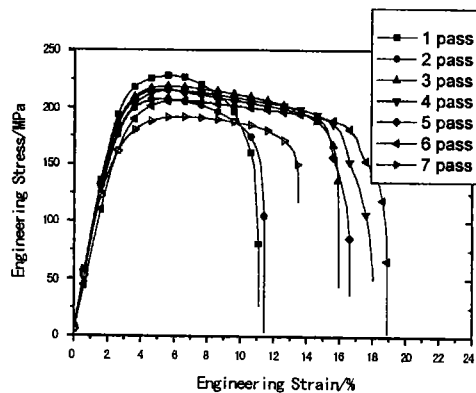


图3 累积叠轧各道次的工程应力—应变曲线

Fig. 3 Engineering stress—strain curves of accumulative roll for each passes

从图中可以得出：1 道次的抗拉强度最大为 228.24 MPa，从 3 至 6 道次曲线来看，它们的抗拉强度相差不大，并有较高的延伸率；而第 7 道次的抗拉强度和延伸率又有明显下降。造成这种现象的原因可能为：由于累积叠轧是在室温下进行，中间的结合面结合的不是很紧密（在金相显微组织照片中可看到），随着道次的增加，加工硬化和细晶强化所引起的强度和塑性的提高会受结合面的影响而有所下降。道次越多，结合面也越多，所造成的强度和塑性的下降也越严重，从而导致了第 7 道次的强度和塑性都明显下降的态势。

图 4 是抗拉强度与延伸率与道次的关系图，从

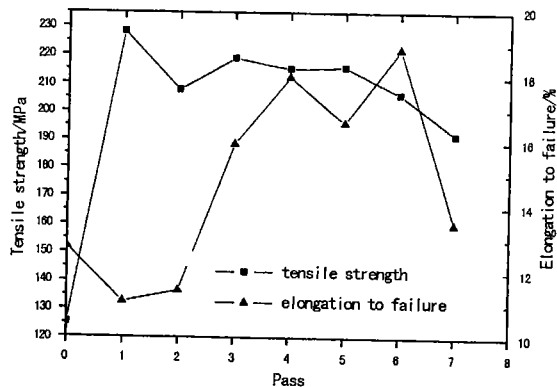


图4 抗拉强度、延伸率与道次的关系

Fig. 4 Relation of tensile strength, elongation and passes

图中可以更加清楚地了解到各道次的力学性能。第 1 道次有最高的抗拉强度为 228.24 MPa，比退火态纯铝的抗拉强度 125.25 MPa 增加了将近 103 MPa，但其对应的延伸率最小，仅为 11.1%。随着道次的增加抗拉强度稍有下降趋势。3 到 6 道次的抗拉强度和延伸率都较高，故它们的综合力学性能较好，其中第 4 道次的抗拉强度为

215.24 MPa，是退火态（125.25 MPa）的 1.72 倍，同时又保持较高的延伸率（18.02%），是退火态（12.78%）的 1.41 倍。

### 2.2.2 显微硬度分析

图 5 为显微硬度与道次的关系曲线。从图中可以得知，随着道次的增加，显微硬度呈现增加趋势，但增加幅度不是很大。造成这种现象的原因可能有：①与纯铝本身的特性有关，纯铝杂质很少，而且比较软，因此本实验的细晶强化对它的硬度提高不大。②由于 99.0% 的纯铝再结晶温度为 290 °C，当纯度 99.999% 时，则再结晶温度为 80 °C。本实验用的 1100 板料的材纯度为 99.679%，且每一道次的压下量为 50%，每道次的塑性变形中所产生的热量可以使变形温度升高，从而使纯铝得到一定程度上的软化。

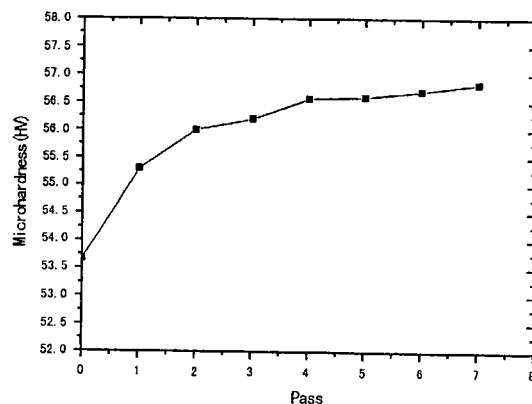


图5 显微硬度与道次的关系

Fig. 5 Relation of Microhardness (HV) and passes

## 3 结 论

(1) 纯铝板料（1100）通过室温累积叠轧技术可以较成功地使结合面焊合在一起，且有比较均匀的显微组织，综合力学性能也较好。

(2) 本实验中，第 3~6 道次的综合性能比较好，其中第 4 道次的抗拉强度为 215.24 MPa，是退火态（125.25 MPa）的 1.72 倍，同时又保持较高的延伸率（18.02%），是退火态（12.78%）的 1.41 倍。

### 参考文献：

- [1] Segal V M, Reznikov V I, Kopylov V I, et al. Processes of Plastic Transformation of Metals [M]. Minsk: Navukai Teknika, 1984.
- [2] Iwahashi Y, Wang J, Horita Z, et al. Principle of Equal-Channel Angular Pressing for the Processing of Ultrafine

- Grained Materials [J]. Scripta Mater, 1996, 35 (2): 143—146.
- [3] Huang J Y, Zhu Y T, Jiang H, et al. Microstructure and Dislocation Configurations in Nanostructured Cu Processed by Repetitive Corrugation and Straightening [J]. Acta Mater, 2001, 49 (9): 1 497—1 505.
- [4] Valiev R Z, Islamgaliev R K, Alexandrov I V. Bulk Nanostructured Materials from Severe Plastic Deformation [J]. Progress in Materials Science, 2000, 45 (2): 103—189.
- [5] Guo F A, Trannoy N, Lu J. Analysis of Thermal Properties by Scanning Thermal Microscopy in Nanocrystallized Iron Surface Induced by Ultrasonic Shot Peening [J]. Materials Science and Engineering, 2004, A369: 36—42.
- [6] Salishchev G A, Galeev R M, Malysheva S P, et al. Structure and Density of Sub—Microcrystalline Titanium Produced by Severe Plastic Deformation [J]. Nanostructured Materials, 1999, 11 (3): 407—414.
- [7] Imayev V M, Salishchev G A, Shagiev M R, et al. Low Temperature Superplasticity of Submicrocrystalline Ti—48Al—2Nb—2Cr Alloy Produced by Multiple Forging [J]. Scripta Mater, 1999, 40 (2): 183—190.
- [8] Salishchev G, Zaripov R, Galeev R, et al. Nanocrystalline Structure Formation During Severe Plastic Deformation in Metals and their Deformation Behavior [J]. Nanostructured Materials, 1995, 6: 913—916.
- [9] Saito Y, Utsunomiya H, Tsuji N, et al. Novel Ultra—High Straining Process for Bulk Materials: Development of the Accumulative Roll—Bonding Process [J]. Acta Mater, 1999, 47 (2): 579—583.
- [10] Tsuji N, Shiotuki K, Saito Y, et al. Superplasticity of Ultra—Fine Grained Al—Mg Alloy Produced by Accumulative Roll—Bonding [J]. Mater Trans, JIM, 1999, 40 (8): 765—771.
- [11] Tsuji N, Saito Y, Utsunomiya H, et al. Ultra—Fine Grained Bulk Steel Produced by Accumulative Roll—Bonding Process [J]. Scripta Mater, 1999, 40 (7): 795—800.
- [12] Lee S H, Sakai T, Saito Y, et al. Strengthening of Sheath—Rolled Aluminum Based MMC by the ARB Process [J]. Mater Trans, JIM, 1999, 40 (12): 1 422—1 428.

## Effect of Accumulative Roll—Bonding at Room Temperature on the Mechanical Properties of Pure Aluminium

WEI Kun—xia<sup>1</sup>, SHI Qing—nan<sup>2</sup>, WEI Wei<sup>2</sup>, ZHONG Bao—wei<sup>1</sup>

(1. Department of Materials Science and Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** Ultra—fine grain pure aluminum is made by room temperature ARB and the microstructure and mechanical properties are analyzed in this paper. Experimental results indicate that the pure aluminium with better properties can be achieved by Accumulative Roll—bonding at room temperature. At the fourth pass, the material has the best compositive mechanical properties compared with the anneal material. The tensile strength is 215.24 MPa which was 1.72 times that of anneal pure aluminium and has better elongation (18.02%).

**Key words :** severe plastic deformation; accumulative roll bonding; pure Aluminum; mechanical properties; ultra—fine grain material