



# 大应变交叉轧制 Al-9Mg-1.8Li 合金板材的 显微组织及织构特征

范才河<sup>1</sup>, 曾广胜<sup>1</sup>, 陈喜红<sup>2</sup>, 欧玲<sup>1</sup>, 阳建君<sup>1</sup>, 彭英彪<sup>1</sup>

(1. 湖南工业大学 冶金与材料工程学院, 株洲 412007;  
2. 中国中车 株洲电力机车有限公司, 株洲 412007)

**摘要:** 采用金相显微镜(OM)、透射电镜(TEM)、电子背散射成像技术(EBSD)和 X 射线, 对比分析喷射成形 Al-9Mg-1.8Li 合金交叉轧制态板材与挤压态板材的微结构及织构特征, 并测试板材的拉伸性能和深冲性能。结果表明: 大变形量交叉轧制促进动态再结晶的发生, 细化晶粒组织, 改善再结晶晶粒的择优取向; 与 CBA 和 CCB 轧制方式相比较, CBB 轧制方式显著降低挤压态合金中典型的 Brass 织构{110}<112>的取向密度, 在  $\beta$  取向线上 CBB 轧制态板材中的 Copper 织构{112}<111>取向密度最低, 且板材中没有典型的织构特征; 同时, CBB 轧制态合金板材的具有更好的深冲性能, 在 0°、45°和 90°方向的力学性能基本一致, 其室温拉伸强度、屈服强度和伸长率分别在 611 MPa、507 MPa 和 20.6%以上。

**关键词:** 交叉轧制; 喷射成形; Al-9Mg-1.8Li 合金; 显微组织; 织构特征

文章编号: 1004-0609(2018)-08-1551-08

中图分类号: TG146.21

文献标志码: A

Al-Mg-Li 系合金具有低密度、高比强度、高比刚度、高弹性模量, 以及良好的可焊性和耐蚀性, 是航空航天领域最具应用潜力的结构材料<sup>[1-2]</sup>。与 Al-Cu-Li 系合金相比, 已开发的低 Mg 含量 Al-Mg-Li 系合金尽管具有更低的密度, 但由于存在力学性能各向异性及强韧性偏低等瓶颈问题, 限制了该系合金的应用<sup>[3]</sup>。提高 Mg 含量和细化晶粒是提高合金强韧性的重要手段。抑制织构的形成是改善合金各向异性的重要手段。采用常规铸造方法来制备高 Mg 含量铝合金, 容易形成粗大的离异共晶组织( $\alpha$ (Al)相+Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>相)<sup>[4]</sup>, 从而降低 Mg 的固溶度, 削弱 Mg 的固溶强化效果。喷射成形-快速凝固技术由于具有冷却速度快、可显著提高合金的固溶度、细化晶粒和消除宏观偏析等优点, 是制备高 Mg 含量 Al-Li 合金材料的理想方法<sup>[5-9]</sup>。近年来, 已有学者对 Al-Mg-Li 合金变形过程的微结构和织构特征进行了研究和探索<sup>[10-12]</sup>。ENGLER 等<sup>[10-11]</sup>研究不同冷轧和退火状态下 Al-Mg 合金微结构和织构演变规律, 探索了再结晶结构与冷轧板材各向异性的相互关系。CHEN 等<sup>[12]</sup>研究热轧过程中 Al-Mg-Li 合金的织构特征, 发现再结晶过程中晶粒取向的变化是导致部分 Brass 织构{110}<112>转变为 S 织构{123}<634>的主要原因。CHEN 等<sup>[12]</sup>研究了静态再结晶退火对轧制态

Al-Mg-Li 合金的晶粒组织和织构形成机制, 发现随着再结晶温度的升高, 织构强度下降。可见, 已有的研究主要集中于对常规轧制态 Al-Mg-Li 合金板材的组织和织构特征进行探讨, 而对交叉轧制态 Al-Mg-Li 合金板材的微结构演变及织构特征的研究鲜见报导, 尤其是对喷射成形高 Mg 含量 Al-Li 合金大应变交叉轧制板材的研究。

本文作者以喷射成形 Al-9Mg-1.8Li 合金挤压态板材为研究对象, 研究喷射成形 Al-9Mg-1.8Li 合金交叉轧制态板材与挤压态板材的微结构及织构特征, 对比分析不同变形方式对合金板材力学性能各向异性及深冲性能的影响, 旨在为制备出高综合性能的 Al-Mg-Li 合金板材奠定理论基础。

## 1 实验

### 1.1 实验材料

在自行研制的 SD380 大型喷射成形装置上制备喷射成形高 Mg 含量 Al-Li 合金圆柱坯, 合金的化学成分(质量分数, %)为 Mg 9.0、Li 1.8、Mn 0.5、Al 余量。在 1250 t 挤压机上将圆柱坯挤压成截面尺寸为

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2017JJ2073)

收稿日期: 2017-07-03; 修订日期: 2018-01-24

通信作者: 欧玲, 讲师, 博士; 电话: 0731-22183432; E-mail: 23743343@qq.com

20 mm×100 mm 的板材, 挤压温度为 450 °C, 挤压比为 15:1, 挤压成型后的板坯立即喷雾水冷; 在板坯上选取长×宽×厚为 100 mm×80 mm×20 mm 的试样进行大应变交叉轧制, 每块坯料分 3 道次轧制, 轧辊直径为 350 mm, 单道次轧制压下量不低于 50%, 中间退火温度为 380 °C, 各道次轧制完成后立即浸入室温水冷却, 轧制工艺参数如表 1 所示; 用 A 代表板材的挤压方向(0°), B 代表与挤压方向成 45°方向, C 代表与挤压方向成 90°方向, 本实验选取 CBB(先将板材沿与挤压方向成 90°方向轧制一次, 然后沿与挤压方向成 45°方向轧制一次, 最后再沿与挤压方向成 45°方向轧制一次)、CCB(先将板材沿与挤压方向成 90°方向轧制一次, 然后沿与挤压方向成 90°方向轧制一次, 最后再沿与挤压方向成 45°方向轧制一次)、CBA(先将板材沿与挤压方向成 90°方向轧制一次, 然后沿与挤压方向成 45°方向轧制一次, 最后再沿与挤压方向成 0°方向轧制一次) 3 种交叉轧制方式对挤压板材进行大压下量轧制变形。

### 1.2 微观组织观察

板材试样经研磨、抛光后用混合酸溶液(体积配比为: 2 mL HF+3 mL HCl+5 mL HNO<sub>3</sub>+250 mL H<sub>2</sub>O)腐蚀, 然后烘干, 在 MN6 型金相显微镜上观察合金板材的微观组织。采用 Titan G2 60-300 透射电镜(TEM)和 Helios Nanolab 600i 扫描电镜(SEM)的电子背散射成像技术(EBSD)分析试样的微观结构, 透射试样采用机械预减薄至 80 μm 左右后进行双喷电解, 电解液为硝酸+甲醇(硝酸和甲醇体积比为 1:3), 温度低于 -25 °C; EBSD 试样采用电解抛光, 电解液的成分为 10%高氯酸+90%无水乙醇(质量分数), 抛光电压 20 V, 电流 1.0 A, 抛光时间 30 s, 温度低于 -25 °C; EBSD 试样实验数据采用 TSL OIM 软件进行分析和处理, 加速电压 20 kV, 角度 70°, 扫描步长 0.2 μm。

### 1.3 板材织构的测定

板材试样经过 1500 号砂纸打磨后进行电解抛光, 抛光液的成分为硝酸+甲醇(硝酸和甲醇体积比为

1:3), 工作温度为 -25 °C, 工作电压为 20 V, 电流为 0.5 A, 抛光时间约为 40 s。样品抛光后立即用酒精反复冲洗、吹干, 并放干燥皿内保存。织构测定在 Bruker D8 Discover X 射线衍射仪上进行, 管电压为 40 kV, 管电流为 40 mA。采用 Cu K<sub>α</sub> 辐射, 极图测量范围:  $\alpha$  为 5°~85°,  $\beta$  为 0°~360°。

### 1.4 各向异性测试

在板材沿 0°、45°和 90°方向切取拉伸试样, 在 Instron 3369 拉伸机进行试样的室温拉伸性能测试, 拉伸速度为 1.0 mm/min; 在线切割机从 2 mm 厚合金板材上截取  $d$  50 mm 圆板, 并在 380 °C 保温 15 min 后立即在自行设计的深冲模中进行深冲试验, 模具预热温度为 350 °C, 冲头移动速度为 150 mm/min。

## 2 实验结果

### 2.1 不同状态下合金板材的微观组织结构

挤压态及不同交叉轧制条件下合金板材的金相照片如图 1 所示。由图 1 可见, 采用交叉轧制方式能显著改善挤压态合金板材的微观结构。挤压态合金板材的晶粒较粗且沿挤压方向呈流线形分布, 晶粒的形状以方块状为主(见图 1(a))。与挤压态合金板材相比较, 交叉轧制态合金板材的晶粒组织更为均匀, 晶粒显著细化, 呈流线形分布的方块状晶粒基本消失, 晶粒形貌主要以等轴晶为主(见图 1(b)~(d))。对比观察发现, 采用 CBB 轧制态合金板材的组织更为均匀, 平均晶粒尺寸最小, 而采用 CBA 和 CCB 方式轧制板材的微观形貌差别不大。

### 2.2 不同状态下合金板材的力学性能各向异性

挤压态及不同交叉轧制条件下合金板材不同方向的室温拉伸性能如图 2 所示。由图 2 可见, 挤压态合金板材的力学性能较差, 且 0°、45°和 90°方向的力学性能各向异性明显, 在 0°方向的拉伸性能较好, 90°方向的拉伸性能较差; 交叉轧制态合金板材的力学性

表 1 轧制工艺参数

Table 1 Parameters of hot rolling technology

| Rolling pass | Rolling temperature/°C | Holding time/min | Sample thickness |           | Deformation of single pass/% | Accumulated deformation/% |
|--------------|------------------------|------------------|------------------|-----------|------------------------------|---------------------------|
|              |                        |                  | $H_0$ /mm        | $H_1$ /mm |                              |                           |
| 1            | 400                    | 15               | 20               | 10        | 50                           | 50                        |
| 2            | 400                    | 15               | 10               | 4         | 60                           | 80                        |
| 3            | 400                    | 15               | 4                | 2         | 50                           | 90                        |

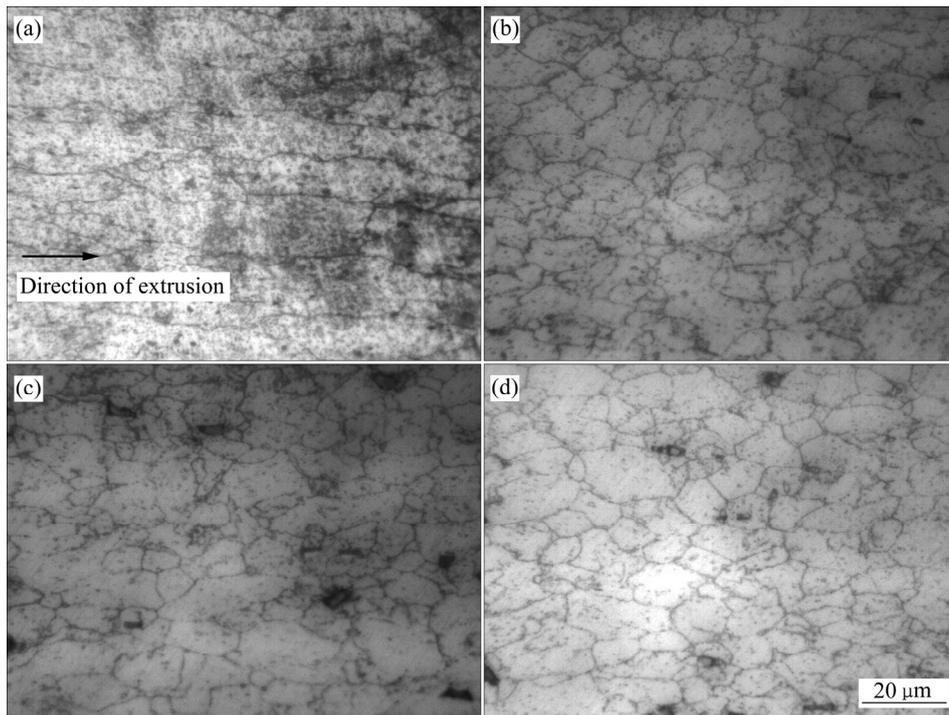


图 1 不同变形条件下 Al-9Mg-1.8Li 合金板材的微观组织

Fig. 1 Microstructures of Al-9Mg-1.8Li alloy plate at different deformations: (a) As-extruded; (b) CCB; (c) CBA; (d) CBB

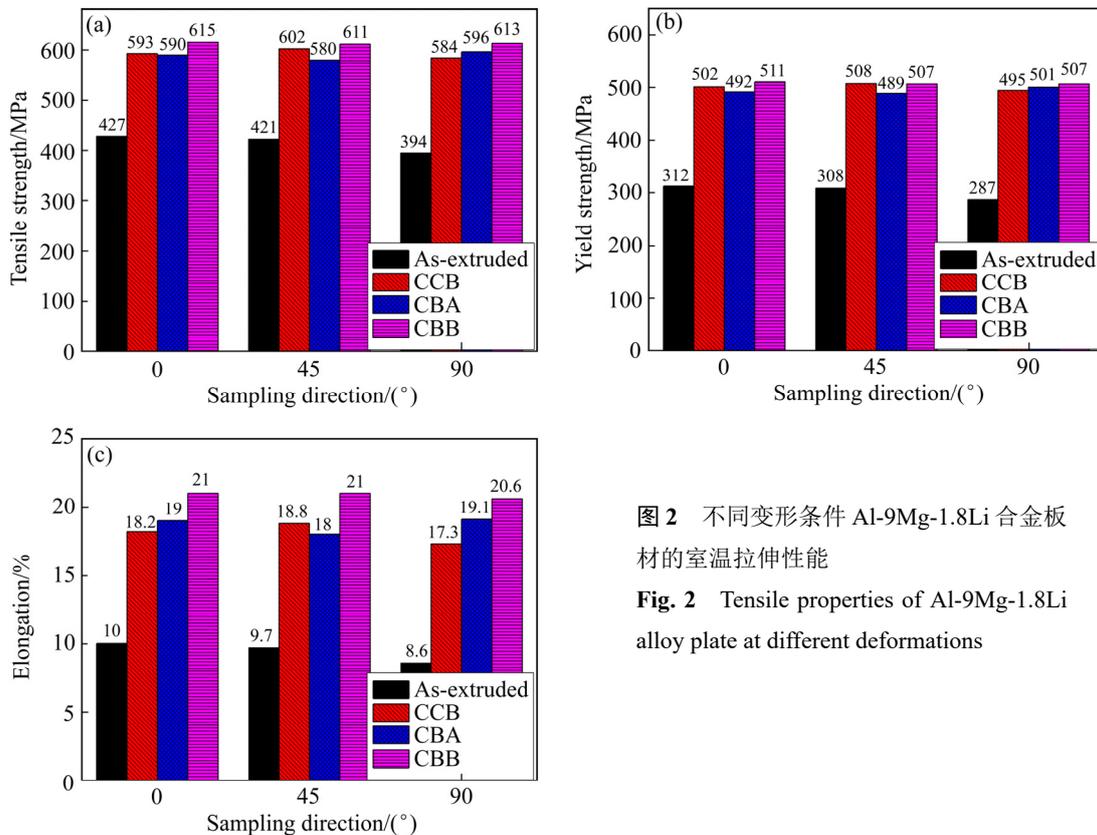


图 2 不同变形条件 Al-9Mg-1.8Li 合金板材的室温拉伸性能

Fig. 2 Tensile properties of Al-9Mg-1.8Li alloy plate at different deformations

能远高于挤压态合金板材的力学性能, 且交叉轧制态合金板材在 0°、45°和 90°方向的力学性能各向异性较小。对比发现, 与 CBA 和 CCB 两种轧制方式相比较,

CBB 轧制态合金板材的综合力学性能更好, 在 0°、45°和 90°方向的力学性能接近各向同性, 其室温拉伸强度、屈服强度和伸长率分别在 611 MPa、507 MPa 和

20.6%以上。

### 2.3 不同状态下合金板材的深冲性能

挤压态及不同交叉轧制条件下合金板材深冲后的宏观形貌如图3所示。由图3可见,交叉轧制工艺可显著改善合金板材的深冲性能,提高深冲试样的表面质量。挤压态合金板材在深冲过程中严重开裂,成型性能差(见图3(a));挤压态板材经CBA或CCB方式轧制后,其深冲性能均有明显的提高,试样没有开裂,但制耳率较高,外观质量较差,说明合金板材仍存在较明显的各向异性(见图3(b)和(c));采用CBB方式轧制的合金板材的深冲性能最好,没有观察到宏观裂纹,且制耳率低、试样表面光洁(见图3(d))。

## 3 分析与讨论

### 3.1 晶粒细化及取向分布

本文作者前期研究工作表明,大塑性变形过程中的高应变是高Mg含量铝合金晶粒细化的主要因素之一<sup>[7]</sup>。对比挤压态和CBB轧制态Al-9Mg-1.8Li合金板

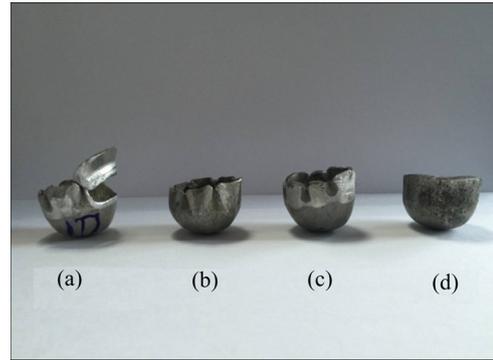


图3 不同变形状态下Al-9Mg-1.8Li合金板材深冲后的宏观形貌

材的TEM像发现,轧制态板材的位错密度显著提高,大变形过程中位错不断塞积形成位错墙和位错缠结,导致位错胞及亚结构显著增多(见图4(a)和(b));大应变交叉热轧过程中位错密度的增加促进动态回复和动态再结晶的发生,部分晶粒内部已经被塞积的位错分

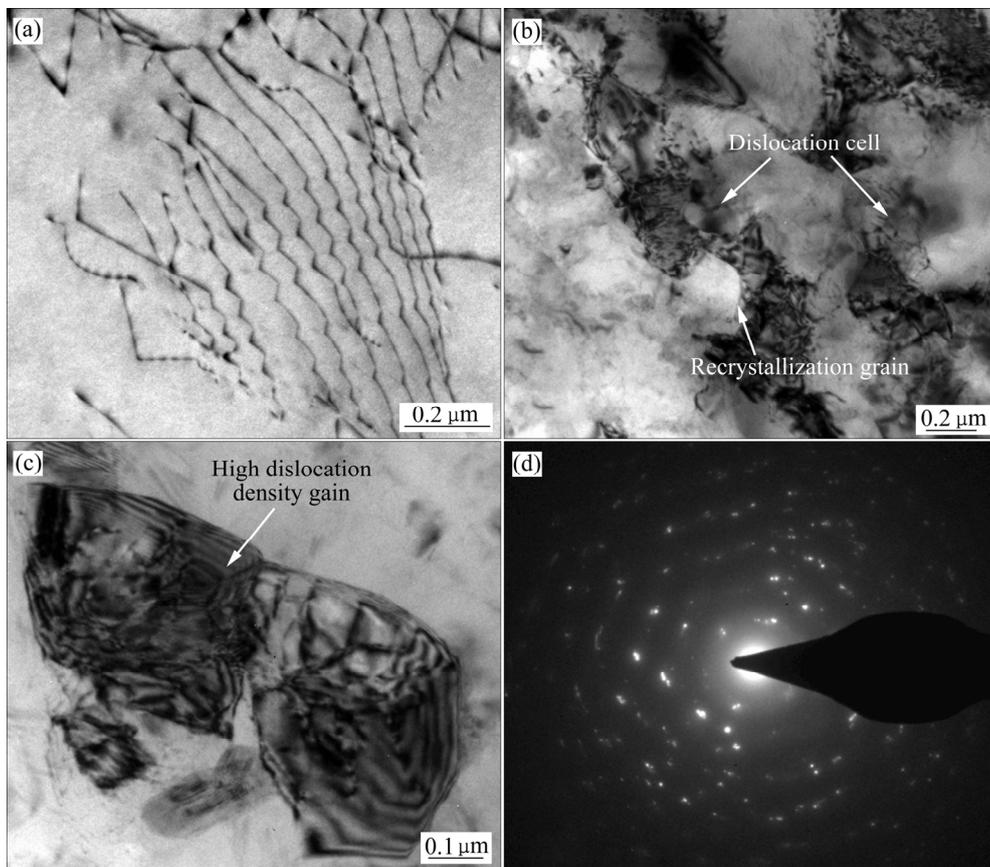


图4 不同变形条件下Al-9Mg-1.8Li合金板材的TEM像

Fig. 4 TEM images of Al-9Mg-1.8Li alloy plate at different deformations: (a) As-extruded; (b), (c) CBB; (d) Diffraction patterns

割为几个亚晶和位错胞结构(见图 4(c)); 轧制态板材的衍射斑呈环状分布(见图 4(d)), 说明发生了明显的再结晶(见图 4(b)), 进一步细化了合金板材的晶粒组织。由 Hall-Petch 关系可知<sup>[13-14]</sup>, 晶粒越细小, 晶界就越多, 位错运动的阻碍就越大, 材料的强度就越高。因此, 采用大应变交叉轧制不仅显著提高了挤压态合金板材的强度和韧性, 还有效改善了合金板材的力学性

能各向异性(见图 2), 进而提高了轧制板材的深冲性能(见图 3)。

交叉轧制改善合金板材各向异性的主要原因除优化了材料内部组织的均匀性和晶粒等轴化作用外, 还因为大应变交叉轧制有效缩小了板材平面上晶粒取向分布的差异。挤压态、CCB、CBA 和 CBB 轧制合金板材的 EBSD 像和晶粒取向分布图如图 5 所示, 对比

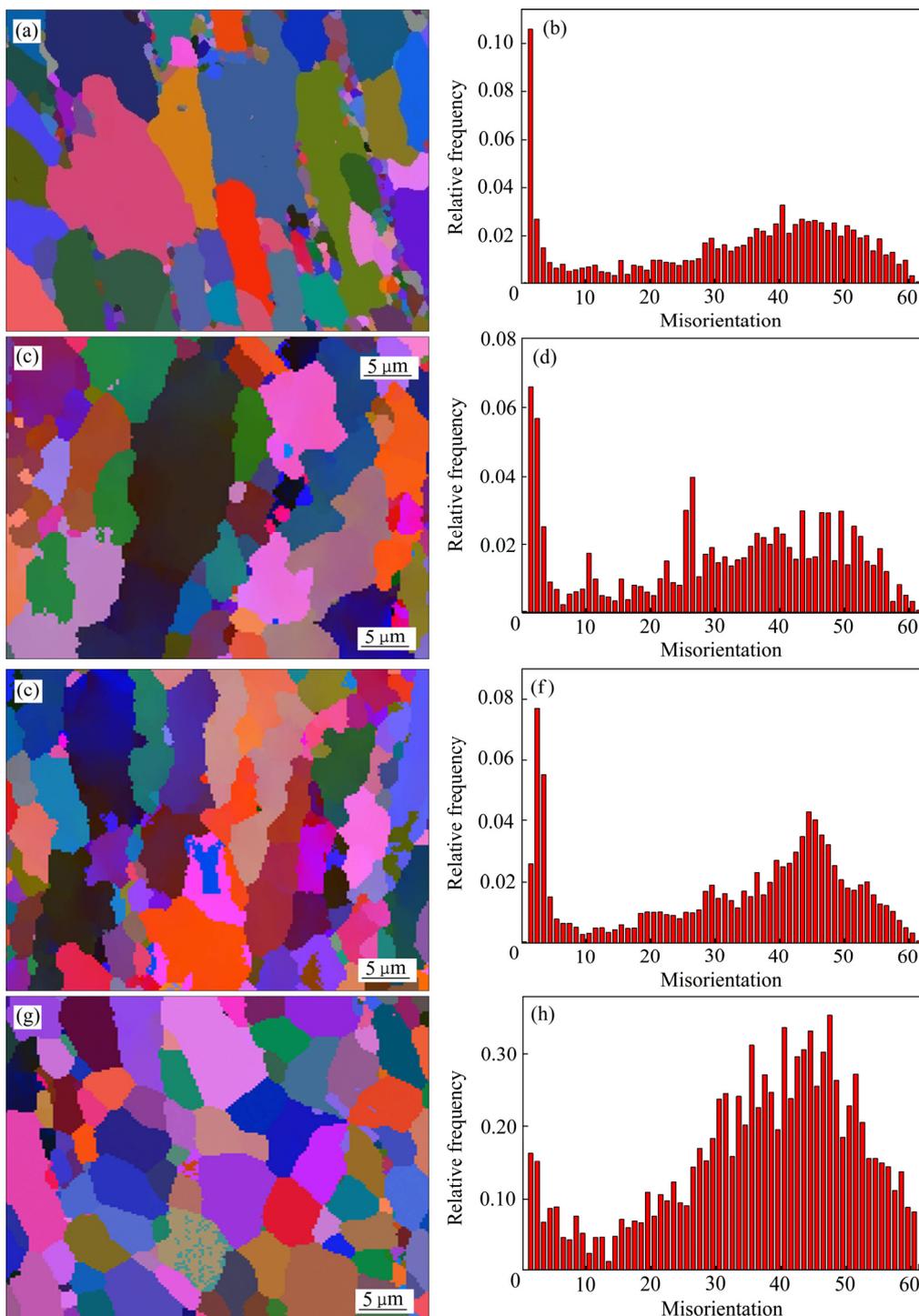


图 5 挤压态和 CBB 轧制 Al-9Mg-1.8Li 合金板材的 EBSD 像及晶粒取向分布图  
 Fig. 5 EBSD micrographs and grain orientation distribution diagrams of Al-9Mg-1.8Li alloy plate at different deformation: (a), (b) As-extruded; (c), (d) CCB; (e), (f) CBA; (g), (h) CBB

发现,经 CBB 轧制合金板材的平均晶粒尺寸明显减小(见图 5(g)),大角度晶界的比例显著增加(见图 5(h))。已有研究表明<sup>[15-18]</sup>,晶粒形貌和晶体学织构是导致 Al-Li 合金力学性能具有明显各向异性的重要原因,材料性能的各向异性来源于微结构与晶粒组织的各向异性。因此,对挤压态板材进行交叉轧制,有效地改善了再结晶晶粒的择优取向和提高了大角度晶界的比例。

### 3.2 织构演变规律

不同变形条件下 Al-9Mg-1.8Li 合金板材的 ODF 截面图如图 6 所示,挤压态合金的织构特征表现为典型的 Brass 织构  $\{110\}\langle 112\rangle$  和 S 织构  $\{123\}\langle 634\rangle$ ,此外还有少量的 Cube 织构  $\{001\}\langle 100\rangle$  和 Goss 织构  $\{110\}\langle 001\rangle$ ;交叉轧制后合金的 Brass 织构显著减小,甚至消失;其中 CBA 轧制态合金主要以 Brass 织构  $\{110\}\langle 112\rangle$  和 Copper 织构  $\{112\}\langle 111\rangle$  为主,还存在少量的 R-Cube 织构  $\{110\}\langle 011\rangle$ ;CCB 轧制态合金主要以 Copper 织构  $\{112\}\langle 111\rangle$  为主,还存在少量的 Cube 织构和 Goss 织构;CBB 轧制态合金没有典型的织构特征,

织构强度小。与 CBA 和 CCB 相比,CBB 轧制方式能显著弱化 Brass 织构和 S 织构等典型织构特征的主要原因是由于 CBB 轧制方式更能促进板材轧制过程中动态再结晶的发生,形成更为均匀的等轴晶组织(见图 5(g)),从而有利于晶粒在变形过程中转动,即形成大量随机取向的晶粒。由此可见,选择合理的交叉轧制方式是弱合金板材形变织构的关键,也是改善合金板材的各向异性、提高深冲性能的基础<sup>[19]</sup>。

不同变形条件下 Al-9Mg-1.8Li 合金板材  $\beta$  取向线上取向密度的变化如图 7 所示,CCB 轧制态板材中 Copper 织构  $\{112\}\langle 111\rangle$  取向密度最强,等级为 11 级,CBA 轧制态板材次之,约为 4.8 级,CBB 轧制态合金板材较弱,约为 2.4 级。挤压态合金中 Brass 织构  $\{110\}\langle 112\rangle$  取向密度最强,接近 4.5 级,CBA 轧制态板材次之,约为 3.8 级,CBB 轧制态板材较小,约为 1 级。由此可见,对挤压态合金进行交叉轧制,如轧制方式不合理,会增大某些织构(如 Copper 织构)的体积分数,这与图 3 所示的板材深冲试验结果基本一致;对比 3 种轧制方式,CBB 轧制态板材在  $\beta$  取向线上取向密度均较低,没有典型的织构特征,其主要原因:

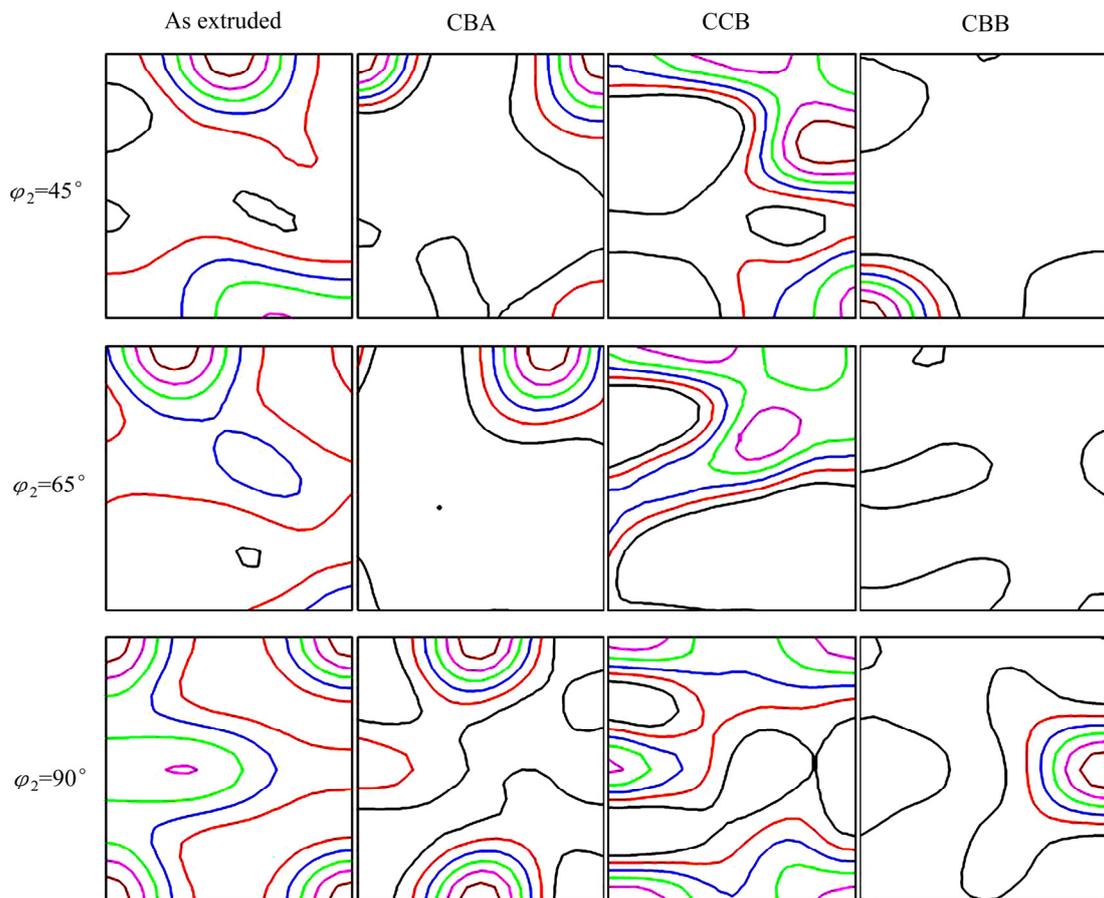


图 6 不同变形条件下 Al-9Mg-1.8Li 合金板材的 ODF 截面图

Fig. 6 Sections of ODFs of Al-9Mg-1.8Li alloy plate at different deformations

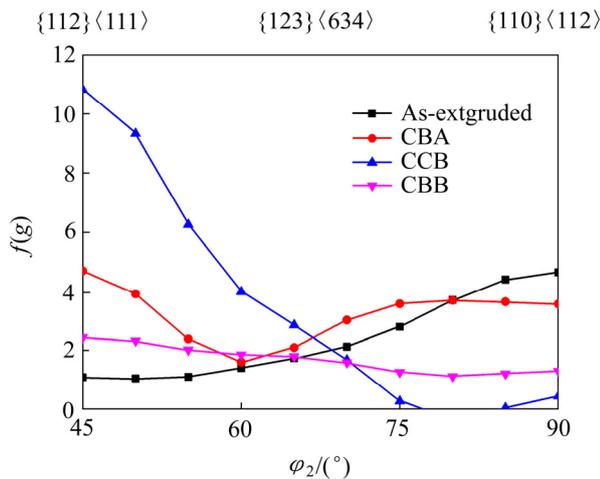


图7 不同变形条件下 Al-9Mg-1.8Li 合金板材  $\beta$  取向线上的取向密度变化

Fig. 7 Changes of orientation densities along  $\beta$  orientation line of Al-9Mg-1.8Li alloy plate at different deformations

1) 大应变轧制促进了板材变形过程中动态再结晶的发生, 细化了晶粒同时实现了小角度晶界向大角度晶界的转变, 从而改善了晶粒的取向分布; 2) CBB 轧制方式显著弱化了挤压态合金中 Brass 织构和 S 织构等典型的织构特征, 改善了挤压态合金的形变织构特征。

## 4 结论

1) 选用合理的交叉轧制方式对喷射成形 Al-9Mg-1.8Li 合金挤压态板材进行大压下量变形, 晶粒显著细化, 大角度晶界比例明显提高, 板材的各向异性明显改善, 深冲性能明显优化。

2) CBB 轧制方式显著降低了挤压态合金中典型的 Brass 织构  $\{110\}\langle 112 \rangle$  的取向密度。与 CBA 和 CCB 轧制方式相比较, CBB 轧制态板材中 Copper 织构  $\{112\}\langle 111 \rangle$  取向密度最低, 且 CBB 轧制态板材中没有典型的织构特征。

3) 大应变交叉轧制显著提高了挤压态合金的综合性能, CBB 轧制态合金板材在  $0^\circ$ 、 $45^\circ$  和  $90^\circ$  方向的力学性能接近各向同性, 其室温拉伸强度、屈服强度和伸长率分别在 611 MPa、507 MPa 和 20.6% 以上。

## REFERENCES

[1] 宋得康, 廖建华, 郑堂介. 大飞机铝锂合金等直段研制关键技术[J]. 航空制造技术, 2015, 12(4): 82-85.

SONG De-li, LUO Jing-hua, ZHENG Tang-jie. Key technology of Al-Li alloy liner part development of large aircraft[J]. Manufacturing Technology of Aviation, 2015, 12(4): 82-85.

[2] TOLGA D, COSTAS S. Recent developments in advanced aircraft aluminum alloys[J]. Materials and Design, 2014, 56(2): 862-871.

[3] 郑子樵, 李劲风, 陈志国. 铝锂合金的合金化与微观结构演化[J]. 中国有色金属学报, 2011, 21(10): 2337-2351.

ZHENG Zi-qiao, LI Jin-feng, CHEN Zhi-guo. Alloying and microstructural evolution of Al-Li alloys[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2011, 21(10): 2337-2351.

[4] JIN S B, TAO N R, KNUT M. Deformation of an Al-7Mg alloy with extensive structural micro-segregations during dynamic plastic deformation[J]. Materials Science and Engineering A, 2015, 628(4): 160-167.

[5] CHEN Zhen-hua, FAN Cai-he, CHEN Zhi-gang, CHEN Ding. Densification of large-size spray-deposited Al-Mg alloy square preforms via a novel wedge pressing technology[J]. Materials Science and Engineering A, 2009, 506(1/2): 152-156.

[6] FAN Cai-he, PENG Ying-biao, YANG Hai-tang, ZHOU Wei, YAN Hong-ge. Hot deformation behavior of Al-9.0Mg-0.5Mn-0.1Ti alloy based on processing maps[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2017, 27(2): 289-297.

[7] 范才河, 严红革, 彭英彪, 周伟, 周兴灵. 大应变热轧喷射成形高镁铝合金的微观结构及力学性能[J]. 中国有色金属学报, 2017, 27(1): 64-71.

FAN Cai-he, YAN Hong-ge, PENG Ying-biao, ZHOU Wei, ZHOU Xing-ling. Microstructures and mechanical properties of spray-forming high magnesium aluminum alloy during large strain hot rolling[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metal, 2017, 27(1): 64-71.

[8] HOGG S C, PALMER I G, THOMAS L G. Processing, microstructure and property aspects of a spraycast Al-Mg-Li-Zr alloy[J]. Acta Materialia, 2007, 55(6): 1885-1894.

[9] 范才河, 陈喜红, 戴南山, 阳建君. 变形条件对喷射成形 Al-9Mg-0.5Mn 合金动态再结晶的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(1): 79-83.

FAN Cai-he, CHEN Xi-hong, DAI Nan-shan, YANG Jian-jun. Dynamic recrystallization during hot compression deformation in spray-formed Al-9Mg-0.5Mn alloy[J]. Special Casting and Nonferrous Alloys, 2016, 36(1): 79-83.

[10] ENGLER O. Texture and anisotropy in the Al-Mg alloy AA 5005—Part I: Texture evolution during rolling and recrystallization[J]. Materials Science and Engineering A, 2014, 618: 654-662.

[11] ENGLER O, AEGERTER J. Texture and anisotropy in the Al-Mg alloy AA 5005—Part II: Correlation of texture and anisotropic properties[J]. Materials Science and Engineering A, 2014, 618: 663-671.

[12] CHEN Zhong-wei, ZHAO Jing, LI Shi-shun. Texture evolution

- of Al-Mg-Li aeronautical alloys in in-situ tension[J]. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 2012, 19(12): 1100–1106.
- [13] LIU Man-ping, LIU Qiang, ROVEN X T, LIU Min, MURASHKIN R Z, VALIEV T. Grain refinement in nanostructured Al-Mg alloys subjected to HPT[J]. Journal of Material Science, 2010, 45: 4659–4664.
- [14] HOGG S C, PALMER I G, THOMAS L G, GRANG P S. Processing, microstructure and property aspects of a spraycast Al-Mg-Li-Zr alloy[J]. Acta Materialia, 2007, 55: 1885–1894.
- [15] 陈忠伟, 樊秦英. 高强2A97Al-Li合金板材的微观结构[J]. 材料热处理学报, 2015, 36(6): 73–77.
- CHEN Zhong-wei FAN Qin-ying. Micro-textures of high strength 2A97 Al-Li alloy plates[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2015, 36(6): 73–77.
- [16] LIN Y, ZHENG Z Q, LI S C. Effect of solution treatment on microstructures and mechanical properties of 2099 Al-Li alloy[J]. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2014, 14: 61–71.
- [17] LI Hong-ping, YE Ling-ying, ZHANG Pan, ZHONG Jue, HUANG Ming-hui. Microstructure and texture characterization of superplastic Al-Mg-Li alloy[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2014, 24(7): 2079–2087.
- [18] 赵莎, 叶凌英, 张新明. 5A90铝锂合金超塑变形的不均匀性及其对空洞演化的影响[J]. 中国有色金属学报, 2013, 23(8): 2125–2132.
- ZHAO Sa, YE Ling-ying, ZHANG Xin-ming. Inhomogeneity of 5A90 Al-Li alloy during superplastic deformation and its effect on evolution of cavity[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2013, 23(8): 2125–2132.
- [19] 魏齐龙, 陈铮, 王永欣. 1420Al-Li合金各向异性[J]. 中国有色金属学报, 2002, 12(3): 573–577.
- WEI Qi-long, CHEN Zheng, WANG Yong-xin. Anisotropy of 1420 Al-Li alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2002, 12(3): 573–577.

## Cross rolling of large strain on microstructure and texture characteristic of Al-9Mg-1.8Li alloy sheet

FAN Cai-he<sup>1</sup>, ZENG Guang-sheng<sup>1</sup>, CHEN Xi-hong<sup>2</sup>, OU Ling<sup>1</sup>, YANG Jian-jun<sup>1</sup>, PENG Ying-biao<sup>1</sup>

(1. School of Metallurgical and Material Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China;

2. Zhuzhou Electric Locomotive Co., Ltd., CRRC Corporation Limited, Zhuzhou 412007, China)

**Abstract:** The metallographic microscope(OM), transmission electron microscopy (TEM), electron backscatter imaging (EBSD) and X-ray diffraction were used to analyze the microstructure and texture characteristics of Al-9Mg-1.8Li alloy cross-rolling and extruded plates, and the tensile properties and deep drawing performance were measured. The results show that the cross rolling of large reductions promotes the occurrence of dynamic recrystallization, makes the grains finer and improves the preferential orientation of recrystallized grains. Compared with CBA and CCB rolling methods, the CBB rolling method reduces the orientation density of the typical brass texture  $\{110\} \langle 112 \rangle$  in the extruded alloy, and the orientation density of copper texture  $\{112\} \langle 111 \rangle$  along the  $\beta$  orientation line in the CBB rolling plate is the lowest in the plate. There is no typical texture feature. At the same time, the mechanical properties of CBB rolled alloy plate have better deep drawing performance, and the mechanical properties in the three directions of  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $90^\circ$  are nearly the same. The room temperature tensile strength, yield strength and elongation are above 611 MPa, 507 MPa and 20.6%, respectively.

**Key words:** cross rolling; spray forming; Al-9Mg-1.8Li alloy; microstructure; texture characteristic

**Foundation item:** Project(2017JJ2073) supported by the National Natural Science Foundation of Hunan Province, China

**Received date:** 2017-07-03; **Accepted date:** 2018-01-24

**Corresponding author:** OU Ling; Tel: +86-731-22183432; E-mail: 23743343@qq.com

(编辑 李艳红)