



# Li 元素对热轧及退火态 AZ31 镁合金板材的组织及力学性能的影响

李瑞红<sup>1</sup>, 蒋 斌<sup>2,4</sup>, 陈志军<sup>3</sup>, 潘复生<sup>2,4</sup>

1. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 包头 014010;
2. 重庆大学 材料科学与工程学院, 重庆 400044;
3. 内蒙古第一机械集团有限公司 第十分公司, 包头 014030;
4. 重庆大学 国家镁合金工程技术研究中心, 重庆 400044)

**摘 要:** 通过 OM、SEM、拉伸实验研究添加不同含量的 Li 元素对轧制及退火态 AZ31 镁合金组织和力学性能的影响。结果表明: 添加 Li 元素的合金板材在热轧后均有大量孪晶出现。经过不同温度退火处理后, 合金板材的力学性能得到不同程度的改善。LAZ131(Mg-1Li-3Al-1Zn)合金在经过 150 °C 退火 30 min, 其沿 TD 方向拉伸时力学性能最佳, 抗拉强度、屈服强度、伸长率分别为 335 MPa、261 MPa、14.6%。而 LAZ131 合金在经过 300 °C 退火 30 min 后的力学性能各向异性最小, 且合金的组织为均匀细小的等轴晶, 总的力学性能较好, 抗拉强度、屈服强度及伸长率分别为 259 MPa、174 MPa、23.1%。这是由于 Li 元素的添加对基面组织的改善以及在 300 °C 退火时的再结晶所导致。

**关键词:** 镁锂合金; 轧制; 显微组织; 力学性能

文章编号: 1004-0609(2017)-06-1118-07

中图分类号: TG113.25; TG146.22

文献标志码: A

镁合金因具有低密度、高比强度和比刚度、良好的阻尼减震性能以及环境友好性, 已经在汽车、宇航等领域得到越来越多的应用<sup>[1-3]</sup>。然而, 普通镁合金板材因具有密排六方结构, 滑移系少, 使得其在室温下的塑性较差, 变形较为困难。研究表明<sup>[4-6]</sup>, 常规轧制或挤压变形将会使镁合金板材内部形成强烈的(0001)基面织构, 而这种织构特性是由于镁合金在塑性变形过程中基面滑移和锥面孪生所导致的<sup>[7]</sup>。基面织构的出现, 使得镁合金板材的各向异性现象更加明显, 通常情况下表现为在不同方向上的变形能力相差较大, 例如, 拉伸变形时不同方向上的力学性能差别较大<sup>[8]</sup>、冲压成形时容易出现凸耳、边裂等现象<sup>[9]</sup>。而在常规镁合金中添加 Li 元素, 可以极大地改善镁合金的塑性变形能力<sup>[10-12]</sup>。JIANG 等<sup>[13]</sup>研究了 Li 元素对铸态 Mg-5Sn 合金的拉伸及压缩性能。随着 Li 元素的加入, 合金中沿晶界出现了 Li<sub>2</sub>MgSn 相, 少量 Li 元素的添加可以显著提高 Mg-5Sn 合金的力学性能。其中 Mg-5Sn-0.3Li 合金的压缩强度和伸长率较未添加 Li

元素的 Mg-5Sn 合金分别提高了 151%和 225%。力学性能的提高主要与晶粒细化和新的第二相的出现有关。姜炳春等<sup>[14]</sup>对挤压态 Mg-9Li-1Zn 镁合金板材进行了冷轧及退火实验, 发现该合金在室温下能够进行压下量为 60%的轧制变形, 且经过 200 °C、1 h 的退火处理后, 合金的综合力学性能最好(抗拉强度为 185 MPa, 伸长率达到 29.4%)。袁雷等<sup>[15]</sup>对 Mg-4Li-1Al 合金的挤压变形进行了研究, 结果发现该合金可以在 200 °C 实现挤压变形, 变形后合金的抗拉强度为 269.5 MPa, 屈服强度达到 220.8 MPa。本文作者前期研究了 Li 元素对挤压态 AZ31 镁合金的组织 and 力学性能的影响, 结果发现 Li 元素的加入可以明显改善 AZ31 镁合金的塑性变形能力。其中在添加 5%Li 的挤压态 AZ31 镁合金的断裂伸长率可以达到 31%<sup>[12]</sup>。

随着 Li 元素的添加量不同, 镁合金的晶体结构也将随之变化。对于具有 HCP 结构的镁锂合金, 因其与常规镁合金晶体结构相同, 变形行为值得研究。有关 Li 元素对常规镁合金轧制后进行热处理的报道较少。

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金资助项目(2015BS0512); 内蒙古科技大学创新基金资助项目(2014QDL016); 国家自然科学基金资助项目(51171212)

收稿日期: 2016-06-17; 修订日期: 2016-10-24

通信作者: 李瑞红, 讲师, 博士; 电话: 0472-6896872; E-mail: liruihong1019@163.com

本文作者将系统研究 Li 含量对轧制及退火态 AZ31 镁合金的组织及力学性能的影响, 从而能够更好的拓展含 Li 镁合金的应用。

## 1 实验

本实验所用原料为商用高纯 AZ31 铸锭、纯 Mg 锭、纯 Li 锭(纯度 $\geq 99.90\%$ )。

实验所使用的合金是在真空感应熔炼炉中, 采用氩气气氛保护熔炼而成。按照纯锂锭的质量计算设计合金的质量。首先, 将 AZ31 铸锭按照设定成分进行切割、称量、打磨、清洗, 使其表面光滑无氧化层。其次, 将熔炼炉加热至 150 °C 烘干, 然后将所有原料(包括用铝箔包裹的纯 Li 锭)快速加入到熔炼炉中的坩埚, 并将熔炼炉密封; 对感应熔炼炉抽真空至气压 $\leq 1 \times 10^{-2}$  Pa, 然后充入纯氩气至 0.03 MPa; 之后将感应炉加热进行熔炼, 待原料充分熔化后, 在 720 °C 保温静置 20 min, 然后加大氩气的通入量增加炉膛内压力, 将熔体从预设浇口压入预热的金属模具(模具尺寸为  $d 168 \text{ mm} \times 510 \text{ mm}$ )中; 待模具冷却后, 取出制件。为防止金属锂被氧化, 实验全程在氩气保护下进行。合金的实测化学成分如表 1 所列。

表 1 试验合金的化学成分

Table 1 Chemical compositions of alloys

Alloy	Mass fraction/%				
	Mg	Li	Al	Zn	Mn
LAZ131	Bal.	0.93	2.52	0.76	0.39
LAZ331	Bal.	2.93	2.61	0.78	0.35
LAZ531	Bal.	4.79	2.53	0.79	0.27

铸锭经过车削加工去除表面氧化皮后, 在 250 °C 保温 10 h 做均匀化处理, 随后采用 1250 t 卧式挤压机进行热挤压, 挤压筒预热温度 280 °C, 铸锭预热温度 280 °C, 模具预热温度 350 °C, 挤压板材横截面尺寸为 120 mm $\times$ 2 mm, 挤压比为 83.7。对挤压开坯的板材进行轧制实验。本实验所用的轧制工艺为热轧, 工

表 2 实验合金轧制工艺参数

Table 2 Parameters of rolling deformation

Heat treatment prior to hot rolling	Rolling temperature	Rolling method	Rolling reduction/pass	Annealing after rolling
300 °C, 30 min	300 °C	Two pass rolling	29.3%	(150 °C, 30 min)+(300 °C, 30 min)

艺参数如表 2 所列。对于热轧实验, 进行两道次轧制, 单道次压下量为 29.3%, 轧制最终获得 1 mm(厚) $\times$ 120 mm(宽)的薄板。在整个轧制过程中, 为了保证坯料的轧制温度, 每道次轧制后, 需将轧制板材重新放入热处理炉中保温约 10min, 轧制后对板材进行不同温度的退火处理。从轧制及退火态合金板材上分别截取样品, 在 Newphot-30 型金相显微镜观察组织形貌。X 射线衍射分析(XRD)是在 Rigaku D/max 2500PC X 射线衍射仪上进行。工作参数为: Cu 靶  $K_{\alpha}$  射线、电流为 40 mA、电压为 60 kV, 扫描速度为 2 (°)/min, 扫描角度为: 10°~90°。采用硅粉做标准样品, 消除仪器物理宽化后, 通过 Jade 软件对 XRD 数据进行物相检索、扣背景、平滑、全谱拟合、晶胞精修后测出合金的晶格常数。宏观织构测定也在 Rigaku D/max 2500PC X 射线衍射仪上进行。采用 CMT5000 系列微机控制电子万能试验机对退火态合金进行力学性能测试, 按照与轧制方向呈 0°、45°、90° 3 个方向分别至少取 3 个试样做拉伸实验, 每组力学性能数据均取 3 个试样的平均值。拉伸实验的样品尺寸为: 标距 25 mm, 宽度 10 mm, 厚度 1 mm。将 RD 标记为轧制方向, TD 标记为横向, ND 标记为法向。

## 2 结果与讨论

### 2.1 合金的显微组织

图 1 所示为添加 Li 元素后的 LAZx31 合金在轧制态和退火态下的显微组织。从图中可以看出, LAZ131 合金与常规 AZ31 镁合金相似, 轧制态组织中出现了大量的剪切带, 且具有一定的方向性。在剪切带周围还可以观察到大量的孪晶, 及孪晶交叉。随着 Li 含量的增加, LAZ331 和 LAZ531 合金中的剪切带逐渐减少, 初始变形组织沿轧制方向拉长, 晶粒内部仍然有大量孪晶存在。150 °C 退火 30 min 后, 3 种合金的组织没有太大改变, 组织中的孪晶也没有消除。在 300 °C 退火 30 min 后, LAZ131 合金得到了完全再结晶组织(如图 1(g)中所示), 然而相同的退火工艺应用于 LAZ331 和 LAZ531 合金中, 却得到了晶粒相对较大的等轴再结晶组织, 并且在组织中有沿着轧制方向的

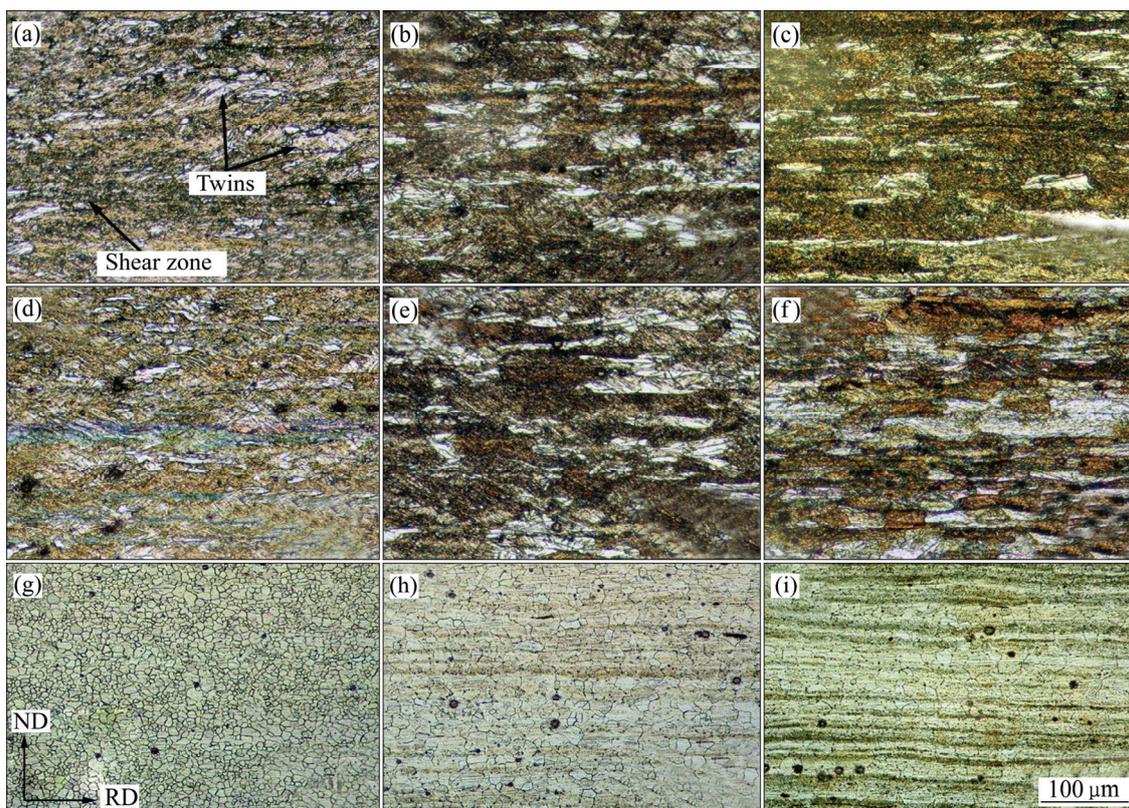


图1 LAZ131, LAZ331 和 LAZ531 合金的显微组织

Fig. 1 Microstructures of LAZ131 alloy((a), (d), (g)), LAZ331((b), (e), (h)) and LAZ531((c), (f), (i)): (a), (b), (c) As-rolled condition; (d), (e), (f) Annealing after rolling for 30 min at 150 °C; (g), (h), (i) Annealing after at 300 °C for 30 min

条带状晶粒分布, 在 LAZ531 合金的晶界处, 发现有第二相颗粒出现(见图 1(i))。添加 Li 元素的合金中再结晶行为可能与第二相颗粒和基体内过多的固溶 Li 原子与晶界的相互作用有关。

## 2.2 退火态合金的力学性能

图 2 所示为 3 种轧制板材经 150 °C 及 300 °C 分别退火 30 min 后沿不同方向的拉伸曲线。从图 2 中可以看出, 随着 Li 含量的增加, 合金板材的各向异性越来越小, 且平均塑性有所提升。LAZ131 板材在 150 °C 退火 30 min 后沿 TD 方向拉伸的抗拉强度与屈服强度表现为最佳, 分别为 335 MPa 和 261 MPa。这是由于回火温度较低, 合金内部的内应力没有完全消除。同时发现 3 种合金板材 150 °C 退火 30 min 后还存在有大量的孪晶。在 300 °C 退火 30 min 后, 3 种合金板材力学性能各向异性现象比 150 °C 退火 30 min 时的减弱了许多, 并且随着 Li 含量的增加, 合金的塑性各向异性越来越小, 其中 LAZ531 合金的伸长率在各个方向上的差别非常小(小于 1%)。另外, 在 LAZ131 合金的拉伸曲线上存在明显的屈服点, 这个现象在图 2(b)局部

放大图中可以观察得更加清楚。随着 Li 含量的增加, 屈服点变得不明显, 在 LAZ331 和 LAZ531 合金中, 只有沿着轧制方向拉伸时还能观察到屈服现象, 在其他两个方向拉伸时, 基本上没有屈服现象。并且随着 Li 含量的增加, LAZ331 与 LAZ531 合金的拉伸曲线上还出现了锯齿波现象。

## 2.3 轧制及退火态合金板材的宏观织构

同时, 对轧制态及轧制退火后含 Li 合金板材做了宏观织构分析, 如图 3 和图 4 所示。对于热轧态板材(见图 3), Li 元素的添加对合金的织构影响比较明显, 主要表现为基轴的偏转和峰值强度的降低。随着 Li 含量的增加, 合金的基轴向 TD 发生偏转, 且偏转角度也有所差异。并且随着 Li 含量的增加, 峰值强度也有所减弱, LAZ531 合金的峰值强度比 LAZ131 合金减少了大约 36%。这就与 Mg-Li 合金的变形机制有关。

与热轧态合金板材的织构相比, 退火态合金的织构特征又有所不同(见图 4), 首先, LAZ131 合金板材经 300 °C 退火 30 min 后, (0001)极图与轧制态织构类似, 呈现“单峰”织构。其织构强度有所增强, 这是

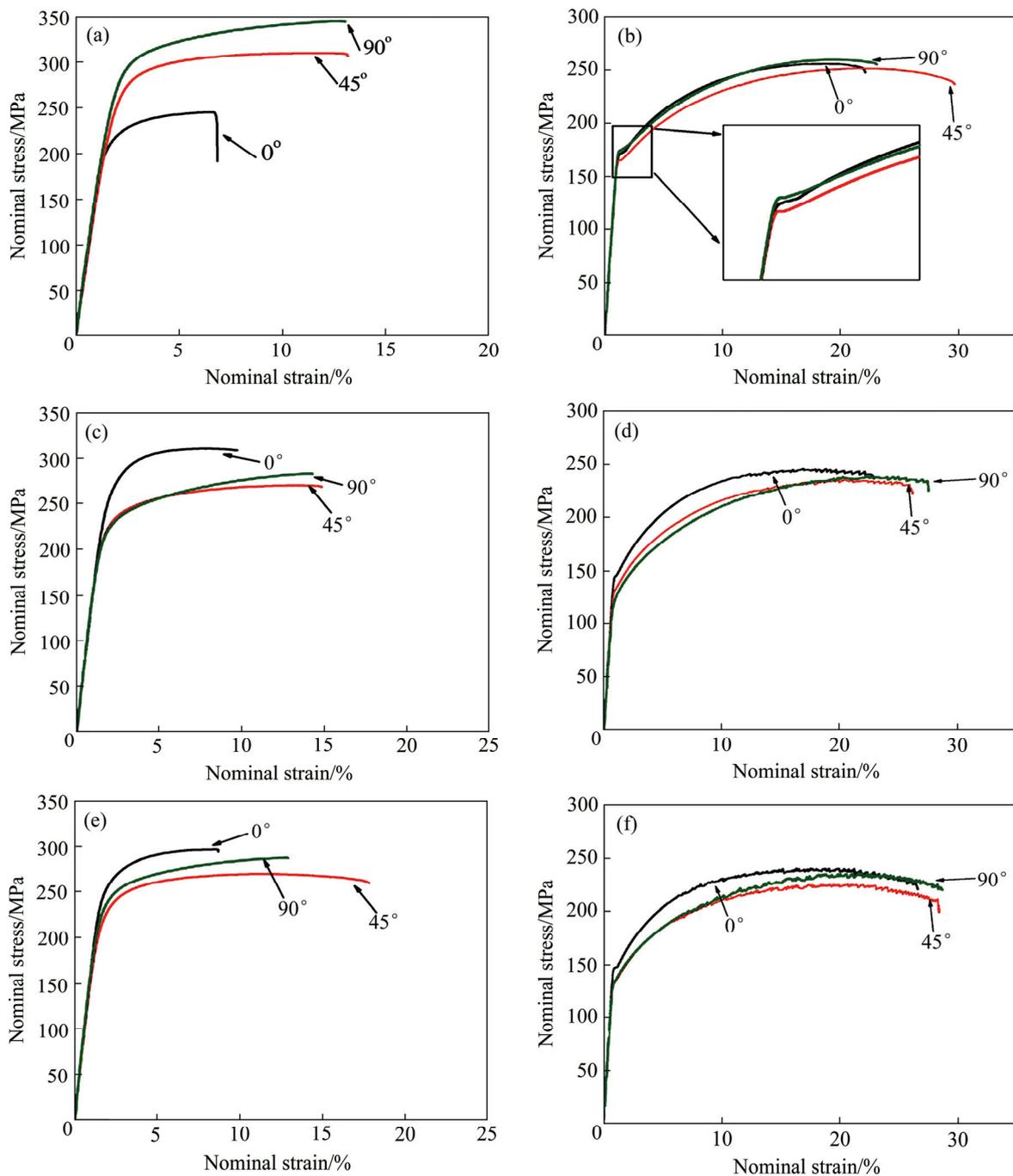


图 2 轧制态 LAZ131, LAZ331, LAZ531 合金经 150 °C 退火 30 min 及 300 °C 退火 30 min 后沿不同方向的拉伸曲线

Fig. 2 Tensile curves along different orientations for rolled sheet LAZ131 alloy((a), (b)), LAZ331 alloy((c), (d)) and LAZ531 alloy((e), (f)) annealed for different conditions: (a), (c), (e) 30 min at 150 °C; (b), (d), (f) 30 min at 300 °C

因为经过退火后, 合金经静态再结晶得到了晶粒细小的组织。由于宏观织构的测定与晶粒体积以及晶粒的数目有关, 故织构强度有所不同。随着 Li 含量的增加, (0001)极图呈现“多峰”织构。LAZ331 与 LAZ531 合金经过退火后, 其织构强度都比热轧态低, 且最大极密度的位置也有所偏转。这说明, 经 300 °C 退火 30 min 后, 随着 Li 含量的增加, 合金中出现的织构弱化甚至

基轴发生偏转应该与 Li 元素在再结晶过程中的作用有关, Li 元素与位错的相互作用, 使得再结晶更容易进行, 从而可能会导致再结晶晶粒的长大或者某些取向晶粒的择优生长, 也这有待于进一步研究证明。

Li 元素的添加引起合金织构变化的原因之一就是再结晶的新晶粒在形核和长大时, 与原有的母晶在取向角上存在较大的差异。把本实验中的再结晶机制称

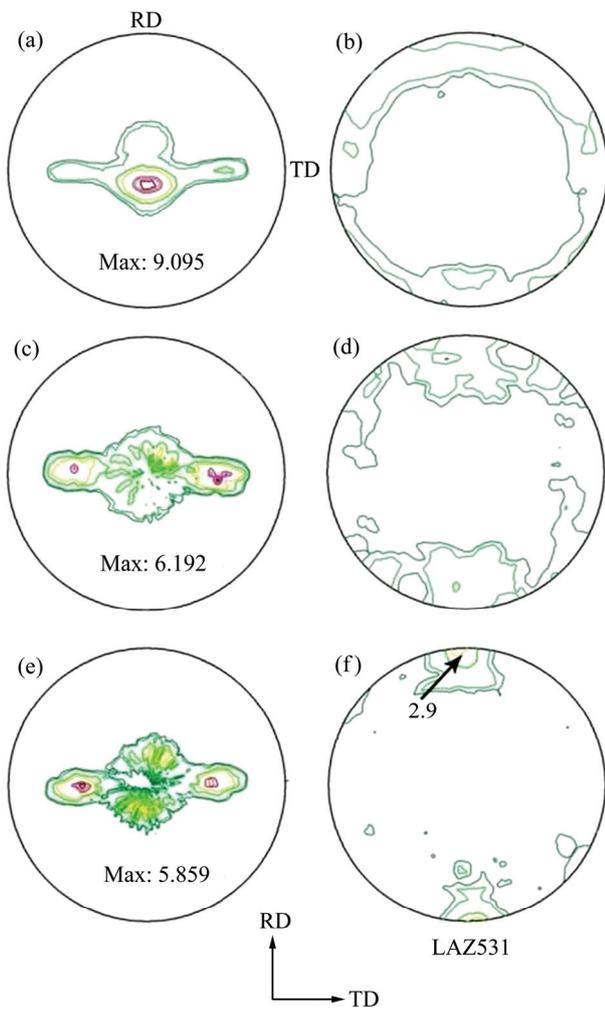


图3 热轧板材的宏观结构

**Fig. 3** Texture of rolled alloys LAZ131((a), (b)), LAZ331((c), (d)) and LAZ531((e), (f)): (a), (c), (e) (0001); (b), (d), (f) ( $10\bar{1}0$ )

为旋转动态再结晶<sup>[11]</sup>,因为它使新晶粒具有与原始晶粒不同取向的高角度晶界。Li元素的添加引起AZ31镁合金结构改变的第二个原因就是它可以降低合金的轴比( $c/a$ )。众所周知,镁合金的轴比主要影响基面滑移和非基面滑移的临界剪切应力(CRSS)<sup>[15]</sup>,从而对变形机制产生影响<sup>[16]</sup>。纯镁的轴比为1.624,室温时非基面滑移的CRSS要比基面滑移的大得多,所以镁合金在室温下变形一般以基面滑移为主,这也是导致其变形能力差的原因之一。另外,Ti合金具有比镁合金更低的 $c/a$ (1.58),所以其非基面滑移CRSS比基面滑移的小很多,故一般Ti合金的组织为基轴向TD的偏转的组织<sup>[15]</sup>。镁合金中的固溶原子可以改变Mg的晶格常数 $a$ 和 $c$ ,从而导致轴比的变化<sup>[17]</sup>。室温下Li在Mg中的固溶度可以达到5.5%(质量分数)<sup>[12]</sup>,这就意

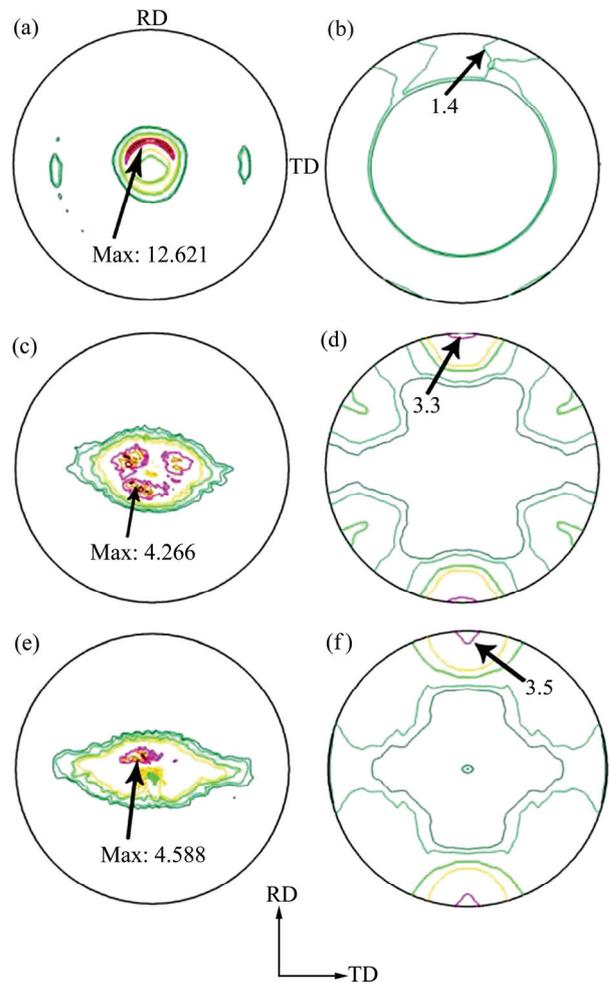


图4 热轧板材经300 °C退火30 min后的宏观结构

**Fig. 4** Texture of (0001) X-ray pole figures of studied alloys LAZ131((a), (b)), LAZ331((c), (d)) and LAZ531((e), (f)) after annealing at 300 °C for 30 min: (a), (c), (e) (0001); (b), (d), (f) ( $10\bar{1}0$ )

味着Li元素可以对镁合金的轴比产生重要影响。本文作者通过对XRD数据进行拟合,并计算了添加Li元素后合金的轴比,结果列于表3中。从表3中可以看出,添加Li元素后,LAZx31镁合金的轴比从1.6245逐渐降低到1.6082(LAZ531合金)。因为 $c/a$ 的减小,在镁合金中添加Li元素使得柱面 $\langle a \rangle$ 滑移的启动更加容易<sup>[18]</sup>。根据STYCZYNSKI等<sup>[19]</sup>的报道,镁合金中的基轴向TD偏转主要与柱面滑移的启动有关。这也与本研究相吻合。HAUSER等<sup>[20]</sup>的研究表明,在Mg-4.6Li合金挤压板中也出现了类似于一种柱面滑移的组织。就像在Ti和Zr中一样,即使是在 $\langle c+a \rangle$ 滑移出现的情况下Mg-Li合金中的柱面滑移也是非常重要的<sup>[14]</sup>。组织的转变对于改善镁合金板材的成形性能起着关键的作用。因此,在工业生产中,利用不同的加

表 3 Li 元素的添加对合金的晶格参数的改变

Table 3 Lattice parameters of studied alloys with or without Li

Alloy	$a/\text{\AA}$	$c/\text{\AA}$	$c/a$	Volume/ $\text{\AA}^3$
AZ31	3.2044±0.002	5.2055±0.004	1.6245±0.001	46.29
LAZ131	3.1990±0.004	5.1876±0.006	1.6216±0.002	45.97
LAZ331	3.1934±0.004	5.1487±0.002	1.6170±0.002	45.47
LAZ531	3.1864±0.004	5.1278±0.004	1.6082±0.001	45.09

工工艺, 例如挤压和轧制, 控制基面织构的出现是非常重要的。轧制加工又是一种有效且经济的板材生产方法, 所以 Li 元素的添加对于镁合金板材的组织控制是非常有效的。

### 3 结论

1) 3 种含 Li 的合金板材在经过 300 °C 热轧后, 其组织中有大量的孪晶且伴随有剪切带的出现; 在经过 150 °C 退火 30 min 后, 3 种合金的显微组织与轧制态组织类似; 而经过 300 °C 退火 30 min 后, 3 种合金的组织均为再结晶组织, 其中 LAZ131 合金的晶粒最小。

2) 随着退火温度的提高, 3 种合金的抗拉强度均有下降, 但伸长率都得到了提升, 且 3 种合金在 300 °C 退火 30 min 后的拉伸各向异性现象较弱。

3) 添加 Li 元素能够使 AZ31 镁合金的轧制态及退火态织构发生较大改变。尤其是变形态合金, 在添加 5% 的 Li 元素后, 轧制板材的基面织构几乎消失, 而非基面织构替代, 这将大大改善镁合金的塑性变形能力。

### REFERENCES

- [1] ZENG Rong-chang, ZHANG Yan, HU Fen, HUANG Yuan-ding, WANG Zhen-lin, LI Shuo-qi, HAN En-hou. Corrosion resistance of cerium-doped zinc calcium phosphate chemical conversion coatings on AZ31 magnesium alloy[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2016, 26(1): 472–483.
- [2] 吴章斌, 桂良进, 范子杰. AZ31B 镁合金挤压材料的力学性能与本构分析[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(2): 293–300. WU Zhang-bin, GUI Liang-jin, FAN Zi-Jie. Mechanical properties and constitutive analysis of extruded AZ31B magnesium alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015, 25(2): 293–300.
- [3] LUO Xiao-mei, BI Guang-li, JIANG Jing, LI Ming, LI Rong-guang, LI Yuan-dong, MA Ying, HAO Yuan. Compressive anisotropy of extruded Mg-Dy-Zn alloy sheet[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2016, 26(2): 390–397.
- [4] LIU Pei, XIN Yun-chang, LIU Qing. Plastic anisotropy and fracture behavior of AZ31 magnesium alloy[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21(4): 880–884.
- [5] 李瑞红, 蒋斌, 陈志军, 潘复生. 超轻 Mg-Li-Al 系变形镁合金挤压板材的组织及性能[J]. 中国有色金属学报, 2016, 26(1): 31–36. LI Rui-hong, JIANG Bin, CHEN Zhi-Jun, PAN Fu-sheng. The microstructure and mechanical properties of as-extruded ultra-light Mg-Li-Al sheet[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2016, 26(1): 31–36.
- [6] 王忠堂, 翟棣锦, 刘立志. AZ31 镁合金复合变形的微观组织及力学性能[J]. 材料热处理学报, 2016, 37(8): 47–52. WANG Zhong-tang, ZHAI zhi-jin, LIU Li-zhi. Microstructure and mechanical property of AZ31 magnesium alloy processed by compound deformation [J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2016, 37(8): 47–52.
- [7] 刘筱, 朱必武, 李落星, 唐昌平. 挤压态 AZ31 镁合金热变形过程中的孪生和组织演变[J]. 中国有色金属学报, 2016, 26(2): 288–295. LIU Xiao, ZHU Bi-wu, LI Luo-xing, TANG Chang-ping. Twinning and texture evolution in extruded AZ31 magnesium alloy during hot deformation[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2016, 26(2): 288–295.
- [8] PEKGULERYUZ M, CELIKIN M, HOSEINI M, BECERRA A, MACKENZIE L. Study on edge cracking and texture evolution during 150 °C rolling of magnesium alloys: The effects of axial ratio and grain size[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2012, 510(1): 15–25.
- [9] HUANG Xin-sheng, SUZUKI K, CHINO Y. Influences of initial texture on microstructure and stretch formability of Mg-3Al-1Zn alloy sheet obtained by a combination of high temperature and subsequent warm rolling[J]. Scripta Materialia, 2010, 63(4): 395–398.
- [10] ZOU Yun, ZHANG Le-hao, WANG Hong-tao, TONG Xin, ZHANG Mi-lin, ZHANG Zhong-wu. Texture evolution and their effects on the mechanical properties of duplex Mg-Li alloy[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2016, 669: 72–78.
- [11] LI Rui-hong, PAN Fu-sheng, JIANG Bin, YANG Qing-shan, TANG Ai-tao. Effects of combined additions of Li and Al-5Ti-1B on the mechanical anisotropy of AZ31 magnesium

- alloy[J]. *Materials & Design*, 2013, 46: 922–927.
- [12] LI Rui-hong, PAN Fu-sheng, JIANG Bin, DONG Han-wu, YANG Qing-shan. Effect of Li addition on the mechanical behavior and texture of the as-extruded AZ31 magnesium alloy[J]. *Materials Science and Engineering A*, 2013, 562: 33–38.
- [13] JIANG Yan, CHEN Yu-an, FANG Dan, JIN Li. Effect of Li on microstructure, mechanical properties and fracture mechanism of as-cast Mg-5Sn alloy [J]. *Materials Science and Engineering A*, 2015, 641: 256–262.
- [14] 姜炳春, 唐联耀, 刘方方, 闫丽静, 李 炳. 退火对 LZ91 镁锂合金冷轧板材组织与力学性能的影响[J]. *金属热处理*, 2016, 41(1): 171–174.
- JIANG Bing-chun, TANG Lian-yao, LIU Fang-fang, YAN Li-jing, LI Bing. Effect of annealing on microstructure and mechanical properties of LZ91 Mg-Li alloy cold rolled sheet[J]. *Heat Treatment of Metals*, 2016, 41(1): 171–174.
- [15] 袁 雷, 沙桂英, 宋 猛, 岳子健, 李志常. 热挤压工艺对 Mg-4Li-1Al 合金组织与性能的影响[J]. *热加工工艺*, 2015, 44(11): 68–70.
- YUAN Lei, SHA Gui-ying, SONG Meng, YUE Zi-jian, LI Zhi-chang. Influences of hot extrusion process on microstructure and properties of Mg-4Li-1Al alloy[J]. *Hot Working Technology*, 2015, 44(11): 68–70.
- [16] YIN De-liang, LIU Jin-qiang, WU Bing. Deformation mechanisms of Mg-3Al-1Zn alloy by polycrystal plasticity modeling[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2015, 25(7): 2188–2194.
- [17] DONG Han-wu, PAN Fu-sheng, JIANG Bin, ZENG Ying. Evolution of microstructure and mechanical properties of a duplex Mg-Li alloy under extrusion with an increasing ratio[J]. *Materials & Design*, 2014, 57: 121–127.
- [18] SUH B C, SHIM M S, SHIN K S, KIM N J. Current issues in magnesium sheet alloys: Where do we go from here?[J]. *Scripta Materialia*, 2014, 84/85: 1–6.
- [19] STYCZYNSKI A, HARTIG C, BOHLEN J, LETZIG D. Cold rolling textures in AZ31 wrought magnesium alloy[J]. *Scripta Materialia*, 2004, 50(7): 943–947.
- [20] HAUSER F E, LANDON P R, DORN J E. Deformation and fracture of alpha solid solutions of lithium in magnesium[J]. *Transactions of American Society for Metals*, 1958, 50: 856–883.

## Effect of Li addition on microstructure and mechanical properties of rolled and annealed AZ31 alloy

LI Rui-hong<sup>1</sup>, JIANG Bin<sup>2,4</sup>, CHEN Zhi-jun<sup>3</sup>, PAN Fu-Sheng<sup>2,4</sup>

- (1. School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China;  
 2. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;  
 3. The Tenth Sub-company, Inner Mongolia First Machinery Group Corporation, Baotou 014030, China;  
 4. National Engineering Research Center for Magnesium Alloys, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** The microstructure and mechanical properties of rolled and annealed AZ31 alloy with different Li addition were studied by optical microscopy, SEM, and tensile test. The results show that with the increase of lithium additions, the microstructures of rolled alloy with lithium addition exhibit much twins. After annealed at 150 °C for 30 min, the LAZ131(Mg-1Li-3Al-1Zn) sheet exhibit higher tensile strength of 335 MPa along TD, with lower elongation of 14.6%. After annealing at 300 °C for 30 min, the lower anisotropy and optimal comprehensive mechanical property are achieved in LAZ131(Mg-1Li-3Al-1Zn), with ultimate tensile strength of 259 MPa, yield strength of 174 MPa and elongation of 23.1%. This is attributed to the modification of basal texture due to Li addition and recrystallization when annealing at 300 °C.

**Key words:** Mg-Li alloy; rolling; microstructure; mechanical property

**Foundation item:** Project(2015BS0512) supported by the Natural Science Foundation of the Inner Mongolia Autonomous Region, China; Project(2014QDL016) supported by Inner Mongolia University of Science and Technology Innovation Fund, China; Project(51171212) supported by the National Natural Science Foundation of China

**Received date:** 2016-06-17; **Accepted date:** 2016-10-24

**Corresponding author:** LI Rui-hong; Tel: +86-472-6896872; E-mail: liruihong1019@163.com

(编辑 王 超)