

2091 铝锂合金变形断裂过程的原位观察^①

陈小群 尹志民*
(中南工业大学测试中心, * 材料科学与工程系, 长沙 410083)

摘 要 利用透射电镜对 2091 铝锂合金在不同热处理状态下的变形断裂过程进行了原位观察, 结果表明, 在不同的时效状态, 合金的应变局部化不同, 在近峰值时效合金变形时, 位错切割 δ 相而产生强的共面滑移, 引起应变不均匀; 而在过时效态合金中, 应变集中于晶界 PFZ 内, 晶内的共面滑移带明显减弱。
关键词 铝锂合金 变形断裂机制 原位观察

应变局部化被认为是导致 Al-Li 合金具有低的塑韧性的主要原因之一^[1, 2], 但对该合金的变形过程进行直接观察, 却很少有报道。本文利用透射电镜原位观察研究了 Al-Li 合金在不同时效状态下的变形、断裂过程。

1 材料和实验方法

从铝锂合金板轧上取样, 板经 540 ℃, 30 min 固溶处理, 然后在不同温度下热处理得到试样 A、B, 其处理工艺和机械性能见附表。合金成份(%)为: Li 2. 10, Cu 1. 85, Mg 1. 50, Zr 0. 10, Al 余量。

利用 H-800 透射电镜的拉伸试样台对 A、B 两组试样分别进行动态拉伸的原位观察, 利用 X650 扫描电镜观察了拉伸试样的断口表面形貌。

附表 合金热处理制度和拉伸力学性能

试样	热处理状态	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ / %
A	8% 冷变形+ 170 ℃, 2 h + 190 ℃, 6 h, 近峰值时效	485	9. 0%
B	8% 冷变形+ 170 ℃, 2 h + 190 ℃, 24 h, 过时效	490	6. 0%

2 实验结果与讨论

透射电镜观察结果表明, 试样 A 中主要强化相 δ' (Al_3Li) 以球形粒子形态从基体中均匀析出, 在晶界形成较窄的无 δ' 沉淀带 (PFZ) [图 1(a)]。

拉伸过程的原位观察显示, 在变形过程中试样 A 形成了明显的强滑移带, 滑移在晶界前受阻并产生应力集中, 导致沿晶微裂纹形成和沿晶断裂 [图 1(b)]。另外, 在该试样中还可观察到, 微裂纹在强滑移带交会处形成并沿滑移带扩展导致断裂[图 1(c)]。变形过程中共面滑移带的形成表明, 在近峰值时效状态下, 位错与 δ' 相相互作用仍以切割机制为主, 强滑移带在晶界处受阻并产生应力集中, 此时在晶界处容易形成 Stron 微裂纹^[3], 微裂纹沿 PFZ 扩展形成沿晶断裂, 另外, 滑移带的交割也容易引起应力集中产生微裂纹, 此时, 裂纹可能沿已弱化的滑移面扩展, 形成穿晶剪切断裂, 断口表面形貌也证实, 在近峰值时效态试样呈现沿晶断裂与穿晶剪切断裂的混合型断口特征 [图 2(a)], 并且在沿晶断裂区可明显观察到由共面滑移带产生的滑移台阶 [图 2(b)]。

试样 B 的显微组织中 δ' 已明显粗化, 且 PFZ 也变得很宽, 在晶界上有明显的平衡相析

① 收稿日期: 1995- 09- 28; 修回日期: 1996- 01- 22 陈小群, 男, 31 岁, 讲师, 硕士

出^[4][图3(a)]。拉伸过程的原位观察表明,此时晶内已无明显的强滑移带,但在大角度晶界附近可看到很强的应变衬度(有大量弯曲消光条纹),表明滑移主要集中在晶界PFZ内,随着拉伸过程的进行,在晶界沉淀相周围已形成许多微裂纹[图3(b)],继续变形晶界上形成

的微裂纹沿晶扩展并连通导致合金失效,从试样断裂区可发现有沿晶二次裂纹产生[图3(c)]。该时效状态下,合金变形过程的原位观察表明,此时,位错与 δ' 粒子相交作用已由切割机制为主转为以绕过机制为主,同时,大量已粗化的 S' 相对位错的共面滑移也起有效的

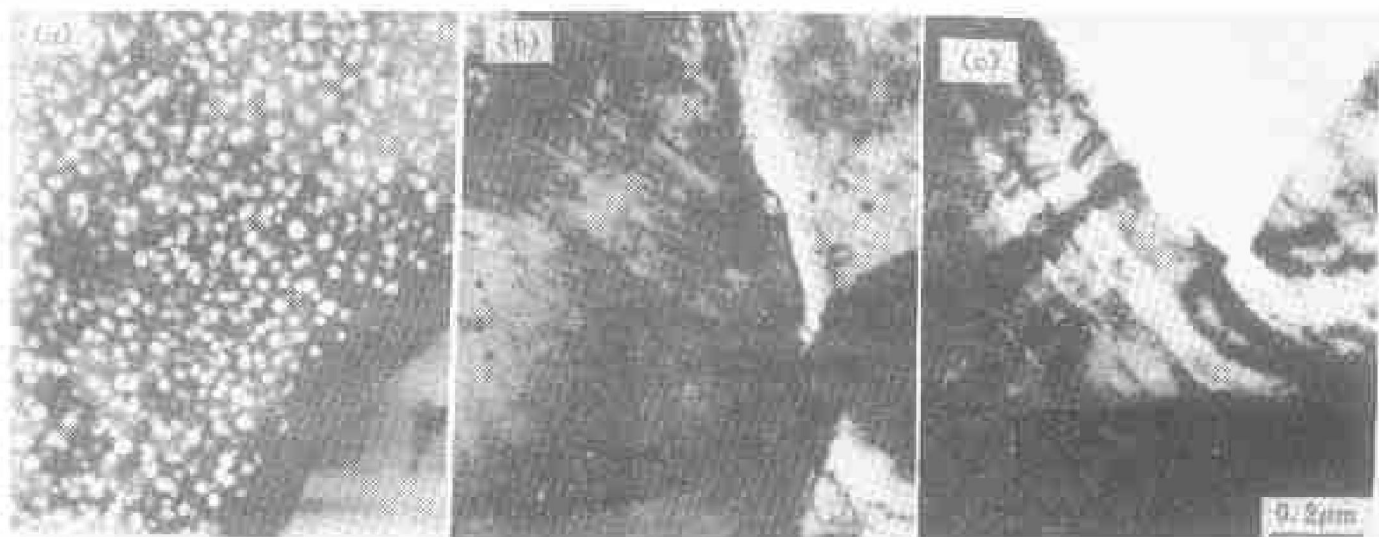


图1 试样A显微组织及变形特性

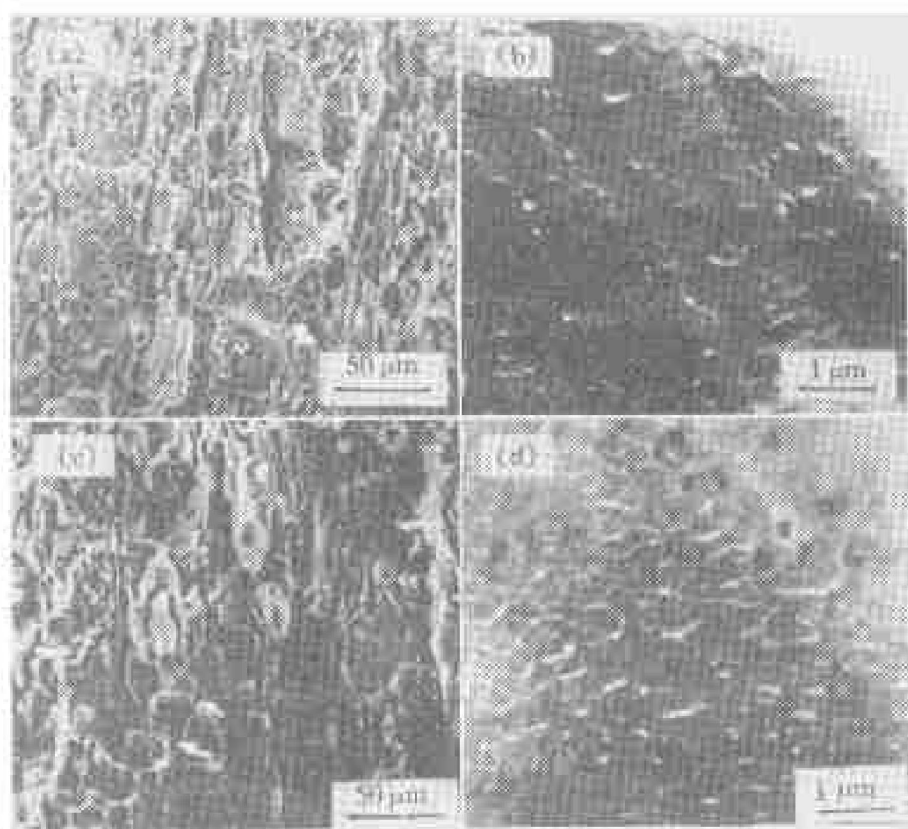


图2 拉伸试样断口表面形貌

(a), (b) —试样A; (c), (d) —试样B

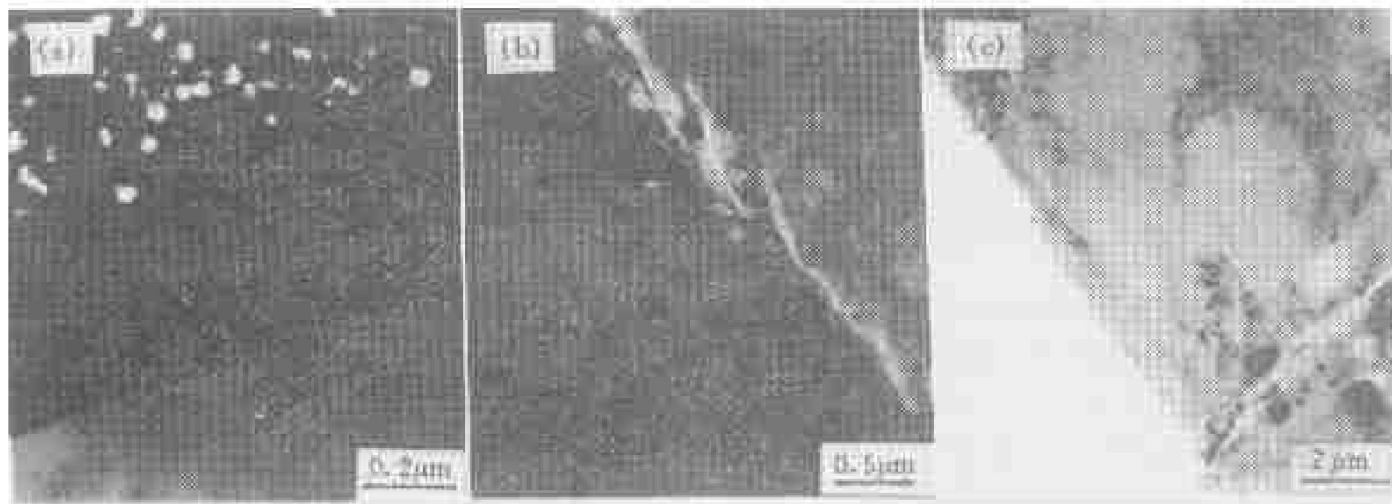


图3 试样B显微组织及变形特性

阻碍作用,致使晶内共面滑移不易形成;而宽化的晶界PFZ却成为应变的主要区域,应变集中导致在平衡相周围产生应力集中是合金变形过程中产生微裂纹并导致断裂的主要原因。在相应的断口表面形貌上显示该合金为沿晶断裂[图2(c)],在断裂的晶界面上可见到有大量晶界平衡相粒子及浅小韧窝[图2(d)]。

3 结论

(1) 在近峰值时效状态下,仍存在较强的共面滑移,滑移在晶界受阻或在晶内滑移带交

割产生应力集中,并导致微裂纹形成,裂纹沿晶界PFZ或滑移带扩展造成合金失效。

(2) 在过时效合金中,晶内共面滑移已明显减弱,滑移主要集中在已宽化的晶界PFZ内,断裂以沿晶断裂为主。

参考文献

- 1 Sanders T H, Starke E A. Acta Metall, 1982, 30: 927.
- 2 Lin F S. Metall Trans, 1982, 13A: 401.
- 3 哈宽富. 金属力学性质的微观理论. 北京: 科学出版社, 1983: 624.
- 4 尹志民, 陈小群. 金属学报, 1991, 27(1): A130.

IN SITU OBSERVATION OF DEFORMATION AND FRACTURE IN 2091 Al-Li ALLOY

Chen Xiaoqun, Yin Zhimin*

Test and Analysis Center, * Department of Materials Science and Engineering,
Central South University of Technology, Changsha 410083

ABSTRACT The processes of deformation and fracture in a 2091 Al-Li alloy under various heat treatment conditions were investigated in situ by transmission electron microscopy. In near peak aged alloy, the shearable nature of the δ' precipitates tends to localize the strain in intense deformation bands. On the other hand, in over-aged alloy, the presence of wide PFZs with copious grain boundary precipitates stimulates localized deformation in the PFZs, and the planar slip bands are obviously weakened.

Key words Al-Li alloy deformation fracture in situ observation

(编辑 彭超群)