

预拉伸对 Al-Li 合金应力腐蚀行为的影响

陈想平 (江汉石油学院安全工程系, 湖北荆州, 434100)

李仁顺 耿洪滨 (哈尔滨工业大学金属学教研室, 哈尔滨, 150006)

EFFECT OF STRETCHING DEFORMATION PRIOR TO AGING ON STRESS CORROSION CRACKING BEHAVIOR OF Al-Li ALLOY

Chen Xiang-ping

(Safety Engineering Department, Jianghan petroleum Institute, Jingzhou, 434100)

Li Ren-shun, Geng Hong-bin

(Department of Metals and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150006)

摘要 在时效前对 Al-Li-Cu-Mg-Zr 合金进行拉伸变形, 用慢应变速率拉伸试验和恒应变三点弯曲试验研究了合金的在 3.5%NaCl 水溶液中的应力腐蚀行为, 并测定了合金的拉伸性能。表明预拉伸变形提高了合金的应力腐蚀抗力和强度。预拉伸变形量 4% 时, 合金具有最低的应力腐蚀开裂敏感性和最高的断裂延伸率。预拉伸变形量从 4% 至 8% 时, 对合金应力腐蚀开裂敏感性影响不大, 合金的延伸率下降也不明显。用透射电镜分析了合金的显微组织与应力腐蚀性能及拉伸性能之间的关系。

关键词 Al-Li 合金, 应力腐蚀, 预变形

Abstract The stress corrosion cracking (SCC) Behavior in 3.5% NaCl solution of Al-Li-Cu-Mg-Zr alloy stretched prior to aging has been studied by the slow strain rate and constant strain test, and its tensile properties have been tested. The results show that the predeformation raises the SCC resistance and strength of the alloy. The alloy predeformed 4% for stretch has the lowest susceptibility on the SCC and the highest utmost elongation. Increasing the stretch from 4% to 8% has no observable effect on the SCC susceptibility and causes no obvious decrease of the elongation of the experiment alloy. The correlation between the SCC behavior, tensile properties and the micorstructure of the alloy was inverstigated by means of transmission electron microscopy (TEM).

Key words Al-Li alloy, stress corrosion, predeformation

Al-Li 合金存在着韧、塑性差和应力腐蚀开裂敏感性高等缺点, 为进一步改善 Al-Li 合金的性能, 文献报导采用了形变热处理工艺^[1~3]。如 Harris 的研究结果表明, 在时效前进行少量的拉伸和冷轧变形, 可提高合金的强韧性, 但使延伸率有所降低。本文则对国产 Al-Li-Cu-Mg-Zr 合金进行预拉伸处理, 研究变形量对合金显微组织及应力腐蚀开裂敏感性的影响。

1 材料与试验方法

选用 2mm 厚的包铝冷轧板材; 合金的化学成分 (wt%) 为:

1991 年 7 月 15 日收到, 1992 年 1 月 3 日收到修改稿

Al-2.04Li-2.48Cu-0.87Mg-0.10Zr; 试样取自板材横向, 尺寸为 $1.5 \times 3 \times 20\text{mm}^3$; 应变速率为 $6.25 \times 10^{-6} / \text{s}$ 。在实验室空气和 3.5%NaCl 水溶液两种介质中进行, 溶液保持循环状态。待试样达到稳定的开路腐蚀电位后, 施加 -700mv (SCE) 的阳极电位, 以加快试验速度。用塑性损失率 E_{loss} 来衡量合金的应力腐蚀开裂敏感性。

$$E_{\text{loss}} = [(e_f(\text{air}) - e_f(\text{NaCl}) / e_f(\text{air})) \times 100\%$$

式中, $e_f(\text{air})$ 、 $e_f(\text{NaCl})$ 分别为在空气和 3.5%NaCl 水溶液中, -700mv (SCE) 条件下的断裂延伸率。

恒应变试样采用三点弯曲试样。试样尺寸为 $1.5 \times 15 \times 100\text{mm}^3$ 。试验过程按 ASTM G39-79 标准进行。试样表面最大拉应力通过应变片测量。

试样的热处理工艺为在 530°C 的盐浴中保温 30min 后水淬, 立即进行拉伸变形。在 190°C 时效 14h。用精铣的方法除去合金表面包铝层, 然后再进行机械抛光和化学抛光。

2 试验结果

2.1 预拉伸对机械性能的影响

图 1 示出了预拉伸变形量对合金拉伸性能的影响。随拉伸变形量增加, 合金的强度增高, $\sigma_{0.2}$ 增加的幅度高于 σ_b , 说明预拉伸引起的强化主要是 S' 相的弥散强化(见图 4(d))。随着变形量的增大, 钢的位错密度增大, 因而延伸率降低。

2.2 预拉伸对应力腐蚀开裂敏感性的影响

三点弯曲试样的试验结果见表 1。试样承受的载荷为屈服强度的 75%, 试验周期为 60d。未变形试样在任 31d 内全部起裂, 而经过预拉伸的试样只有部分试样产生裂纹。应力腐蚀裂纹在点蚀坑上萌生, 在与拉应力垂直的方向上沿晶界扩展(见图 2(a), (b))。结果表明, 经过预拉伸变形, 合金的应力腐蚀裂纹萌生抗力得到提高。

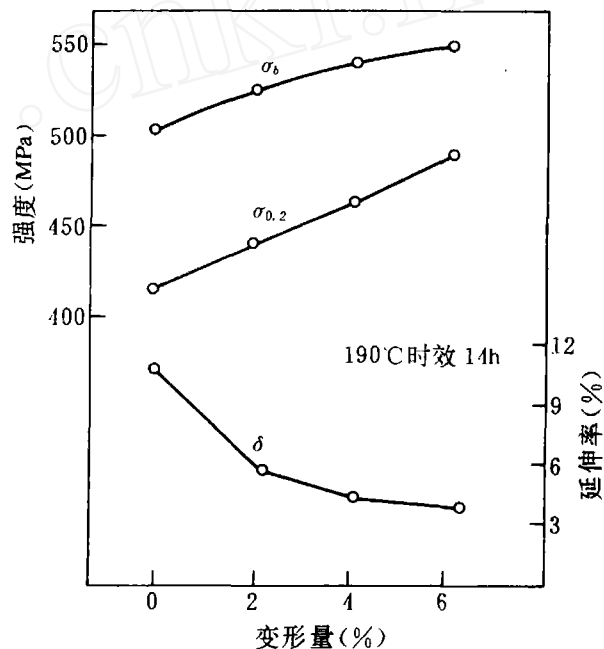


图 1 预拉伸变形量对 Al-Li-Cu-Mg-Zr 合金机械性能的影响

表 1 预拉伸变形量对 Al-Li-Cu-Mg-Zr 合金应力腐蚀裂纹萌生抗力的影响

变形量 / %	应力 / MPa	失效个数 / 实验个数(d)
0	310	3 / 3(5, 23, 31)
2	330	1 / 3(7)
4	350	2 / 3(7, 14)
6	360	2 / 3(5, 7)

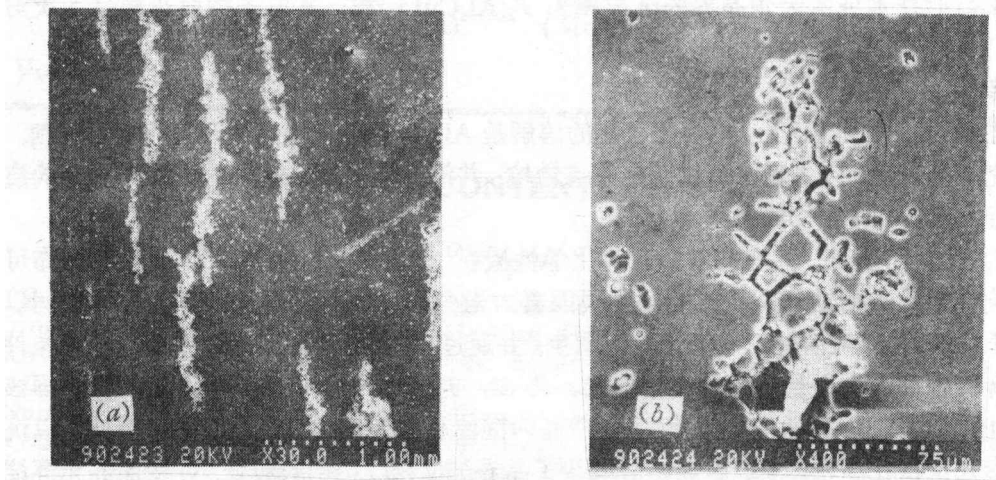


图 2 应力腐蚀裂纹

(a)三点弯曲试样表面裂纹; (b)图 2(a)的局部放大

图 3 示出了预拉伸变形量对合金应力腐蚀开裂敏感性的影响。随着变形量的增加,合金应力腐蚀开裂敏感性降低。在变形量为 4% 时,合金的塑性损失率最低,在 3.5%NaCl 水溶液中断裂延伸率最高。变形量大于 4% 后,塑性损失率变化不明显,而合金在空气及 3.5%NaCl 水溶液中断裂延伸率下降较为缓慢。4% 预拉伸变形量使合金具有最高的塑性和最低的塑性损失率;是由于预变形提高了位

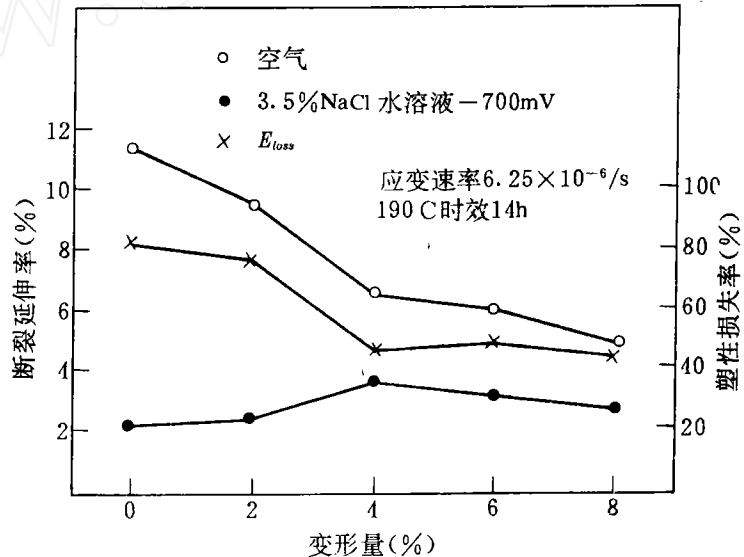


图 3 预拉伸变形量对 Al-Li-Cu-Mg-Zr 合金应力腐蚀敏感性的影响

错密度,加速了晶内 S 相析出(见图 4),使晶界平衡相尺寸减小,晶界无沉淀带变窄;使晶界弱化作用较轻,同时 S' 相的大量析出又有效地分散了 δ' 相引起的共面滑移,从而使慢拉伸变形更为均匀。但是当预拉伸变形量较大时,合金位错密度显著增高,使运动位错受阻,又使延伸率下降。适当的预拉伸变形量使这两个因素呈最佳配合,造成合金塑性损失率最低,断裂延伸最高。

2.3 预拉伸对显微组织的影响

合金的薄膜照片见图 4。未变形合金大角晶界的沉淀相非常粗大,而且连成一体(见图 4(a))。晶内 S' 相(Al_2CuMg)尺寸较大,分布不均匀(见图 4(b))。预拉伸 4% 的合金大角晶界沉淀相数量明显减少,间距增大(见图 4(c)),晶内 S' 相细小均匀分布(见图 4(d))。经用会

聚电子衍射技术证实大角晶界的沉淀相为 $T_2(\text{Al}_6\text{CuLi}_3)$ 相。其电子衍射花样呈 5 次对称性。

3 讨论

文献[4]、文献[5]认为,晶界阳极相的溶解是 Al-Li 合金应力腐蚀开裂的主要机制。本文研究结果表明,应力腐蚀裂纹萌生于点蚀坑,并沿晶界扩展。这说明晶界与合金的应力腐蚀行为有着非常密切的关系。

T_2 相含 Li 量高,具有非常活泼的化学性质^[6]。因此,晶界 T_2 相的数量和分布可能是影响合金应力腐蚀开裂敏感性的主要因素。未变形合金晶界 T_2 相密度高,间距小,裂纹易于在 T_2 相阳极溶解形成的蚀坑上萌生,并通过 T_2 相的溶解而快速扩展。经预拉伸变形,合金内部产生大量位错等晶体缺陷,为 S' 、 $T_1(\text{Al}_2\text{CuLi})$ 相提供了大量的异质形核点,并加快了 S' 、 T_1 相的沉淀速率^[7];使晶内沉淀相尺寸减小,将大量的溶质原子以沉淀相的形式保持在晶粒内部;因而相对减少了晶界沉淀相(T_2 相)的数量,并使晶界无沉淀带变窄,从而降低了晶界阳极相的溶解速度,提高了应力腐蚀抗力。

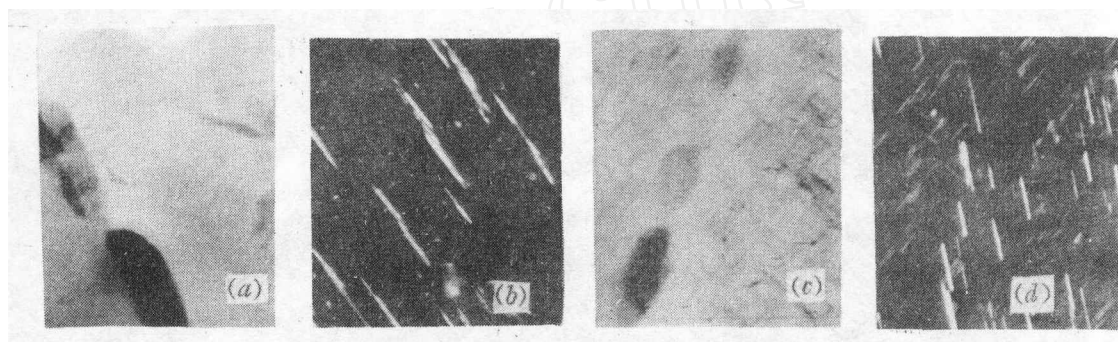


图4 预拉伸对合金薄膜透射显微组织的影响(190℃时效 14h)

(a)未变形,大角晶界沉淀相 $\times 37\ 500$ (b)未变形, S' 相形貌 $\times 37\ 500$
(c)预拉伸 4%,大角晶界沉淀相 $\times 37\ 500$ (d)预拉伸 4%, S' 相形貌 $\times 37\ 500$

参 考 文 献

- Harris S J, Noble B, Dinsdale K. Effect of Composition and Heat Treatment on Strength and Fracture Characteristics of Al-Li-Mg Alloys. Aluminium-Lithium Alloys. Starke E A Jr, Sanders Jr. AIME, Monterey CA, 1984, 219~233
- Waldman J, Sulinski H, Markus H. The Effect of Ingot Processing Treatment on the Grain Size and Properties of Al Alloy 7075. Metall Trans, 1974,5(3): 573~584
- John A W, Paton N E, Hamilton C H, Mahoney M W. Grain Refinement in 7075 Aluminum by Thermo-Mechanical Processing. Metall Trans, 1981,12(7): 1267~1276
- Dorward R C, Hasse K R. Stress Corrosion Characteristics of AlCuLi AA 2090 Alloy. Corrosion, 1988,44(2):932~941
- Moran J P, Starke E A, Stoner G E, Cahen G L. The Influence of Composition and Microstructure on the Corrosion Behaviour of Two AlLiX Alloys. Corrosion-NACE, 1987, 43(6):374~382
- Dorward R C. Influence of Grain Structure on Stress Corrosion Resistance and Tensile Properties of Al-2Li-2Cu-1.5Mg Alloy Sheet. Corrosion, 1990,46(4):348~352
- 孙东立. Al-Li合金的显微组织与拉伸行为. 哈尔滨工业大学博士论文, 1990.120~122