

Al-Mg-Si 合金拉伸断口研究

An Investigation on Tensile Fracture of Al-Mg-Si Alloys

哈尔滨工业大学 张新梅 郝丽华 蒋大明 庞振民
Zhang Xinmei Hao Lihua Jiang Daming Pang Zhenmin
(Harbin Institute of Technology)

[摘要] 对两种化学成分不同的 Al-Mg-Si 合金进行了时效处理,测定了合金在不同时效条件下的拉伸性能,采用扫描电镜对拉伸断口进行了系统研究。结果表明,化学成分和时效处理对合金拉伸断口影响不同。

[Abstract] Two kinds of Al-Mg-Si alloys with different compositions were aged and tensile strength were measured. Scanning electron microscope was used to study the appearance of a fractographs. The results show that the composition and ageing treatment have different effects on the tensile fractures.

1 前言

Al-Mg-Si 系合金是目前广泛应用的一类中等强度铝合金。主要以型材形式用于建筑业或以锻件形式用作车辆或飞机的结构件。该系合金具有良好的综合性能和广泛的应用前景。

近年来,国内缺乏对这类合金显微组织和各种性能的研究,国外也多集中对高纯度、高 Mg 和 Si 含量的合金进行研究^[1~3],对工业合金系统研究则不多。

本文选用两种工业铝合金进行试验研究,一种 Mg 和 Si 含量较低,而另一种 Mg 和 Si 含量较高。通过不同时效条件改变合金的组织状态,采用扫描电镜系统研究了合金在不同组织状态下的拉伸断口形貌,分析了断裂行为对合金性能的影响。

2 材料及试验方法

试验用材料为 Al-Mg-Si 系 6063 和 6082 合金,化学成分见表 1。6063 合金为热轧板材,6082 合金为挤压型材。合金在空气炉中于 $530 \pm 5^\circ\text{C}$ 保温 30min 条件下进行固溶处理,室温水淬后进行 160°C 时效。

表 1 合金的化学成分 (wt%)

合金	Mg	Si	Mn	Fe	Cr	Zn	Cu	Al
6063	0.45	0.41	0.07	0.17	0.001	—	—	余
6082	0.67	1.06	0.51	0.29	0.030	0.18	0.20	余

拉伸试验在 Instron-1185 材料试验机上进行,起始应变速率为 $3.3 \times 10^{-4}/\text{s}$ 。用 SEM525 扫描电镜进行拉伸断口分析,用透射电镜进行薄膜样品组织分析。

3 试验结果

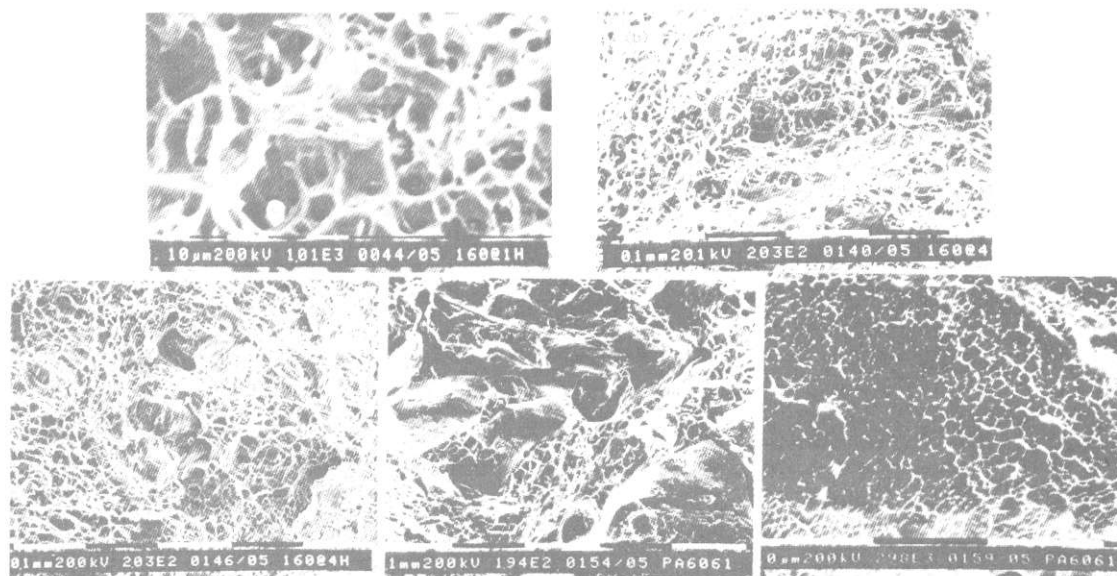
对 160°C 不同时间时效后的 6063 合金拉伸断口的低倍观察发现,断口几乎为纯剪切型,但在试样心部有一极小区域与拉伸轴垂直。随时效时间延长,试样中与拉伸轴垂直的断口区域略有增大。

经固溶淬火、短时间时效的合金,其断口为 100% 韧窝型。图 1a 和 1b 分别为时效 1h 和 4h 后的拉伸断口形貌,随着时效时间延长,断口由韧窝型变为韧窝与少部分沿晶开裂的混合型。图 1c 和 1d 分别为合金在 24h 和 64h 时效后的拉伸断口形貌,沿晶断口高倍下可见韧窝 (图 1e)。

对上述同样时效条件下的 6082 合金拉伸断口扫描电镜观察发现,断口为 100% 韧窝型,其形态基本与时效条件无关,图 2a 和 2b 分别为合金经 160°C 1h 和 24h 时效后的拉伸断口形貌。

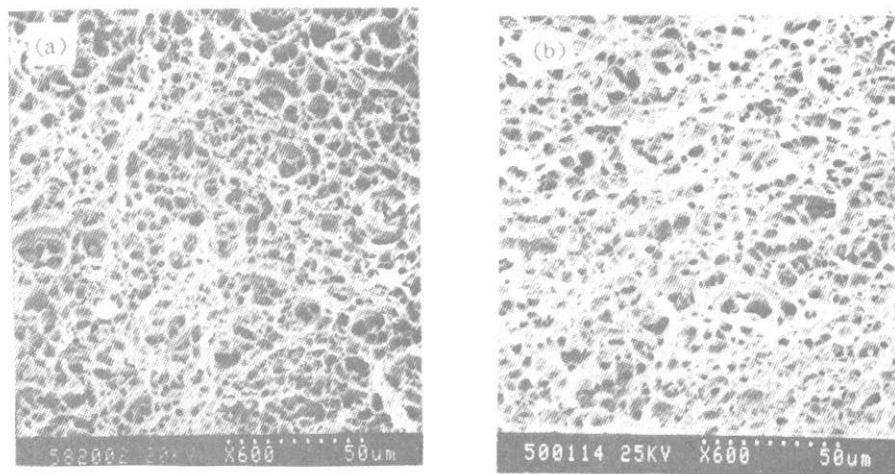
拉伸性能测试结果表明,两种合金在 160°C 时效 24h 左右基本达到时效峰值状态。

透射电镜组织观察表明,两种合金的时效强化相均为针状 G. P. 区而且析出密度很高,但含 Mn 弥散相差较大,6063 合金中很少,6082 中很多。



a-160℃, 1h 时效; b-160℃, 4h 时效; c-160℃, 24h 时效; d-160℃, 64h 时效; e-同 d, 沿晶断口高倍照片

图 1 6063 合金经 160℃ 不同时间时效的拉伸断口形貌



a-160℃, 1h 时效;

b-160℃, 24h 时效

图 2 6082 合金经 160℃ 不同时间时效的拉伸断口形貌

4 讨论

时效铝合金的拉伸断裂形式一般分为三种,即滑移常开裂、沿晶开裂和韧窝型开裂^[4]。滑移常开裂多发生于高纯合金。工业合金由于含有一定量的夹杂相和弥散相,一般发生韧窝型开裂。沿晶开裂则取决于合金的成分和时效状态,一般情况下高纯合金在高强度状态(时效峰值状态)易发生沿晶开裂;降低合金纯度使弥散相数量增加或是降低合金强度,皆有助于合金沿晶开裂倾向的下降。

Dowling 和 Martin^[1~2]曾研究了高纯高 Mg、Si 的 Al-Mg-Si 合金中弥散相对其拉伸断裂行为的影响。结果表明,该类合金具有较高的沿晶开裂倾向。加入 Mn 或 Cr 等弥散相形成元素,合金组织中引入一定体积分数的弥散相,则使合金的沿晶开裂倾向显著降低。这种现象常用弥散相促进合金的形变均匀性、降低合金的沿晶应力和应变集中来解释。

与高纯、高 Mg、Si 合金相比,6082 合金 Mg、Si 含

(下转第 15 页)

低的金属流向电位较高的金属。同时,在金属和溶液的界面上发生电化学反应,电位较低金属表面上失去电子,发生氧化为主的反应,为阳极;而在电位较高的金属表面上发生还原为主的反应,为阴极,在电解液中,离子在电路作用下发生迁移,正离子向阴极迁移,负离子向阳极迁移,起到传递电荷的作用。例如在海水中,铝和铜的电位差约为 0.45V,当用导线接通后,电子沿导线由铝流向铜,铝成为阳极,发生腐蚀氧化反应:



铜成为阴极,发生溶氧还原反应:



与未偶接时相比,两种金属连接之后,阳极金属铝的溶解速度增加了,即腐蚀加速了,而阴极金属铜腐蚀速度下降,甚至完全不腐蚀。由于这种腐蚀原理,较贵的金属(电位较正)显著地加速了较贱金属(电位较负)的腐蚀,造成了许多损坏,例如飞机上大量连接件出现的加速腐蚀。但也可以利用这个原理,采用有意牺牲阳极金属而对阴极金属进行保护的作用,例如水上飞机船体龙骨采用牺牲阳极进行防腐蚀保护,作用显著。

表 2 提供了在海水、海洋大气和工业大气中相连接的二十类金属或合金相容性与否的全面数据,供设计人

员参考,其中不相容的连接,应采用施加防护层、绝缘密封等防护方法,可参阅 GJB1720-93《导电金属的腐蚀与防护》标准。

为了控制因不同金属接触而加速不希望发生的一种金属腐蚀的情况发生,飞机结构设计时,要注意下列原则:

(1) 尽量采用同种金属或电位差小的不同金属相互连接;

(2) 可在阴极性零件表面镀覆一层与阳极性零件相容的金属镀层;

(3) 在两种金属之间垫入不吸水的非金属垫圈、衬垫或涂复密封胶;

(4) 隔离电解液,例如定期或不定期地在需保护好的表面上喷洒薄膜或厚膜缓蚀剂,或全面涂漆或密封剂;

(5) 实在不能采取上述措施时,可将连接部分中阳极零件的面积明显地大于阴极性零件的面积;

(6) 金属螺钉或螺栓在进入异种金属之前,接触面均涂敷密封胶或有机涂料,并在连接面的所有边缘进行密封。

(待续)

* * * * *

(上接第 36 页)

量虽高,但因其纯度较低,所以弥散相含量增高,其断口完全消除了沿晶开裂的现象恰与上述观点一致。这就表明,夹杂相的存在对时效硬化铝合金沿晶开裂倾向有极其重要的影响。而弥散相的存在虽然可以促进合金形变均匀化,使合金的沿晶应力和应变集中降低,但仍不足以完全消除合金沿晶开裂现象的产生。夹杂相由于其本身强度较低或与基体界面的结合强度不足,在拉伸时发生优先破断或与基体沿界面分离,致使合金发生韧窝型断裂。

对 6063 合金而言,由于合金元素含量低,其弥散相数量也少,所以在峰值时效状态下的拉伸断口中只有少量的沿晶部分。在此条件下,时效析出相的体积分数对合金形变均匀性的影响有明显作用。

由本文的结果还可以看出,对 6063 合金,改变时效条件会随带来断裂形式的改变。而对 6082 合金,时效不会影响合金的断裂形式,由此也可以看出弥散相促进合金形变均匀化,降低沿晶开裂倾向的有利作用。

5 结论

Al-Mg-Si 合金拉伸断裂行为受三种不同尺寸第二相的影响,其中大尺寸夹杂相影响最为显著。工业用时效硬化铝合金,由于夹杂相含量较高,在不同时效状态下拉伸断口均呈现以韧窝型为主的特征。弥散相对合金断裂行为的影响,表现在弥散相含量较高的 6082 合金完全消除了沿晶开裂现象,而弥散相含量较低的 6063 合金在一定时效条件下仍有少量沿晶断口。改变化学成分和时效条件都会影响三种尺寸第二相的数量分布,从而影响合金的拉伸断裂形式。

参考文献

- 1 Dowling J M, Martin J W. Acta Metallur, 1976, 24: 1147
- 2 Blind J A, Martin J W. Mate Sci Eng, 1983, 57: 49
- 3 Prince K C, Martin J W. Acta Metallur, 1979, 27: 1401
- 4 Albrecht J, Lufjering G. Met Sci, 1981, 15: 323