

超高强铝合金热处理工艺研究

A Study of the Ultra High Strength Aluminium Alloy Heat Treatment Process

汝继刚 伊琳娜 张禄山 (北京航空材料研究院)

Ru Jigang Yi Linna Zhang Lushan

(Institute of Aeronautical Material, Beijing)

[摘要] 研究了超高强铝合金的固溶处理和不同时效工艺。结果表明, DSA 处理可明显改善超高强铝合金的强度和抗腐蚀综合性能。同时讨论了 DSA 处理改善合金强度和抗蚀性能的机理。

关键词 超高强 铝合金 缓饱和时效 双级时效

[Abstract] The solution treatment and different ageing process has been studied. The results show that DSA treatment can improve obviously combination of strength and corrosion resistance of the ultra-high-strength aluminium alloy. The principle of improving the strength and corrosion resistance of the alloy by DSA treatment has been discussed. The surface and average stress were determined for the plasma sprayed ZrO_2-N .

Keywords ultra high strength aluminium alloy desaturation ageing two-step ageing

1 引言

超高强铝合金自50年代末期问世以来, 由于存在严重的缺口敏感和应力腐蚀等问题, 始终未在航空工业上应用。但随着航空技术的不断发展, 对结构材料提出越来越高的要求, 高强、耐蚀和减重是铝合金用材的发展方向。90年代, 美国 Alcoa 铝业公司利用合金高纯化和新热处理技术, 研制出性能优异的超高强铝合金 7055T77, 并成功地用于 B777 飞机结构受力件。掀起了超高强铝合金研究和应用的高潮。资料分析表明^[1], T77 专利热处理技术实质上是一种 DSA (Desaturation Ageing) 缓饱和再时效工艺。

2 材料制备与性能测试

2.1 材料制备

本研究合金的名义化学成分为: 7.81% Zn, 2.16% Mg, 2.26% Cu, 0.13% Zr, 0.03% Ti。制造工序为半连续铸锭 ($\phi 50\text{mm}$) 铸锭均匀化 挤压 ($\phi 2\text{mm}$ 棒) 固溶处理 多级时效。

2.2 性能测试和组织分析

选择 470、480、490 和 500 进行过烧试验, 采用金相法测定合金过烧温度。拉伸性能按 HB5143-

80 试验方法测定, 应力腐蚀按 HB5254-83 试验方法测定。用 H-800 型透射电镜对合金的显微结构进行观察。

3 实验结果

3.1 固溶处理温度确定

为确定合金固溶处理温度, 首先需测定其过烧温度。从图1金相组织看出铸锭 480 有轻微过烧, 确定为 480 过烧温度, 相应的挤压棒材的固溶处理温度为

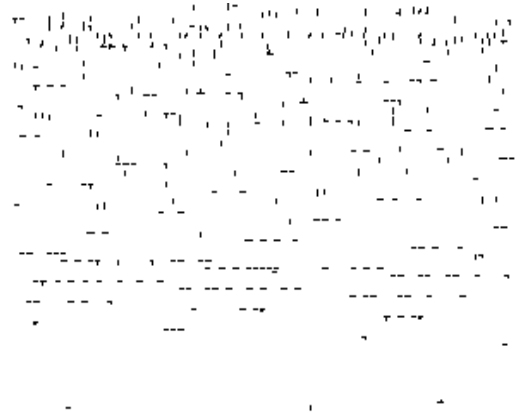


图1 铸锭过烧试验金相组织 (480)

Fig.1 The optical micrographs of ingot overheated (480)

470 。

3.2 单级时效时间对电导率的影响

图2所示为本研究采用的120 单级时效的时间与电导率关系曲线。可以看出，随着时效时间的变化，电导率有一最低点，时间对应约为16h，根据电导率与强度的对应关系，此点对应强度最大值（T6状态），表1中拉伸性能测试结果也表明了这一点。电导率随后升高趋于平缓，考虑电导率与抗蚀性能的对应关系，选择120 /24h为DSA工艺中T6制度。

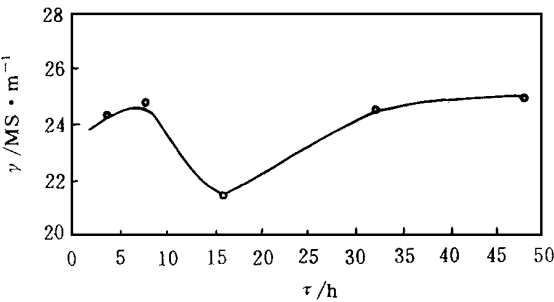


图 2 时效时间与电导率关系曲线

Fig. 2 The curve of ageing time and electrical conductivity

3.3 DSA 处理对维氏硬度和电导率的影响

DSA 工艺（T6 + DS + T6）中，缓饱和处理（DS）温度在170 ~ 190 变化时的显微硬度性能示于图3。如图所示，温度较低（170 ），缓饱和处理后的硬度呈先升高随后缓慢下降的趋势；而随着温度升高（180 ），

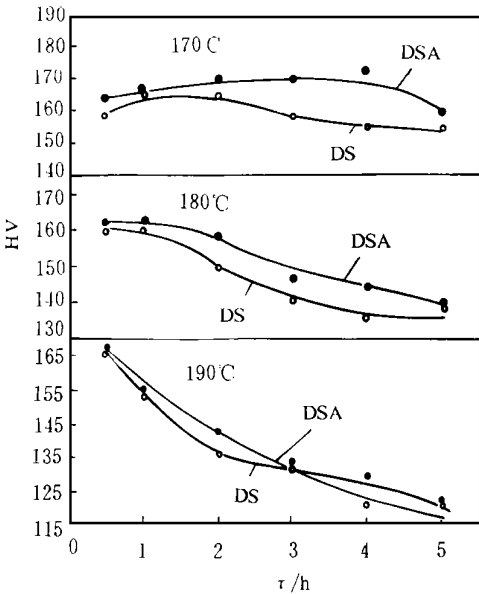


图 3 不同温度缓饱和处理后显微硬度

Fig. 3 The microhardness of desaturation treatment at different temperature

190 ），硬度呈下降趋势，温度愈高，下降速度愈快。再时效处理后，硬度均高出缓饱和处理时的硬度，但随着温度的提高，硬度提高幅度减小。

本研究不同的缓饱和与再时效处理的电导率变化趋势相同，即随缓饱和时间延长，电导率升高，且温度越高，电导率升高幅度越大。图4示出170 缓饱和及再时效处理时的电导率变化。

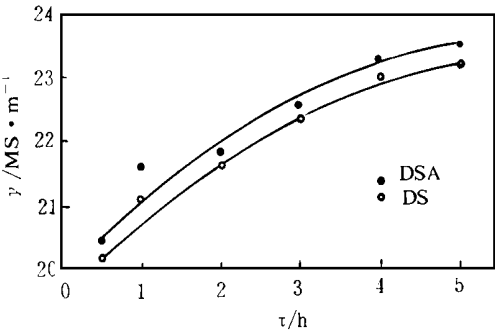


图 4 170 缓饱和及再时效处理后电导率变化曲线

Fig. 4 The curve of electrical conductivity at 170 desaturation and reaging treatment

3.4 双级时效对硬度（HV）和电导率的影响

选第一级时效温度为120 ，其时效时间与155 和165 第二级时效的显微硬度性能示于图5。如图所示，第一级时效的时间对第二级时效的显微硬度影响不大，155 不同时间时效的硬度均高于165 时效的硬度，155 /9h和155 /12h时效的硬度高于155 /

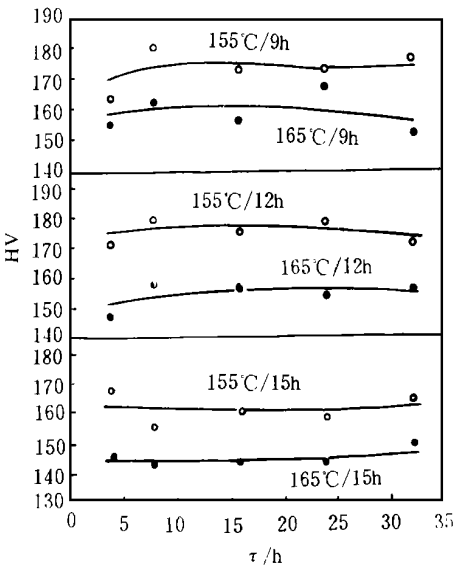


图 5 不同温度二级时效的显微硬度变化

Fig. 5 The microhardness of two-step ageing at different temperature

15h。155 不同时间时效的电导率性能示于图6。如图所示,第一级时效时间对电导率的影响不大,第二级时效随时效时间增加,电导率增大。

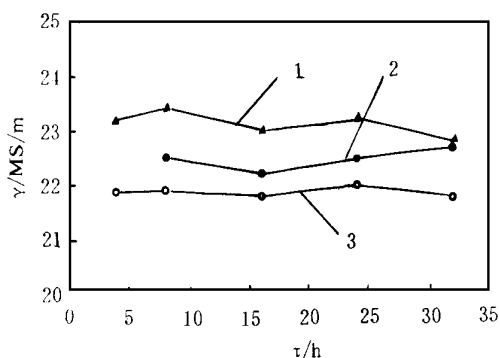


图6 155 不同时间时效的电导率变化

1- 155 / 15h, 2- 155 / 12h, 3- 155 / 9h

Fig. 6 The curve of electrical conductivity at 155 different time ageing

3.5 DSA 和双级时效对室温拉伸和抗应力腐蚀性能的影响

缓饱和处理温度在170~190 变化时和双级时效时的室温拉伸和抗应力腐蚀性能示于表1。表中同时列出T6状态的性能数据。如图所示, DSA 处理后, 屈服强度又恢复到了T6状态水平, 而抗应力腐蚀性能大大提高。双级时效处理相对 DSA 处理, 抗蚀性能相当, 室温拉伸性能降低。

表1 不同状态合金的性能

Table 1 The properties of alloy at different temper

状态	处理制度	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ	SCC (应力/开裂时间) / MPa·d ⁻¹
		/ MPa		/ %	
T6	120 / 16h	677	630	12.6	400/ 19
T6	120 / 24h	653	608	15.1	-
DSA	170 / 2.5h	647	633	13.6	400/ 61
	180 / 1.5h	652	633	12.0	-
	190 / 1h	567	538	13.0	-
双级	120 / 8h+ 155 / 12h	640	619	13.3	400/ 70
	120 / 8h+ 155 / 15h	620	595	13.4	-

4 结果分析和讨论

按照 DSA 时效工艺理论, 第一阶段强度应明显低于峰值时效强度, 只是使合金元素集中形成细的岛分布; 第二阶段较高温度时效时, 使已形成的岛稳定化, 在晶界上元素向岛集中从而减小晶界和晶内的电位差, 提高抗腐蚀性能, 反映出的显微组织特征为晶界相粗

化, 间距加大, 另一方面, 在高温加热下可能使晶内析出新相, 即所谓二次硬化, 提高合金强度^[2]; 第三阶段时效, 利用残余过饱和度提高强度, 而晶界有利相分布保留下来。图7b 显示出170 缓饱和再时效的组织特征, 相对峰值时效组织(图7a 所示) 晶界析出相尺寸明显不同, 而晶内组织变化不大。图7c 为双级时效的组织特征, 是典型的过时效状态组织, 晶内和晶界相尺寸均有明显的长大。

从图3、图5和表1的数据分析, DSA 处理以170 和180 缓饱和温度处理较好, 考虑工业化生产厚零件时效时间加长, 以170 为更佳, 时效时间可在1~3h 之间选择。



图7 不同状态 TEM 照片

(a) T6; (b) DSA; (c) 双级时效

Fig. 7 The TEM micrographs of different temper

(a) T6; (b) DSA; (c) two-step ageing

5 结论

(1) 本研究合金的固溶处理温度为470 。

(2) 从强度和抗腐蚀综合性能考虑, 所研究的超高强铝合金选用 DSA 工艺处理更为合理。

参考文献

- 1 John Liu. US Pat. 508520
- 2 大西一中(日). 轻合金加工技术. 1989, 12

收稿日期: 1989-08-06

汝继刚, 男, 1959年出生, 高级工程师, 在北京航空材料研究院从事变形铝合金研究。联系地址: 北京81号信箱2分箱(邮编100095)。