

SiCw/Al-Li 复合材料的热处理强化效应

中国科学院金属研究所 毕敬 马宗义 吕毓雄
申红伟 高荫轩

本文系统地探讨了热处理工艺对 SiCw/Al-Li 复合材料的时效强化特性的影响。研究表明, SiC 晶须的加入显著加速了 Al-Li 合金的时效析出过程, 在 190℃ 时效条件下, SiCw/Al-Li 复合材料在 6h 就已达到峰值时效。提高固溶温度可以增加复合材料的峰值时效硬度, 而增加固溶时间对峰值硬度无明显的影响。

关键词: 复合材料, SiC 晶须, Al-Li 合金

Hardening Behavior of SiCw/Al-Li Composite

Bi Jing Ma Zongyi Lu Yuxiong Shen Hongwei Gao Yinxuan
(Institute of Metal Research, Academia Sinica)

Effect of heat treatment on age hardness characteristics of SiCw/Al-Li composite were systematically investigated. It was indicated that ageing response of Al-Li alloy is accelerated because of the incorporation of the SiC whisker. The SiCw/Al-Li composite reaches peak hardness in 6 hours on the ageing temperature of 190℃. The peak ageing hardness can be increased by increasing solution temperature. Solution time has no obvious effect on peak hardness of the composite.

Keywords: Composite, SiC whisker, Al-Li alloy

一、引言

SiCw/Al-Li 复合材料由于具有高的比强度和比模量而有希望成为新一代结构材料。在铝合金中添加锂可以在降低密度的同时改善材料刚度和强度, 锂的加入还可以改善 Al 与 SiC 的结合强度和高温蠕变性能^[1], 因此 SiCw/Al-Li 复合材料受到人们的重视^[1~3]。对这种复合材料热处理工艺所进行的一些研究表明^[4,5], 该复合材料的时效强化效应与基体是不同的。本文着重研究了在 190℃ 时效条件下, 不同的固溶温度、固溶时间和时效时间对 SiCw/Al-Li 复合材料时效强化特性的影响。

二、试验方法

增强体选用日本东海碳素公司生产的 β -SiC 晶须, 基体为本所生产的过 280 目 Al-Li 合金微晶粉末, 化学成分见表 1。复合材料制备采用粉末冶金法, 晶须体积分数为 20%。热压锭在 450℃ 以 20:1 的挤压比挤压成棒材后, 加工成圆柱形显微硬度试样, 选择不同的固溶时间 (0、3、6、9、13、18h) 和固溶温度 (446、486、520、545、603℃) 进行固溶处理后, 在 190℃ 进行不同时间的人工时效。取复合材料中不含 SiC 晶须的 Al-Li “白岛

区”作为 Al-Li 合金基体, 均匀分布有 SiC 晶须的部分作为 SiCw/Al-Li 复合材料, 以保证基体与复合材料加工和处理条件的一致性。测定 SiCw/Al-Li 复合材料显微硬度加载 20g, 测定 Al-Li “白岛区”加载 10g, 保压时间均为 15s。每一测定硬度值均系五次平均值。在 Philips EM420 透射电镜上对复合材料的微观结构进行分析, 薄膜样品的制备采用离子减薄法。

表 1 Al-Li 合金的化学成分 (wt%)

元素	Li	Mg	Cu	Zr	Na	K	Al
成分	3.85	0.80	1.06	0.21	0.0011	0.0008	余量

三、结果与讨论

1. 固溶时间对时效强化特性的影响

图 1 为经 520℃ 不同固溶时间固溶后, 190℃ 时效温度下材料显微硬度随时效时间的变化关系曲线。SiC 晶须的加入明显提高了复合材料的时效硬度。与基体相比, SiCw/Al-Li 复合材料显示出显著的加速时效特性, 峰值时效时间由 9h 提前到 6h。这种加速时效现象在 Al-Cu 和 Al-Cu-Mg 为基复合中也得到证实^[6,7]。在这些复合材料中, 加速时效现象的产生与复合材料中的高密度位错

及结构缺陷有关。高密度位错的存在虽然会减少淬火空位密度而抑制 GP 区的形成,但却可以为沉淀相的不均匀形核提供有利的场所和生长时的扩散通道,因而可以加速复合材料的时效析出过程。在 SiCw/Al-Li 复合材料中,由于 SiC 与基体热膨胀系数的较大差异(1:10),在淬火过程中将在复合材料基体中产生高密度的位错(图 2a),然而这种 Al-Li 合金中的沉淀强化相为 δ' (Al_3Li) (图 2b),是一种均匀形貌相,其形核不依赖于位错或其它结构缺陷,因而这种复合材料的加速时效现象是令人惊奇的,不能由高密度位错促进沉淀相的形核来解释。P. B. Prangnell 等人在对 SiCp/Al-2.5%Li 复合材料进行时效研究时,也发现了类似的加速时效现象^[8],进行 DSC 分析时发现,在 Al-2.5%Li 中 δ' 相析出之前存在一放热反应,而在 SiCp/Al-2.5%Li 复合材料中,这一放热反应则基本消失。P. B. Prangnell 等人认为在 δ' 相析出之前存在一种特殊点状有序 SPO (special point ordering), δ' 相

不能由 SPO 直接形核,必须在 SPO 消失后, δ' 相才能形核。在复合材料中高密度位错的存在抑制了 SPO 的产生,因而促进了 δ' 相的沉淀,使时效速度加快,但目前尚无实验直接观察到 SPO 的存在。

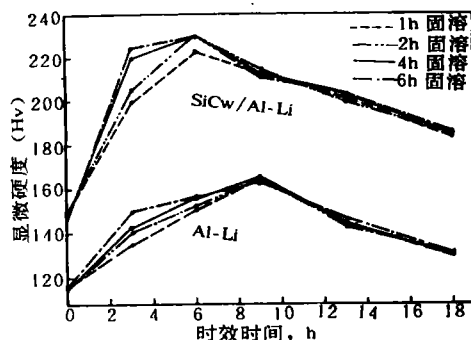
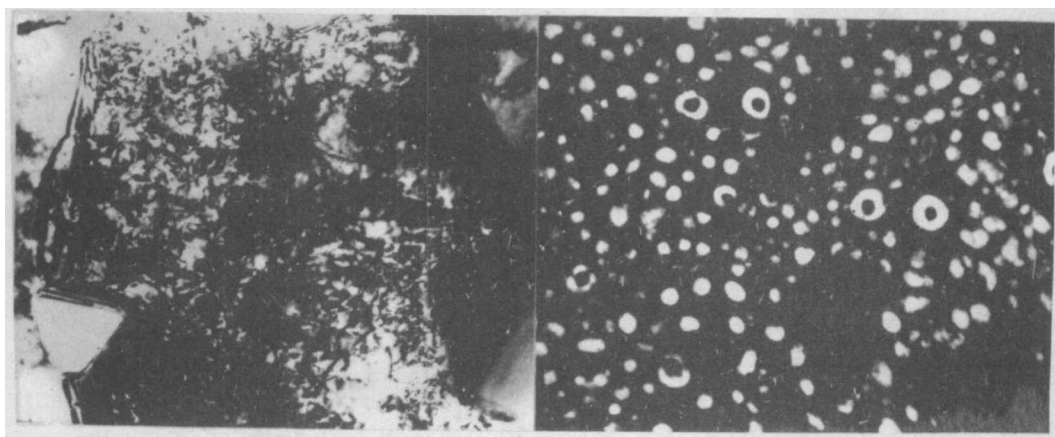


图1 显微硬度随时效时间的变化关系曲线(520℃固溶)



(a) 高密度位错

(b) δ' (Al_3Li) 沉淀相

图2 SiCw/Al-Li 复合材料 TEM 照片 $\times 105000$

从图1可以注意到, SiCw/Al-Li 复合材料和 Al-Li 的显微硬度随固溶时间的增加呈现出相似的变化规律。在 0~6h 时效时, 复合材料的显微硬度随固溶时间的增加而增加; 而在峰值时效时间(6h)以上时效时, 则无明显变化。即增加固溶时间可促进时效初期的时效速度, 这是因为长时间固溶可使合金元素充分固溶并均匀分布, 可增加时效初期沉淀相的均匀形核数量, 使材料的显微硬度增加。在长时间时效时, 沉淀相的长大贡献于材料显微硬度的增加, 因此增加固溶时间不再影响材料的显微硬度。从图1还可以注意到, 固溶2h后继续延长固溶时间并不影响材料的峰值时效硬度, 考虑到高温固溶时 Li 的烧损, 固溶时间不宜再加长。

2. 固溶温度对时效强化特性的影响

图3为不同温度固溶1h后, 190℃时效条件下材料显微硬度随时效时间的变化关系曲线。改变固溶处理温度并没有影响 Al-Li 合金的峰值时效时间。对 SiCw/Al-Li 复合材料, 在较高的固溶处理温度(>486℃)下, 与前

述结果一致, 显示出加速时效现象; 而在较低的固溶处理温度(<486℃)下, 并未出现加速时效现象。如前所述, 复合材料中高的位错密度和淬火内应力抑制 SPO 的产生, 因而可加速 δ' 相析出。位错密度和淬火内应力的大小与淬火温度直接相关。在较低固溶淬火温度下, 位错密度和淬火内应力相对较低, 对 SPO 的抑制不明显,

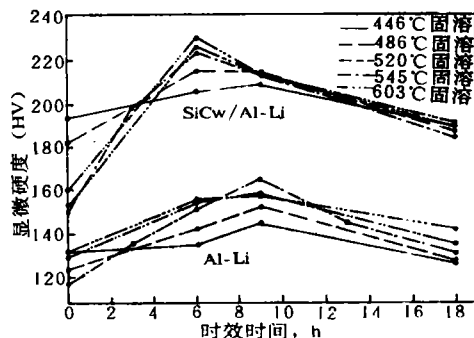


图3 显微硬度随时效时间的变化关系曲线(固溶1h)

故复合材料的时效并无加速特性。随着固溶淬火温度的提高,位错密度和淬火内应力增大,抑制SPO形成的作用增强,因而复合材料逐渐显示出加速时效特征。

把相同时效条件下材料显微硬度随固溶温度的变化绘于图4。可以清楚地看到,在446~520℃之间,固溶态SiCw/Al-Li复合材料的显微硬度随固溶温度的升高而降低;而在520~603℃之间,其显微硬度又开始回升。这是由于两个不同的影响机制造成的,一方面,随固溶淬火温度的提高,淬火内应力和位错密度加大,导致材料硬度的上升;另一方面,挤压冷却过程中析出的粗大沉淀相随固溶温度的提高溶入量逐渐增加,导致固溶态复合材料的硬度逐渐降低。低于520℃,前一因素占主导,固溶态硬度逐步下降;至520℃,粗大沉淀相已充分固溶,硬度达到最低值;高于520℃,前一因素使固溶态硬度回升。对Al-Li合金,与SiCw/Al-Li复合材料相似,在446~520℃固溶温度范围内,随温度升高,由于粗大沉淀相的逐渐溶解,使固溶态显微硬度下降。在520~603℃固溶温度范围内,显微硬度回升,这可能是由于材料发生再结晶造成的。试验中使用的样品为热压后直接挤压的,没有经过细化晶粒的先期均匀化处理,因此在较高温度固溶处理时,有可能发生再结晶。从图3、图4

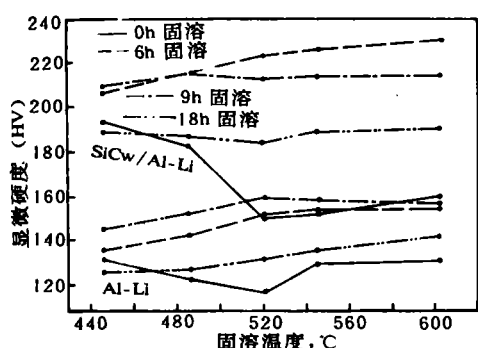


图4 显微硬度随固溶温度的变化关系曲线(固溶1h)

可以看到,提高固溶温度,SiCw/Al-Li复合材料的峰值时效硬度单调增加,而对Al-Li合金,峰值时效硬度在520℃以上又开始下降。对基体合金,在520℃以下峰值时效硬度随固溶温度的增加可能与增加的淬火空位浓度有关;而对于SiCw/Al-Li复合材料,峰值时效硬度的增加应与加大的淬火内应力和位错密度有关。但在长时间时效条件下(过时效)提高固溶温度对SiCw/Al-Li复合材料的显微硬度基本没有影响。

四、结 论

1. 在Al-Li合金中添加SiC晶须显著提高了材料的硬度,加速了合金的时效过程,峰值时效时间由9h提前到6h。但在较低温度(<486℃)固溶处理后进行时效时,SiC晶须的加入并没有改变Al-Li合金的峰值时效时间。
2. 520℃固溶处理时,增加固溶时间对复合材料的峰值硬度无明显影响,但对时效初期显微硬度的增加有较显著的促进作用。
3. 提高固溶温度,可以增加复合材料的峰值时效硬度,但对较长时间时效条件下(过时效)复合材料显微硬度没有明显的影响。

参考文献

1. D. Webster, Metall. Trans., 13A (1982), 1511
2. H. J. Rack et al., ICCM VII, Section 17-C, (1991)
3. 毕敬等,第一届全国铝锂合金研讨会论文集,(1991),P281
4. M. S. Zedalis et al., 5th Int. Aluminum-Lithium Conference, Mar 27-31, 1989, Williamsburg, Virginia, p1647
5. E. Hunt et al., Scr. Metall. Mater., 24 (1990), 937
6. S. Suresh et al., Scr. Metall., 23 (1989), 1599
7. H. I. Lee et al., ICCM VI, 1989, Vol. 2, P541
8. P. B. Prangnell et al., ICCM VI, 1989, Vol. 2, P573

贵州航空航天系统召开 热处理技术交流会

近年来,西南地区航空航天系统各单位在军民品研制开发生产中取得了巨大的成就,热处理技术也相应地得到了发展。为及时组织各单位开展技术交流,促进热处理技术的进步,积极配合“科技兴市”的战略计划,西南航天技术交流站和贵州省航空学会热处理、腐蚀、焊接专业委员会于8月11~14日在黔召开了热处理技术交流会。代表们来自省内外26个单位,近40名学者出席了会议。会议收到论文及交流资料18份,会上宣读论文15篇,评选出6篇优秀论文。它们是:《重要航空构件的真空等温淬火》、《气体软氮化工艺

试验总结》、《20CrMnTi钢渗碳与碳氮共渗工艺接触疲劳性能试验研究》、《501高速钢制刀具裂纹产生原因及对策》、《浅谈我厂热处理费用》、《Q235钢等温球化工艺可行性研究》。

在交流讨论中,代表们就热处理行业的专业化、社会化问题、磨削裂纹与热处理的关系、热处理过程中缩孔、胀孔的方法、亚温淬火的运用、热处理节能等共同感兴趣的问题进行了热烈的讨论。

通过交流和讨论,代表们一致认为,此次交流会上发表的论文资料,内容具体实在,实用性强,在一定程度上反应了航空航天系统各单位在军民品研制开发和生产中热处理行业所取得的成果。

(袁培柏)