

颗粒增强铝基复合材料的时效行为^①

李义春

(北京有色金属研究总院)

邵文柱 安希楠

(哈尔滨工业大学)

摘 要

通过硬度测量、差热分析(DSC)及透射电镜观察综合研究了SiC_p/6061、Al₂O_{3p}/6061复合材料的时效行为。结果表明,复合材料在时效过程中,由于颗粒引起的高密度位错导致基体空位浓度下降,抑制了GP区的析出而使 β' 相沿位错析出加快,因此时效强化作用主要来源于 β' 的大量析出及高密度的位错。

关键词: 颗粒 复合材料 时效 析出相

颗粒增强铝基复合材料由于性能良好、可用常规技术进行二次加工与机械加工、成本大幅度降低等优点,近年来得到了迅速发展。随着复合材料制造工艺的日趋成熟,复合材料的时效行为已成为人们关注的焦点。本文着重对SiC_p/6061、Al₂O_{3p}/6061复合材料的时效析出过程进行研究,以弄清增强体颗粒对基体合金的时效动力学及时效后的性能的影响,进一步挖掘金属基复合材料的应用潜力。

1 材料及试验方法

本试验所用材料采用6061铝合金为基体分别以SiC、Al₂O₃颗粒为增强剂的复合材料,并用压铸技术制备。SiC颗粒体积分数为35%,平均粒度为3.5 μm(图1(a)),Al₂O₃颗粒体积分数为20%,平均粒度为0.3 μm(图1(b))。固溶处理工艺为530℃保温1h,水淬。固溶后立即在烘箱中进行180、160℃时效,为了便于比较,对6061合金也进行了同样的处理。硬度测量在维氏硬度计HV—120上进行,载荷为10 kg,试样时效后立即测定硬度,每个试样至少测定10个点。在S—570型扫描电镜上进行组织观察,在Perkin Elmer I型差热分析仪上进行示差热

分析(DSC),在荷兰PHILIP公司产CM—12型透射电子显微镜上进行透射电镜组织观察。试样制作是用金相砂纸机械减薄至小于10 μm之后,用离子减薄制备的,离子减薄工作台采用液氮冷却。

2 试验结果及讨论

2.1 颗粒对复合材料时效析出的影响

图2(a)~(c)分别给出了SiC_p/6061、Al₂O_{3p}/6061和6061合金530℃固溶后,经自然时效和160、180℃时效的硬度曲线。可见,不同时效温度、时间对复合材料时效过程硬度变化的影响是不同的,亦即增强体颗粒对时效析出的影响与时效温度有关。

对于6061合金,其固溶后的时效析出规律是GP区→ β' → β (Mg₂Si),其中GP区是溶质原子的偏聚区,它是通过淬火空位的偏聚形成的,与基体完全共格。 β' 相与基体部分共格,它是通过在缺陷区形核或在GP区基础上长大形成的相。 β 相与基体完全脱离了共格关系,是稳定相,由 β' 相长大形成。6061合金达到最大硬度状态时的微观结构是GP区的大量析出,由于GP区与基体合金是完全共格的相,它们的

① 1992年7月16日收到初稿

析出使基体中产生弱性共格应变场,造成基体内产生大量的畸变区,以阻碍位错运动,从而使合金硬度增高^[1]。

对复合材料,由于颗粒与基体的热膨胀系数不同,在淬火时造成高密度的位错(图3)。根据文献[2]、[3],这些位错及界面的存在抵消了淬火时产生的大量空位,使空位数量急剧减少,而且SiC颗粒本身也阻碍空位的聚集,从而使主要依靠空位聚集而析出的GP区在时效中滞后析出。

值得注意的是,虽然复合材料阻碍GP区的析出,但由于其内部高密度位错的存在,给

β' 相的析出提供了更多形核的场所,这样有利于 β' 相的析出,图4是DSC测试的结果。试验记录,6061合金分别在268、301.2℃出现两个吸热峰,由6061合金析出规律与析出产生的热效应可知,268℃出现的吸热峰为GP区析出所致,301.2℃出现的吸热峰为过渡相 β' 相析出峰。SiC_p/6061材料仅在289.1℃出现一个吸热

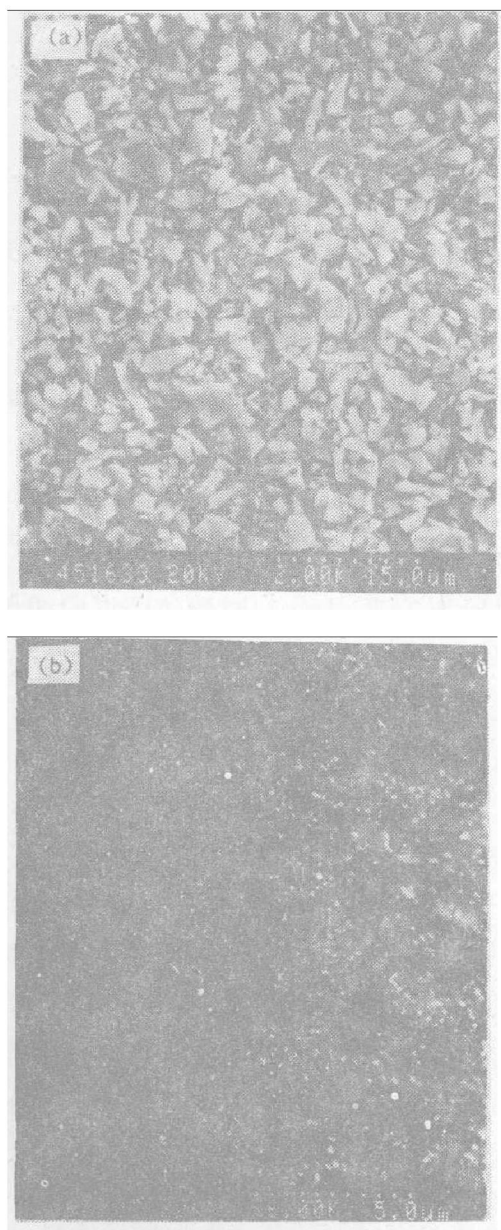


图1 增强体颗粒形貌

(a)—SiC颗粒; (b)—Al₂O₃颗粒

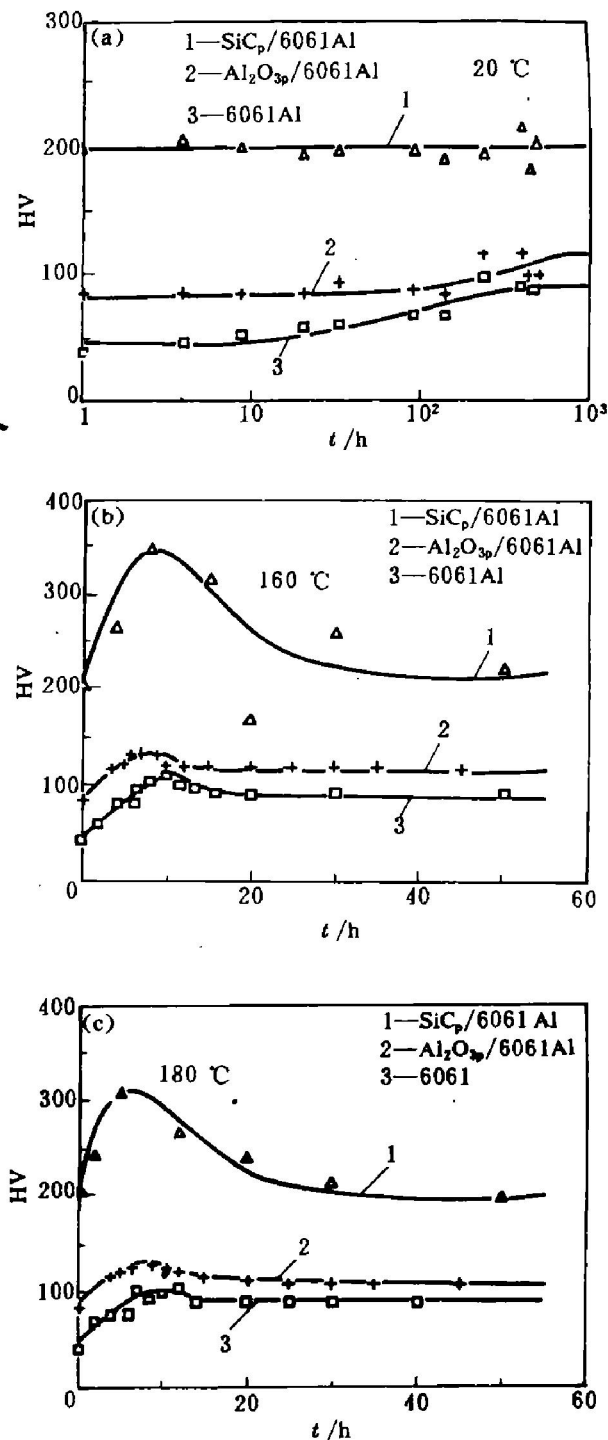


图2 SiC_p/6061、Al₂O_{3p}/6061和6061合金
时效硬度变化曲线(HV-t)

(a)—自然时效;(b)—160℃时效;(c)—180℃时效

峰。结合透射电镜观察,发现在峰时效时,主要的析出相是 β' 相,而GP区很少(图5(a)),由此可知此峰为 β' 相析出峰。 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{6061}$ 的GP区吸热峰为275.5℃, β' 相吸热峰为297.3℃,这就证实了 $\text{SiC}_p/\text{6061}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{6061}$ 材料中 β' 相析出加快,而GP区的析出被滞后。

2.2 时效温度对复合材料时效后硬度的影响

将160、180℃不同时间时效的硬度曲线相比较(图6)后发现,时效初期它们的硬度增加的趋势是相同的,但随着时效时间的延长,在160℃时效的硬度明显超出180℃时效的硬度。

由前面的分析可知,由于颗粒引起的高密度位错给 β' 相的析出提供了大量的形核位置,这样随着 β' 相数量及弥散度的增大,其强化效果更加明显。时效初期它们的位错密度相同,因此其硬度增加的幅度相差不大。随着时效时间的增加,180℃时效的试样位错密度降低较快,

这样就减少了 β' 相的析出并且降低了其析出相的弥散度,从而导致峰时效硬度降低,而且由于其温度较高, β' 相易长大,这也是其硬度降低的一个因素。相反,与180℃时效相比,160℃时效的 β' 相析出比较充分,而且数量较多,分布弥散,因而其硬度可达到较好的状态。

2.3 颗粒对复合材料硬度的影响

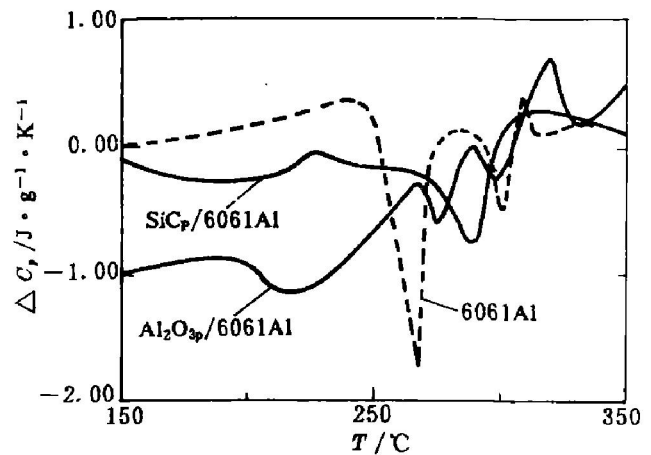


图4 复合材料及6061合金的DSC曲线

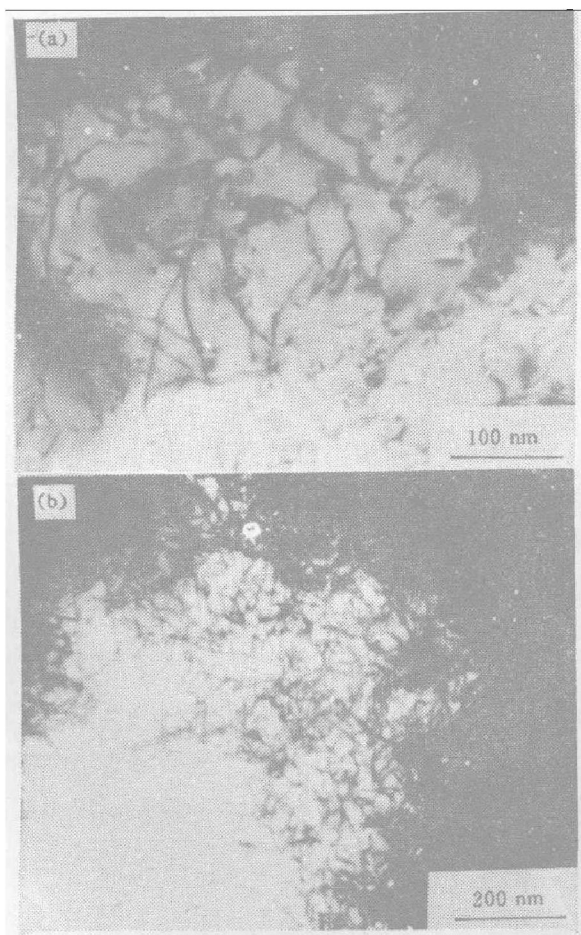


图3 复合材料在530℃固溶后的高密度位错

(a)— $\text{SiC}_p/\text{6061}$; (b)— $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{6061}$

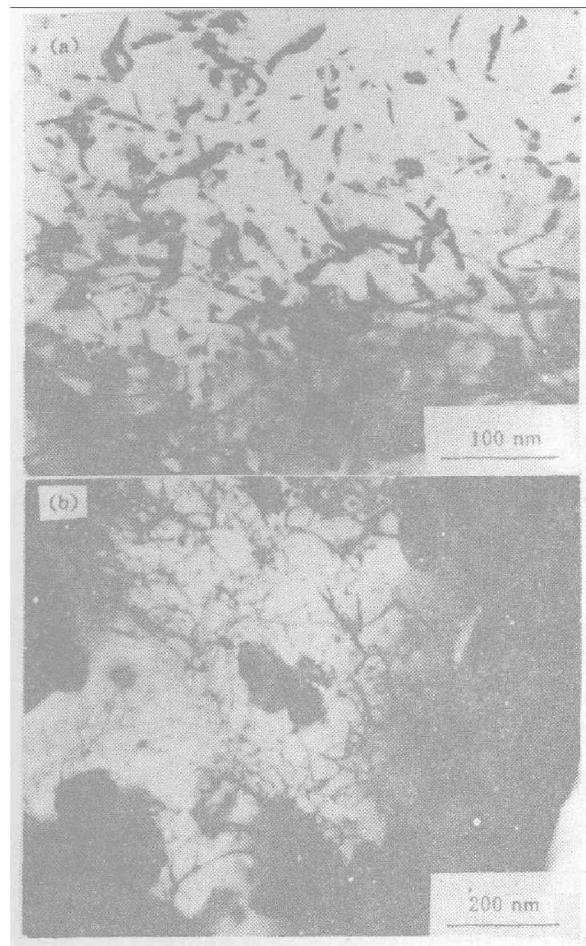


图5 复合材料峰时效析出相

(a)— $\text{SiC}_p/\text{6061}$; (b)— $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{6061}$

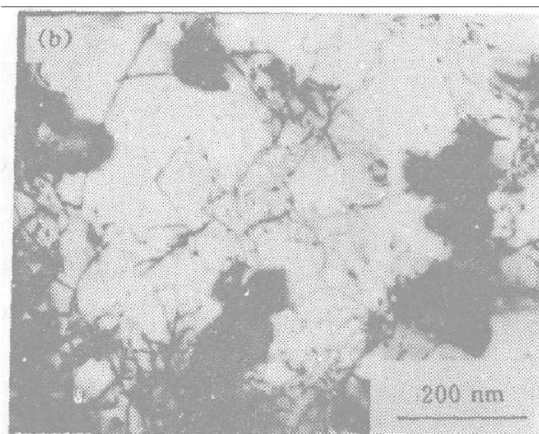
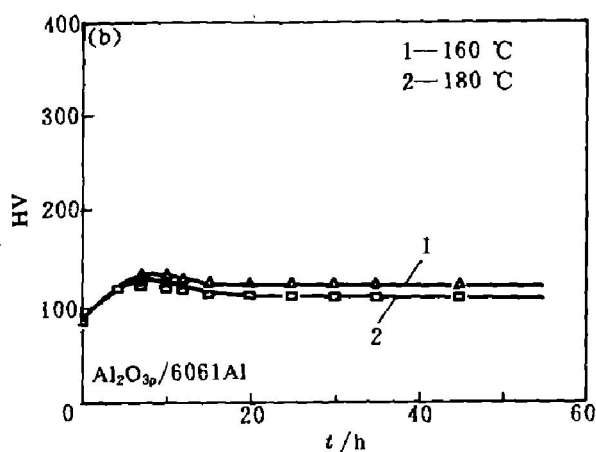
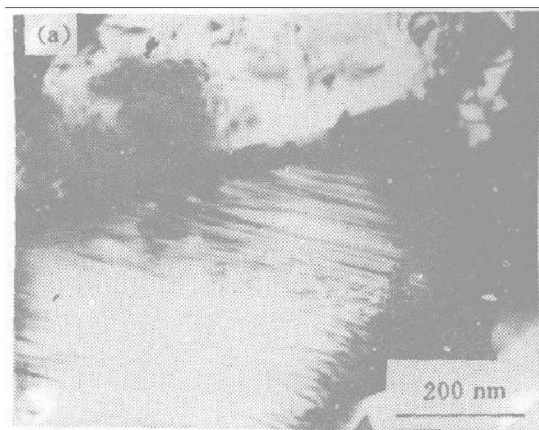
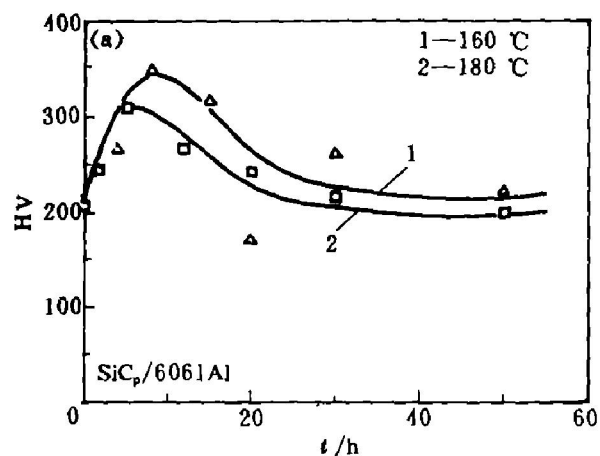


图6 时效温度对复合材料硬度的影响

(a)—SiC_p/6061; (b)—Al₂O_{3p}/6061

从图2中看出,复合材料的硬度较基体合金高,这一方面是由于高密度位错的贡献,另一方面颗粒本身也作为硬质点阻碍位错运动,增强基体。从图7可见颗粒钉扎位错,形成位错塞积。因此,复合材料的时效硬化效果不仅仅是基体时效硬化,增强颗粒也是一个重要的因素。

4 结 论

(1) SiC_p/6061、Al₂O_{3p}/6061与6061合金的时效析出机制不同。SiC_p/6061合金固溶处理产生的过饱和空位导致时效析出由GP区开始。而由于颗粒引起高密度位错,使复合材料空位浓度减小,析出相直接沿位错线析出。

图7 颗粒在复合材料中钉扎位错

(a)—SiC_p/6061; (b)—Al₂O_{3p}/6061

(2) SiC_p/6061、Al₂O_{3p}/6061在时效过程GP区的析出被滞后,但β'相的析出却被促进,主要依靠β'相的弥散析出及高密度的位错而达到强化的效果;

(3) SiC_p/6061、Al₂O_{3p}/6061在160 °C时效比在180 °C时效强化效果好。因为时效温度高,位错密度下降较快,导致β'相析出数量少,弥散度降低。

参考文献

- 1 Luttis A. Acta Metall, 1961, 9: 577.
- 2 Ceresara S Fiorini P. Powder Metallurgy, 1981, 4: 210-213.
- 3 Ceresara S Fiorini P. Powder Metallurgy, 1979, 1: 1-4.