

文章编号:1000-582X(2004)03-0108-06

SiCp/Al 复合材料界面反应研究现状*

王文明¹,潘复生¹,孙旭炜²,曾苏民²,Lu Yun³

(1. 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400030; 2. 西南师范大学材料科学与工程学院, 重庆 400715;
3. Faculty of Engineering, Chiba University, Chiba, Japan)

摘要:界面反应研究是碳化硅颗粒增强的铝基复合材料研发中的重要研究方向。各国研究者分别从界面反应规律、影响因素、控制途径等方面展开研究。界面反应规律方面研究了Al合金液与SiC颗粒可能存在的界面化学反应、界面反应过程和界面反应模型、界面上的相等;界面反应影响因素方面研究了界面反应与制备工艺过程、参数的关系;界面反应有效控制途径方面研究了、基体合金化、SiC颗粒表面处理、工艺选择与工艺参数控制等。今后的界面反应研究方向为:界面精细结构的研究;界面反应的化学热力学及动力学研究等。

关键词:碳化硅颗粒;铝基复合材料;界面反应

中图分类号:TB333

文献标识码:A

碳化硅颗粒增强的铝基复合材料具有比强度高、比刚度高、热膨胀系数低、导热性能好等优异性能,并可采用传统加工设备进行二次加工,制备加工成本较低,是复合材料中研究最多、潜在应用前景最广的材料之一,已有30余年的发展历史^[1-14]。然而,在高温制备过程中由于铝基体与碳化硅颗粒增强体接触存在着发生界面反应的可能性和多样性,这些界面反应影响着界面结合状态,最终对复合材料的性能产生重大影响。因此,研究界面反应问题是碳化硅颗粒增强的铝基复合材料研究发展中的重要研究方向。通过对界面结构及性质的观察研究,总结界面反应对复合材料性能的影响规律,从而实现界面的优化设计与有害界面反应的控制。近年来随着实验仪器、设备等条件的改善,研究者已能对界面的精细结构进行观察,这样可以澄清研究中的模糊认识和推测,能更好保证研究发现成果的准确性。文中从界面反应规律,界面反应与制备工艺过程、参数的关系,控制界面反应的有效途径等

方面综述了最近15年来碳化硅颗粒增强的铝基复合材料界面反应的最新研究成果,希望能给广大关注碳化硅颗粒增强的铝基复合材料界面反应的研究者较全面的认识。

1 界面反应规律

1.1 Al合金液与SiC颗粒可能存在的界面化学反应

众研究者采用不同的合金成分和经过预处理或无预处理的SiC颗粒制备了碳化硅颗粒增强的铝基复合材料。在复合材料的制备过程中,可能发生的化学反应^[2-22]如表1所示。有些研究者通过界面的反应热力学分析给出了反应过程自由焓变与温度的关系,相应的关系式也列在表1中。

1.2 界面反应过程和界面反应模型

近年来,人们对于界面反应过程有了进一步的认识,在此基础上提出了几种界面反应模型。各种界面模型有其相应的适用对象。

* 收稿日期:2003-09-23

基金项目:国家“863”项目和重庆市院士基金项目资助

作者简介:王文明(1975-),男,安徽东至人,重庆大学博士研究生,主要从事新型金属基复合材料的研究工作。

表1 Al 合金液与 SiC 颗粒可能存在的界面化学反应

编号	化学反应方程式	反应过程自由焓变 ΔG^0 (J/mol)
1	$\text{SiO}_2(\text{S}) + 2\text{Mg}(\text{L}) \rightarrow 2\text{MgO}(\text{S}) + \text{Si}(\text{L})$	-326 570.4 + 35.42T
2	$\text{SiO}_2(\text{S}) + 4\text{Al}(\text{L}) \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3(\text{S}) + 3\text{Si}(\text{L})$	-719 292.24 + 83.903T
3	$2\text{SiO}_2(\text{S}) + 2\text{Al}(\text{L}) + \text{Mg}(\text{L}) \rightarrow \text{MgAl}_2\text{O}_4(\text{S}) + 2\text{Si}(\text{L})$	-558 519.12 + 56.689T
4	$4\text{Al}(\text{L}) + 3\text{SiC}(\text{S}) \rightarrow \text{Al}_4\text{C}_3(\text{S}) + 3\text{Si}(\text{L})$	103 900 - 16.48T
5	$2\text{MgO}(\text{S}) + 4\text{Al}(\text{L}) + 3\text{SiO}_2(\text{S}) \rightarrow 2\text{MgAl}_2\text{O}_4(\text{S}) + 3\text{Si}(\text{L})$	—
6	$\text{MgO}(\text{S}) + \text{Al}_2\text{O}_3(\text{S}) \rightarrow \text{MgAl}_2\text{O}_4(\text{S})$	—
7	$3\text{Mg}(\text{L}) + 4\text{Al}_2\text{O}_3(\text{S}) \rightarrow 3\text{MgAl}_2\text{O}_4(\text{S}) + 2\text{Al}(\text{L})$	—
8	$\text{SiC}(\text{S}) \rightarrow \text{Si}(\text{L}) + \text{C}(\text{S})$	123 470 - 37.57T
9	$\text{Al}_4\text{C}_3(\text{S}) \rightarrow 4\text{Al}(\text{L}) + 3\text{C}(\text{S})$	266 520 - 92.3T
10	$\text{Si}(\text{S}) \rightarrow \text{Si}(\text{L})$	50 630 - 30.08T
11	$\text{Al}_4\text{C}_3(\text{S}) + 18\text{H}_2\text{O}(\text{L}) \rightarrow 4\text{Al}(\text{OH})_3(\text{S}) + 3\text{CO}_2(\text{G}) + 12\text{H}_2(\text{G})$	—
12	$3\text{TiO}_2(\text{S}) + 4\text{Al}(\text{L}) \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3(\text{S}) + 3\text{Ti}(\text{L})$	—
13	$2\text{Mg}(\text{L}) + \text{Si}(\text{L}) \rightarrow \text{Mg}_2\text{Si}(\text{S})$	—

对于高温氧化的 SiC 颗粒增强铝镁合金复合材料的界面反应过程,界面反应首先形成纳米 MgO,然后是否继续与铝液反应取决于 Mg 的含量以及纳米 MgO 层致密程度^[15]。在 Mg 含量不足以形成致密的纳米 MgO 层时, SiO₂ 与 MgO 和铝液继续反应形成 MgAl₂O₄ 晶体;当 Mg 的含量足以形成致密的纳米 MgO 层,则其能良好地保护内层 SiC 免受铝液的进一步侵蚀,表明 MgO 和 MgAl₂O₄ 均为高温热稳定界面反应产物。

喇培清等^[16]把液相法制备 SiC_p/Al 基复合材料的界面反应过程,分为如下几个步骤:1) SiC 在 Al 液的作用下溶解;2) Si 和 C 的原子自 SiC 表面向 Al 液中扩散;3) Si 和 C 在浓度及温度合适的条件下会在 SiC/Al 液界面发生化学反应,形成界面反应产物。同时文中指出:增强体粒子溶解于基体溶液必将影响基体合金的凝固过程。反之, SiC_p/Al 液界面和界面反应也将受到上述变化的影响。SiC 在 Al 液中的溶解速度与 SiC 和 C 在 Al 液中的扩散速度有关。

柴跃生等^[17]根据反应物的增加规律将界面反应分为 2 个阶段:1) 线性阶段。SiC 与 Al 的接触初期,由于反应层较薄,原子扩散不是主要矛盾,过程由表面反应支配,反应量的增加服从线性关系;2) 抛物线阶段。随着反应产物的增加,原子扩散逐步形成了反应

过程的主要矛盾,反应物的增加服从抛物线关系。

李子全等^[18]认为界面反应通常应包括下列几个步骤:1) Mg, Al 向 SiO₂/合金液界面扩散;2) Mg, Al 在 SiO₂/合金液界面吸附;3) 反应产物从 SiO₂/合金液界面脱附和生成物 Si 的溶解。文中还指出:界面反应总伴随着反应物和生成物的传输过程,由于在反应界面处铝和镁的活度不断降低,需要 Mg, Al 通过浓度边界层从邻近液相向界面扩散以维持反应;反应产物尖晶石 (MgAl₂O₄) 和硅或通过扩散溶解在合金液中,或被固液界面相对的流动带离反应区。文中还给出了 SiC 颗粒表面的 SiO₂ 与金属液反应的模型并得出 SiC 表面的残余 SiO₂ 厚度 X 与反应时间 t 成线性关系,即 $X = L - DKV_m t$ 的结论。

而文献[19]中的颗粒反应层长大模型指出了反应层厚度随反应时间变化所遵从的规律:反应层厚度符合 $S = At^{1/2}$ 规律(应用条件:具有厚 SiO₂ 层的 SiC_p/α-Al 界面反应场合)。反应层厚度(反应物量)很大程度上取决于 SiC 表面的 SiO₂ 层厚度及 Mg 含量。

J. K. Chen 和 J. E. Beraun 研究了金属基复合材料界面相生长的简化模型^[23]。研究发现:大多数金属基复合材料中的增强体与基体界面层生长并非如 Fick 定律所述的与时间 $t^{1/2}$ 成正比。而且,不同的反应阶段,界面层厚度与 $t^{1/2}$ 有不同的关系。准确地说,整个

增长速度由 t^m 控制, 而 m 是个变量。作者在文中给出了厚度与时间的关系式: $h = a \ln(bt + c)$ 。3 个参数 a , b , c 均有其物理意义且容易测定。该模型得到了大量实验结果的证实。

2 界面反应与制备工艺过程、参数的关系

2.1 Mg 含量对界面反应的影响

Al-Mg 基复合材料虽然也存在 SiC 粒子的溶解反应, 但在界面前沿的溶液中原先的二元系已变成了 Al-Mg-Si 三元系状态, 故有 Mg_2Si 生成, 且该相首先依附于 SiC 粒子表面上的某些有利界面而非自发形核长大。Al-Mg 基复合材料中有因粒子溶解反应而生成的 C 元素存在, 因而界面处也应有 Al_4C_3 相的存在, 但此相在 XRD 及 TEM 中均未检测到。这可能是由于 Mg 及 Cu 元素在 Al 液中的存在改变了 C 元素在其中的活度, 使 C 元素在 Al 液中的存在很微量, 生成 Al_4C_3 相的反应受到了抑制, 也可能由于微量而未被检测到^[16]。

在 SiCp 表面形成的尖晶石 ($MgAl_2O_4$), 其数量和尺寸与 Mg 含量有关^[24]。文献[18]指出合金中加入镁降低了合金液的表面能。SiC/Al 界面上大量纳米级 MgO 或 $MgAl_2O_4$ 颗粒的形成会导致基体中 Si 含量显著增加, 并会导致增强相与基体之间很强的界面结合。在铝合金中当镁的含量小于 8 (wt)% 时, SiO_2/Al 合金界面反应产物为尖晶石, 即界面反应由 $2SiO_2 + 2Al + Mg \rightarrow MgAl_2O_4 + 2Si$ 控制; 大于 8%, 由 $SiO_2 + 2Mg \rightarrow 2MgO + Si$ 控制。在 Al-Mg 合金中, 晶面产物是氧化镁还是尖晶石取决于镁的含量。由于发生界面反应, 会直接影响反应固液两相接触角的变化。实验结果表明界面反应促进了 SiO_2 与合金液的进一步润湿。

2.2 Si 含量对界面反应的影响

在 1 173 K 及 1 273 K 温度处, 当 Si 的克分子浓度 < 10% 时, Al_4C_3 是稳定的; 而当含 Si 量为 18% 时, SiC 是稳定的^[16, 25]。对 Al-Si 基复合材料来说, 由于含 Si 量高, SiC 的溶解反应将被抑制, 故无 Al_4C_3 生成。在凝固过程中, Si 优先依附于 SiC 颗粒的某些晶面生成, 而在界面处生成了粗大的 Si 相。界面上 Si 元素的富集对机械性能的影响较为复杂, 一方面它可以控制界面反应的过多发生, 从而对机械性能有利; 另一方面又会产生晶格畸变, 引入附加应力, 从而对机械性能

不利。

2.3 SiC 预处理对界面反应的影响

SiC_p 氧化起始温度为 800 ~ 850 °C, 其氧化增量和氧化产物 SiO_2 的体积分数及厚度与高温氧化处理的保温时间成抛物线关系, SiC 经高温氧化后, 表面形成一层致密的非晶 SiO_2 层, 能有效阻止高温下 Al 对 SiC 的侵蚀。实验表明, SiC 通过适当的预处理并辅以合金液中添加微量元素, SiC 颗粒能分散到合金液中, 并与其润湿结合^[24]。

文献[18]中的 SiC 预处理工艺为高温焙烧后在 HF 与丙酮的混合液中球磨清洗。SiC 表面的 SiO_2 层对 SiC 是否能进入合金, 并在 SiC 颗粒分散润湿中起重要作用, 但它仅起中间过渡作用, 所以一要致密, 二要量少, 以便降低复合材料中杂质含量和缩短制备时间。

对 SiC 颗粒进行表面氧化处理虽然是一种简便的表面处理方法, 但对大量的微米级 SiC 颗粒进行氧化处理, 尚需解决 SiC 的高温烧结和 SiO_2 层的均匀性问题^[26]。

SiC 颗粒的分布状态对界面反应层厚度及 Al_4C_3 的生长有明显的影响, 适当降低 SiC 颗粒的体积分数及改善分布的均匀性可以进一步提高材料的力学性能^[21]。

2.4 温度对界面反应的影响

SiC 颗粒在搅拌分散过程中, 由于系统温度 (470 °C) 相对较低, 发生界面反应的可能性较小。当混合体的温度升至 550 °C 保温搅拌时, 单粒 SiC 表面的大部分区域与合金液直接接触, 可能发生界面反应^[13]。温度越高, 反应越激烈, 反应程度也越大。

2.5 冷却速度对界面反应的影响

冷却速度明显影响复合材料的界面结构、界面相的种类, 并同时影响润湿过程生成的反应产物与搅拌过程中 Mg、Al、Zn 和 Cu 等元素形成的氧化物的分布、以及枝晶生长过程的溶质二次分配。对 3 种冷却条件下得到的复合材料界面的研究表明^[19]: 复合材料浆液淬快冷时的界面特征是初生 α 相与 SiC 直接机械结合, 界面光滑无界面反应产物和中间过渡相存在; 电磁搅拌随炉冷却条件下, 复合材料界面绝大部分是共晶组织与 SiC 颗粒直接结合, 少部分是由共晶组织/岛状非晶组织/SiC 组成; 随炉冷却慢冷时的界面主要是由共晶组织/非晶组织/SiC 组成, 基体与 SiC 直接结合的

界面非常少,界面结合强度低。从界面结构考虑,慢冷界面比液淬界面复杂得多。电磁搅拌制备的复合材料随炉冷却界面明显优于无搅拌随炉冷却界面。

3 控制界面反应的有效途径

界面反应能增强润湿性能,利用界面反应可以制备性能良好的复合材料。但在制备过程中要注意:一方面使界面反应能有效地改善润湿性能,如 $3\text{SiC}(\text{S}) + 4\text{Al}(\text{L}) \rightarrow \text{Al}_4\text{C}_3(\text{S}) + 3\text{Si}(\text{S})$, 提高界面结合强度;另一方面,过度的界面反应使界面脆弱,反而降低复合材料的性能^[27]。

为了控制有害界面化学反应,国内外在基体合金化, SiC 颗粒表面处理以及工艺选择与工艺参数控制方面都进行了大量研究^[26]。

3.1 基体合金化

1) 添加 Si 元素或选用含硅的合金基体,如 A356, A357 以及 A359 等,基体合金中的硅可以抑制 $3\text{SiC} + 4\text{Al} \rightarrow \text{Al}_4\text{C}_3 + 3\text{Si}$ 界面反应,并改善复合材料的力学性能;

2) 添加其它合金元素。向基体中加入活性元素(如 Li, Cu, Ti, Zr, P 等),可有效地降低表面张力,改善润湿性;

3.2 SiC 颗粒表面处理

1) 对 SiC 颗粒表面涂覆一层颗粒润湿性良好的金属^[28](Ni, Cu),接触角 θ 会减小到 $80^\circ \sim 100^\circ$;

2) 对 SiC 颗粒进行预氧化处理^[29,30],使 SiC 颗粒表面生成 SiO_2 薄膜, SiO_2 与基体反应 $4\text{Al} + 3\text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Si}$ 来改善润湿性;表面氧化是最简单的预处理方法,广为采用;

3) 采用凝胶-溶胶方法^[31]在 SiC 颗粒表面涂覆 TiO_2 , $3\text{TiO}_2 + 4\text{Al} \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Ti}$,能有效地抑制 Al_4C_3 的生成;

4) 在高温下对 SiC 颗粒表面进行激光处理,有利于 SiC 颗粒表面改性;

5) 用某些盐如碳酸钠、氟锆酸钾等或在超声震动下用丙酮等有机溶剂对 SiC 颗粒进行处理^[32],清除颗粒表面的氧化物和污染物。酸洗工艺可以通过改变碳化硅颗粒表面的化学特性来实现 SiC-Al 界面状态的优化与控制,进而达到调整该种复合材料的力学性能,以适应不同应用工况条件的目的^[11]。

6) 采用其它方法对 SiC 颗粒表面进行预处理,如

PVD, CVD 以及电镀法等^[33,34]。

3.3 工艺选择与工艺参数控制

界面反应程度主要取决于制备方法和工艺参数。控制工艺参数,如温度、压力、凝固或冷却速度等,抑制发生反应 $3\text{SiC} + 4\text{Al} \rightarrow \text{Al}_4\text{C}_3 + 3\text{Si}$ 的动力学条件^[35]。由于高温下基体和增强体的化学活性迅速增加,温度越高反应越激烈,在高温下停留时间越长反应越严重,因此在制备方法和工艺参数的选择上首先考虑制备温度、高温停留时间和冷却速度。在确保复合完好的情况下,制备温度尽可能低,复合过程和复合后在高温下保持时间尽可能短,从界面反应温区冷却尽可能快,而低于反应温度后应减小冷却速度,以免造成大的残余应力影响材料性能。其它工艺参数如压力、气氛等也不可忽视,需综合考虑。

4 结束语

碳化硅颗粒增强铝基复合材料的界面反应问题的研究解决对确定此种复合材料有效的制备方法和适用范围都是十分重要的,直接影响到该复合材料的迅速发展和应用。界面反应需要通过界面精细结构的研究,界面反应的化学热力学及动力学研究,界面反应的传热传质模型的建立和优化以及新的有效控制界面反应手段等方面不断深入。

参考文献:

- [1] 陈建,潘复生,刘天模. Al/SiC 界面结合机制的研究现状[J]. 轻金属,2000,9:52-54.
- [2] 陈建,潘复生,刘天模. Al/SiC 界面结合机制的研究现状(续)[J]. 轻金属,2000,11:56-58.
- [3] 陈凤初,陈建,潘复生,刘天模. Si 对 Al/SiC 体系润湿性的影响[J]. 铝加工,1998,21(5):53-55.
- [4] 陈建,潘复生. 合金元素影响铝/陶瓷界面润湿性的研究现状[J]. 兵器材料科学与工程,1999,22(4):53-58.
- [5] 陈建,潘复生,顾明元. 活性金属/陶瓷润湿机理研究[J]. 上海交通大学学报,2001,35(3):364-367.
- [6] 陈建,潘复生. 氧化铝膜对铝基复合材料润湿行为的影响[J]. 材料科学与工程,1999,17(2):85-90.
- [7] JIAN CHEN, MINGYUAN GU, FUSHENG PAN. Reactive wetting of a metal/ceramic system[J]. Journal of Materials Research,2002,17(4):911-917.
- [8] 张国定. 金属基复合材料界面问题[J]. 材料研究学报,1997,11(6):649-657.
- [9] ANDREAS MORTENSEN, MICHAEL KOCZAK J. The Sta-

- tus of Metal – Matrix Composite and Development in Japan [J]. JOM, 1993, 3: 10 – 17.
- [10] A. C. Ferro, B. Derby. Wetting behavior in the Al – Si/SiC system: interface reactions and solubility effects [J]. Acta Metal Mater, 1995, 43(8): 3 061 – 3 073.
- [11] J. M. HOWE. Bonding, Structure and Properties of metal/ceramic interface: part I chemical bonding, chemical reaction and interfacial structure [J]. Intl. Mater. Reviews, 1993, 38(5): 233 – 256.
- [12] P. L. RANTNAPARKHI, J. M. Howe. Characterization of a diffusion – bonded Al – Mg alloy/SiC interface by high resolution and analytical electron microscopy [J]. Metallurgical and Materials Transactions. A., 1994, 25A(3): 617 – 627.
- [13] LEE JAE – CHUL, AHN JAE – PYOUNG, SHIM JAE – KYEOK, et al. Control of the interface in SiC/Al composites [J]. Scripta Materialia, 1994, 41(8): 895 – 900.
- [14] LEE JAE – CHUL, AHN JAE – PYOUNG, SHI ZHONGLIANG, et al. Lee Ho – in. Methodology to design the interface in SiC/Al composites [J]. Metallurgical and materials Transactions A, 2001, 32A(6): 1 541 – 1 550.
- [15] 施忠良, 顾明元, 刘俊友, 等. 氧化的碳化硅与铝镁合金之间的界面反应 [J]. 科学通报, 2001, 46(14): 1 161 – 1 165.
- [16] 喇培清, 许广济, 丁雨田. 高体积分数 SiCp/Al 复合材料中界面现象研究 [J]. 材料工程, 1997, 9: 28 – 30.
- [17] 柴跃生, 梁建民. 制备温度与时间对复合材料界面反应的影响 [J]. 太原重型机械学院学报, 1999, 20(3): 207 – 211.
- [18] 李子全. 预处理 SiC 颗粒在 ZA – 27 合金中的分散润湿过程和界面反应模型 [J]. 南京航空航天大学学报, 2002, 34(3): 240 – 244.
- [19] 李子全, 吴炳尧, 沈光俊. 不同冷却条件下 SiCp/ZA – 27 复合材料界面的 TEM 观察 [J]. 南京大学学报(自然科学), 2001, 37(1): 84 – 90.
- [20] 崔岩, 耿林, 姚忠凯. 轻微界面反应对 SiCp/6061Al 复合材料弹性模量的影响 [J]. 复合材料学报, 1998, 15(1): 74 – 77.
- [21] 陈方生, 刘玉先, 陈茂爱. SiC 颗粒增强 LD₂ 基复合材料的界面研究 [J]. 山东工业大学学报, 2001, 31(2): 1 742 – 1 178.
- [22] 崔岩, 耿林, 姚忠凯. SiCp/6061Al 复合材料的界面优化与控制 [J]. 中国有色金属学报, 1997, 7(4): 159 – 162.
- [23] J. K. CHEN, J. E. BERAUN. A simple model for interfacial phase growth in metal matrix composites [J]. Composites, 2000, 31(A): 727 – 731.
- [24] 刘俊友, 刘英才, 刘国权等. SiC 颗粒氧化行为及 SiCp/铝基复合材料界面特征 [J]. 中国有色金属学报, 2002, 12(5): 961 – 966.
- [25] LEE JAE – CHUL, BYUN JI – YONG, OH CHANG – SEOK, et al. Prediction of Si content to suppress the interfacial reaction in the SiC_p/2024 Al composites [J]. Acta mater, 1998, 46(8): 2 635 – 2 643.
- [26] 郭建, 沈宁福. SiC 颗粒增强 Al 基复合材料中有害界面反应的控制 [J]. 材料科学与工程, 2002, 20(4): 605 – 608.
- [27] 谭敦强, 黎文献, 余琨. SiC 铝基复合材料的制备技术和界面问题 [J]. 铝加工, 2000, 23(3): 39 – 42.
- [28] TRESPAILLE BARRAU P, SUERY M. Microstructural and Mechanical Characterisation of Aluminum Matrix Composites Reinforced with Ni and NiP Coated SiC Particles Via Liquid Processing [J]. Material Science and Technology, 1994, 10(6): 497 – 504.
- [29] RIBES H. Microscopic Examination of the Interface Region in 6061 – Al/SiC Composites Reinforced with as – received and Oxidized SiC Particles [J]. Metallurgical Transactions A, 1990, 21A(9): 2 489 – 2 496.
- [30] NARCISO, C GARCIA CORDVILLA, E. LOUIS. Reactivity of thermally oxidized and unoxidized SiC particulate with Aluminum – silicon alloys [J]. Mater Sci Eng B, 1992, 15: 148 – 155.
- [31] KINDL B. The Control of Interface and Microstructure of SiC/Al Composites by sol – gel Techniques [J]. Composites Science and Technology, 1992(43): 85 – 93.
- [32] S. SCHAMM, R. FEDOU, J. P. Rocher, et al. The K₂ZrF₆ wetting process: effect of surface chemistry on the ability of a SiC – fiber perform to be impregnated by aluminum [J]. Metall. Trans. A, 1991, 22A(9): 2 133 – 2 161.
- [33] E. NYBERG. Coating particulate SiC in aluminum matrix composites [J]. Key Engineering materials, 1993, 77 – 78: 394 – 356.
- [34] Y. L. LIU, B. KINDL. Coated and uncoated SiC in modern aluminum reactivity of commercial particulates [J]. Scripta Metallurgica et Materialia, 1992, 27: 1 367 – 1 372.
- [35] LEE JAE – CHUL, PARK SUNG – BEA, SEOK HYUN – KWANG, et al. Effect of various processing methods on the interfacial reactions in SiC_p/2024 Al composites [J]. Acta mater, 1997, 45(12): 5 303 – 5 315.

Advance in Research on Interfacial Reaction in SiC_p/Al Composites

WANG Wen-ming¹, PAN Fu-sheng¹, SUN Xu-Wei², ZENG Su-min², LU Yur³

(1. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. College of Materials Science and Engineering, Southwest China Normal University, Chongqing 400715, China;

3. Faculty of Engineering, Chiba University, Chiba, Japan)

Abstract: Researchers around the world conducted experiments according to the aspects of interfacial reaction principle, contributing factors, control approaches, etc. In the aspect of interfacial reaction principle, possibly existing interfacial chemical reaction between Al alloy liquid and SiC particles, interfacial reaction process and model, phases in the interface, etc., have been researched. In the aspect of contributing factors to interfacial reaction, the relationship among interfacial reaction and process, parameters of fabrication such as effect of Mg, Si content, SiC pretreatment, temperature, cooling speed to interfacial reaction has been investigated. In the aspect of efficient control approaches to interfacial reaction, matrix alloying, surface treatment to SiC particles, process selection and process parameters control have been studied. Research direction of interfacial reaction for the future can be generalized as the following aspects: interfacial fine structure, chemical thermodynamics and kinetics of interfacial reaction, establishment and optimization of heat and mass transfer model to interfacial reaction and new efficient control approaches to interfacial reaction.

Key words: SiC_p; Aluminum matrix composites; Interfacial Reactions

(编辑 陈移峰)

(上接第 112 页)

Investigated Development on Immune Regulation of Polysaccharide

WANG Yang, WANG Bo-chu, ZHOU Jing, PENG Liang

(Key Laboratory for Biomechanics & Tissue Engineering under the State Ministry of Education, College of Bioengineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China).

Abstract: Polysaccharide exists widely in the cell or cell wall of plant, animal, microorganism and epiphyte. As a kind of biologic substance having the action of immune regulation, it can enhance the function of both the nonspecific immunity and the specific immunity. The polysaccharide implements the regulation on immunity system by the following methods: stimulating the function of mononuclear phagocyte system, accelerating the proliferation of lymphocyte, promoting the level of antibody, inducing the exudation of cytokine, activating the complement system, and so on. In the international and domestic research, investigating on the actions of polysaccharide and its pharmacological functions is a primary goal. The pharmacological functions and the mechanism of the polysaccharide immune regulation are summarized.

Key words: Polysaccharide; Immune regulation; Action mechanism

(编辑 陈移峰)