

TiC_p/ZA-12 复合材料凝固时 TiC_p 的行为

王 香 李庆芬

(哈尔滨工程大学机电学院 哈尔滨 150001)

曾松岩

(哈尔滨工业大学材料学院 哈尔滨 150001)

文 摘 利用 XD 法与搅拌铸造技术相结合的工艺制备 TiC_p/ZA-12 复合材料,采用常规凝固与定向凝固的技术研究增强粒子 TiC_p 在凝固界面的行为。结果表明:常规凝固条件下,TiC 含量较低时,颗粒主要分布于共晶相内,TiC 含量较高时,颗粒不仅存在于共晶相内,也存在初生相内;定向凝固条件下,由于初生相对 TiC 的排斥作用使 TiC_p/ZA-12 复合材料凝固组织中存在 TiC 聚集的带状组织。TiC_p 在带状组织中的聚集程度与 TiC 含量有关,随 TiC_p 含量增加,聚集程度减小。当 TiC_p 含量超过 6% 后,聚集带已不明显。

关键词 TiC_p/ZA-12 复合材料,常规凝固,定向凝固

The Behavior of TiC_p During TiC_p/ZA-12 Composites Solidification

Wang Xiang Li Qingfen

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Harbin Engineering University Harbin 150001)

Zeng Songyan

(School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology Harbin 150001)

Abstract TiC_p/ZA-12 composites have been fabricated by XD/IM and stirring-casting techniques. The behavior of TiC reinforcement particle in the solidification interface has been studied during the traditional and directional solidification respectively. The research results can be described as follows: under traditional solidification conditions, TiC particles mainly distribute in eutectic phases at lower fraction of TiC particles, however, TiC particles exist not only in eutectic phases but also in primary phases at higher fraction of TiC particles; under directional solidification, there are congregated TiC particles having band structure in solidification microstructure of TiC_p/ZA-12 composite due to the pushing function of primary phases of alloy on TiC particles. The extent of congregation of TiC particles in band structure correlates with TiC particles fraction. With the increase of TiC particles, the extent of congregation of TiC particles in band structure decreases. When the fraction of TiC particles reaches higher than 6%, the band structure disappears.

Key words TiC_p/ZA-12 composites, Traditional solidification, Directional solidification

在颗粒增强金属基复合材料中,陶瓷颗粒在固液界面的行为直接影响着颗粒在固相中能否均匀分布,

收稿日期:2002-04-09;修回日期:2002-04-29

王香,1972年出生,博士后,主要从事金属基复合材料的研究工作

进而影响材料的性能^[1]。研究表明^[2~4]:大多数的颗粒在凝固过程中受到固液界面排挤,或偏聚于最后凝固的晶界上,或被机械地嵌入固相中,从而形成了不均匀组织。如何控制颗粒与凝固界面的相互作用,使颗粒被成长的固相所捕捉并均匀分布,成为颗粒增强复合材料发展与研究的关键问题之一^[5]。

TiC_p 增强铝基复合材料的研究和生产处于起步阶段^[6,7]。对于模用 TiC_p/ZA—12 复合材料,起主要作用的是材料表面的抗磨损能力,如果 TiC_p 分布不均匀,则会严重削弱其抗磨损性能,因此对该复合材料凝固时 TiC_p 行为的研究便显得尤为重要,而在这方面的报道很少^[8]。

本文采用常规凝固试样与定向凝固试样,分析 TiC_p 在 TiC_p/ZA—12 复合材料中的分布特征,进而研究了 TiC_p 对 TiC_p/ZA—12 复合材料凝固行为的影响。

1 实验

将高纯的钛粉(99.2%,45 μm),铝粉(99.6%,29 μm)和炭黑(99.8%,<0.05 μm)按一定的配比干混 24 h,冷压成致密度为 50%~60%的预制块,采用自蔓延技术制备成 Al/50%TiC_p 合金,然后将这种合金与锌及铝锭按一定比例配制成不同 TiC_p 含量的铝基复合材料。定向凝固装置如图 1 所示。常规凝固试样凝固后,沿纵向剖开,经抛光并进行深腐蚀,在扫描电镜下观察其凝固组织。同时对定向凝固试样沿着凝固方向进行 Ti 含量能谱微区分析。由测得的 Ti 计算这些部位 TiC 含量。试验所用材料是 TiC 体积分数分别为 1%、2%、3%、4%、6%及 8%的 ZA—12 基复合材料。

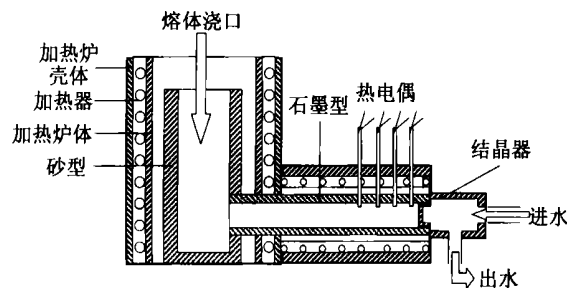


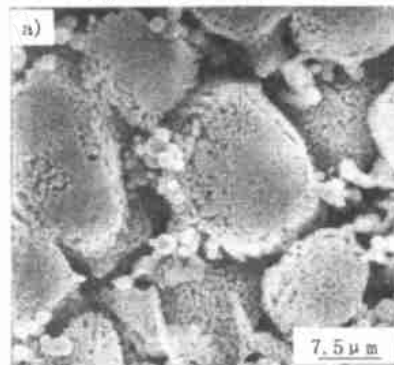
图 1 定向凝固装置图

Fig. 1 Schematic of directional solidification equipment

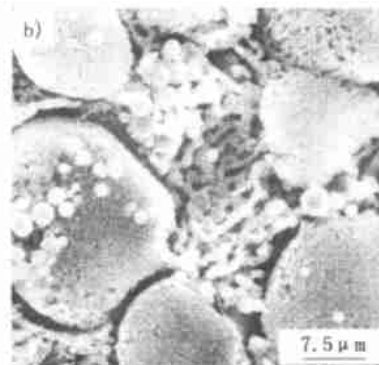
2 实验结果与分析

2.1 常规凝固时 TiC_p 对 ZA—12 合金凝固组织的影响

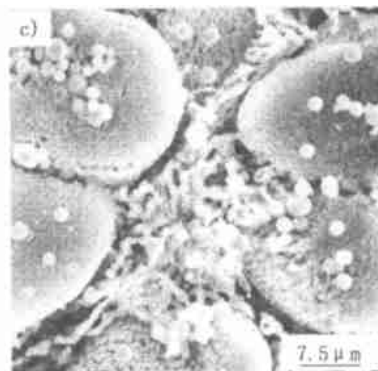
图 2 为 TiC_p 含量为 1%~4% 的 ZA—12 合金复合材料的凝固组织(常规凝固试样)。可以看出,当 TiC_p 含量为 1% 时,TiC_p 主要存在于晶间,极少存在于初生相中。随着 TiC_p 含量的增加,初生相中 TiC_p 的含量有所增加,见图 2(d)。这说明,TiC_p 在凝固过程中受到初生晶的排斥,而存在于晶间液相中,在随后的凝固过程中被冻结在晶间。



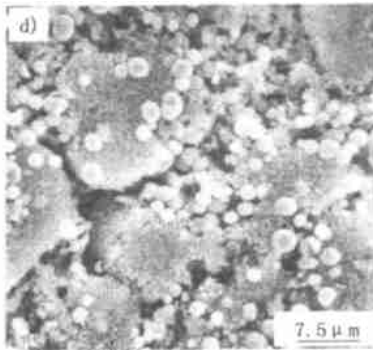
(a) 1%



(b) 2%



(c) 3%



(d) 4%

图2 不同 TiC_p 含量的 ZA-12 复合材料的凝固组织

Fig. 2 The solidification structure of the TiC_p/ZA-12 composites

2.2 定向凝固时 TiC_p 对 ZA-12 合金凝固组织的影响

4% TiC_p/ZA-12 复合材料沿凝固方向的颗粒分布如图 3 所示(图中白色亮点为 TiC_p)。由图可以看出,在凝固界面前沿存在一明显的 TiC_p 富集区,这是由于 TiC_p 被凝固界面排斥所致。在此种条件下,由于初生晶相的排斥, TiC_p 聚集在固液界面前沿的液相中,只有少量被机械地嵌入初生晶中。随着凝固的进行, TiC_p 聚集量不断增加,使凝固界面前沿液相中堆积了大量的 TiC_p,当初晶已经无能力排斥时, TiC_p 便机械地嵌入固相中,形成 TiC 的聚集区,周而复始,形成了带状组织。

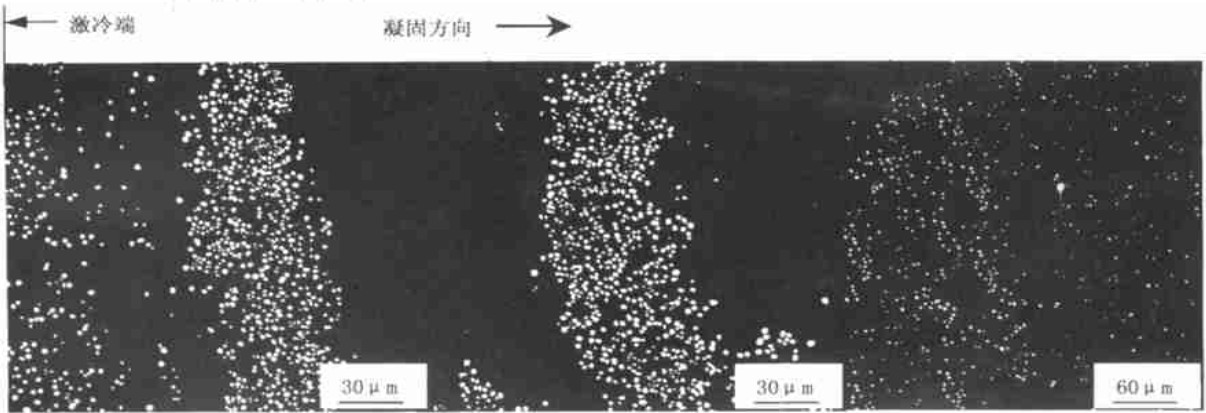


图3 4%TiC_p/ZA-12 复合材料凝固前端组织

Fig. 3 The solidification front structure of 4%TiC_p/ZA-12 composites

采用能谱对试样沿凝固方向的 Ti 含量进行了微区成分分析,每个分析点的面积为 300 μm × 300 μm。从检测结果来看,远离激冷面 5 mm 后,复合材料铸锭中的 TiC_p 的分布已经均匀,故而能谱分析只选取了 15 个小区域,如图 4 所示。图 5 为不同 TiC_p 含量的复合材料沿凝固方向 Ti 元素的能谱分析结果。

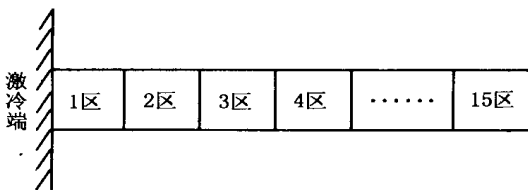


图4 能谱分析面分布示意图

Fig. 4 Schematic of distribution of EDAX analysis zones

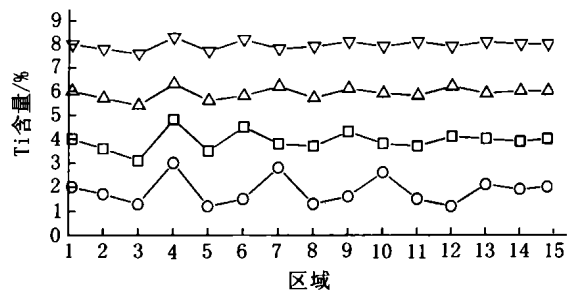


图5 4种复合材料沿凝固方向 Ti 元素的含量

Fig. 5 The Ti content along the solidification direction of different composites

∞8%TiC/ZA-12; 6%TiC/ZA-12;
4%TiC/ZA-12; 2%TiC/ZA-12。

从图 5 可以看出,靠近激冷面, Ti 元素含量皆为复合材料中 Ti 的平均含量,这是由于此处的冷却速

度相当高, TiC_p 还来不及被固液界面排斥, 便被机械地嵌入固相中。而随着距激冷端的距离增大, Ti 元素含量开始出现高低交替的变化, 即形成了带状组织。在与激冷端的距离达到一定程度后, 凝固已经不是定向凝固了, 固液界面对颗粒的排斥不足以使其受到推移, Ti 元素含量变化已不明显。从含 TiC 为 2%~8% 的 4 种复合材料的 Ti 元素含量变化程度上看, 随着 TiC_p 含量的逐渐增多, Ti 元素变化达到平衡的时间逐渐变短, 说明随着 TiC_p 含量的增多, 界面前沿 TiC_p 富集程度减小, 当 TiC_p 含量超过 6% 后, TiC 聚集现象已不明显。

2.3 颗粒被排斥的原因分析

影响颗粒被凝固界面排斥或捕捉的因素很多, 如颗粒与固相、液相之间的界面能, 颗粒的大小及密度, 液体的粘度, 热导率, 液体的对流, 界面前沿的温度梯度等等。而对于金属/陶瓷这样的高界面能系统, 此时界面能的作用占主导地位, 结合凝固界面与颗粒相接触时的实际生长状态, 相互作用模型如图 6 所示。

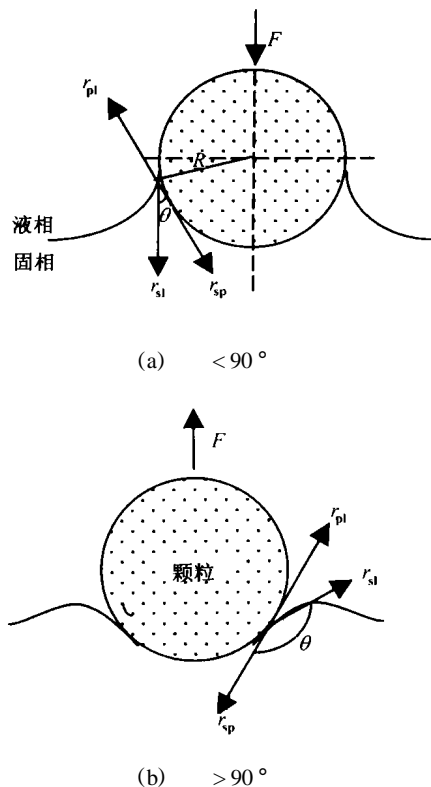


图 6 固液界面与球形颗粒的相互作用模型
Fig. 6 Interaction model of solid / liquid interface with spheroid particle

由于本实验是横向凝固, 故可忽略重力的影响, 而认为作用于小颗粒的力仅与界面能有关, 此时接触角与界面能之间有如下关系:

$$\cos \theta = \frac{r_{pl} - r_{sp}}{r_{sl}}$$

式中: r_{sp} 、 r_{pl} 、 r_{sl} 分别表示固相/颗粒、颗粒/液相、固相/液相之间的界面能。

当 $\theta < 90^\circ$ 时, 颗粒与固相的结合更容易发生, 颗粒易被捕捉; 反之, 当 $\theta > 90^\circ$ 时, 颗粒被凝固界面所排斥。由文献[9]知, 纯锌与 TiC 的接触角为 120° , 铝与 TiC 的接触角为 118° , 二者均大于 90° , 故而锌铝基体合金与 TiC 的接触角必然大于 90° , 这也说明了 TiC_p 与基体不润湿, 即被固液界面所排斥的原因。复合材料在凝固过程中 TiC_p 被界面排斥, 因此 TiC_p 富集在界面前沿的液相中, 而当界面前沿的粒子富集到一定程度时便阻碍界面的运动而被机械地嵌入固相中, 从而形成了带状组织。

3 结论

(1) 在常规凝固条件下, 当 TiC_p 含量较低时, TiC_p 主要分布于共晶相内, 而随着 TiC_p 含量的增多, TiC_p 不仅存在于共晶相内, 而且存在于初生相内。

(2) 在定向凝固条件下, 在 TiC_p 增强锌铝基复合材料的凝固组织中, 存在 TiC_p 聚集的带状组织。这是由于 TiC_p 被凝固界面所排斥, 造成界面前沿 TiC_p 聚集。

(3) TiC_p 在带状组织中的聚集程度与 TiC_p 含量有关, TiC_p 含量增加, 聚集程度减小, 当 TiC_p 含量大于 6% 后, 聚集现象已不明显。

参考文献

- 1 Shangguan D, Ahuja S et al. An analytical model for the interaction between an insoluble particle and an advancing solid/liquid interface[J]. Metallurgical Transactions A, 1992; 23A (2) : 669 ~ 680
- 2 王香, 曾松岩, 张二林等. TiC_p 对 Zn-40Al 合金凝固行为的影响[J]. 中国有色金属学报, 2001; 11 (1) : 36 ~ 40
- 3 吴树森, 中江秀雄. 铝基复合材料中颗粒在凝固界面的行为[J]. 金属学报, 1998; (9) : 939 ~ 944
- 4 Asthana R, Tewari S N. Review the engulfment of foreign particles by a freezing interface[J]. Journal of Materials Science, 1993; (28) : 5 414 ~ 5 425
- 5 刘政, 朱应禄等. 氧化铝纤维对锌合金复合材料凝固宇航材料工艺 2002 年 第 4 期

组织的影响[J]. 中国有色金属学报, 1997;7(1):155~158

6 Lo S H J, Sahoo M et al. Mechanical and tribological properties of zinc-aluminum metal-matrix composites[J]. Journal of Materials Science, 1992; (27):5 681~5 691

7 刘金水, 舒震等. TiC_p/ZA43 复合材料的制备及其拉伸性能[J]. 中国有色金属学报, 1998;4:585~589

8 Sasikumar R, Ramamohan T R. Distortion of the tempera-

ture and solute concentration fields due to the presence of particles at the solidification front-effects on particle pushing[J]. Acta. Metall. Mater., 1991;39(4):517~522

9 Junsheng: LU, David D et al. Analysis of damping in particle-reinforced syerokastuc zinc composites[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 1995;27A(9):2 565~2 572

(编辑 马晓艳)

第四届全国航空航天装备失效分析学术研讨会 征文通知

中国航空学会拟定于 2003 年 5 月在福建省武夷山市召开“全国第四届航空航天装备失效分析学术研讨会”。会议将邀请颜鸣皋、柯伟、徐滨士、杜善义和钟群鹏等院士及一些著名专家到会并作特邀报告。现将会议有关事项通知如下。

一 征文范围

- 失效分析理论与发展
- 失效分析方法及技术
- 材料、电子元器件的失效机理
- 失效预测预防和控制技术
- 失效的模拟与再现技术
- 机械及电子产品的失效案例分析
- 疲劳断裂及其工程应用研究
- 环境断裂及其工程应用研究
- 磨损失效分析及其机理研究
- 复合材料的损伤、断裂与失效分析
- 新材料的损伤行为研究
- 机械与电子产品的寿命预测、可靠性与安全评估

二 征文要求

- 1 应征论文未在国内外正式刊物上发表过及未被全国性会议文集收录过。
- 2 论文作者需提交 5000 字以下的论文全文,包括论文题目、作者姓名、作者单位名称、邮编与通讯地址、摘要、关键词及正文。论文格式参考《材料工程》杂志,论文用 A4 纸打印。
- 3 提交论文的截止日期为 2002 年 11 月 30 日,应征论文请寄:北京市 81 信箱 4 分箱(100095)刘高远、李运菊收。电话:(010)62456622-5046(5040),传真:(010)62456212,E-mail:lgy780407@263.net。
- 4 2003 年元月将向录用论文作者发出第二轮通知。
- 5 录用论文将于 2003 年 5 月在会前以《材料工程》(EI 检索)增刊正式出版。
- 6 会议期间欢迎相关单位展示科研成果、新产品、新技术。