第 16 卷 第 2 期 复 合 材 料 学 报 Vol 16 No. 2
1999 年 5 月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA May 1999

莫来石纤维/ZL 109 复合材料强度分散的统计分析

赵 平 高升吉 陈 睿 董 斌 沈保罗 涂铭旌
(四川大学 金属材料系, 成都 610065)

摘 要 用挤压铸造工艺获得了拉伸强度较高并且强度数据分散度较小的莫来石纤维/ZL 109 复合材料。用Weibull 方法分析该复合材料的拉伸强度值的分布状况, 得到比较大的Weibull 模量。统计分析了复合材料中纤维体积分数和拉伸断口面上的纤维体积分数。结果表明, 纤维的分布在宏观上是随机的而在微观上是不均匀的, 与观察面法线呈小角度的纤维体积分数同与观察面法线成大角度的纤维体积分数比较接近; 在断口面上与拉伸方向呈大角度的纤维体积分数同与拉伸方向呈小角度的纤维体积分数相差较大。认为该复合材料破坏的主要原因在于与拉伸方向呈大角度的纤维与基体的界面脱粘。拉伸强度数据分散的原因在于微观上与拉伸方向呈大角度的纤维分布的不均匀。

关键词 Mullite/ZL 109 复合材料, 统计分析, 界面脱粘
中图分类号 TB333

关于用成本较低的Al_2O_3-SiO_2系短纤维增强铝合金的复合工艺、强度特性等方面的报道较少[1~3], 从中可以看到一个比较普遍的现象, 即由Al_2O_3-SiO_2系的短纤维增强铝合金复合材料的强度在某些条件下低于基体合金, 强度数据的分散度也较大。为此, 本文中用统计方法, 对该复合材料的拉伸强度的高低与分散度进行分析, 并探讨纤维的分布状况对拉伸强度及其分散度的影响。

1 试验材料与方法

试验用基体合金为 ZL 109 (成分为: Si, 11.85%; Cu, 0.98%; Mg, 0.85%; Ni, 0.95%; Mn, 0.09%; Fe, 0.28%)。增强体为洛阳耐火材料研究院生产的莫来石纤维。纤维长度由粉碎工艺保证, 如图 1 所示, 纤维长度主要分布在 0.2~0.6 mm 范围内。纤维用 5% 的硅溶胶作粘接剂制成 Φ80 mm ×22 mm 的预制块, 体积分数V_f= 0.08。预制块烘干后, 经 950 ℃ ×2 h 焙烧。

采用挤压铸造工艺, 工艺参数为: 预制块预热温度, 400~550 ℃; 模具预热温度, 300~400 ℃; 压头预热温度, 150~300 ℃; 浇注温度, 680~750 ℃; 压强 156 MPa; 保压时间, 60 s; 热处理制度: T6。在 8 个挤压批次中得到的复合材料经 3 个热处理批次处理后, 从中截取条状试样若干(截取位置如图 2 所示), 再从中任取 50 条加工得到 50 根拉伸试棒。

按照相同的挤压铸造工艺, 制取基体合金试样; 并加工成拉伸试棒。

将所得的试棒在岛津AG-TA 10 电子拉伸试验机上做室温拉伸试验。

收修改稿、初稿日期: 1997-11-14, 1997-08-04。国家自然科学基金资助项目(59631080)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

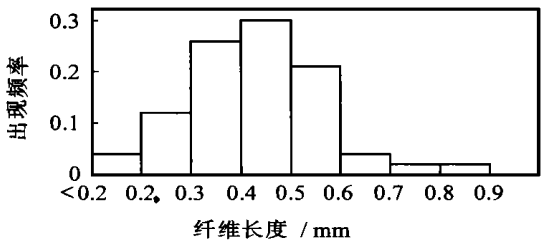

图 1 纤维长度分布

Fig. 1 Distribution of fibre length

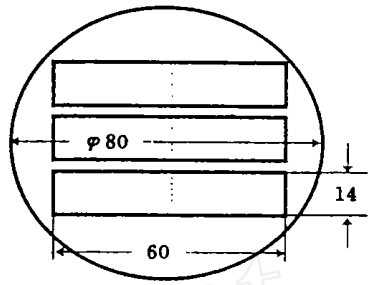

图 2 取样位置

Fig. 2 Schedule of specimens from discs

2 试验结果

测得基体合金拉伸强度数据与 50 个复合材料拉伸强度数据汇于表 1。表中C 代表复合材料,M 代表基体合金。

表 1 拉伸强度数据 Table 1 Data of tensile strength

编号	UTS/MPa	编号	UTS/MPa	编号	UTS/MPa	编号	UTS/MPa	编号	UTS/MPa
C- 1	331.98	C- 13	376.60	C- 25	356.01	C- 37	347.65	C- 49	368.59
C- 2	337.59	C- 14	366.86	C- 26	360.06	C- 38	348.16	C- 50	367.71
C- 3	342.47	C- 15	364.48	C- 27	364.48	C- 39	354.99	C- mean	355.59
C- 4	340.72	C- 16	332.78	C- 28	370.05	C- 40	361.93	C- max	383.29
C- 5	364.24	C- 17	348.19	C- 29	348.26	C- 41	365.22	C- min	310.05
C- 6	383.29	C- 18	364.13	C- 30	339.62	C- 42	359.13	M- 1	361.89
C- 7	351.03	C- 19	382.16	C- 31	311.90	C- 43	340.20	M- 2	363.75
C- 8	364.58	C- 20	351.22	C- 32	315.75	C- 44	333.02	M- 3	362.54
C- 9	342.48	C- 21	320.88	C- 33	370.91	C- 45	368.14	M- 4	362.85
C- 10	355.10	C- 22	351.19	C- 34	350.95	C- 46	310.05	M- mean	362.76
C- 11	355.67	C- 23	325.97	C- 35	360.54	C- 47	338.50	M- max	363.75
C- 12	356.85	C- 24	318.01	C- 36	361.11	C- 48	357.90	M- min	361.88

在如图 2 中虚线所示的位置截取金相试样，并在图中虚线所示的截面上统计分析（随机截取 100 个视场中的纤维为分析对象）与观察面法线呈大角度的纤维(以下简称大角度纤维)和与观察面法线呈小角度的纤维(以下简称小角度纤维)数量。结果显示，小角度纤维体积分数与大角度纤维体积分数在不同视场中的数据相差均很大，前者最小值为 0.027，最大值为 0.158；后者最小值为 0.021，最大值为 0.189；而大角度纤维与小角度纤维的体积分数之比为 0.91。

统计分析 C-6、C-22 及 C-46 试样（分别得到拉伸强度的最大值、平均值和最小值的试样）拉伸断口上的纤维体积分数，得到的结果为：与拉伸方向呈大角度的纤维（也称为大角度纤维）体积分数同与拉伸方向呈小角度的纤维（也称为小角度纤维）体积分数之比分别为 1.26、1.37 和 1.59。说明与拉伸强度值的减小相对应，大角度纤维与小角度纤维的体积分数之比增大，即大角度纤维的体积分数增大。图 3(a)、(b) 和 (c) 分别是试样 C-6、C-22 和 C-46 的断口状况，可以看出三个断口上大角度纤维的体积分数存在明显的差别。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图 3　拉伸断口形貌　　Fig. 3　Distribution of fibres on the fracture

3　讨　　论

3.1　Weibull 分析

为描述和分析相对于平均值并非对称分布的数据,Weibull 分析方法是常用的一种, 通常用下列式子来描述[4]：

$$F_w = 1 - \exp[-(x/\sigma)^{\lambda}] \tag{1}$$

其中, x 是所测的数据(如拉伸强度值), σ 是一个特征值(以拉伸强度为例表示在其值以下所测试样中有 62.8% 的试样会破坏), F_w 是当应力等于或小于 x 值时试样破坏的概率, λ 即Weibull 模量。

整理(1)式, 得到

$$\ln\{\ln[1/(1-F_w)]\} = K + \lambda\ln(UTS) \tag{2}$$

式中,UTS 表示拉伸强度值。根据(2)式, 可以求得Weibull 模量。方法是：作 $\ln\{\ln[1/(1-F_w)]\}$ 与 $\ln(UTS)$ 的关系图, 即得到一直线, 而直线的斜率即 λ, 也就是Weibull 模量。Weibull 模量值越大, 表示数据的分布范围越小, 即数据稳定。图 4 是 $\ln\{\ln[1/(1-F_w)]\}$-$\ln(UTS)$ 关系图。图中的数据点为实际测得的拉伸强度值的对数值, 拟合直线的斜率为 23.5, 即Weibull 模量为 23.5。23.5 小于文献[5]介绍的基体合金(其成分与作者所用基体合金成分相近) 的Weibull 模量(35), 而大于该文献中的复合材料的Weibull 模量值 (7.46)。

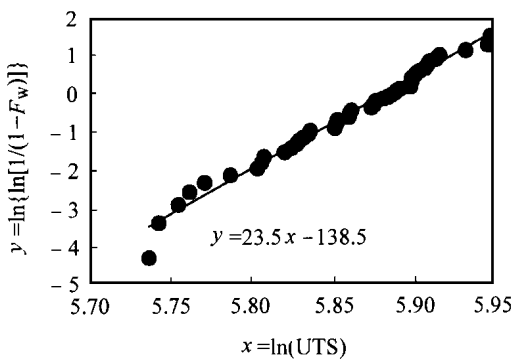

图 4　Weibull 分析图

Fig. 4　Weibull plot

3.2　讨　　论

表 2 收集了有关文献介绍的拉伸强度数据与本试验的拉伸强度数据。表中数据表明, 本试验所获得的拉伸强度值比较高。这说明用莫来石纤维增强 ZL 109 有比较好的增强效果; 同时说明本试验中的工艺参数控制比较好。工艺参数控制较好的另一证明是拉伸强度数据的Weibull 模量比较大(23.5)。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 中的数据还表明, 莫来石纤维/ZL 109 复合材料的拉伸强度最大值大于基体合金的拉伸强度值, 其最小值也比基体合金的数值小得多, 即是在一个比较大的范围内波动。Weibull 模量值等于 23.5 这一事实也表明这种复合材料仍然是一种脆性材料, 复合材料的Weibull 值与一些典型脆性材料相似[5], 其强度数据还是有比较大的分散度。

大角度纤维和小角度纤维的体积分数分别在 0.021～0.189 和 0.027～0.158 之间波动的事实说明纤维的分布在微观上是极不均匀的。而这两种状态纤维平均体积分数很接近(其比值为 0.91), 说明纤维的取向在所观察的面上是随机的。

表 2 拉伸强度数据汇集

Table 2 Data of UTS from references

Alloy	Fibre	V_f	UTS/MPa	
AS12UNG	Saffil	0.10	227	[5]
AS12UNG	Saffil	0.064	267	[5]
Al-5.5Mg	Saffil	0.10	305-335	[6]
Al-Si	Mullite	0.10	299	[2]
ZL 109	Mullite	0.08	310-383	

对比断口上的纤维体积分数比与平均的纤维体积分数比, 可以得到这样的结论, 即断口处的大角度纤维体积分数大于平均的纤维体积分数, 并且越是拉伸强度低的试样断口处的大角度纤维体积分数值越大。所以, 可以认为, 复合材料断裂是在大角度纤维体积分数大于小角度纤维体积分数的地方; 并且纤维分布在微观上的不均匀, 正是复合材料强度数据分散度较大的原因所在, 这与文献[5]的作者在显微结构和断口分析中所发现结构本身的不均匀性是导致性能分散的主要原因是一致的。

从试样的拉伸断口上, 可以看到两种现象: 一是断裂的垂直纤维及包围纤维的基体中的韧窝, 另一种是很多平行于断口面或与拉伸方向呈大角度的纤维。韧窝很小, 纤维断面与韧窝口及基体断面几乎相平, 这同文献[6]中的纤维断裂控制机理所特有的现象相似。而平行的或大角度的纤维即平行纤维的出现, 则应属于该文献中的界面或基体控制机理, 即断裂主要是由于界面脱粘造成的。由于在断口上的大角度纤维体积分数远远大于小角度纤维的体积分数, 可以认为, 莫来石纤维/ZL 109 复合材料的断裂主要是由于界面破坏所致。

4 结 论

(1) 挤压铸造法获得的莫来石纤维/ZL 109 复合材料中纤维的取向在平行于挤压方向的面上是随机分布的。

(2) 莫来石纤维/ZL 109 复合材料室温下的断裂以与拉伸轴垂直或呈大角度的纤维与基体脱粘所引起的破坏为主。

(3) 莫来石纤维/ZL 109 复合材料拉伸断口上的垂直于拉伸方向或与拉伸方向呈小角度的纤维体积分数远远大于平行于拉伸方向或与拉伸方向呈大角度的纤维体积分数; 这也是导致该复合材料断裂的主要原因。

(4) 与基体合金相比, 该复合材料的抗拉强度存在着较大的分散性。

参 考 文 献

1 张茂勋, 陈 晓, 钱匡武, 等. 复合材料学报, 1997, 14(1): 15

2 周耀民, 李贤淦, 陈美怡. 复合材料学报, 1995, 12(4): 12

3 KAVECKY S, SEBO P. Journal of Materials Science, 1996, 31: 757～764

4 Green N R, Campbell J. Materials Science and Engineering, 1993, A173: 261～266

5 Garcia-Romero A, Alberdi X, Tezanos J, et al. Journal of Materials Science, 1995, 30: 2605～2609

6 张吉喜, 杨 川, 刘世楷. 复合材料学报, 1997, 14(1): 33

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

STATISTICAL ANALYSIS OF THE TENSILE STRENGTH OF A MULLITE SHORT-FIBRE-REINFORCED ALUMINIUM COMPOSITE

Zhao Ping　Gao Shengji　Chen Rui　Dong Bin　Shen Baoluo　Tu Mingjing
(Dept. of Metal Materials, Sichuan University, Chengdu 610065)

Abstract　This paper presents a statistical evaluation of the tensile strength of the mullite short-fibre-reinforced aluminium composite, which was produced by squeeze casting, by means of Weibull statistics. The result shows that the material has a high and reliable tensile strength. Volume fractions (V_f) of fibres in the material and on the fracture have been statistically analyzed. The spread of fibres shows a heterogeneity in microstructure. Two kinds of fibres, one making a small angle with the normal of the observed surface or with the tensile direction and another making a big angle with that, have hardly equal V_f. The latter has a larger V_f than the former, and the larger the V_f on the fracture, the less the tensile strength. The reason that the composite fails is the debonding of interface between the large-angle-fibre and the matrix. The reason that the strength distributes in a certain range is the heterogeneity of the large-angle-fibres.

Key words　mullite/ZL 109 composite, statistical analysis, debonding of interface

(上接第 56 页)

第二, 是个普遍的课题, 关于组织者的实务准备还有二点改善的余地。首先是参加者很关心的论文集问题。会场上发放的论文集是 4 册带硬皮总页数超过 2000 页的大家伙, 能放进背包中, 但仅从其分量上说要搬运它就需要相当的体力。今后无论从经费还是从方便出发, 希望采用其他会议最近采用的发放 CD-ROM 的方式, 并且是仅收费提供给想要的参加者。其次是准备阶段充分利用 Internet 的问题。ECCM 的网页准备能够让参会者在网上报名及预约宾馆, 但是该网页是委托业者制作的, 设计上下功夫不够, 使用不方便。

2　第 2 届日法智能材料/结构研讨会(增田千利, 金属材料技术研究所)

1998 年 7 月 1 日～3 日, Second Japan-France Seminar on Intelligent Materials and Structures 在法国斯特拉斯保的 L. P 大学举行。上次第 1 届会议 1997 年在仙台召开, 是参加人数较少的会议, 日方约 20 人, 而从法国来的包括在法日本人在内也是 20 人左右。

会议由 5 个专题构成: (1) Active control of flows and heat transport, (2) Functional materials and structures, (3) Multi-control of smart process monitoring, (4) Health monitoring, (5) Actuation and controllability。各专题都有基调讲演和一般讲演。

会议讲演给人一种印象, 日方发表的论文以相当具体的讲演为多, 如智能复合材料制造方法及其应用等; 法方则是除数学领域之外很具体的讲演很少。

下次会议将在日本举行(以东海大学的西先生为中心筹备)。

(下转第 72 页)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net