第 16 卷 第 1 期 复 合 材 料 学 报 Vol 16 No. 1
1999 年 2 月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA February 1999

超声波对 F-12/环氧复合材料力学性能的影响

刘 丽 黄玉东 张志谦 左志军 万绍群
(哈尔滨工业大学410信箱, 哈尔滨 150001)

摘 要 界面强度较弱是影响芳纶/环氧复合材料力学性能发挥的重要因素。本文采用超声技术在 F-12/环氧浸润过程中增加树脂对纤维的浸润性, 从而改善复合材料的界面性能。探讨了超声最佳处理参数, 着重研究超声对复合材料力学性能的影响。

关键词 芳纶/环氧复合材料, 超声技术, 层间剪切强度, 拉伸强度
中图分类号 TB324, V258

芳纶/环氧复合材料具有比强度高、比模量高以及优良的化学稳定性和耐磨性等性能, 在复合材料领域得到了迅速发展。然而, 由于芳纶纤维表面光滑, 表面能低, 使其与树脂复合后的界面强度较低, 最终影响了复合材料力学性能的发挥。因此, 对芳纶纤维进行表面处理以及改善纤维与树脂界面强度一直是复合材料领域中颇受重视的问题。目前, 提高芳纶纤维增强复合材料界面强度的技术多处于研究阶段, 主要是进行纤维的表面改性。其中化学改性[1~2]和等离子体处理[3~4]是研究较多的。但是这两种方法都有一定的缺点: 化学改性技术尽管可以提高材料的界面强度, 但是在处理过程中纤维的本体强度降低, 从而使材料的强度降低; 等离子体改性技术存在着纤维处理之后必须进行复合的问题, 否则将发生退化效应, 使处理效果不明显。而且在处理过程中需保持一定的真空度, 条件比较苛刻。本文建立了一套超声系统, 采用超声技术对复合材料的界面进行改性。研究了不同超声振幅条件下超声波对复合材料的拉伸强度、层间剪切强度(ILSS)的影响, 确定了最佳处理参数。这种方法不影响纤维的本体强度, 而其力学性能显著提高, 且可在复合材料生产过程中进行处理。

1 实验部分

1.1 NOL 环的制备

以 F-12纤维为增强体, E-51环氧酸酐为固化体系, 采用湿法在缠绕机上直接制备NOL环。

1.2 超声处理

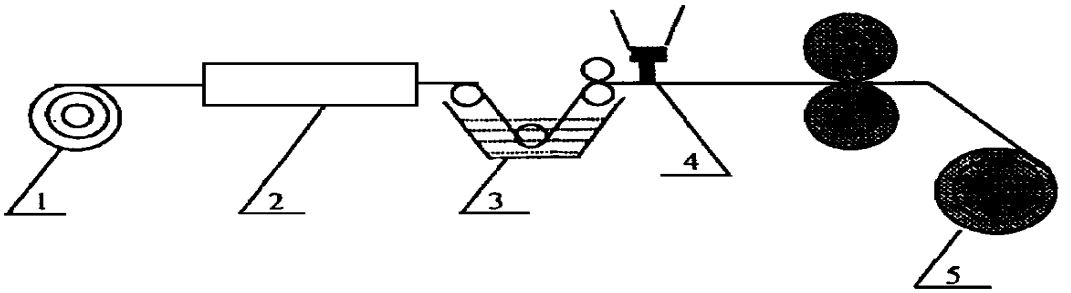
采用图1装置, 调节超声振幅在32~80μm 间对正在运行的材料进行处理。

1.3 微脱粘实验

采用哈尔滨工业大学研制的微脱粘仪 HIT-200对未处理样品和经超声处理样品进行界面微脱粘力的测定。

收修改稿、初稿日期: 1998-09-14, 1998-07-23

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



1—fiber 2—drying oven 3—resin bath 4—ultrasound agitator 5—coiler

图1 NOL 环的超声处理过程

Fig. 1 Treating process of NOL hoop using ultrasound

1.4 力学性能测试

在WE-50B 型液压万能实验机上按照GB 1461-88对未处理样品和经超声处理样品进行层间剪切实验。在LS-50B 拉伸实验机上按照GB 1458-88对未处理样品和经超声处理样品进行拉伸实验。

1.5 SEM 分析

采用 Stereoscan240对层间剪切和拉伸破坏的样品断口进行分析。

2 实验结果

2.1 超声作用对复合材料界面性能的影响

2.1.1 超声对复合材料界面微脱粘力的影响

采用微脱粘测试方法, 测定了脱粘率为50% 时的力值 $F_{(50)}$, 如图2所示。可以看出: 超声处理后, 复合材料的 $F_{(50)}$ 都大于未处理样品。在振幅为44μm 时, $F_{(50)}$ 达到最大值19.6mN, 比未处理样品提高了40%。

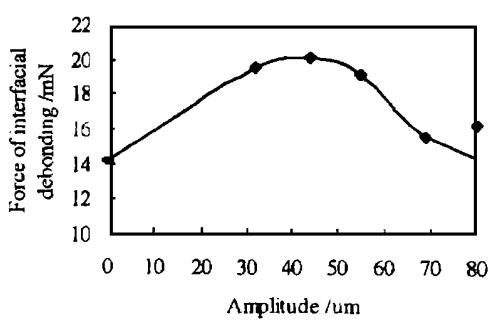


图2 超声振幅与界面脱粘50% 时力值的关系

Fig. 2 The relation between ultrasonic amplitude and debonding force

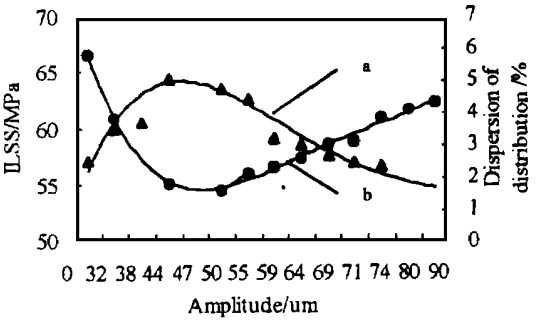


图3 不同振幅下复合材料的层间剪切强度(a)和分散系数(b)

Fig. 3 ILSS(a) and dispersion of distribution(b) at the different amplitude

2.1.2 超声对复合材料层间剪切性能的影响

将不同振幅条件下制备的NOL 环进行层间剪切实验, 所得结果如图3所示。可以看出: 经超声处理的NOL 环的 ILSS 值都大于未处理的样品。随着超声振幅的增加, ILSS 逐渐升高,

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

在振幅44～55μm 之间层间剪切强度值最大, 可达63.5M Pa, 比未处理提高11.2%。随后, ILSS 呈下降趋势。振幅达到71μm 以后, ILSS 低于未处理样品。

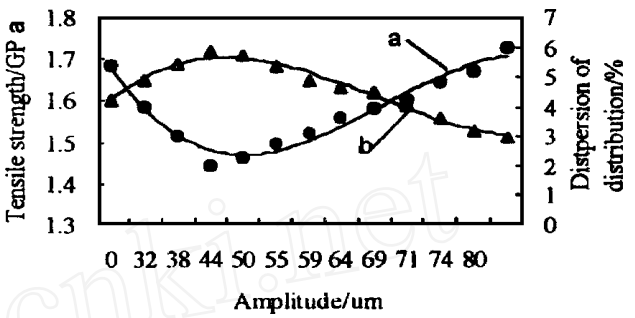
2.2　超声作用对复合材料拉伸性能的影响

从图4可以看出: 随着振幅的增加, 材料的拉伸强度变化趋势与层间剪切强度一致。至振幅为44μm 时达到最大值, 与未处理样品相比, 提高了7%。

3　讨　　论

3.1　超声对F-12/环氧复合材料力学性能的影响

超声作用使材料的力学性能提高, 主要是由于超声波作用于浸胶后的纤维时, 在树脂中产生"空化效应"[5～6], 即树脂受到超声波交变声场的作用, 在声波的负压相内, 树脂受到拉应力, 其中微小的气泡随着该拉应力的增长而长大, 在相继而来的声波正压相内, 这些空穴或气泡将被压缩, 超过一定强度的超声波将使它们以极高的速度崩溃, 产生空化效应。同时, 超声波的负压相可以产生强大的抽吸作用, 能除去纤维表面吸附的杂质及氧化物, 使其表面能提高, F-12纤维与树脂间界面粘接性能因此得以改善。并且, 随着超声波振幅的增加, 超声波的作用能量增加, 空化效应的除气作用和抽吸作用增强。因此, 复合材料的层间剪切强度和拉伸强度随着振幅的增加而增加。但是当超声波振幅过高, 超声波的能量增大到足以产生气蚀作用时, 不但不能减少树脂浸渍纤维过程中产生的气泡, 反而由于超声波对树脂的微扰引入了更多的气泡, 使复合材料界面粘接性能降低, 从而在较高振幅条件下, F-12/环氧的 ILSS 和拉伸强度降低。因此, 在振幅44μm 之前, 由于超声作用以空化效应为主, 使得复合材料的 ILSS 和拉伸强度都随振幅的增加而增加。当振幅为44μm 时, 分别比未处理的样品提高11.2% 和7%。随后, 由于超声能量的增强, 气蚀作用上升为主要影响因素, 复合材料的界面粘接强度由于气泡的增多而降低, 从而 ILSS 和拉伸强度随振幅的增加反而降低了。当振幅超过71μm 时, 超声处理后复合材料的 ILSS 和拉伸强度都低于未处理的样品。



a—拉伸强度变化曲线　　b—分散系数变化曲线

图4　不同振幅下复合材料的拉伸性能

Fig. 4　The tensile strength at the different amplitude

3.2　复合材料破坏断口的 SEM 分析

图5中(a)、(b)分别为未经超声处理和超声处理NOL 环层间剪切破坏的断口形貌。可以看出: 未处理样品的断口主要以界面破坏为主, 伴随着少量的原纤化破坏。而超声处理后样品的断口表现为纤维表面粘有大量的树脂和纤维的皮层, 说明纤维表面与树脂粘接较好, 界面粘接性能较高。图6为拉伸破坏的断口形貌, 未处理样品的断口表现为大部分纤维从基体中脱粘以及少量的纤维原纤化, 表明未处理样品在拉伸破坏时, 主要发生在强度较低的界面上。而超声处理后样品的断口为大量纤维的原纤化破坏, 而界面粘接较好。说明超声处理的NOL 环界面粘接性能较高, 破坏主要发生在树脂和纤维上。从层间剪切和拉伸破坏样品的 SEM 分析可以看出, 由于空化效应, 超声处理的确增加了树脂浸润纤维的表面积, 提高了浸润性, 使得复合材料的界面粘接性能提高。

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

(a) 未处理样品 (b) 超声处理样品

图5 复合材料层间剪切破坏样品的SEM 形貌

Fig. 5 SEM of composites photograph after interlaminar shear fracture

www.cnki.net

(a) 未处理样品 (b) 超声处理样品

图6 复合材料拉伸破坏样品的SEM 形貌

Fig. 6 SEM photograph of composites after tensile fracture

4 结 论

(1) 超声处理后材料的界面脱粘50%时的力值,比未处理样品提高了40%;在振幅为44μm 时,层间剪切强度为最大,比未处理样品提高11.2%,而分散系数最小,从未处理样品的6.2%降低至1.7%。

(2) 对于复合材料的拉伸性能,超声处理后样品的拉伸强度达到1.72GPa,比未处理样品提高7%。

(3) 剪切和拉伸破坏的SEM 表明,超声处理后的样品界面粘接较好。

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

参 考 文 献

1 Tarantili P A, Andreopoulos A G. Mechanical properties of epoxies reinforced with chloride-treated aramid fibers. *J Applied Polymer Science*, 1997, 65: 267～276

2 Chou C T, Penn L S. Chemical bonding and physical interaction by attached chains at the fiber-matrix interface. *J Adhesion*, 1991, 36: 125～137

3 Wu S R, Sheu G S, Shyu S S. Kevlar fiber-epoxy adhesion and its effect on composite mechanical and fracture properties by plasma and chemical treatment. *J Applied Polymer Science*, 1996, 62: 1347～1360

4 Plawky U, Londschien M, Michaeli W. Surface modification of an aramid fiber treated in low-temperature microwave plasma. *J Material Science*, 1996, (31): 6043～6053

5 赵克熙. 宇航材料工艺, 1995, (5): 8～19

6 Konocob A E. МЕХАНИКА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, 1989, (1): 96～102

EFFECT OF ULTRASONIC ON THE MECHANICAL PERFORMANCE OF F-12/EPOXY COMPOSITES

Liu Li　Huang Yudong　Zhang Zhiqian　Zuo Zhijun　Wan Shaoqun

(Department of Applied Chemistry, P. O. Box 410, Harbin Institute and Technology Harbin 150001)

Abstract　The weak interfacial strength is the important factor influencing the mechanical performance of aramid/epoxy composites. In this paper, the ultrasonic technique is applied to increase the impregnation of the resin during resin impregnating aramid fiber, which improves the interfacial properties of the composites. The optimal parameter of treatment is studied, emphasizing on the research of the effect of the ultrasonic treatment on the mechanical performance of composites.

Key words　aramid/epoxy composites, ultrasonic technique, interlaminar shear strength, tensile strength

第三届中日复合材料交流会将在杭州召开

本刊讯: 由中国复合材料学会和日本复合材料学会对口进行的第二届中日复合材料交流会, 1998年10月21～23日如期在西安举行, 前来参加交流会的日方代表比第一届交流会增多, 达15人, 包括本届会长、上届会长、国际交流部长以及诸多复合材料界知名人士。双方代表对会上会下交流、会前会后的参观游览表示满意, 对会务承担者中国复合材料学会树脂基复合材料分会的周到安排表示感谢。告别晚会后代表们仍热烈交谈, 依依惜别, 希望在下一次交流会上再见面。

经双方协商, 第三届中日复合材料交流会定于1999年11月初在杭州(或附近)举行, 会议规模会比第二届扩大, 详细事宜在继续联系中。

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