第 11 卷 第 4 期 复 合 材 料 学 报 Vol. 11 No. 4
1994 年 12 月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA Dec. 1994

SiO_2 空心微球复合材料力学性能的实验研究①

蔡小烨 梁小清 尚嘉兰
(中国科学院力学研究所,北京 100080)

摘 要 本文对三种不同密度的 SiO_2 空心微球/环氧树脂复合材料进行了静态压缩性能的实验测定和断口形貌分析,并对其结构形态与破坏过程作了微观适时观察。实验是在 Instron 材料试验机和带加载台的扫描电镜上进行的。除测得上述材料的弹性常数和抗压强度外,还根据微观观察的结果,对三种材料在压缩载荷作用下不同的破坏形态、变形特点、粘结强度和破坏模式等进行了初步分析和讨论。

关键词 SiO_2 空心微球复合材料,单轴压缩,适时观察,破坏形态

1 引 言

由于 SiO_2 空心微球复合材料能有效地吸收冲击波,所以可成为航天器、核防护和武器上抗冲击的一种新型防护材料。这种材料在高速冲击下的动态力学性能已引起人们的兴趣[1]。

关于空心微球填充复合材料的动态力学性能,目前国内外的有关研究还很少[2,3]。关于静态力学性能的实验和理论研究虽有一些报导,但多侧重于一些价廉材料的研究与开发[4,5]。本文探讨 SiO_2 空心微球/环氧树脂复合材料的静态压缩性能,对结构形态与破坏过程作了微观观察,其目的在于对此材料有一基本认识,可为动态性能的研究提供必要的材料参数。

2 材料与试验方法

试验材料是由 SiO_2 空心微球和环氧树脂制成的复合材料。其制备过程是把 SiO_2 空心微球加入到作为基体材料的环氧树脂中,在搅拌均匀后注入模子,作常温固化。改变微球与基体材料的重量比,可得到不同密度的 SiO_2 空心微球复合材料。本试验采用三种密度的材料,其微球与基体的重量比和体积比列于表 1。最大空心微球的尺寸,其外径约为 100μm,内径约为 90μm。由于材料在制作过程中,不可避免或多或少地含有间隙和空洞(尤其是低密度材料),表中所列空心球体积一项包括间隙和空洞所占体积。

静态单轴压缩实验中,三种密度材料均采用圆柱形试件。试件尺寸的直径为 15mm,柱高 30mm。试验在 10 吨 Instron 试验机上进行。试验加载形式如图 1(a)所示。试件外壁沿 z 方向和 θ 方向分别粘贴应变片以测量加载过程中轴向和径向的应变值 ε_z 和 ε_θ。

载荷值通过 Instron 机器自动画图装置给出。ε_z 和 ε_θ 分别通过应变片外接 XY 笔记录仪给出。为了减少端部摩擦对试验结果的影响,在试件两端涂上黄油,以减少压头与试件端部的

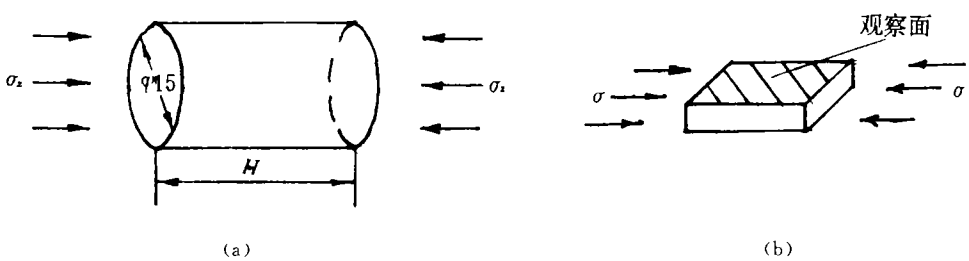
① 本文 1993 年 6 月 24 日收到,国家自然科学基金资助项目

表 1 三种密度材料中空心微球与基体的重量比和体积比

材料密度(g/cm³)	0.60	0.76	0.90
空心球重量/环氧树脂重量	62.5/37.5	40/60	25/75
空心微球体积/环氧树脂体积	81.2/18.8	61.9/38.1	43.7/56.3

摩擦力。实验后在 S570 扫描电镜上对压坏的圆柱试件进行断口观察。

此外，还在 S570 扫描电镜上利用加载台观察了三种密度材料试件表面压缩破坏的全过程。试件尺寸为 12×8×5mm 的长方体。加载形式如图 1(b)所示。

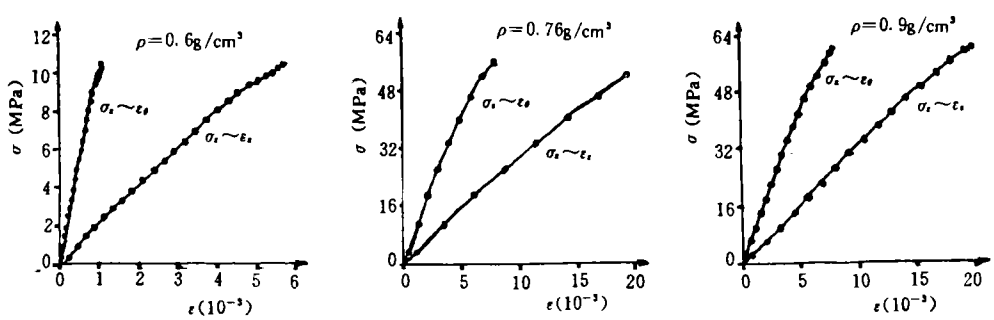


(a) (b)

图 1 试件和加载方向的示意图

3 静态单轴压缩试验结果

根据机器记录的载荷及对应的应变值，可给出 σ_z-ε_z 和 σ_z-ε_θ 曲线(见图 2)。由图 2 可见，三种材料的 σ_z-ε_z 曲线和 σ_z-ε_θ 曲线均有一线性段和一非线性段，直至破坏。



(a) (b) (c)

图 2 应力－应变关系曲线

通过 σ_z-ε_z 曲线中线性段的斜率可得杨氏模量 E。

泊松比 $\nu=|\varepsilon_\theta/\varepsilon_z|$

体积模量 $K_0=E/3(1-2\nu)$

取试件所能承受的最大压应力作为材料的抗压强度 σ_f。

表 2 中给出了三种材料的弹性常数和抗压强度。

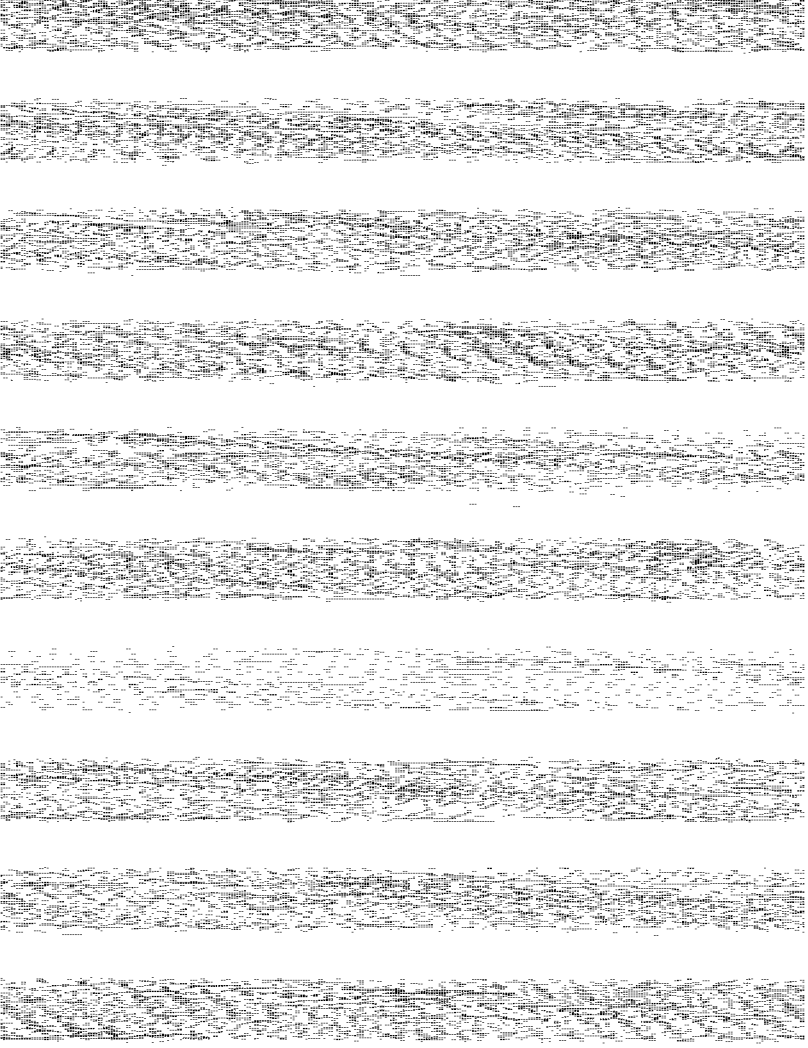
的[illegible]材料（a）/（b）[illegible]

面的显微结构　图3　初始磨光

[illegible]　4.1　破坏形态的描述

[illegible]是[illegible]

[illegible]



5 结　论

(1)三种密度材料的 σ_z-ε_z 和 σ_z-ε_θ 关系曲线均由一段较直线性段和一段非线性段组成。

(2)随着材料密度的增加，材料的弹性模量 E、泊松比 ν、体积模量 K_0 和最大抗压强度 σ_f 均依次增加，材料的粘结强度也依次增大，塑性亦依次增大。$\rho=0.6\text{g/cm}^3$ 的材料呈脆性。

(3)三种密度材料受压时的主要破坏方式从宏观上看均为 45°剪断，属于剪切破坏。从细观上看，$\rho=0.9\text{g/cm}^3$ 材料中空心微球的破坏决定着整个材料的破坏；而 $\rho=0.76\text{g/cm}^3$ 和 $\rho=0.9\text{g/cm}^3$ 的材料中基体的破坏导致整个试件的破坏。

致谢：在此对参与实验工作的绳纲、李端义同志和给予有益指导的王震鸣与赵士达教授表示感谢。

参 考 文 献

1 沈乐天，徐素珍，陈淑霞. 力学学报. 1994；26(2)：208－214

2 沈乐天，徐素珍，宋林西，陈淑霞. IUTAM 学术讨论会，冲击动力学论文集. 北京，1993；10

3 Weirick L J. in Shock compression of condeised matter－1991，Chapter Ⅱ，Ed. S C Schmidt et al. Elsevir science publishers B. V，1992：99－102

4 汤羽，张培源，严波. 重庆交通学院学报，1990；9(1)：40－44

5 汤羽，汤国栋. 复合材料学报，1991；8(4)：81－87

EXPERIMENTAL STUDIES OF MECHANICAL PROPERTIES OF SiO_2 MICRO－BALLON COMPOSITES

Cai Xiaoye　Liang Xiaoqing　Shang Jialan

(Institute of Mechanics，Chinese Academy of Sciences，Beijing 100080)

Abstract　The static compressive characteristics of glass micro-ballon/epoxy composites of three different densities were experimentally determined and their fractographs were analysed. In-site observations of the micro-structure during the fracture process were carried out. Experiments were done on Instron testing machine and SEM with its loading stage. The elastic constants and ultimate compressive strengths of the materials were determined. Based on the results of the micro-observations, the fracture patterns, deformation features, bonding conditions and the way of fracture of the materials were discussed.

Key words　SiO_2 micro-ballon composite, in-site observation, uniaxial compression, deformation feature