

可降解餐具动态响应数值分析

邱本花, 姚青华

(郑州科技学院, 郑州 450064)

摘要: **目的** 分析植物纤维材料制成的可降解餐具容器抗冲击性能, 建立其跌落动态有限元模型。**方法** 利用万能试验机对植物纤维片材进行拉伸试验, 得到其本构行为; 建立餐具容器有限元模型, 利用 ABAQUS/Explicit 研究餐具容器在平、斜跌落 2 种冲击载荷下的破损规律。**结果** 在平跌落情况下, 底部出现了放射性的裂纹, 这是由植物纤维断裂演化的应变较小导致; 斜跌落相较于平跌落失效情况更严重。**结论** 所得结果能为评估餐具容器的动态强度提供数据参考。

关键词: 植物纤维; 餐具容器; 跌落冲击; 失效

中图分类号: TB489 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)11-0107-04

Numerical Analysis on Dynamic Response of Biodegradable Tableware

QIU Ben-hua, YAO Qing-hua

(Zhengzhou University of Science and Technology, Zhengzhou 450064, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze the shock resistance of biodegradable tableware container made of plant fiber materials and establish its dynamic finite element model for the dropping. Tensile test of plant fiber sheet was done with universal testing machine, and its constitutive behavior was obtained; the finite element model for tableware container was established, and the damage law of tableware container under impact load from flat dropping and oblique dropping was researched through ABAQUS/Explicit. In the case of flat dropping, radioactive crack appeared at the bottom, which was caused by less strain of fracture evolution of plant fiber; and in the case of oblique dropping, the failure was more serious than flat dropping. The results obtained can provide data reference for the evaluation of dynamic strength of the container.

KEY WORDS: plant fiber; tableware container; drop impact; failure

植物纤维是从玉米、水稻及小麦等秸秆废弃物提炼出来的, 已用于发泡材料的增强剂^[1-2]。传统塑料泡沫依赖石油资源, 可再生性受限, 植物纤维泡沫随即出现, 其资源丰富, 具有可降解性和水溶性, 用其制造工业用品, 对替代塑料泡沫具有重要意义^[3-5]。近年来, 国内学者刘天舒^[6]研究了植物纤维热压成形上模温度、加压压力和加压时间的规律, 制作了可降解餐具碗。在此基础上, 高德^[7]分析了餐具容器在静载荷作用下的力学性能, 得到了碗的破坏方式及其力学响应。在评价包装产品的强度方面, 一般要研究其关键部件的响应。例如 KIM^[8]把电子产品分为刚体件与易损件, 并用有限元软件得到产品的动态应力云

图。WANG^[9]和 ZHOU^[10]等分别建立质量-弹簧模型、简支梁易损件模型来研究脉冲与易损件应力、加速度响应关系。餐具碗是由均一材料制成, 不像电子产品具有产品主体和关键部件的特点^[8-11]。在植物纤维材料组成的容器中, 植物纤维材料的强度是研究容器抗摔性能的唯一依据。

文中在文献[7]的基础上继续研究可降解餐具碗的力学性能, 建立可降解餐具容器的模型, 计算餐具容器平跌落响应和餐具容器斜跌落响应, 为可降解餐具碗的成形工艺提供相关数据。这里利用植物纤维的拉伸力学性能, 得到其力学性能, 并借助 ABAQUS//Explicit 中的 Ductile damage 失效模型, 对可降解餐

收稿日期: 2016-11-11

作者简介: 邱本花 (1982—), 女, 硕士, 郑州科技学院讲师, 主要研究方向为非线性动力系统和数值分析。

具碗的跌落冲击响应进行研究。

1 餐具材料力学性能

对可降解植物纤维材料进行拉伸试验,并参考文献[7]中的试验方法。截取材料的宽度为 10 mm,在万能试验机以 1 mm/min 的速度对片材进行拉伸试验,得到其应力-应变曲线,见图 1。可以看出曲线有线弹性阶段(OP)、塑性和应力强化阶段(PQ)及断裂阶段(QS),R 点对应材料的失效萌生点,材料呈现理想的弹塑性模型。对于失效模式,可以利用 ABAQUS/Explicit 中的 Ductile damage 失效模型对可降解餐具进行动态分析。材料的力学性能:弹性模量为 0.45 GPa,泊松比为 0.3,屈服强度为 6.25 MPa,断裂应变为 0.0053,断裂应力为 19.9 MPa^[7]。弹塑性材料的失效应力-应变关系见图 2。

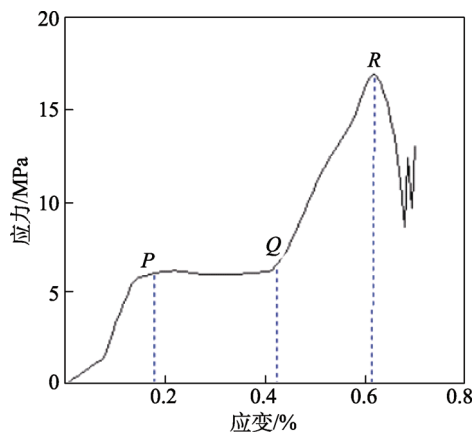


图 1 植物纤维材料应力-应变关系

Fig.1 The stress-strain relationship of plant fiber

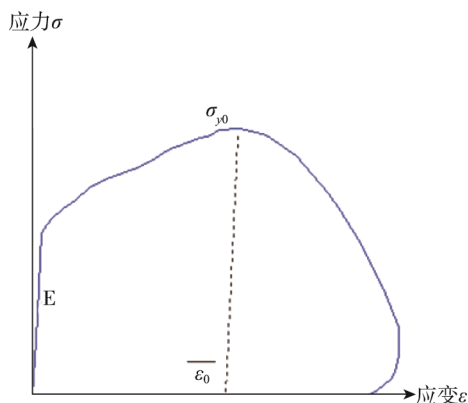


图 2 失效应力-应变关系

Fig.2 The stress-strain relationship of ductile damage

2 餐具容器有限元模型

运用 ABAQUS/Explicit, 建立餐具容器有限元模型^[12-18], 见图 3。设置弹性模量 E 为 3.15 GPa, 泊松比为 0.17, 根据 Ductile damage 模型^[8], 设置开始破损时的等效塑性应变 $\bar{\epsilon}_0$ 为 0.0053, 设置完全破损时的等效塑性应变 $\bar{\epsilon}_f$ 为 0.0055。根据等效塑性位移

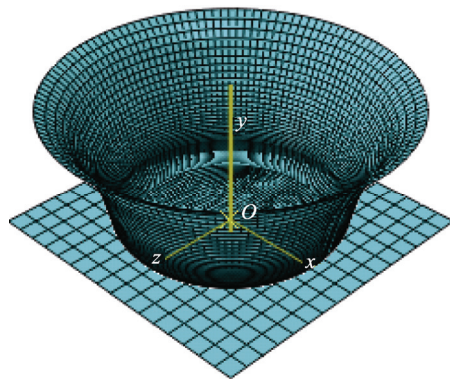


图 3 设计容器的有限元模型

Fig.3 Finite element model of plant fiber bowl

$s_f = \bar{\epsilon}_f \cdot L$ 分析载荷下的破损规律 (L 为网格特征长度)。设计地面为三维离散刚体, 容器壁厚为 1.2 mm, R3D4 单元形式。

3 讨论与分析

3.1 餐具容器平跌落响应

对餐具容器向下施加 4.5 m/s 的速度, 进行有限元分析, 这个初速度相当于 1 m 高度位置的自由跌落, 计算结果中未见裂纹出现。位置 1 的坐标为(90 mm, 0 mm, 10 mm), 位置 2 的坐标为(110 mm, 0 mm, 20 mm), 位置 3 的坐标为(125 mm, 0 mm, 30 mm)。3 个不同位置的应力-时间响应见图 4, 可以看出, 这些部位均未达到断裂应力失效值, 对于位置 2 和位置 3, 也没有达到屈服强度, 所有位置都处于线弹性阶段。0.16 ms 时容器的应力云图见图 5, 最大值发生在容器与地面接触的地方, 为 18.86 MPa。

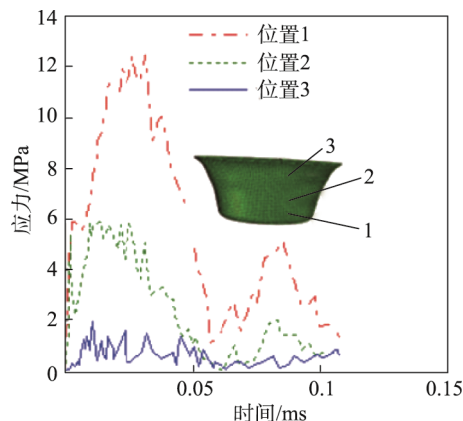


图 4 容器不同位置应力-时间响应

Fig.4 Stress-time history of plan container at different locations

速度为 6 m/s 时餐具 2 个位置的应力响应见图 6, 容器底部出现 5 条放射性的裂纹, 裂纹尖端, 即坐标为(65 mm, 34 mm, 0 mm)位置处应力值发生大幅下降, 并将至 0, 表示容器被破坏, 可能是因为植物纤维断裂, 应力值急速变小。坐标为(-3 mm, 8.5 mm, 0 mm)处的应力随时间变化的曲线表明, 这个位置还未出现破坏现象。

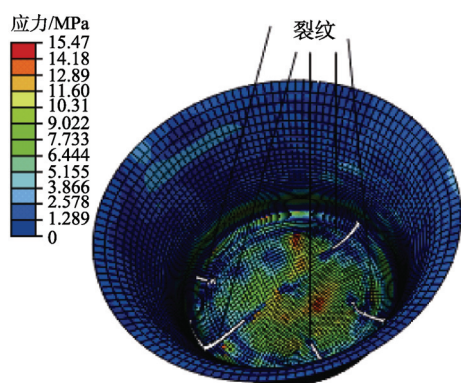


图 5 6 m/s 时餐具容器应力云图

Fig.5 Stress nephogram of bowl when velocity is 6 m/s

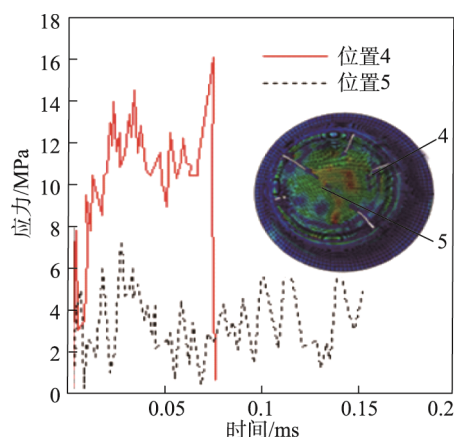


图 6 6 m/s 时餐具 2 个位置的应力响应

Fig.6 Stress history of bowl at 2 positions when velocity is 6 m/s

3.2 餐具容器斜跌落响应

对容器餐具沿竖直轴旋转 45° , 并对其施加 4.5 m/s 的速度, 得到餐具容器的动力学响应, 其应力云图见图 7, 可知容器已经发生破坏。这是由于容器与地面的接触面积小, 在接触处应力较大, 超过了餐具碗材料的强度。斜跌落时不同位置应力响应见图 8, 坐标为(75 mm, -33 mm, 0 mm)处的应力明显高于坐标为(80 mm, 34 mm, 0 mm)和(73 mm, -31 mm, 0mm)处的应力。

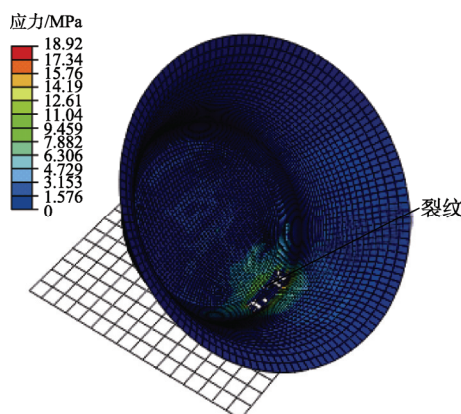


图 7 4.5 m/s 时餐具容器应力云图

Fig.7 Stress nephogram of bowl with the velocity of 4.5 m/s

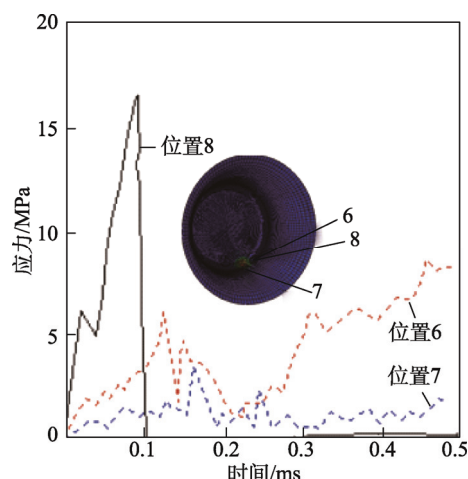


图 8 斜跌落时不同位置应力响应

Fig.8 Stress history of bowl subject to oblique loading at different positions

由计算可知, 当植物纤维餐具平跌落时, 可以承受 4.5 m/s 速度的冲击载荷, 相当于 1 m 的跌落高度。当速度大于 4.5 m/s 时, 餐具容器底部发生放射性的裂纹。当植物纤维餐具以 45° 斜跌落时, 植物餐具容器的变形模式呈现为局部破坏现象。

4 结语

利用 ABAQUS/Explicit 的 Ductile damage 失效模型, 研究了餐具容器在平、斜跌落 2 种冲击载荷下的动态响应, 并分析了跌落速度对容器的影响规律。结果表明, 餐具平跌落情况下, 在底部出现了放射性的裂纹, 这是由于植物纤维断裂演化的应变较小导致的; 在斜跌落的情况下, 比平跌落情况下失效更严重, 这是由于容器与地面的接触面积较小所造成的。文中试验为可降解餐具碗的成形工艺提供相关数据。

参考文献:

- [1] KONAR S K, GU R, SAIN M. Preparation and Characterization of Baked Nitrile Latex Foam Reinforced with Biomasses[J]. Industrial Crops & Products, 2013, 42(1): 261—267.
- [2] 熊志远, 张俊彦, 毛快. 密度和应变率对聚苯乙烯泡沫(EPS)准静态压缩力学行为的影响[J]. 材料科学与工程学报, 2007, 25(4): 606—608.
XIONG Zhi-yuan, ZHANG Jun-yan, MAO Kuai. Effects of Density and Strain Rate on Quasi-static Compressive Behavior of EPS[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2007, 25(4): 606—608.
- [3] KAISANGSRI N, KERDCHOECHUEN O, LAOHA-KUNJIT N. Biodegradable Foam Tray from Cassava Starch Blended with Natural Fiber and Chitosan[J]. Industrial Crops & Products, 2012, 37(1): 542—546.
- [4] CHIELLINI E, CINELLI P, ILIEVA V I, et al. Envi-

- ronmentally Compatible Foamed Articles Based on Potato Starch, Corn Fiber, and Poly(Vinyl Alcohol)[J]. *Journal of Cellular Plastics*, 2009, 45(1): 17—32.
- [5] QIU J F, ZHANG M Q, RONG M Z, et al. Rigid Bio-foam Plastics with Intrinsic Flame Retardancy Derived from Soybean Oil[J]. *Journal of Materials Chemistry A*, 2013, 1(1): 2533—2542.
- [6] 刘天舒, 李树君, 景全荣. 植物纤维餐具干法热压成型工艺响应面法优化[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(9): 116—119.
- LIU Tian-shu, LI Shu-jun, JING Quan-rong. Optimization of Plant Fiber Tableware Dry-hot Molding Process Using Response Surface Methodology[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(9): 116—119.
- [7] 高德, 景全荣, 徐锋. 玉米秸秆包装容器压缩性能分析[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(3): 117—120.
- GAO De, JING Quan-rong, XU Feng. Compression Property Analysis of Plant Straw Packaging Container[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(3): 117—120.
- [8] KIM S C, CHO D G, KIM T G, et al. Finite Element Analysis for Shock Resistance Evaluation of Cushion-Packaged Multifunction Printer Considering Internal Modules[J]. *Journal of Electronic Packaging*, 2013, 135(4): 41—44.
- [9] WANG Z, JIANG J. Evaluation of Product Dropping Damage Based on Key Component[J]. *Packaging Technology & Science*, 2010, 23(4): 227—238.
- [10] ZHOU C Y, YU T X. Analytical Models for Shock Isolation of Typical Components in Portable Electronics [J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2009, 36(12): 1377—1384.
- [11] LALL P, GUPTA P, PANCHAGADE D, et al. Fault-isolation in Portable Electronics Subjected to Drop and Shock[C]// *Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems*, IEEE Xplore, 2010: 1—14.
- [12] PAN B, WANG Y, JIN J M, et al. Mechanical Shock Ability of Different Potting Materials and Packaging Processes for Electronic Components[J]. *Applied Mechanics & Materials*, 2012(2): 50—54.
- [13] TANG C Y, CHAN W, CHI P T. Finite Element Analysis of Contact Pressures between Seat Cushion and Human Buttock-Thigh Tissue[J]. *Engineering*, 2015, 2(9): 720—726.
- [14] 卢富德, 高德. 植物纤维餐具碗在运输包装环境抗冲击行为有限元分析[J]. *振动与冲击*, 2015(6): 137—139.
- LU Fu-de, GAO De. Finite Element Analysis of the Impact Behavior of Plant Fiber Tableware Bowl in Transport Packaging Environment[J]. *Vibration and Shock*, 2015(6): 137—139.
- [15] 阿伦, 呼斯勒, 田野, 等. 基于 Ansys 的植物纤维餐具静态力学特性的仿真实验[J]. *包装工程*, 2011, 32(3): 33—35.
- A Lun, HU Si-le, TIAN Ye, et al. The Simulation Experiment of Ansys Plant Fiber Tableware Based on Static Mechanical Properties[J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(3): 33—35.
- [16] 卢富德, 陶伟明, 周建伟, 等. 头部-聚苯乙烯泡沫-铝蜂窝缓冲系统冲击响应与优化设计[J]. *振动工程学报*, 2016, 29(5): 900—904.
- LU Fu-de, TAO Wei-ming, ZHOU Jian-wei, et al. Impact Responses and Optimization Design for a Head-EPS-Aluminum Honeycomb Cushioning System[J]. *Journal of Vibration Engineering*, 2016, 29(5): 900—904.
- [17] 卢富德, 许晨光, 高德, 等. 悬臂梁易损部件在矩形加速度脉冲激励下的动力学响应与有限元分析[J]. *振动与冲击*, 2016, 35(5): 191—195.
- LU Fu-de, XU Chen-guang, GAO De, et al. Shock Response and Finite Element Analysis of Critical Component with Cantilever Beam under the Action of Rectangular Acceleration Pulse[J]. *Vibration and Shock*, 2016, 35(5): 191—195.
- [18] 张绍云, 储火, 卢富德, 等. 蜂窝-泡沫缓冲系统动力学有限元分析[J]. *振动与冲击*, 2014, 32(2): 52—54.
- ZHANG Shao-yun, CHU Huo, LU Fu-de, et al. Finite Element Analysis for Dynamic Response of Cushioning System Made out of Honeycomb Paperboard and Foam[J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2014, 32(2): 52—54.