отверждения. Обнаружено, что потенциал разложения покрытий при увеличении времени воздействия УФ-излучением увеличивается. Так в частности, потенциал разложения покрытия, отвержденного при нормальных условиях – 88,12 мВ, а потенциал разложения покрытия, отвержденного при воздействии УФ-излучения в течение 60 мин составляет 1049,75 мВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабкин О.Е. Полимерные покрытия УФ-отверждения: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во «СПбГУКиТ», 2012. – 47 с.

2. Семенова И.В. Коррозия и защита от коррозии: учеб. пособие. – Москва: Изд-во «Физико-математическая литература», 2002. – 335 с.

УДК 620.173.2

А.Г. Любимов, канд. техн. наук, доц.;
А.Л. Наркевич, канд. техн. наук, доц.;
Л.А. Ленартович, канд. техн. наук, доц.;
А.Ф. Петрушеня, канд. техн. наук, доц.;
О.М. Касперович, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);
В.А. Гордиевич, инж. (ООО «Риона», г. Каменец)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ АУКСЕТИКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ АДДИТИВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ, ПРИ СЖАТИИ

Ауксетики (от греческого «auxetos» – «разбухающий») - материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона [1]. Бурный рост исследований в области ауксетиков можно связывать как с потребностью в материалах с особыми свойствами, так и с все большим внедрением в промышленное производство аддитивных технологий, позволяют получать различные ячеистые материалы требуемой структуры. Анализ литературных источников показал разнообразие конфигураций элементарных ячеек ауксетических структур, а также перспективность ауксетиков на базе нескольких типов ячеек и с градиентные структуры на базе одного типа ячеек [2–8].

В данной работе рассмотрены ауксетические материалы с регулярной структурой, полученные аддитивным технологическим процессом экструзии термопластичных материалов. Интерес представляет изучение поведения ауксетиков при сжатии - как типичный вид деформирования в изделиях, предназначенных, например, для поглощения ударных нагрузок.

Цель работы – выявить влияние типа ауксетической структуры и ее параметров на коэффициент Пуассона путем испытания на сжатие.

В качестве базовых структур на начальном этапе исследования поведения ауксетических материалов выбраны структуры, представленных на рис. 1; элементарная ячейка – выделена. Гексагональная сотовая структура выбрана для сравнения.

Для исследований в данной работе работе варьировали следующие параметры:

– материал для изготовления ячеистых материалов (полилактид, ПЛА, печать на принтере Creality Ender 3 Pro; акрилонитрил стирол акрилат, ACA, печать на принтере Fortuc 450MC);

плотность заполнения стенками ячеек объема образца (0,12; 0,18; 0,25); при этом толщина стенки ячейки и количество элементарных ячеек в образце для всех структур – одинаковы.



а – с симметрией пар ячеек; б – регулярная с поворотом ячейки на 45°); в – «наконечник стрелы»; г - «звезда»; д – гексагональная сотовая структура Рисунок 1 – Хиральные базовые структуры

Проектирование ауксетических структур производили в программе автоматизированного проектирования, которая позволяет задавать геометрические параметры ячеек через переменные и создавать на основе одной ячейки массивы и трехмерные модели. На основании предельных значений испытательной машины (MTS Criterion 43) и ее оснащения спроектированы образцы для испытания. Модель структуры подготавливали к печати в соответствующем программном обеспечении.

Для качественного анализа поведения ауксетических структур под сжимающей нагрузкой также проводили виртуальное нагружение (моделирование) в программном обеспечении, предназначенном для инженерного анализа и численного моделирования методом конечных элементов. По перемещениям периферийных точек, лежащих практически на взаимоперпендикулярных осях образца вычисляли коэффициент Пуассона.

При испытании ауксетиков на сжатие абсолютную деформацию образца в продольном направлении фиксировали по показаниям перемещения траверсы, а абсолютную деформацию в поперечном направлении определяли по сумме фиксируемых показаний цифровых индикаторов, жестко закрепленных на штативах; инденторы цифровых индикаторов, оснащенные специальными насадками соприкасались с боковыми поверхностями образца. В процессе нагружения строили автоматическом режиме диаграмму деформирования до наступления предельного состояния образца. На начальном линейном участке фиксировали соответствующие значения для определения коэффициента Пуассона.

Для хиральных структур придеформировании характерны повороты стен ячеек относительно узла-крестовины. Все симметричные структуры деформировалась симметрично, а структура с поворотом ячеек – проявляла сдвиговые деформации. Для «наконечника стрелы» наблюдали изгиб вертикальных стенок, а для сотовой структуры – распрямление наклонных стенок.

На рисунке 2 представлены реальное и смоделированное поведение исследованных ячеистых структур (показаны половины образцов).



Рисунок 2 – Поведение образцов при испытании в области пропорционального деформирования и моделей при виртуальном нагружении

После достижения определенных уровней нагрузки для структур «наконечник стрелы» и «звезда» характерным была потеря устойчивости вертикальных стенок (рисунок 3, а). Происходили одновременно два явления: общая потеря устойчивости образца и «закрытие» (полная деформация ячейки до соприкасновения стенок между собой) последовательно каждого из рядов ячеистой структуры. На рисунке 3, б видим, пример того, как последовательно «закрылись» все ряды, кроме одного. На диаграмме деформирования этот процесс отражался своеобразными падениями и подъемами.







Рисунок 3 – Поведение ауксетических структур после достижения предела пропорциональности

После «закрытия» всех рядов наблюдали сжатие уплотненной структуры (рисунок 3, в), а на диаграмме деформирования это проявлялось резким возрастанием нагрузки, после чего нагружение прекращали. Для звездной структуры так же, как и для гексагональной сотовой проявился положительный коэффициент Пуассона.

По результатам работы получены следующие выводы:

 природа полимерного материала для формирования ячеистой структуры может влиять на значения коэффициента Пуассона и поведение вне начального участка пропорционального деформирования;

 относительная плотность заполнения объема образца ячеистыми структурами влияет на значения коэффициента Пуассона;

 – хиральные структуры и структура наконечник стрелы имеют отрицательные коэффициенты Пуассона – их рекомендуется использовать в качестве базовых структур для более детального изучения поведения ауксетиков;

 – звездная структура проявляет положительное значение коэффициента Пуассона;

– моделирование адекватно описывает реальное поведение ячеистых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yanping Liu, Hong Hu A review on auxetic structures and polymeric materials //Scientific Research and Essays Vol. 5 (10), pp. 1052–1063, 18 May, 2010.

2. C. Huang, L. Chen, Negative Poisson's Ratio in Modern Functional Materials, Adv. Mater. (2016). https://doi.org/10.1002/adma.201601363.

3. H.M.A. Kolken, A.A. Zadpoor, Auxetic mechanical metamaterials, RSC Adv. (2017). https://doi.org/10.1039/c6ra27333e.

4. Z.G. Nicolaou, A.E. Motter, Mechanical metamaterials with negative compressibility transitions, Nat. Mater. (2012). https://doi.org/10.1038/nmat3331.

5. K.E. Evans, M.A. Nkansah, I.J. Hutchinson, S.C. Rogers, Molecular network design, Nature. (1991). https://doi.org/10.1038/353124a0.

6. T.C. Lim, Functionally graded beam for attaining poisson-curving, J. Mater. Sci. Lett. (2002). https://doi.org/10.1023/A:1021688009461.

7. Y. Hou, R. Neville, F. Scarpa, C. Remillat, B. Gu, M. Ruzzene, Graded conventional-auxetic Kirigami sandwich structures: Flatwise compression and edgewise loading, Compos. Part B Eng. (2014). https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.084.

8. C. Lira, F. Scarpa, R. Rajasekaran, A gradient cellular core for aeroengine fan blades based on auxetic configurations, J. Intell. Mater. Syst. Struct. (2011). https://doi.org/10.1177/1045389X11414226.