

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОВТОРНО-ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК

Кравцова Л.В., Богдан А.П.

Херсонская государственная морская академия (Украина)

Введение. Одним из путей повышения эксплуатационной надежности деталей машин является разработка новых материалов и покрытий на полимерной основе. Большинство деталей за время своей эксплуатации испытывают действие периодически изменяющихся во времени нагрузок. При этом нагрузки могут изменяться во времени по законам, аналитическое описание которых представляет определенные трудности. Выполняя исследования по воздействию нагрузки на материал, можно установить закономерности изменения его деформации в зависимости от силы его нагружения. Следовательно, изучая поведение образцов под действием повторно-переменных нагрузок исследуемых материалов, можно обобщить результаты для деталей, изготовленных из этих материалов в реальных условиях эксплуатации.

Актуальность исследования. Актуальным заданием современного материаловедения является прогнозирование новых и улучшение существующих свойств изделий из композитных материалов (КМ). Спрогнозировать напряжения, вызывающие разрушение конструкций при повторно-переменной нагрузке, циклически изменяющейся во времени по величине или по величине и по знаку весьма затруднительно. Такие напряжения могут привести к разрушению конструкции при значениях, существенно меньших, чем предел текучести (или предел прочности). Таким образом, чем глубже изучены закономерности, описывающие процессы изменения свойств и состояние материалов, тем достовернее можно предвидеть поведение изделия в условиях эксплуатации и обеспечить сохранение его показателей надежности в требуемых пределах.

Цель работы: на основе аналитической зависимости значений деформации от повторно-переменных нагрузок спрогнозировать разрушение образцов КМ с учетом температурно-влажностных условий.

Результаты исследования. Экспериментальные исследования были проведены многократно для идентичных серий образцов КМ, и к результатам экспериментов были применены различные методики построения математической модели. В соответствии с построенной математической моделью, были проведены расчеты, выполнен сравнительный анализ результатов с целью проверки достоверности построенной модели. В данной модели экспериментальные исследования проводили для двух серий образцов. Первая серия образцов хранилась в течение трех месяцев в нормальных температурно-влажностных условиях, образцы второй серии были выдержаны в пресной воде также в течение трех месяцев. Далее образцы обеих серий испытывали на четырёхточечный изгиб по ГОСТ 9550-81 многократно приложенной повторно-переменной нагрузкой. Параметры образцов: длина $l = 120 \pm 2$ мм, ширина $b = 15 \pm 0,5$ мм, высота $h = 10 \pm 0,5$ мм.

Проведено измерение силы воздействия на образец в моменты деформации от 0 до 3,00 мм с шагом 0,05 мм. При этом для образцов, выдержанных в течение длительного времени в нормальных температурно-влажностных условиях, наблюдали в среднем девять этапов последовательного нагружения с последующим снятием нагрузки, а для образцов, выдержанных в воде, – 16 этапов.

Прогноз разрушения образца с учетом остаточной деформации показывает, что максимальная деформация для образца, выдержанного в воде, составляет 3,6 мм, при этом средняя сила воздействия на единицу деформации образца при последнем нагружении составляет 90 Н. Из табл. 1 видно, что образец №2 разрушается при деформации 3,7 мм.

Таблиця 1. Прогноз разрушения образца с учетом остаточной деформации

Деформация, см	Среднее нагружение на первый образец, Н	Среднее нагружение на второй образец, Н	Прогнозирование значения нагружения на единицу деформации, Н
0,0	356,0000	47,0000	201,5000
0,2	327,7155	134,6994	231,2074
0,4	305,8894	192,4618	249,1756
0,6	289,1689	227,2242	258,1965
0,8	276,3425	245,0442	260,6933
1,0	266,3400	251,1000	258,7200
1,2	258,2324	249,6906	253,9615
1,4	251,2323	244,2354	247,7338
1,6	244,6932	237,2746	240,9839
1,8	238,1104	230,4690	234,2897
2,0	231,1200	224,6000	227,8600
2,2	223,4998	219,5698	221,5348
2,4	215,1688	214,4010	214,7849
2,6	206,1872	207,2370	206,7121
2,8	196,7566	195,3418	196,0492
3,0	187,2200	175,1000	181,1600
3,2	178,0616	142,0170	160,0393
3,4	169,9068	90,71856	130,3127
3,6	163,5227	14,95136	89,23702
3,7	161,2728	-34,30270	63,48508

Для первого образца коэффициент корреляции – $\rho(\Delta, f) = 0,916$; для второго образца – $\rho(\Delta, f) = 0,912$. Это свидетельствует о сильной зависимости деформации от нагрузки. Особое внимание стоит обратить на коэффициент корреляции $\rho(f_1, f_2)$ между образцами, который составил $\rho(f_1, f_2) = 0,822$, что говорит об устойчивой тенденции разрушения, т.е. о максимальном количестве этапов нагружения 9.

Аналогичные расчеты проведены для образцов, выдержанных в воде.

Коэффициент корреляции деформации образца и средней нагрузки на 1 мм для первого образца, выдержанного в воде, составил $\rho(\Delta, f) = 0,981$, для второго – $\rho(\Delta, f) = 0,979$. Коэффициент корреляции $\rho(f_1, f_2)$ между образцами, выдержанными в воде, составил $\rho(f_1, f_2) = 0,983$, что говорит об устойчивой тенденции разрушения, т.е. максимальное количество этапов нагружения до момента разрушения равно 17.

С целью проверки правильности выбранного подхода к построению аналитической взаимосвязи нагружения и деформации образца полученные результаты были проверены на всех девяти образцах каждой серии.

Выводы. Методом математического моделирования установлены параметры аналитической зависимости деформации образцов КМ от силы повторно-переменных нагружений для двух серий образцов. Повторно-переменное воздействие нагрузок вызывает более интенсивное снижение прочности образцов по сравнению с воздействием статической нагрузки. Причиной этому является силовое воздействие, при котором происходит накопление остаточных деформаций и микроразрушений, вызванных естественной неоднородностью материала, что приводит к снижению прочности наиболее слабых частиц, а значит, к разрушению всего образца. Разработан подход прогнозирования разрушения образцов КМ, подверженных действию повторно-переменных нагрузок на основе значений остаточной деформации. Результаты расчетов показали, что образцы композитных материалов, выдержанные в течение продолжительного времени в воде, более устойчивы к деформации, чем аналогичные по структуре образцы, выдержанные в нормальных условиях.