

$$Nu = 0,76\sqrt{Re} \cdot Pr^{0,49} \cdot \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_{ст}}\right)^{0,25}, \quad (5)$$

где $Pr_{жс}$ берется по температуре жидкости, а $Pr_{ст}$ – по температуре поверхности.

Движения жидкости, вызванные разностью плотностей в поле внешних сил, называют свободной конвекцией.

При свободной конвекции интенсивность теплообмена зависит от расположения пластины в жидкости.

Критериальное уравнение теплообмена для свободной конвекции имеет вид:

$$Nu = B (Gr \cdot Pr)^n, \quad (6)$$

где $Gr = \frac{\beta_{жс} \cdot \Delta t \cdot l^3 \cdot g}{\nu_{жс}^2}$ – критерий Грасгофа; $\beta_{жс}$ – коэффициент объемного расширения; для жидкостей определяется по таблицам; $\Delta t = t_{жс} - t_{ст}$ – разность температур между температурой жидкости и стенки пластины; l – определяющий размер, длина пластины при горизонтальном расположении в жидкости, высота пластины при вертикальном расположении; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести; $\nu_{жс}$ – вязкость жидкости определяется по таблицам.

Список использованных источников

1. Колесников, П. А. Теплозащитные свойства одежды / П. А. Колесников // – М.: Легкая индустрия, 1971. – С. 340–357.
2. Рудобашта, С. П. Теплотехника: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия» / Рудобашта С. П. //; Ассоц. «Агрообразование». – Москва : КолосС, 2010. – С. 155–172.
3. Лыков, А. В. Теплообмен: учеб. для техн. спец. вузов / В. Н. Луканин [и др.]; под ред. В.Н. Луканина. // - М.: Высшая школа, 1999. – С. 245–259.
4. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева / Москва: «Энергия», 1972. – С. 122–135.

УДК 004.94: 685.34.03

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЦИКЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Столяренко В.И., асп., асс., Ольшанский В.И., к.т.н., проф.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. Рассмотрены методы определения математической зависимости жесткости композиционного материала на основе стеклоткани от количества циклов при многоцикловом изгибе.

Ключевые слова: полимер, жесткость, испытания, многоцикловой изгиб.

Полимерные материалы занимают все более заметную роль при производстве различной продукции. Очень важным явлением с точки зрения практического использования данного вида материалов является усталостное разрушение, вызванное изменяющимися во времени напряжением и нагрузкой, так как полимерные материалы, используемые в обувной промышленности в качестве одного из основных видов деформации, подвержены многоцикловому изгибу, который возникает в при эксплуатации обуви.

В современной литературе механическую усталость определяют как процесс постепенного накопления повреждений материала под действием повторно-переменных напряжений (деформаций), приводящий к изменению его строения и свойств, образованию и развитию трещин и к разрушению [1].

При анализе усталостных процессов в полимерах на микроуровне рассматривают разрывы на границах волокон и молекулярные разрывы в материале. При циклическом деформировании полимеров происходит только деформационное размягчение материала которое начинается уже на первом цикле и в многокомпонентных материалах развивается в течение всего испытания. При этом степень деформационного размягчения возрастает с увеличением амплитуды. [2]

Для проведения экспериментальных исследований влияния многоциклового изгиба, подготовлены образцы из полимера на отвердителе ТЭАТ-1 (Триэтаноламинтитанат) ТУ 2225-019-55573556-2016 который используется для горячего отверждения эпоксидных смол в различных отраслях промышленности, и эпоксидной смола «Этал-148», которая представляет собой низковязкую модифицированную эпоксидно-диановую смолу производства АО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ». Для отверждения использован оптимальный режим для композиции, содержащей 4 ÷ 10 г ТЭАТ-1 и 100 г смолы «Этал-148» при ускоренном отверждении 2 ч при 120°C.

Размеры для испытания на многоциклового изгиб длина 80 мм, ширина (25 ± 0,50) мм, толщина (3,00 ± 0,20) мм по ГОСТ 4648-71 [3]. Условия кондиционирования и испытания образцов в стандартной атмосфере 23/50, в соответствии с ГОСТ 12423-2013 [4].

Многоциклового изгиб проводился на количество циклов от двух до десяти тысяч с шагом две тысячи циклов по схеме двухопорной балки нажимным роликом, обеспечивающим прогиб образца до величины относительной деформации крайних волокон 0,5 %. Относительная деформация крайних волокон вычислена по формуле [5]

$$\varepsilon = 6zh / l^2, \quad (1)$$

где z – значение прогиба, мм; h – толщина образца, мм; l – расстояние между опорами, мм.

Далее образцы испытаны на жесткость по схеме испытания геленка в продольном направлении согласно ISO 18896:2018 [5]. Образец изгибают как консольную балку под действием постоянной нагрузки. Степень изгиба использована для расчета жесткости изгиба. Жесткость изгиба геленка S , Н·мм² определяют по формуле

$$S = WL^3 / 3\alpha, \quad (2)$$

где W – нагрузка, Н; α – полученное отклонение, мм; L – длина, мм.

Рассчитывают жесткость изгиба образца по экспериментально определенным значениям W , α и L , подставляя их в указанное выше уравнение. При различных значениях величины нагрузки получают наиболее точную оценку соответствующего значения, а по формуле

$$\alpha = \frac{1}{10} (3\alpha_4 + \alpha_3 + \alpha_2 + \alpha_1), \quad (3)$$

где α – расчетное отклонение мм, полученное при приложении силы; α_4 – отклонение, полученное при приложении силы 8 Н, мм; α_3 – отклонение, полученное при приложении силы 6 Н, мм; α_2 – отклонение, полученное при приложении силы 4 Н, мм; α_1 – отклонение, полученное при приложении силы 2 Н, мм.

Результат опытного испытания полученных образцов представлен на рисунке 1.

На рисунке 2 представлен результат статистической обработки полученных данных в программе MS Office Excel.

R-квадрат = 99 % означает, что расчетные параметры модели на 99 % объясняют зависимость между изучаемыми параметрами. Коэффициент 51426.9 показывает, каким будет Y , если все переменные в рассматриваемой модели будут равны 0. Коэффициент при переменных показывают весомость влияния переменных X на Y . Параметр P -значение позволяет оценить значимость коэффициентов при переменной. Если P -значение меньше заданного уровня значимости $\alpha = 0,05$, то коэффициент является значимым на этом уровне значимости в данном случае все коэффициенты при переменных значимы. Столбец «Значимость F » – оценка адекватности построенной модели. Если значимость F меньше 0,05, то модель может считаться адекватной с вероятностью 0,95 Анализ t критерия Стьюдента показывает, что все факторы значимы, так как t критерий по модулю больше t критического.

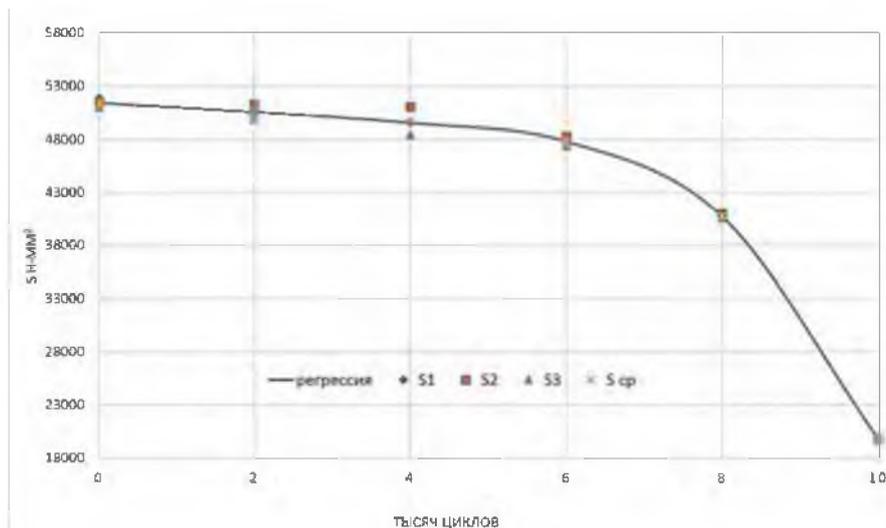


Рисунок 1 – Зависимость жесткости образца от количества циклов

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,999964384
R-квадрат	0,99992877
Нормированный R	0,999821925
Стандартная ошибка	161,919666
Наблюдения	6

$$Y = 51426,9 - 10,27X^4 + 110,45X^3 - 393,86X^2$$

Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	3	736098209,5	245366069,8	9358,6953	0,000106843
Остаток	2	52435,95651	26217,97825		
Итого	5	736150645,5			

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%
Y-пересечение	51426,90355	140,3938291	366,3045867	7,45264E-06	50822,83765	52030,96944
Переменная X 1	-10,26649623	0,577024586	-17,79212962	0,00314407	-12,74923264	-7,783759816
Переменная X 2	110,4498872	9,682200457	11,40751915	0,007597076	68,79074093	152,1090334
Переменная X 3	-393,8559729	41,1910347	-9,561691658	0,01076157	-571,0866907	-216,625255

Рисунок 2 – Математическая обработка результатов в MS Office Excel

Вывод

Начиная с шести тысяч циклов снижение механических характеристик образцов становится недопустимым и в соответствии с ГОСТом Р 56966-2016 (ISO/TR 20883:2007) данный материал может использоваться только для обуви с высотой каблука менее 50 мм. [6]

Список использованных источников

1. Sosnovskiy, L. A., Makhutov, N. A., Troshchenko, V. T. Evolution of ideas on fatigue of metals by volume loading and friction / Тр. VI-го Международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), 25 октября–1 ноября 2010 г., Минск (Беларусь) / Редкол.: М. А. Журавков (пред.) [и др]. – Минск: БГУ, 2010. – Т. 1. – С. 77–84.
2. Борисова, Т. М. Устройство для испытания геленков, стелечных узлов и готовой обуви на жесткость и упругость / Т. М. Борисова, В. Е. Горбачик – Витебск : Вит. гос. тех-ий ун-т : Вестник ВГТУ, 2011 – 34–36 с.
3. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб : ГОСТ 4648-71. – Введен впервые.; введ. 01.01.1973. – Москва : Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992 – 12 с.
4. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб) : ГОСТ 12423-2013. – введ. 01.01.2015. – Москва : Стандартиформ, 2014 – 11 с.
5. Обувь. Методы испытаний геленков. Жесткость в продольном направлении : ГОСТ Р ИСО 18896-2016. – введ. 01.03.2017. – Москва : Стандартиформ, 2016 – 7 с.
6. Обувь. Требования к характеристикам деталей обуви. Геленки : ГОСТ Р 56966 – 2016. – Введен впервые. ; введ. 01.01.2017. – Москва : Стандартиформ, 2016 – 7 с.