

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ДУБЛЬОВАНИХ ДОСЛІДІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ МІЦНОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНОГО З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Скирденко О.І.,

Херсонський державний університет,

Михайлик В.Д.,

Херсонський національний технічний університет,

Бень А.П., Ісаєв Є.О.,

Херсонська державна морська академія

У роботі методом математичного планування експерименту встановлено закономірності й визначено оптимальну кількість дослідів для дослідження фізико-механічних властивостей епоксикомполімерів. Показано, що при дослідженні адгезійних властивостей необхідно проводити не менше 10 дослідів на одну концентрацію наповнювача.

Ключові слова: математичне планування експерименту, епоксидний композит, адгезія.

Постановка проблеми. Застосування композитних матеріалів (КМ) на епоксидній основі у різних галузях промисловості і машинобудування зумовлено широким спектром поліпшених властивостей таких композитів, зокрема – фізико-механічних, теплофізичних і діелектричних, що забезпечує підвищення їх експлуатаційних характеристик під впливом агресивних середовищ, знакозмінних навантажень та значного градієнта температур [1]. Відомо, що експлуатаційні характеристики КМ визначаються взаємодією на межі поділу фаз «олігомер – дисперсний наповнювач» у процесі структуроутворення епоксикомполімерів, яка, у свою чергу, визначає критичний вміст введеного у полімер дисперсного наповнювача [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При розробленні систем з керованими властивостями необхідно раціонально поєднувати властивості матриці, інгредієнтів систем та технологічні режими формування епоксикомполімерних матеріалів. При проведенні експериментального дослідження міцності з'єднання деталей за допомогою епоксикомполімерів з використанням однофакторного плану, в першу чергу, необхідно визначити те мінімальне число дослідів, яке вистачить для найбільш точної і правильної оцінки отриманого результату. Це обумовлено як складністю досліджень, так і дороговизною складових епоксидного композиту [4, 5].

Мета роботи – встановити оптимальні режими формування і вміст наповнювача у епоксикомполімерах з поліпшеними властивостями.

Обговорення експериментальних результатів. Оцінку кількості експериментів, що дублюються, можливо отримати використовуючи загально прийняту методику на основі коефіцієнта варіації v , який визначається з співвідношення:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (1)$$

де σ – емпіричне середньоквадратичне відхилення величини, що досліджується;

\bar{x} – середнє значення досліджуваної величини.

Вибираючи відповідне значення рівня ймовірності P і відносну похибку k , можливо визначити мінімально допустимий коефіцієнт варіації v_k , який відповідає числу проведених дубльованих дослідів m :

$$v_k = \frac{k\sqrt{m}}{t} \quad (2)$$

де t – критерій Стьюдента, який визначається за табл. 1 залежно від рівня ймовірності P та числа ступенів вільності $f=m-1$

Таблиця 1 – Критерій Стьюдента

Число ступенів вільності, f	Рівень імовірності, P			Число ступенів вільності, f	Рівень імовірності, P		
	0,90	0,95	0,99		0,90	0,95	0,99
1	6,314	12,706	63,657	14	1,761	2,145	2,977
2	7,920	4,303	9,925	15	1,754	2Д32	2,949
3	2,353	3,182	5,841	16	1,746	2,120	2,921
4	2,132	2,776	4,604	17	1,740	2,110	2,900
5	2,015	2,571	4,032	18	1,734	2,101	2,878
6	1,943	2,447	3,707	19	1,729	2,094	2,856
7	1,895	2,653	3,499	20	1,725	2,086	2,845
8	1,860	2,306	3,355	25	1,711	2,064	2,802
9	1,833	2,262	3,250	30	1,697	2,042	2,750
10	1,812	2,228	3,169	35	1,690	2,031	2,725
11	1,797	2,203	3,112	40	1,680	2,020	2,700
12	1,782	2,179	3,055	60	1,670	2,000	2,660
13	1,772	2,162	3,016	120	1,657	1,980	2,620

Зазначена методика передбачає, що достатня кількість дослідів, які дублюються, буде лише в тому випадку, коли витримана умова:

$$v \leq v_k \quad (3)$$

Для визначення необхідної кількості повторних дубльованих дослідів при з'ясуванні впливу на міцність епоксидного з'єднання деталей з феромагнітним наповнювачем, яке було модифіковане електромагнітними хвилями частотою 1МГц від спеціального генератора, проведене

дослідження в перспективі дасть змогу встановити оптимальні параметри електромагнітного випромінювання досліджуваних зразків з'єднання деталей епоксикомпозитом. Для вирішення поставленої задачі було попередньо проведено 7 серій досліджень. Проводилися дубльовані досліди з епоксидною смолою ЕД-20 без наповнювача, з наповнювачем, а також з витримкою зразків, підданих електромагнітному опромінюванню упродовж: 30 с., 1 хв., 3 хв., 5 хв. і 10 хв. Як приклад, проведемо відповідну математичну обробку зразків епоксикомпозитів з феромагнітним наповнювачем (20 % від маси матриці епоксикомпозиту), що піддавались дії електромагнітного опромінювання частотою 1 МГц з потужністю генератора 16 Вт.

Визначимо середнє значення \bar{x} досліджуваної величини – силу розриву зразків з'єднаних зазначеним епоксикомпозитом:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m}$$

де x_i – поточне значення досліджуваної величини (в нашому випадку первинно було проведено 5 дубльованих дослідів, тобто $m=5$), а саме $x_1=350$ кг, $x_2=640$ кг, $x_3=240$ кг, $x_4=378$ кг, $x_5=445$ кг. Підставимо ці значення в формулу:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} = \frac{350 + 640 + 240 + 378 + 445}{5} = 410,6 \text{ кг}$$

Далі визначаємо емпіричне середньоквадратичне відхилення σ :

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{m}} = \\ &= \sqrt{\frac{(410,6 - 350)^2 + (410,6 - 640)^2 + (410,6 - 240)^2 + (410,6 - 378)^2 + (410,6 - 445)^2}{5}} = \\ &= 83,99 \end{aligned}$$

Використовуючи знайдені значення \bar{x} і σ визначаємо коефіцієнт варіації ν за значеннями експериментальних досліджень:

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{83,99}{410,6} = 0,204 \text{ кг}$$

Задавшись значеннями рівня імовірності $P = 0,95$ і відносною похибкою дослідження $k = 0,2$ (при дослідженні властивостей матеріалів, обробки матеріалів різанням і ряду фізичних явищ можна приймати значення $P = 0,90$; $P = 0,95$; $P = 0,99$ і k приймати відповідно $k = 0,15$; $k = 0,20$;

$k = 0,25$) визначимо значення $v_k(v_{0,2})$, заздалегідь знайшовши по табл. 1 значення критерію Стьюдента ($t = 2,776$).

$$v_{0,2} = \frac{k\sqrt{m}}{t} = \frac{0,2\sqrt{5}}{2,776} = 0,161$$

Аналізуючи отриманий результат бачимо, що умова (3) не виконується, так як $0,204 < 0,161$.

Отже, п'ять проведених дослідів, що дублюються для проведення зазначеного дослідження, не є достатніми для правильної оцінки результатів по визначенню досліджуваної величини.

У разі недотримання умови (3), необхідно збільшити число дослідів, що дублюються. Збільшимо число дослідів – $m = 10$. Для цього додатково проведемо ще п'ять повторних досліджень, витримуючи всі параметри як і в попередньому дослідженні. Отримуємо додатково: $x_6 = 400$ кг, $x_7 = 405$ кг, $x_8 = 387$ кг, $x_9 = 416$ кг, $x_{10} = 436$ кг. При цьому середнє значення десяти досліджень буде $\bar{x} = 409,7$ кг, а середньоквадратичне відхилення σ досліджуваної величини, яке було визначено за вищезазначеною методикою $\sigma = 94,34$. Тоді:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{94,34}{409,7} = 0,230.$$

Проведемо визначення мінімально допустимого коефіцієнту варіації для розширеного дослідження ($m = 10$), але прийнявши рівень вірогідності $P = 0,9$:

$$v_k = \frac{k\sqrt{m}}{t} = \frac{0,15\sqrt{10}}{1,833} = 0,258.$$

Із розрахунків видно, що умова виконується так, як $v \leq v_k$, тобто $0,23 < 0,258$.

В кінцевому варіанті перевіримо, чи достатньо буде 10 дубльованих дослідів, якщо прийняти рівень вірогідності $P = 0,99$.

$$v_k = \frac{k\sqrt{m}}{t} = \frac{0,25\sqrt{10}}{3,25} = 0,24.$$

Проведені попередні дослідження та розрахунки показують, що 10 дубльованих дослідів достатньо, щоб отримати досліджуваний параметр з вірогідністю $P = 0,99$.

Розглянутий метод визначення необхідного числа дослідів, що дублюються, доцільно застосовувати, коли закон розподілу випадкових величин підкоряється нормальному, тобто характеризується кривою Гаусса.

У ряді випадків, при проведенні досліджень не можна передбачити закон розподілу величин, що вимірюються; він може відрізнятись від нормального або, взагалі, бути невідомим. При такому положенні доцільно

провести оцінку істотності розсіювання за допомогою критерію Пірсона χ^2 , так як він є не параметричним і не залежить від закону розсіювання.

Розрахунок критерію χ^2 виконується за формулою:

$$\chi^2 = N_1 \cdot N_2 \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{m_i' + m_i''} \left(\frac{m_i'}{N_1} + \frac{m_i''}{N_2} \right), \quad (4)$$

де N_1 і N_2 – відповідно об'єми першої і другої вибірок, n – число інтервалів у вибірках, m_i' і m_i'' – число частот в кожному інтервалі для першої і другої вибірок.

За відповідними таблицями знаходять величини $P(\chi^2)$, знаючи при цьому значення критерію Пірсона χ^2 та число степенів вільності $f = n - 1$.

Вважають, що якщо вибірки N_1 і N_2 являють собою вибірки однієї генеральної сукупності, то значення $P(\chi^2) > 0,05$ (або 0,01).

Висновки. На основі наведеного вище можна стверджувати, що оптимальна кількість дослідів для визначення фізико-механічних властивостей епоксикомпозитів, які наведено у даній роботі, становить не менше 10 одиниць на одну концентрацію наповнювача. У подальшому заплановано дослідити вплив природи на наповнювач і режими обробки композицій енергетичним полем на теплофізичні властивості матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Букетов А. В. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, Є. М. Кальба – Тернопіль : Збруч, 2005. – 182 с.

2. Букетов А. В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів: монографія / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, І. В. Чихіра. – Тернопіль : Крок, 2011. – 201 с.

3. Стухляк П. Д. Епоксидно-діанові композити: технологія формування, фізико-механічні і теплофізичні властивості : монографія / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов, О. І. Редько – Тернопіль : Крок, 2011. – 165 с.

1. Налимов В. Б. Статистические методы планирования экспериментальных данных / В. Б. Налимов, Н. А. Чернов. – М. : Наука, 1965. – 340 с.

2. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований легкой и текстильной промышленности) / В. Б. Тихомиров. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 167 с.

Скирденко О.И., Михайлик В.Д., Бень А.П., Исаев Е.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ДУБЛИРОВАННЫХ ОПЫТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЧНОСТИ ЭПОКСИКОМПОЗИТНОГО СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В работе методом математического планирования эксперимента установлены закономерности и определено оптимальное количество опытов для исследования физико-механических свойств эпоксикомпозитив. Показано, что при исследовании адгезионных свойств необходимо проводить не менее 10 опытов на одну концентрацию наполнителя.

Ключевые слова: математическое планирование эксперимента, эпоксидный композит, адгезия.

Skirdenko O.I., Mikhailik V.D., Ben A.P., Isaev E.A. DETERMINATION OF THE NUMBER OF DUPLICATE EXPERIMENTS WHILE RESEARCHING STRENGTH OF EPOXY COMPOSITE ASSEMBLY OF MACHINE PARTS

Using the method of mathematical planning of experiment, regularities are determined and the optimum number of experiments to study the physical and mechanical properties epoxy composites are defined. It is shown that research of adhesive properties should take no less than 10 experiments per one filler concentration.

Keywords: mathematical planning of experiment, epoxy composite, adhesion.