

Aleksandr Nesterenko, Oleg Kislun, Petro Luzan, Dmitry Bogatyrev

Kirovograd National Technical University

The determination of gravitation guiding surface of air separator feeding device

One of the factors that greatly influences the grain separation process is the speed of its supply and the direction.

The peculiarity of the work of the studied aspirating channel with the multilevel grain supply is that its feeding device consists of several guiding surfaces, which are situated above each other.

The length of the guiding surfaces increases along the path of the grain material, which is caused by the construction necessity.

For the effective work of the studied aspirating channel the speed of the grain supply on all guiding surfaces of the feeding device should be equal.

So, for provision of the chosen speed regime of the grain movement there is a necessity to prove the correspondent form of the guiding gravitation surface.

As a result of the theoretical analysis there was received a functional dependence of the speed of the grain supply on the whole guiding surface taking into account the air resistance and graphical image of the form of the guiding surface of the air separator feeding device.

guiding surface, aspirating channel, grain material, grain supply speed

Одержано 20.11.13

УДК 667.64:678.026

О.О.Сапронов, асп.

Херсонська державна морська академія, м.Херсон

Оптимізація складу захисного покриття методом математичного планування експерименту

Досліджено залежність вмісту дисперсних наповнювачів на адгезійні властивості епоксидних композитів для формування захисних покриттів. Встановлено, що введення у композицію наповнювачів з різною дисперсністю при оптимальному вмісті забезпечує покращення адгезійних властивостей покриттів. Методом математичного планування експерименту визначено оптимальний вміст двоокису цирконію і пічної сажі, який складає: (ZrO₂) – 70 мас.ч; (ПГМ-33) – 25 мас.ч., ЕД-20 – 100 мас.ч., твердник ПЕПА – 10 мас.ч.

адгезія, захисні покриття, дисперсний наповнювач, математичне планування

А.А. Сапронов

Херсонская государственная морская академия, г.Херсон

Оптимизация состава защитного покрытия методом математического планирования эксперимента

Исследована зависимость количества дисперсных наполнителей на адгезионные свойства эпоксидных композитов для формирования защитных покрытий. Установлено, что введение в композицию наполнителей с разной дисперсностью при оптимальном содержании обеспечивает улучшение адгезионных свойств покрытий. Методом математического планирования эксперимента определено оптимальное содержание двуокиси циркония и печной сажи, которое составляет: (ZrO₂) - 70 мас.ч., (ПГМ- 33) - 25 мас.ч., ЭД- 20 - 100 мас.ч., отвердитель ПЕПА - 10 мас.ч.

адгезия, защитные покрытия, дисперсный наполнитель, математическое планирование

Постановка проблеми. Традиційні методи досліджень пов'язані з експериментами, які вимагають великих затрат часу і матеріалів, тому є «пасивними». Експерименти, як правило, є багатофакторними і пов'язані з оптимізацією властивостей та складу матеріалів, пошуком оптимальних умов проведення технологічних процесів, розробкою найбільш раціональних конструкцій, устаткування, покриттів. Безпосередньо через відсутність реальної можливості досить повно вивчити властивості об'єктів та умов дослідження і незважаючи на значний обсяг виконаних науково-дослідних робіт, багато рішень приймають на підставі інформації, що має випадковий характер. Виходячи з вище зазначеного, виникає необхідність пошуку шляху, що дозволяє вести дослідницьку роботу прискореними темпами і забезпечує прийняття рішень, близьких до оптимальних. У цьому напрямку важливе значення мають статистичні методи планування експерименту. Застосування методів планування експерименту істотно сприяє підвищенню продуктивності праці та надійності отриманих результатів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Створення покриттів на основі епоксидної діанової смоли ЕД-20 неможливе без попереднього вивчення та експериментального визначення їх температурно-часових режимів формування і подальших умов експлуатації. Також слід зазначити, що при формуванні покриттів виникає необхідність врахування впливу дисперсних наповнювачів різної фізичної природи на швидкість перебігу процесів структуроутворення матеріалів [2]. Водночас метод математичного планування експерименту дозволяє адекватно оцінити вміст декількох наповнювачів різної дисперсності на властивості захисних покриттів.

Мета роботи – дослідити вплив наповнювачів різної фізичної природи і дисперсності на властивості захисних покриттів та оптимізувати склад композиції для формування композитів з покращеними адгезійними характеристиками.

Обговорення експериментальних результатів дослідження. Відомо [3], що введення інгредієнтів при оптимальному вмісті за різної дисперсності у композицію забезпечує покращення як адгезійних, так і фізико-механічних властивостей покриттів. При дослідженні адгезійних властивостей композитних матеріалів (КМ) завдання оптимізації складу дисперсних наповнювачів вирішували шляхом постановки активного експерименту, тобто з використанням ортогонального центрального композиційного планування (ОЦКП).

Вміст основного та додаткового наповнювачів вибрано на основі попередніх результатів досліджень адгезійної міцності КМ. В табл. 1 наведені основні рівні зміни вмісту двох інгредієнтів при вивченні впливу двоокису цирконію (ZrO_2) і пічної сажі (ПГМ-33) на адгезійні властивості КМ.

Таблиця 1 – Рівні перемінних в умовному і натуральному масштабах

Компоненти	Фактор	Середній рівень, мас.ч.	Крок варіювання, мас.ч.	Значення рівнів перемінних (мас.ч.), що відповідають умовним одиницям		
				-1	0	+1
Основний наповнювач - двоокис цирконію (ZrO_2)	x_1	70	10	60	70	80
Додатковий наповнювач - пічна сажа (ПГМ-33)	x_2	30	5	25	30	35

Відповідно до схеми планування експерименту було проведено 9 дослідів ($N=9$), кожний з яких повторювали тричі ($p=3$) з метою виключення системних помилок (табл. 2). Розширена матриця планування повного факторного експерименту та його результати наведено у табл. 3.

Таблиця 2 - Схема планування експерименту

№ дослідів	x_0	x_1	x_2	$(x_1)^2$	$(x_2)^2$	x_1x_2
1	1	-1	-1	0,33	0,33	+1
2	1	+1	-1	0,33	0,33	-1
3	1	-1	+1	0,33	0,33	-1
4	1	+1	+1	0,33	0,33	+1
5	1	0	0	-0,67	-0,67	0
6	1	+1	0	0,33	-0,67	0
7	1	-1	0	0,33	-0,67	0
8	1	0	+1	-0,67	0,33	0
9	1	0	-1	-0,67	0,33	0

Таблиця 3 – Результати дослідження адгезійної міцності при відриві КМ

№ дослідів	Дозування компонентів, мас.ч.		Адгезійна міцність при відриві, МПа
	x_1	x_2	y
1	60	25	56,1
2	80	25	41,8
3	60	35	25,7
4	80	35	31,5
5	70	30	40,1
6	80	30	33,3
7	60	30	48,7
8	70	35	49,01
9	70	25	65,51

Математичну модель адгезійної міцності КМ – $y = f(x_1, x_2)$ шукали у вигляді рівняння регресії:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2^2.$$

Коефіцієнти регресії визначали за формулами:

$$b_0 = \frac{\sum x_0 y}{9}; \tag{1}$$

$$b_1 = \frac{\sum x_1 y}{6}; \tag{2}$$

$$b_2 = \frac{\sum x_2 y}{6}; \tag{3}$$

$$b_{11} = \frac{\sum (x_1)^2 y}{2}; \tag{4}$$

$$b_{22} = \frac{\sum (x_2)^2 y}{2}; \tag{5}$$

$$b_{12} = \frac{\sum x_1 x_2 y}{4}; \quad (6)$$

Таблиця 4 – Коефіцієнти рівняння регресії

b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{12}
43,4	- 4,10	-9,4	47,5	42,04	5,02

В результаті отримали наступне рівняння регресії:

$$y = 43,4 + (-4,10) x_1 + (-9,4) x_2 + 47,5 x_1^2 + 42,04 x_2^2 + 5,02 x_1 x_2^2.$$

Для статистичної обробки отриманих результатів експерименту проведено перевірку відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена:

$$G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2} \leq G_{(0,05; f_n; f_u)}; \quad (7)$$

де $S_u^2 = \frac{\Delta^2}{2}$ – дисперсія, що характеризує розсіювання результатів дослідів на i -

му поєднанні рівнів факторів для $m = 5$;

m – кількість паралельних дослідів;

$S_{u \max}^2$ – найбільша з дисперсій в рядках плану;

Середнє значення адгезійної міцності при різних варіантах планування становить $\sigma_{a(сep.)} = 43,4$ МПа.

Тоді, абсолютне відхилення:

$$\Delta_i = \sigma_{a(сep.)} - \sigma_i; \quad (8)$$

Дисперсії адекватності визначали за формулою:

$$S_{ui}^2 = \frac{\Delta^2}{2}; \quad (9)$$

Дисперсії відтворення визначали за формулами:

$$\sigma^2 \{ \gamma \} = \frac{\sum_{i=1}^{N=9} \sum_{j=1}^{n=3} (y_i - y_{ij})^2}{N(n-1)}; \quad (10)$$

$$\sigma^2 \{ y_{сep} \} = \frac{\sigma^2 \{ \gamma \}}{N} \text{ або } S_{b_0}^2 = \frac{S_0^2}{N}. \quad (11)$$

Значення дисперсій наведено у табл. 5.

Таблиця 5 – Значення абсолютного відхилення (Δ_i), дисперсії адекватності (S_u^2) і дисперсії відтворення ($\sigma^2(y)$)

№ п/п	Абсолютне відхилення		Дисперсії адекватності		Дисперсії відтворення	
	Умовне позначення	Значення	Умовне позначення	Значення	Умовне позначення	Значення
1	Δ_1	-12,7	S_{u1}^2	80,6	$\sigma^2(y)_1$	0,52
2	Δ_2	1,6	S_{u2}^2	1,28	$\sigma^2(y)_2$	0,49

Продовження таблиці 5

3	Δ_3	17,7	S_{u3}^2	156,6	$\sigma^2(y)_3$	0,74
4	Δ_4	11,9	S_{u4}^2	70,8	$\sigma^2(y)_4$	0,58
5	Δ_5	3,3	S_{u5}^2	5,4	$\sigma^2(y)_5$	1,16
6	Δ_6	10,1	S_{u6}^2	51,0	$\sigma^2(y)_6$	0,2
7	Δ_7	-5,3	S_{u7}^2	14	$\sigma^2(y)_7$	0,1
8	Δ_8	-5,6	S_{u8}^2	15,6	$\sigma^2(y)_8$	2,0
9	Δ_9	-22,1	S_{u9}^2	244,2	$\sigma^2(y)_9$	0,0027

При цьому:

$$\sum_{u=1}^n S_u^2 = 639,6;$$

$$S_0^2 = \sigma^2\{\gamma\} = 0,32$$

Тоді розрахункове значення критерію Кохрена при 5 %-ному рівні значущості:

$$G_{розр} = \frac{S_{u_{max}}^2}{\sum S_u^2}; \quad (12)$$

$$G = 244,2/639,6 = 0,381.$$

Перевірка результатів експерименту за критерієм Кохрена [4] для фіксованої ймовірності $\alpha = 0,05$ підтвердила відтворюваність дослідів. Дисперсія, що характеризує розсіювання результатів дослідів на i -му поєднанні рівнів факторів: $S_u^2 = 244,2$. Розрахункове значення критерію Кохрена: $G_{розр} = 0,381$.

Табличне значення критерію Кохрена: $G_{табл} = 0,85$.

Тобто, виконується умова (7):

$$G_{розр} = 0,381 \leq G_{табл} = 0,85$$

Надалі визначали значущість коефіцієнтів рівняння регресії, аналізуючи результати за планом експерименту (табл. 6).

Таблиця 6 – Експериментальні результати дослідження адгезійної міцності КМ при відриві

№ досліді	Адгезійна міцність при відриві, σ_a , МПа					Середнє значення, σ_a , МПа
	1	2	3	4	5	
1	56,60	56,00	55,60	56,20	56,10	56,10
2	41,30	42,20	41,80	42,00	41,60	41,80
3	25,10	25,70	25,60	25,80	26,30	25,70
4	31,30	31,50	31,70	32,00	31,00	31,50
5	40,10	40,80	39,40	39,80	40,40	40,10
6	33,20	33,40	33,30	33,00	33,60	33,30
7	48,90	48,80	48,70	48,60	48,50	48,70
8	49,01	49,01	50,01	48,01	49,01	49,01
9	65,50	65,51	65,47	65,54	65,52	65,51

Надалі визначали дисперсії коефіцієнтів регресії (табл. 7):

$$S_{b_0}^2 = \frac{S_0^2}{N}; \quad (13)$$

$$S_{b_1}^2 = S_0^2 / \Sigma(x_1^2); \quad (14)$$

$$S_{b_2}^2 = S_0^2 / \Sigma(x_2^2); \quad (15)$$

$$S_{b_{11}}^2 = S_0^2 / \Sigma(x_1^2); \quad (16)$$

$$S_{b_{22}}^2 = S_0^2 / \Sigma(x_2^2); \quad (17)$$

$$S_{b_{12}}^2 = S_0^2 / \Sigma(x_1 x_2). \quad (18)$$

Значущість коефіцієнтів регресії визначали за критерієм Стьюдента [1, 4]. При цьому визначали табличний (t_m) і розрахунковий критерій (t_p) критерії Стьюдента (табл. 7).

Залежно від ступенів вільності: $f_1 = N - (k - 1) = 9 - (6 + 1) = 2$, $f_2 = N(n - 1) = 9(5 - 1) = 36$, визначали табличне значення критерію Стьюдента, яке становить $t_T = 2,04$.

Визначали розрахункові значення критерію Стьюдента (t_p) і значущість коефіцієнтів: $t_{0p}, t_{1p}, t_{2p}, t_{11p}, t_{22p}, t_{12p} > t_T$.

Причому:

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}^2}; \quad (19)$$

$$t_{ijp} = \frac{|b_{ij}|}{S_{b_{ij}}^2}; \quad (20)$$

$$t_{iip} = \frac{|b_{ii}|}{S_{b_{ii}}^2}; \quad (21)$$

Таблиця 7 – Дисперсії коефіцієнтів регресії (S_b^2) і розрахункові значення критерію Стьюдента (t_p)

№ п/п	Дисперсії коефіцієнтів регресії		Розрахункові значення критерію Стьюдента	
	Умове позначення	Значення	Умове позначення	Значення
1	$S_{b_0}^2$	0,187	t_{0p}	232,08
2	$S_{b_1}^2$	0,23	t_{1p}	17,8
3	$S_{b_2}^2$	0,23	t_{2p}	40,8
4	$S_{b_{11}}^2$	0,39	t_{11p}	121,7
5	$S_{b_{22}}^2$	0,39	t_{22p}	107,7
6	$S_{b_{12}}^2$	0,28	t_{12p}	17,9

Враховуючи те, що розрахункові значення критерію Стьюдента $t_{0p}, t_{1p}, t_{2p}, t_{11p}, t_{22p}, t_{12p}$ є більшими від t_T , тому коефіцієнти рівняння регресії є значущими. Внаслідок чого рівняння регресії матиме наступний вигляд:

$$y = 43,4 - 4,10 x_1 - 9,4 x_2 + 47,5 x_1^2 + 42,04 x_2^2 + 5,02 x_1 x_2^2.$$

Адекватність отриманої моделі перевіряли за критерієм Фішера [1, 4]:

$$F_p = \frac{S_{u \max}^2}{S_y^2} \leq F_{(0,05; f_{ad}; f_y)}; \quad (22)$$

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^n S_u^2}{n}, \quad (23)$$

де $S_{u \max}^2 = 244,2$ – розрахункове значення дисперсії адекватності (табл. 5);

$S_y^2 = 127,9$ – дисперсія відтворення;

Тоді: $F_p = 1,9$

$F_{(0,05; f_{ad}; f_u)}$ – табличне значення критерію Фішера при 5%-ному рівні значущості $F_{(t)} = 3,6$.

Оскільки розрахункове значення критерію Фішера є меншим від табличного, тобто виконується умова (22), можна вважати, що рівняння адекватно описує склад композиції.

Отже, на основі проведених розрахунків можна стверджувати, що обидва фактори є важливими, тому що значення коефіцієнтів x_1 і x_2 є великими за абсолютною величиною. Однак, на основі результатів експериментальних досліджень (табл. 3) доведено, що максимальними показниками адгезійної міцності КМ при відриві характеризується композит наступного складу: ЕД-20 – 100 мас.ч., твердник – 10 мас.ч., основний наповнювач (ZrO_2) (63 мкм) – 70 мас.ч; додатковий наповнювач – пічна чажа (ПГМ-33) (8...12 мкм) – 25 мас.ч. Такий склад композиції доцільно використовувати для формування захисних покриттів з поліпшеними адгезійними властивостями.

Висновки. Методом математичного планування експерименту визначено оптимальний вміст інгредієнтів композиції, що дає можливість отримати покриття з прогнозованими адгезійними властивостями. Склад композиції з поліпшеними адгезійними властивостями становить: ZrO_2 – 70 мас.ч. та ПГМ-33 – 25 мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД- 20 і 10 мас.ч. твердника ПЕПА. Такий матеріал має адгезійну міцність $\sigma_a = 65,51$ МПа.

В подальшому планується дослідити вплив агресивних середовищ та гідроабразивну зносостійкість розроблених двошарових покриттів.

Список літератури

1. Крутов В.И. Основы научных исследований: Учебник для технических вузов / Крутов В.И., Грушко И.М., Попов В.В. и др.; Под ред. Крутова В.И., Попова В.В. – М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.
2. Букетов А.В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів / А.В.Букетов, П.Д.Стухляк, І.В.Чихіра. – Тернопіль: Крок, 2011. – 201 с.
3. Стухляк П.Д., Букетов А.В., Редько О.І. Епоксидно-діанові композити: технологія формування, фізико-механічні і теплофізичні властивості: монографія. – Тернопіль: Крок, 2011. – 165 с.
4. Зазимко В. Г. Оптимизация свойств строительных материалов: Учебное пособие для вузов / Зазимко В. Г. – М.: Транспорт, 1981. – 103 с.

Aleksandr Sapronov

Kherson State Maritime Academy, Kherson

Optimization of protective coating method of mathematical experiment planning

The dependence of the content of dispersed fillers in adhesive properties of epoxy composites to form a protective coating. The introduction of filler composition with different dispersion at the optimum content provides improved adhesion properties of coatings. The method of mathematical planning of the experiment to

determine the content of main and additional filler in the formation of coatings. For statistical analysis of the results of the experiment have audited the reproducibility of experiments on the criterion Cochran. Thus determined regression coefficients, the significance of which tested by Student's test. The adequacy of the obtained model tested by the Fisher criterion. Established optimal content zirconium dioxide and carbon black furnace, which is: (ZrO₂) - 70 parts, (GMP-33) - 25 parts, ED-20 - 100 parts, hardener PEPA - 10 parts.

adhesion, protective coatings, disperse filler, mathematical planning

Одержано 07.10.13

УДК 621. 923

О.О.Ситник, канд. техн. наук, В.В.Прудченко, асп.

Кіровоградський національний технічний університет

Інтенсифікація обробки керамічних матеріалів з додатковим хімічним впливом мастильно-охолодної рідини (МОР) з різним рН

Наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень хімічного впливу мастильно-охолодної рідини на процес алмазного шліфування змінних непероточуваних пластин із інструментальної кераміки. Встановлені властивості та наведені практичні рекомендації щодо використання технологічного середовища при алмазному шліфуванні керамічних матеріалів.

інструментальна кераміка, алмазне шліфування, тверді сплави

А.А.Сытник, В.В.Прудченко

Кировоградский национальный технический университет

Интенсификация обработки керамических материалов с дополнительным химическим влиянием смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) с разным рН

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований химического влияния смазывающе-охлаждающей жидкости на процесс алмазного шлифования сменных неперетачиваемых пластин из инструментальной керамики. Установлены свойства и приведены практические рекомендации по применению технологической среды при алмазном шлифовании керамических материалов.

инструментальная керамика, алмазное шлифование, твердые сплавы

Одним з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки України є розроблення технологій отримання нових високоміцних сталей та чавунів для машинобудування, що зумовлюється забезпеченням необхідних для зростання національного валового продукту темпів розвитку машинобудування в Україні. Аналіз ринку чорних металів України це підтверджує [1]. Таке збільшення виробництва вказаних металів зазвичай зумовлює і збільшення обсягів їх механічної обробки. Наведене вище свідчить про те, що в Україні виникла проблема високопродуктивної обробки нових ефективних, але важкооброблюваних матеріалів, до яких відносяться поліпшені і загартовані сталі та чавуни високої міцності. Особливо це стосується обточування та профілювання фасонних поверхонь металопрокатних валків, каландрових валів, а також виробів типу "вал", що застосовуються у металопереробній та харчовій промисловості, на яких доводиться стикатися з високою твердістю (твердість по Шору С до 90 од.), обробкою по кірці та підвищеною анізотропією властивостей поверхонь, що піддаються обробці.