

УДК 621.891.631.31

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ПРЕСУВАННЯ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ

Р. М. Остапенко

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття зі спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: romaostapenko1504@gmail.com.

Історія статті: отримано – листопад 2020, акцептовано – грудень 2020.

Бібл. 9, рис. 6, табл. 2.

Анотація. В статті зроблений аналіз впливу режимів отвердіння на фізико-механічні властивості полімерних композицій. Представлена методика досліджень. Об'єктом дослідження була: композиція на основі фенолоформальдегідної смоли модифікована антифрикційними наповнювачами (патент на корисну модель № 136085 «Полімерна антифрикційна композиція»).

Основою дослідження було вивчення фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей полімерних покриттів, отриманих методом прямого компресійного пресування. Дослідження адгезійної міцності проводились методом відриву двох циліндричних зразків, з'єднаних полімером встик, а також відриву конусних штифтів від покриття. Для вивчення адгезійної міцності була виготовлена спеціальна оснастка.

Вивчено вплив технологічних параметрів пресування на адгезійну міцність полімерних покриттів. Експериментальне дослідження проводили у відповідності з матрицею планування по плану Бокса-Бенкіна. Параметрами оптимізації були: адгезійна міцність покриття з основою, твердість, межа міцності при стиску, щільність.

Так, при різних параметрах пресування міцність зчеплення змінюється з 4 до 18,4 МПа, твердість із 74 до 188 МПа, руйнівне напруження на стиск з 46,1 до 131,2 МПа, щільність з 1544 до 1694 кг/м³.

Визначені оптимальні режими пресування: час витримки під тиском-0,8 хв/мм, тиск – 54-75 МПа, температура пресформи 438-463 К.

Ключові слова: полімерна композиція, покриття, відновлення деталей, адгезія, температура, тиск, твердість.

Постановка проблеми

Адгезійна міцність полімерного покриття з металевою основою є одним з головних факторів, що визначає працездатність відновлених деталей сільськогосподарської техніки. Недостатня адгезійна міцність системи полімер-метал обмежує застосування покриттів для відновлення деталей. Технологічні

фактори пресування (тиск, температура, час витримки під тиском) відіграють вирішальну роль у зміні фізико-механічних властивостей полімерних покриттів. Однак в літературі практично відсутні дослідження по вибору технологічних параметрів нанесення антифрикційних покриттів на основі термореактивних смол. На міцність зчеплення композиційного покриття з металом значно впливають: режими термообробки; фізична природа матеріалу основи; хімічна активність поверхонь; їхня мікрогеометрія; ступінь очищення від забруднень; товщина полімерного покриття та ін., що вимагають ретельного вивчення.

При отриманні високоякісних покриттів основними параметрами пресування є: температура нагріву пресформи, при якій формується покриття; тиск пресування і тривалість витримки деталі в пресформі. Фізико-механічні властивості покриттів із термореактивних композицій, залежать від підбору оптимальних режимів пресування.

Аналіз останніх досліджень

Для кожної композиції є оптимальна температура пресування, яку визначають дослідним шляхом.

А. Е. Вардомська і А. Д. Соколов [1] вивчали вплив режимів отвердіння (в інтервалі температур 423...463К) на фізико-механічні властивості скловолокнитів ДСВ і АГ-4В при зміні часу витримки в пресформі. Найкращі міцнісні властивості виробів отримані при температурі формування 423-443К. Використання температури формування 453-463К рекомендується при виготовленні дрібних деталей з використанням попереднього нагріву матеріалу. При підвищенні температури пресування прискорюється отвердіння реактопластів, і відповідно, зменшується час витримки деталей в пресформі. З підвищенням температури пресування до визначеної межі покращуються фізико-механічні властивості, однак при цьому зменшується тривалість пластично-в'язкого стану матеріалу. Так, за даними А. Д. Соколова [2] при температурі вище 463К якість поверхні виробів погіршується, з'являються пори, збільшується усадка.

В. А. Брагинский [3] також стверджує, що із зростанням температури пресформи збільшується абсолютне значення й анізотропія усадки. При збільшенні часу витримки, підвищенні температури [3], підвищенні тиску понад 50 МПа, зростає пористість матеріалу через інтенсивність виділення летучих, так як поверхневі шари прескомпозиції твердіють раніше, ніж через них встигають виділитися пари води. Внаслідок цього частина парів залишається в покритті і в ньому виникають внутрішні напруження. В результаті при розкритті пресформи відбувається розрив чи руйнування покриття, або утворення на його поверхні тріщин.

Пресувати при понижений температурі також недоцільно, так як чим нижче температура, тим більш тривалою повинна бути витримка і фізико-механічні властивості покриттів при цьому погіршуються.

В роботах А. С. Гуляєва, В. Г. Дедюхина, В. П. Ставрова [4, 5] встановлено, що міцність склопластику АГ-4В майже не змінюється в інтервалі тисків від 10 до 100 МПа, а по даним І. Я. Страуме [6] оптимальні механічні властивості АГ-4В спостерігаються при зміні тиску в межах від 10 до 40 МПа. Таким чином, при формуванні полімерних покриттів вибір питомого тиску вимагає додаткових досліджень. Введення наповнювачів також значно впливає на кінетику отвердіння.

З приведенного вище огляду видно, що питання впливу технологічних факторів на фізико-механічні властивості покриттів вивчені недостатньо, при цьому, вони стосуються переважно конструкційних деталей і виробів. Такі фактори, як температура, тиск пресування і час витримки в пресформі композиції домінують при відновленні зношених деталей заглиблювальних насосів, зокрема радіальних підшипників ковзання, та підпятників.

Аналізуючи літературні дані про дослідження фізико-механічних властивостей, можна припустити наявність зв'язку між адгезійною міцністю і щільністю, щільністю і твердістю, твердістю і межею міцності при стисканні.

Так, в роботі З. Я. Абашина [7] встановлений взаємозв'язок між щільністю і твердістю матеріалу АМС-1 з коефіцієнтом кореляції 0,966.

В роботі М. В. Біленького [8] встановлена залежність коефіцієнту тертя антифрикційних матеріалів (графітованого текстоліту, фенілону, капролону, карбопластику КСГ) від фізико-механічних властивостей: твердості; межі міцності при розриві $\sigma_{p.з.}$; межі міцності при стиску σ_c ; межі міцності при зрізі $\sigma_{зр.}$; ударної в'язкості a_n .

Таким чином, фізико-механічні властивості, отримані при різних технологічних параметрах пресування дають, можливість в деякому наближенні судити про антифрикційні властивості композиційних покриттів.

Мета досліджень

Мета дослідження полягає у встановленні впливу режимів пресування на фізико-механічні властивості антифрикційних полімерних покриттів.

Результати досліджень

Об'єктом дослідження була: композиція на основі фенолоформальдегідної смоли модифікована антифрикційними наповнювачами. [9]. Основою дослідження було вивчення фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей полімерних покриттів, отриманих методом прямого компресійного пресування.

Дослідження адгезійної міцності проводились методом відриву двох циліндричних зразків, з'єднаних полімером встик (рис. 1), і відриву конусних штифтів від полімерного покриття (рис. 2). Для циліндричних зразків була виготовлена спеціальна пресформа. В якості матриці була взята обойма плунжерної пари 1 діаметром 9 мм, пуансоном був зразок 2. Обігрів пресформи здійснювався нагрівальною спіраллю 3 і регулювався за допомогою ЛАТР-а 4. Температуру контролювали термopарою 5 і реєстрували мілівольтамперметром 9 (М2007). Тиск через шліфовану плиту 6 створювали гідроциліндром 7, при цьому використовували звичайний домкрат. Величину тиску вимірювали зразковим динамометром (1тс) за допомогою індикатора годинникового типу 8.

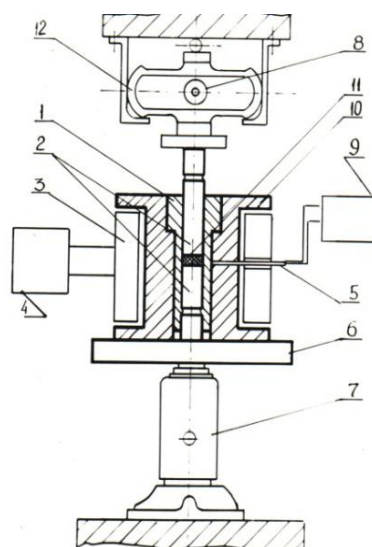


Рис. 1. Схема пресформи для нанесення полімерних покриттів на циліндричні зразки: 1 – обойма; 2 – зразки; 3 – нагрівальна спіраль; 4 – ЛАТР; 5 – терморпара; 6 – плита; 7 – гідроциліндр; 8 – індикатор; 9 – мілівольтметр; 10 – матриця; 11 – полімерне покриття; 12 – зразковий динамометр.

Fig. 1. Scheme of a mold for applying polymer coatings on cylindrical samples.

Зразки для дослідження адгезійної міцності виготовляли із ст. 45 діаметром 9 мм і довжиною 35 мм. Торці зразків 2 шліфували в призмі до шорсткості $Rz32$ мкм. Перед нанесенням покриттів торці дотичних поверхонь знежирювали ацетоном. Пресматеріал перед нанесенням покриттів просували при температурі 333К протягом 0,5 годин, а зразки 2 нагрівали до температури 423К.

У якості антиадгезійного мастила для пресформи застосовували кремній-органічні рідини, які утворювали на стінках пресформи тонку плівку, що

дозволяло легко витягувати з пресформи деталі і забезпечувати гладку і рівну поверхню нанесеного покриття, а також зводити до мінімуму порушення адгезійних зв'язків між покриттям і основою.

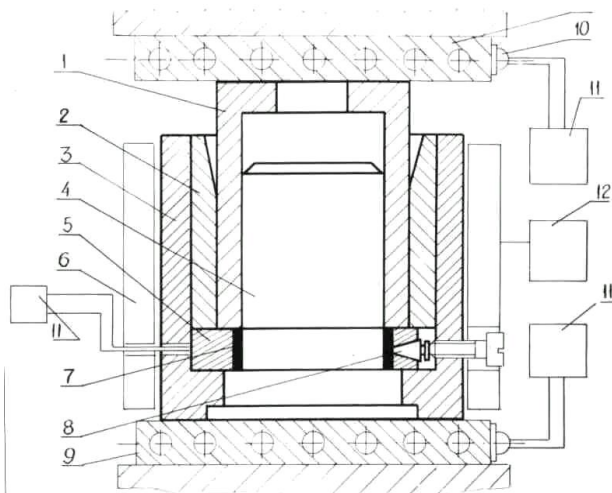


Рис. 2. Схема пресформи для нанесення полімерних покриттів на конічні зразки (штифти): 1 – пуансон; 2 – втулка; 3 – матриця; 4 – знак; 5 – зразок; 6 – нагрівач; 7 – полімерне покриття; 8 – конусний штифт; 9 – нагрівальна плита; 10 – термопара; 11 – міліамперметр; 12 – латр.

Fig. 2. Scheme of the mold for applying polymer coatings on conical samples (pins).

Зусилля відриву конусних штифтів і циліндричних зразків від покриття визначали на розривній машині МР-05, використовуючи при цьому спеціально виготовлені пристосування (рис. 3 і 4). Стабільність нагрівання зразків перед покриттям, забезпечували однаковими температурними умовами (швидкість нагрівання – 4...6 К/хв, витримка при необхідній температурі – 10...15 хв.).

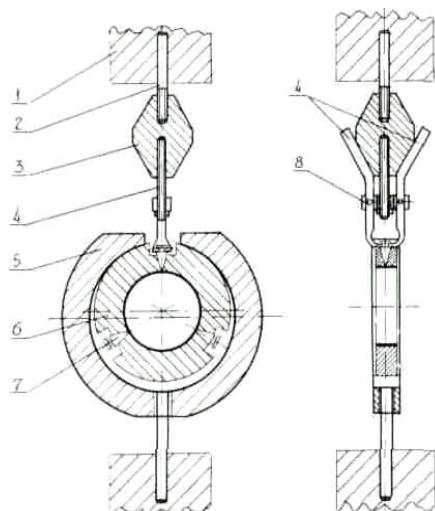


Рис. 3. Схема пристрою для визначення адгезійної міцності покриттів методом відриву конусних штифтів: 1 – затискач; 2 – державка; 3 – конус; 4 – захват; 5 – обойма; 6 – зразок; 7 – штифт; 8 – планка.

Fig. 3. Scheme of a device for determining the adhesive strength of coatings by the method of separation of conical pins.

Твердість визначали на твердомірі моделі МКV-1, по глибині вдавнення кульки діаметром 5 мм при навантаженні 50 кг. Щільність визначали шляхом обмірювання відпресованого зразка мікрометром МК-25, і зважуванням на вагах марки ВЛР-200 з точністю 0,1 мг.

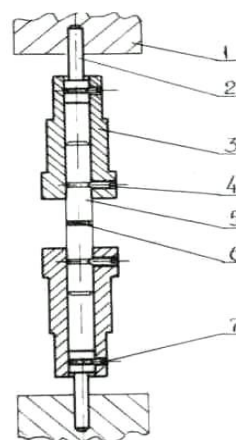


Рис. 4. Схема пристрою для визначення адгезійної міцності покриттів, з'єднаних встик: 1 – затискач; 2 – державка; 3 – обойма; 4 – гвинт; 5 – зразок; 6 – покриття; 7 – фіксатор.

Fig. 4. Diagram of a device for determining the adhesive strength of butt-coated coatings.

Дослідження проводили при наступних режимах: тиск пресування 10...90 МПа, температура пресформи 403...463 К, час витримки під тиском 0,5...1,5 хв/мм перетину.

Дослідження адгезійної міцності полімерних покриттів з металевою основою із запропонованої композиції [9] проводили в два етапи. На першому етапі на основі аналізу літературних даних були обрані рівні варіювання технологічних факторів пресування. На другому етапі за допомогою планування експерименту визначені оптимальні технологічні параметри пресування, що забезпечують максимальну адгезійну міцність металополімерних з'єднань.

При отриманні високоякісних покриттів основними параметрами пресування є: температура нагріву пресформи, при якій формується покриття, тиск пресування і тривалість витримки деталі в пресформі. Фізико-механічні властивості покриттів із термореактивних композицій, залежать від підбору оптимальних режимів пресування.

Виходячи з аналізу літературних даних для досліджень були обрані наступні рівні варіювання технологічних факторів пресування (табл. 1).

Експериментальне дослідження проводили у відповідності з матрицею планування (табл. 2) по плану Бокса-Бенкіна. Параметрами оптимізації служили: адгезійна міцність покриття з основою (U_1), твердість (U_2), межа міцності при стиску (U_3), щільність (U_4).

В результаті математичної обробки експериментальних даних і регресійного аналізу отримані моделі, що адекватно описують поверхню відгуку:

$$Y_1 = 17,5 + 3,05X_1 + 1,25X_2 + 3,8X_3 - 3,7X_1^2 - 1,5X_2^2 - 4,4X_3^2 + 2,3X_1X_3 \quad (1)$$

$$Y_2 = 165 + 10X_1 + 12X_2 + 34X_3 - 12X_2^2 - 43X_3^2 + 19,3X_1X_3 \quad (2)$$

$$Y_3 = 124,8 + 7,8X_1 + 12,2X_2 + 30,2X_3 - 12,8X_1^2 - 6,8X_2^2 - 28,2X_3^2 + 13,5X_1X_3 \quad (3)$$

$$Y_4 = 1686 + 15,4X_1 + 20,9X_2 + 40,5X_3 - 21X_1^2 - 14X_2^2 - 62,5X_3^2 + 43,2X_1X_3 \quad (4)$$

Таблиця 1. Уровні варіювання факторів.**Table 1.** Levels of variation of factors.

Значення фактора	Кодове значення рівнів		
	-1	0	+1
X_1 – тиск пресування	10	50	90
X_2 – час витримки, хв/мм	0,5	1	1,5
X_3 – температура пресформи, К	403	433	463

Таблиця 2. Матриця планування і результати експериментів по визначенню адгезійної міцності (Y_1), твердості (Y_2), межі міцності при стиску (Y_3), щільності (Y_4).

Table 2. The planning matrix and the results of experiments to determine the adhesive strength (U_1), hardness (U_2), compressive strength (U_3), density (U_4).

№ досліду	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	+1	+1	0	16,0	188,0	131,2	1694
2	+1	-1	0	13,6	139,0	85,2	1632
3	-1	+1	0	9,6	152,0	119,5	1679
4	-1	-1	0	10,4	139,0	82,0	1595
5	+1	0	+1	18,4	188,0	130,5	1694
6	+1	0	-1	8,0	80,0	59,4	1545
7	-1	0	+1	6,4	128,0	79,7	1562
8	-1	0	-1	5,2	97,0	62,5	1606
9	0	+1	+1	17,6	160,0	129,7	1679
10	0	+1	-1	10,0	86,0	55,5	1552
11	0	-1	+1	15,2	133,0	125,0	1666
12	0	-1	-1	4,0	74,0	46,1	1544
13	0	0	0	16,9	160,0	124,2	1687
14	0	0	0	17,6	168,0	127,4	1690
15	0	0	0	18,0	168,0	122,8	1680
				151,3	1732,0	1230,5	21135,0

Аналіз коефіцієнтів регресії рівнянь (1 – 4) показав, що найбільший вплив на адгезійну міцність і фізико-механічні властивості покриттів робить температура пресформи. Великий значимий зв'язок має парна взаємодія температури і тиску пресування (X_1 , X_3). Ріст тиску еквівалентний збільшенню температури. При негативному значенні одного з факторів (X_1 або X_3) різко знижуються адгезійні і фізико-механічні властивості покриттів.

Адгезійна міцність є одним з головних факторів, що визначає надійність роботи нанесеного покриття. Аналіз результатів дослідження адгезійної міцності (Y_1) показав, що в залежності від технологічних факторів пресування вона коливається в великих межах: від 4 до 18,4 МПа. Вплив кожного фактора що досліджується окремо на функцію відгуку визначали з рівняння (1), значення інших факторів приймали рівними: -1, 0, +1.

Рівняння (1) при цьому здобуває вид:
при $X_1=0$

$$Y_1 = 17,5 + 1,25X_2 + 3,8X_3 - 1,5X_2^2 - 4,4X_3^2 \quad (5)$$

$X_1=+1$

$$Y_1 = 16,85 + 1,25X_2 + 6,1X_3 - 1,5X_2^2 - 4,4X_3^2 \quad (6)$$

$X_1=-1$

$$Y_1 = 10,75 + 1,25X_2 + 1,5X_3 - 1,5X_2^2 - 4,4X_3^2 \quad (7)$$

$$X_2=0 \quad Y_1 = 17,5 + 3,05X_2 + 3,8X_3 - 3,7X_1^2 - 4,4X_3^2 + 2,3X_1X_3 \quad (8)$$

$$X_2=+1 \quad Y_1 = 17,2 + 3,05X_1 + 3,8X_3 - 3,7X_1^2 - 4,4X_3^2 + 2,3X_1X_3 \quad (9)$$

$$X_2=-1 \quad Y_1 = 14,7 + 3,05X_1 + 3,8X_3 - 3,7X_1^2 - 4,4X_3^2 + 2,3X_1X_3 \quad (10)$$

$$X_3=0 \quad Y_1 = 17,5 + 3,05X_1 + 1,25X_2 - 3,7X_1^2 - 1,5X_2^2 \quad (11)$$

$$X_3=+1 \quad Y_1 = 16,9 + 5,85X_1 + 1,25X_2 - 3,7X_1^2 - 1,5X_2^2 \quad (12)$$

$$X_3=-1 \quad Y_1 = 9,3 + 0,75X_1 + 1,25X_2 - 3,7X_1^2 - 1,5X_2^2 \quad (13)$$

Задаючись визначеним значенням рівня відгуку (Y_1), визначали значення аргументів, що забезпечують заданий рівень, і будували графіки поверхонь рівного відгуку, які представлені на рис. 5.

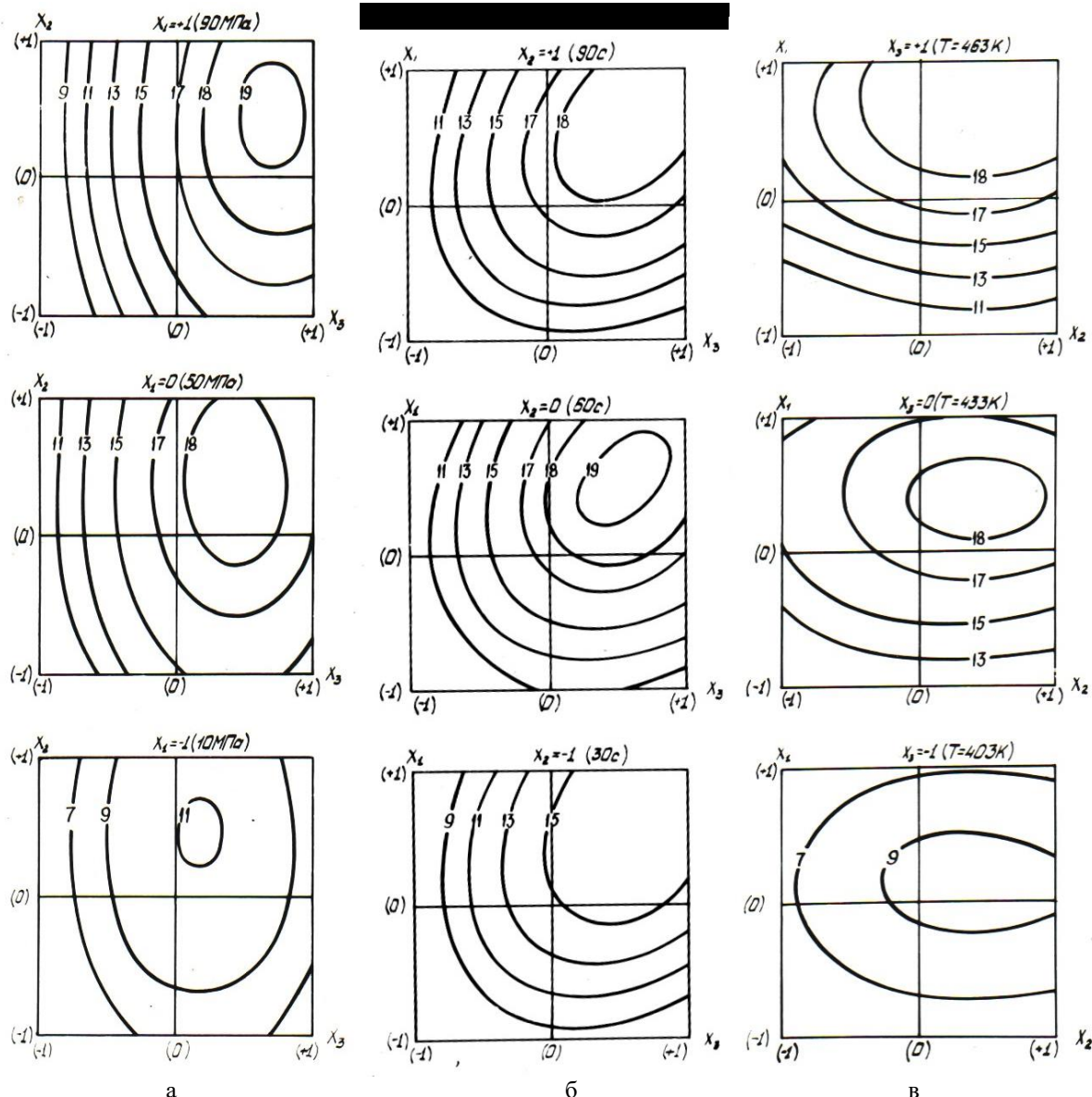


Рис. 5. Уровні значення адгезійної міцності: а) при $X_1=90$ МПа; $X_1=50$ МПа; $X_1=10$ МПа; б) при $X_2=1,5$ хв/мм; $X_2=1,0$ хв/мм; $X_2=0,5$ хв/мм; в) при $X_3=463$ К; $X_3=433$ К; $X_3=403$ К.

Fig. 5. Level values of adhesive strength.

Аналіз моделей показав, що температура і тиск пресування є вирішальними факторами для одержання високих значень адгезійної міцності. При максимальних значеннях $X_1=+1$, $X_2=+1$, $X_3=+1$ не спостерігається її значне збільшення в порівнянні зі значеннями $X_1=0$, $X_2=0$, $X_3=0$. Так, адгезійну міцність в межах 18...19 МПа можна одержати в наступному діапазоні технологічних факторів: $X_1=-0,1...+1$ (46... 90 МПа), $X_2=-0,4...+1$ (0,8...1,5 хв/мм), $X_3=0...+1$ (433...463 К). При $X_1=-1$ (10МПа) і $X_3=-1$ (403К) адгезійна міцність покриттів з основою має низькі значення і знаходиться в межах 7...11 МПа.

Враховуючи те, що фактор часу відіграє істотну роль в продуктивності технологічного процесу при нанесенні покриттів, ми визначили (графічно) мінімальний час витримки (X_2), що забезпечує адгезійну міцність не нижче 18 МПа. Він склав $X_2=-0,4$ (0,8 хв/мм) (див. рис. 5 а, в).

Оптимальні значення температури і тиску пресування визначали при $X_2=-0,4$, досліджуючи при цьому параметри адгезійну міцність (Y_1), твердість (Y_2), межу міцності при стиску (Y_3), щільність (Y_4). Підставляючи $X_2=-0,4$ в отримані раніше рівняння одержимо:

$$Y_1 = 16,76 + 3,05X_1 + 3,8X_3 - 3,7X_1^2 - 4,4X_3^2 + 2,3X_1X_3 \quad (14)$$

$$Y_2 = 158,3 + 10X_1 + 34X_3 - 43X_3^2 + 19,3X_1X_3 \quad (15)$$

$$Y_3 = 122,1 + 7,81X_1 + 30,2X_3 - 12,8X_1^2 - 28,2X_3^2 + 13,5X_1X_3 \quad (16)$$

$$Y_4 = 1681,3 + 15,4X_1 + 40,5X_3 - 21,0X_1^2 - 62,5X_3^2 + 48,2X_1X_3 \quad (17)$$

Задаючись визначеними значеннями адгезійної міцності (18 МПа), твердості, межі міцності при стиску, щільності, будували графіки поверхонь рівного відгуку (рис. 6).

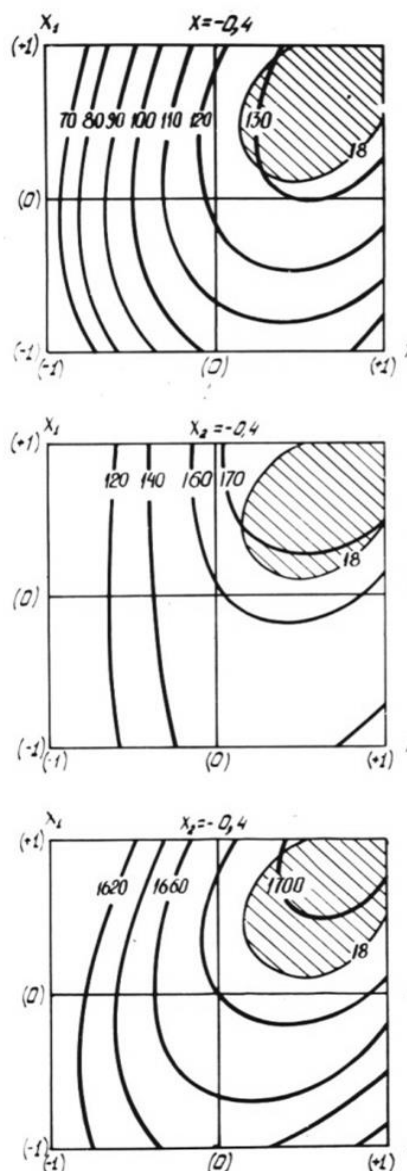


Рис. 6. Геометричний образ поверхонь рівного відгуку при оптимальному значенні $X_2 = -0,4$: а) адгезійна міцність – межа міцності при стисканні; б) адгезійна міцність – твердість; в) адгезійна міцність – щільність.

Fig. 6. Geometric image of surfaces of equal response at the optimal value $X_2 = -0.4$.

Висновки

Аналіз результатів досліджень дозволив зробити наступні висновки:

1. Технологічні параметри пресування значно впливають на міцність зчеплення і фізико-механічні властивості покриттів, при цьому міцність зчеплення змінюється з 4 до 18,4 МПа, твердість із 74 до 188 МПа, руйнівне напруження на стиск із 46,1 до 131,2 МПа, щільність з 1544 до 1694 кг/м³.

2. У зв'язку з тим, що фактор часу впливає на продуктивність технологічного процесу, мінімальний час витримки під тиском прийнятий 0,8 хв/мм перерізу, забезпечуючи максимальну адгезійну міцність у межах 17...18 МПа.

3. При міцності зчеплення 18 МПа фізико-механічні властивості знаходяться в межах: твердість 16,5...17 МПа, щільність 1690...1694 кг/м³, руйнівне напруження на стиск 125...130 МПа.

4. Пресування антифрикційних покриттів доцільно проводити при наступних режимах: а) час витримки під тиском – 0,8 хв/мм перерізу; б) тиск пресування – 54...75 МПа; в) температура пресформи – 438...463 К.

Список літератури

1. Zhi-ling Peng, Chun-gui Zhou. Research on modeling of nonlinear vibration isolation system based on Bouc-Wen model. *Defence Technology*. 2014. Vol. 10. P. 371-374.
2. Semenov M. E., Meleshenko P. A., Solovyov A. M., Semenov A. M. Hysteretic nonlinearity in inverted pendulum problem. *Springer Proceedings in Physics*. 2015. Vol. 168. P. 463-507.
3. Bernyk I., Nazarenko I., Luhovskyi O. Effect of rheological properties of materials on their treatment with ultrasonic cavitation. *Materials and technology*. 2018. Vol. 4 (52). P. 465-468.
4. Veklich A., Tmenova T., Zazimko O., Trach V., Lopatko K., Titova L., Boretskij V., Aftandiliants Y., Lopatko S., Rogovskiy I. Regulation of biological processes with complexions of metals produced by underwater spark discharge. 2020. *Springer Proceedings in Physics*. Book series Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces and Their Applications. Vol. 247. P. 283-306.
5. Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L. Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 6 (7-108). P. 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.
6. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3(105). P. 19-29.
7. Tmenova T., Valensi F., Veklich A., Cressault Y., Boretskij V., Lopatko K., Aftandilyant Y. Etude d'un arc impulsif immergé à l'aide de deux dispositifs expérimentaux. *Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement*. 2017. Vol. 3. No 1. P. 2428-8500. doi: 10.18145/jitipee.v3i1.159.
8. Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Ohienko M., Duczmal W., Potwora W., Titova L., Rogovskii I. *Agrotronics and optimal control of cranes and hoisting machines: monograph*. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. 164 p.
9. Boretskij V. F., Veklich A. N., Tmenova T. A., Cressault Y., Valensi F., Lopatko K. G., Aftandilyants Y. G.

Plasma of underwater electric discharges with metal vapors. Problems of atomic science and technology. 2019. № 1. Series: Plasma Physics (25). P. 127-130.

References

1. Zhi-ling Peng, Chun-gui Zhou. (2014). Research on modeling of nonlinear vibration isolation system based on Bouc-Wen model. Defence Technology. 10. 371-374.
2. Semenov M. E., Meleshenko P. A., Solovyov A. M., Semenov A. M. (2015). Hysteretic nonlinearity in inverted pendulum problem. Springer Proceedings in Physics. 168. 463-507.
3. Berynk I., Nazarenko I., Luhovskyi O. (2018). Effect of rheological properties of materials on their treatment with ultrasonic cavitation. Materials and technology. 4 (52). 465-468.
4. Veklich A., Tmenova T., Zazimko O., Trach V., Lopatko K., Titova L., Boretskij V., Aftandiliants Y., Lopatko S., Rogovskiy I. (2020). Regulation of biological processes with complexions of metals produced by underwater spark discharge. Springer Proceedings in Physics. Book series Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces and Their Applications. 247. 283-306.
5. Nazarenko I., Dedov O., Berynk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6 (7-108). 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.
6. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3(105). 19-29.
7. Tmenova T., Valensi F., Veklich A., Cressault Y., Boretskij V., Lopatko K., Aftandilyant Y. (2017). Etude d'un arc impulsif immergé à l'aide de deux dispositifs expérimentaux. Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement. 3(1). 2428-8500. doi: 10.18145/jitipee.v3i1.159.
8. Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Ohienko M., Duczmal W., Potwora W., Titova L., Rogovskii I. (2020). Agrotechnics and optimal control of cranes and hoisting machines: monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 164.
9. Boretskij V. F., Veklich A. N., Tmenova T. A., Cressault Y., Valensi F., Lopatko K. G., Aftandilyants Y. G. (2019). Plasma of underwater electric discharges with metal vapors. Problems of atomic science and technology. 1. Series: Plasma Physics (25). 127-130.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПРЕССОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Р. Н. Остапенко

Аннотация. В статье сделан анализ влияния режимов отверждения на физико-механические свойства полимерных композиций. Представлена методика исследований. Объектом исследования была композиция на основе фенолоформальдегидной смолы, модифицированная антифрикционными наполнителями (патент на полезную модель № 136085. «Полимерная антифрикционная композиция»).

Основой исследований было изучение физико-механических, технологических свойств полимерных покрытий, полученных методом прямого компрессионного прессования. Исследование адгезионной прочности проводилось методом отрыва двух цилиндрических образцов, соединенных полимером встык и отрыва конусных штифтов от покрытия. Для изучения адгезионной прочности была изготовлена специальная оснастка.

Изучено влияние технологических параметров прессования на адгезионную прочность полимерных покрытий. Экспериментальное исследование проводили в соответствии с матрицей планирования по плану Бокса-Бенкина. Параметрами оптимизации служили: адгезионная прочность покрытия с основой, твердость, предел прочности при сжатии, плотность.

Так, при разных параметрах прессования прочность сцепления изменяется с 4 до 18,4 МПа, твердость с 74 до 188 МПа, предел прочности на сжатие с 46,1 до 131,2 МПа, плотность с 1544 до 1694 кг/м³.

Определены оптимальные режимы прессования: время выдержки под давлением – 0,8 мин/мм, давление – 54-75 МПа, температура прессформы 438-463 К.

Ключевые слова: полимерная композиция, покрытие, восстановление деталей, адгезия, температура, давление, твердость.

EFFECT OF PRESSING MODES ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ANTIFRICTION POLYMER MATERIALS

R. M. Ostapenko

Abstract. The article analyzes in detail the influence of curing modes on the physical and mechanical properties of polymer compositions. The research methodology is presented. The object of the study was: a composition based on phenol-formaldehyde resin modified with antifriction fillers (patent for a useful model No. 136085. "polymer antifriction composition").

The research was based on the study of the physical, mechanical, technological properties of polymer coatings obtained by the method of direct compression cutting. The study of adhesion strength was carried out by the method of normal pull-off of two cylindrical specimens connected butt and tapered pins. To study the adhesion strength, a special tooling was made.

The influence of technological parameters of pressing on the adhesive strength of polymer coatings has been studied. The experimental study was carried out in

accordance with the Box-Benkin planning matrix. The optimization parameters were: adhesion strength of the coating to the base, hardness, ultimate strength in compression, density.

Thus, with different pressing parameters, the adhesion strength changes from 4 to 18.4 MPa, the HB hardness from 74 to 188 MPa, the ultimate compressive strength from 46.1 to 131.2 MPa, and the density from 1544 to 1694 kg/m³. Pressing modes: holding time under pressure 0.8 min/mm, pressure 54-75 MPa, mold temperature 438-463 K.

Key words: polymer composition, coating, restoration of parts, adhesion, temperature, pressure, hardness.

P. M. Остапенко ORCID 0000-0002-5976-5871.