

**Дудчак В.П.,
Дудчак Т.В.,
Остапенко Р.М.**

Подільський державний аграрно-технічний
університет,
м. Кам'янець-Подільський, Україна

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНІСТІ І ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

Вступ

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 немає яких-небудь теоретичних досліджень на вибір технологічних параметрів нанесення антифрикційних покриттів на основі термореактивних смол, що забезпечують високі адгезійні властивості. 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 і 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 відомих 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 423 ... 463К) на фізико-механічні властивості скловолокнитів ДСВ і АГ-4В при зміні часу витримки в пресформі на приладі ПВР-1. 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, а 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 зтверджує, що із зростанням температури пресформи збільшується абсолютне значення й анізотропія усадки. При збільшенні часу витримки, підвищення необхідної температури [3], підвищення тиску понад 50 МПа, зростає пористість матеріалу з-за інтенсивного виділення летучих, так як поверхневі шари прескомпозиції твердіють раніше, ніж через них встигають виділитися пари води. Внаслідок цього частина парів залишається в виробі і в ньому виникають внутрішні напруження. В результаті при розкритті пресформи відбувається розрив чи руйнування виробу, або утворення на його поверхні тріщин.

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

В роботах А.С. Гуляєва, В.Г. Дедюхіна, 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 його механічні властивості 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, однак в літературі питання технології нанесення покриттів з термореактивних композицій практично не вивчені.

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, що беруть участь при відновленні зношених деталей сільськогосподарської техніки, вивчені і оцінені з точки зору їх ефективності.

Ефективність цих факторів оцінена за допомогою вивчення адгезійної міцності системи полімер-метал, твердості, межі міцності при стиску, щільності.

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 і т.д. Так, в роботі З.Я. Абашина і ін. [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_H і т.д.

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

Методика досліджень

Об'єктом дослідження були: композиції на основі фенолоформальдегідної смоли модифіковані антифрикційними наповнювачами. Основою дослідження було вивчення фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей полімерних покриттів, отриманих методом прямого компресійного пресування.

Дослідження адгезійної міцності проводились методом нормального відриву двох циліндричних зразків, з'єднаних полімером встик і конусних штифтів. Для вивчення адгезійної міцності була виготовлена спеціальна пресформа (рис. 1).

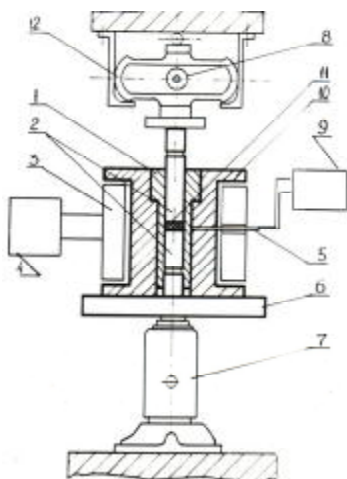


Рис. 1 – Схема пресформи для отримання зразків, з'єднаних полімером встик:

- 1 – обойма; 2 – зразки; 3 – нагрівальна спіраль;
- 4 – ЛАТР; 5 – термопара; 6 – плита; 7 – гідроциліндр;
- 8 – індикатор; 9 – мілівольтметр; 10 – матриця;
- 11 – полімерне покриття; 12 – зразковий динамометр

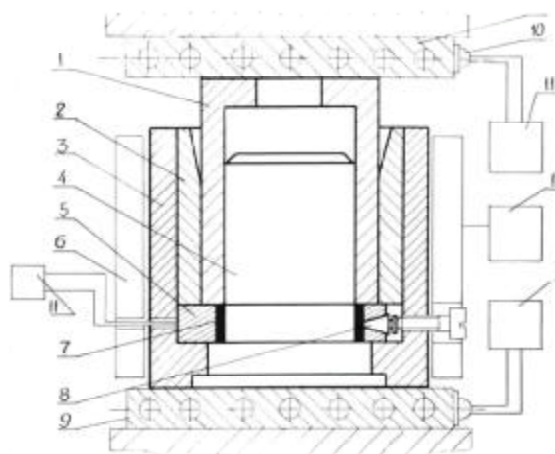


Рис. 2 – Схема пресформи для нанесення полімерних покриттів на зразки методом відриву конусних штифтів:

- 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

В якості матриці була взята обойма плунжерної пари 1 діаметром 9 мм, пуансоном був зразок 2. Обігрів пресформи здійснювався нагріваючою спіраллю 3 і регулювався за допомогою ЛАТР-а 4. Температуру контролювали термопарою 5 і реєстрували мілівольтамперметром 9 (М2007). Тиск через шліфовану плиту 6 створювали гідроциліндром 7, при цьому використовували звичайний домкрат. Величину тиску вимірювався зразковим динамометром (1тс) за допомогою індикатора годинникового типу 8.

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 просушували при температурі 333К протягом 0,5 годин, а зразки 2 нагрівали до температури 423К

У якості антиадгезійної змаски для пресформ застосовували кремнійорганічні рідини, які утворювали на стінках пресформи тонку плівку, що дозволяло легко витягати з пресформи деталі і забезпечувати гладку і рівну поверхню нанесеного покриття, а також зводити до мінімуму порушення адгезійних зв'язків між покриттям і основою.

Адгезійну міцність покриття визначали кількісним методом рівномірного відриву конусних штифтів і зразків, з'єднаних полімером встик, на розривній машині МР-05, використовуючи при цьому спеціально виготовлені пристосування (рис. 3 і 4). Стабільність нагрівання зразків перед покриттям, за даними попередніх дослідів, забезпечували однаковими температурними умовами (швидкість нагрівання – 4 ... 6 К/хв, витримка при необхідній температурі – 10 ... 15 хв.).

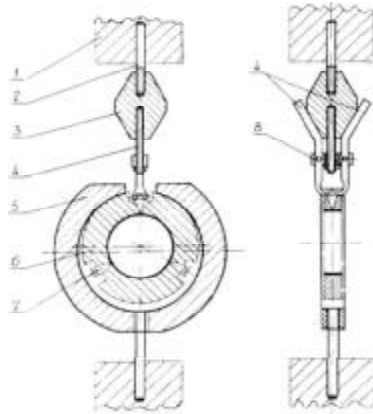


Рис. 3 – Схема пристрою для визначення адгезійної міцності покриттів методом відриву конусних штифтів:
1 – затискач; 2 – державка; 3 – конус; 4 – захват;
5 – обойма; 6 – зразок; 7 – штифт; 8 – планка

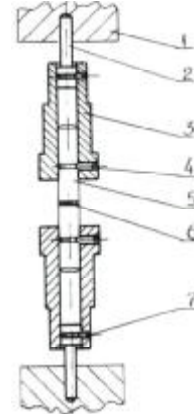


Рис. 4 – Схема пристрою для визначення адгезійної міцності покриттів, з'єднаних встик:
1 – затискач; 2 – державка;
3 – обойма; 4 – гвинт;
5 – зразок; 6 – покриття; 7 – фіксатор

З метою підвищення адгезійної міцності композиції нами пропонується пристрій [10] який схематично зображений на рис. 5.

Пристрій містить рухливу плиту 1, жорстко зв'язану із силовим циліндром 2 преса. На плиті 1 встановлений пуансон-хвилевід 3, що оснащений магнітострикційним перетворювачем 4 і збудником низькочастотних коливань, виконаним у виді ексцентрикового вібратора 5, причому пуансон-хвилевід 3 підпружинений до плити 1 пружиною 6. Під рухливу плиту 1 розміщена матриця 7, яка закріплена на нерухомій плиті 8, стола 9 преса. У нерухомій плиті 8 встановлений знак 10, хвильовід-виштовхувач 11, оснащений магнітострикційним перетворювачем 12 і виконаний у виді стакану з внутрішньою порожниною В, що має форму гіперboloїда. В стакані передбачені пази Г утворюючі при перетинанні двох катетноїдних у поперечному перерізі поверхонь - зовнішньої циліндричної і внутрішньої гіперболічної не менш трьох виступів Д, що забезпечує максимальну концентрацію коливань у робочій зоні.

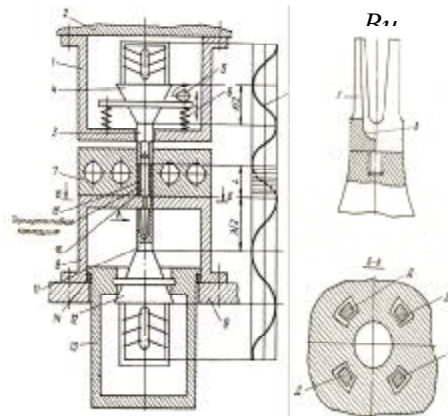


Рис. 5 – Схема пристрою для нанесення полімерної композиції:
1 – рухлива плита; 2 – силовий циліндр; 3 – пуансон-хвилевід; 4 і 12 – магнітострикційний перетворювач;
5 – ексцентриковий вібратор; 6 – пружина; 7 – матриця; 8 – нерухома плита; 9 – стіл преса; 10 – знак;
11 – хвильовід-виштовхувач; 13 – корпус; 14 – прокладка; 15 – відновлювана деталь

Хвильовід-виштовхувач 11 розміщений у корпусі 13, що через прокладку 14 стикається з плитою 9 преса. Відстань від торця пуансона-хвилеводу 3 до хвильоводу-виштовхувача 11 визначили зі співвідношення:

$$2d < L < \frac{1}{4}\lambda,$$

де d – діаметр матриці під відновлювану деталь, мм;

L – відстань від торця пуансона-хвилеводу до хвильоводу-виштовхувача (довжина формоутворюючої частини матриці), мм;

λ – довжина хвилі ультразвукових коливань, мм.

Довжину пуансона-хвилеводу 3 і хвильоводу-виштовхувача 11 визначали по відомих залежностях.

Залежність довжини L формуючої частини матриці від довжини λ хвилі і діаметра d матриці під формуючу деталь знаходили експериментально.

Пристрій працює наступним чином. Попередньо нагріту термореактивну композицію завантажують у матрицю 7, в якій розміщена нагріта відновлювана деталь 15. На стадії низького тиску (наприклад від 0 до 10 МПа) на матеріал через пуансон-хвилевід 3 впливають низькочастотними коливаннями з частотою 50 - 200 Гц і амплітудою 1 - 2 мм, наприклад, ексцентриковим вібратором 5. При досягненні верхньої межі тиску низькочастотні коливання припиняють і на деталь 15 через хвильовід-виштовхувач 11 від магнітострикційного перетворювача 12 подають ультразвукові коливання з інтенсивністю 70 - 110 Вт/см², причому тиск при цьому підвищують до 55 - 60 МПа. При досягненні верхньої межі на стадії високого тиску інтенсивність коливань знижують до 25 ± 5 Вт/см² і впливають ними одночасно на деталь 15 і термореактивну композицію до початку витримки під тиском. Після витримки під тиском і отвердіння термореактивної композиції деталь 15 за допомогою хвильовода-виштовхувача 11 видаляють з матриці. Як джерело ультразвукових коливань брали генератор УЗГ-10-22 з магнітострикційними перетворювачами ПМС 15А-18. Низькочастотні коливання одержували від звичайного ексцентрикового механізму.

Застосування ультразвукового впливу на полімерну композицію і деталь дозволило збільшити адгезійну міцність з 18 МПа до 25 - 30 МПа, крім того ультразвуковий вплив збільшує щільність композиції, знижує водомаслопоглинання.

Руйнівне напруження і величину адгезійної міцності покриття з металевою основою визначали на розривній машині МР-05. Твердість визначали на твердомірі моделі МКВ-1, по глибині вдавлення кульки діаметром 5 мм при навантаженні 50 кг. Щільність визначали шляхом обмірювання відпресованого зразка мікрометром МК-25, і зважуванням на вагах марки ВЛА-200 з точністю 0,1 мг.

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 [12]

Дослідження на зносостійкість проводили шляхом нанесення покриття на внутрішню поверхню втулки діаметром 40 мм, довжиною 10 мм, товщина покриття 1 мм. З втулок вирізали сектори з площею поперечного перерізу 2 см².

Зносостійкість досліджуваних композицій визначали за схемою "колодка-вал". Досліди проводили в умовах граничного тертя (1 крапля масла МС-20С на 400 метрів шляху) при швидкості ковзання 0,63 м/с і навантаженні 1,5 МПа. Ваговий знос покриття і контртіла визначали за 10 годин безперервного спрацювання. Попереднє припрацювання зразків проводилась при $P = 0,2$ МПа і швидкості ковзання 0,63 м/с (без змащення), шлях тертя при цьому складав 25 км.

При створенні нових композиційних матеріалів для покриттів першочергове значення має підбір найбільш ефективних типів наповнювачів. Однак відомо, що в залежності від експлуатаційних умов одні і ті ж наповнювачі чи їх поєднання впливають на інтенсивність зношування пар тертя. На даний час немає науково-обґрунтованої теорії по вибору складу і кількості наповнювачів при створенні композицій для конкретних умов роботи. Вплив наповнювачів на механізми тертя і зносу мало вивчені. Тому при створенні композицій для покриттів, здатних працювати в умовах обмеженого змащення і у воді, були поставлені наступні задачі:

- обґрунтувати кількість і тип наповнювачів;
- дослідити вплив наповнювачів на процес зносу покриття і контртіла;
- визначати оптимальний склад антифрикційної композиції, що забезпечує мінімальний знос покриття і контртіла.

Визначення оптимального складу антифрикційної композиції пороводили в два етапи. На першому етапі на підставі деяких попередніх дослідів і аналізу літературних даних обрані рівні варіювання антифрикційних наповнювачів для досліджень. На другому етапі, за допомогою планування експерименту визначений оптимальний склад композиції, що забезпечує високу зносостійкість покриття і контртіла.

Підготовку антифрикційних композицій, робили наступним чином:

- подрібнювання високоміцного, скловолокнистого полімеру АГ-4В у швидкохідному подрібнювачі Ц-10 і просіванні його через сито, з розміром отворів 0,5 мм. Довжину подрібненого препрігу контролювали насипною щільністю, а також при просіванні навіски в 250 г через різні сита. Вона складала: до 50 мкм – не більше 10 %, до 150 мкм – не більш 15 %, до 400 мкм – не більш 55 %, до 500 мкм – не більше 20 %:

- змішування рецептурної кількості здрібненого препрігу, колоїдного графіту, дисульфиду молібдену і порошкового поліаміду в тихохідному кульовому млині типу ZE-101 сухим методом протягом 0,5 години при швидкості обертання барабана 80...120 хв⁻¹.

Вибір типу і кількості антифрикційних добавок

Найважливішою функцією антифрикційних наповнювачів в композиціях є поліпшення їх зносостійких та притизадирних властивостей, які набувають особливе значення при високих навантаженнях, температурах і великих швидкостях ковзання.

Антифрикційні добавки разом із твердими високоміцними наповнювачами дозволяють одержувати покриття більш щільні і міцні, з мінімальною усадкою, що дозволяє виключити наступну механічну обробку, створюють ефект ковзання при формуванні покриттів.

Як вказувалося вище, при створенні нового антифрикційного матеріалу для покриттів, нами вибраний твердий високоміцний, скловолокнистий полімер АГ-4В, на основі модифікованої фенолоформальдегідної смоли Р2М. Хоча в літературі [8] є дані про високу зносостійкість матеріалів типу АГ-4, однак у чистому виді його застосовувати у вузлах тертя недоцільно через підвищений знос спряженої деталі. При введенні ж цільових наповнювачів істотно поліпшуються фізико-механічні і триботехнічні властивості композицій. Тому, особлива увага була спрямована на вибір наповнювачів, що забезпечують низький коефіцієнт тертя в умовах обмеженого мащення, а також що сприяють точності розмірів і стабільності властивостей покриттів.

Враховуючи позитивний досвід попередніх дослідників, було прийняте рішення використовувати в якості антифрикційних наповнювачів дисульфід молібдену ДМ-1, колоїдний графіт С-1 і порошковий поліамід 12 АПН-Б.

Покращення зносних властивостей антифрикційних матеріалів забезпечується оптимальною кількістю того чи іншого наповнювача. Так, за даними Г.В. Салагаєва і Н.Л. Шембеля [9] при введенні в композицію графіту, дисульфиду молібдену й ін. на поверхнях тіл що контактують утворюються тонкі плівки, для чого досить 2 ... 10 % наповнювача. Введення більшої кількості наповнювача, чим це необхідно для утворення роздільної плівки, приводить до негативних результатів, тому що знижує міцність та зносостійкість композиції. Встановлено [9], що збільшення в поліаміді графіту більше ніж на 20 % приводить до підвищення крихкості полімерної композиції і збільшенню її зносу, причому добавка в поліамід графіту ефективна тільки при роботі в умовах змащення.

В якості антифрикційних добавок може бути використаний порошковий поліамід 12 АПН-Б. Частички такого полімерного наповнювача закладені з усіх боків в твердий полімер. При терті, в зв'язку з великим коефіцієнтом об'ємного термічного розширення, він виступає на поверхню і сприймає зусилля тертя на себе. Введення порошкового поліаміду також сприяє збільшенню ударної в'язкості, додає композиції еластичність, добре припрацювання.

Виклад основного матеріалу

Грунтуючись на вищенаведених літературних даних, при створенні антифрикційної композиції для покриттів нами обрані рівні варіювання наповнювачів (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні варіювання факторів

| Значення фактора | Кодове значенні рівнів | | |
|--------------------------------------|------------------------|---|----|
| | -1 | 0 | +1 |
| X_1 – графіт С-1 | 0 | 8 | 16 |
| X_2 – дисульфід молібдену ДМ-1 | 0 | 2 | 4 |
| X_3 – порошковий поліамід 12 АПН-Б | 0 | 7 | 14 |

Введення наповнювачів в полімерну композицію може знизити адгезійну міцність системи полімер-метал. Однак, як вказувалося вище, вплив наповнювачів на адгезійні властивості покриттів носить складний характер і не дозволяє дати навіть загальних рекомендацій по вибору того чи іншого наповнювача для підвищення міцності зчеплення метало-полімерних покриттів. Тому, критерієм оптимізації служили ваговий знос полімерного покриття (V_1) і контртіла (V_2). При оптимізації складу композиції варіювався зміст колоїдного графіту (X_1), дисульфиду молібдену (X_2), порошкового поліаміду (X_3) при постійному вмісті подрібненого препрігу, що включає суміш скловолонка і модифікованої фенолоформальдегідної смоли Р2М. Для отримання математичної моделі зони оптимума використаний план другого порядку (Бокса-Бенкіна), що складається з 15 дослідів і що включає три точки, які закріплені на нульовому рівні.

Регресійний аналіз моделі дозволив відобразити з початкової моделі значимі коефіцієнти і відкинути незначимі, а також провести перевірку адекватності моделі.

В результаті математичної обробки експериментальних досліджень отримані математичні моделі, що адекватно описують вплив складу наповнювачів на знос покриття і контртіла.

$$V_1 = 2,06 - 0,85X_1 - 0,44X_2 - 0,31X_3 + 1,53X_1^2 + 0,53X_2^2, \quad (1)$$

$$V_2 = 2,03 - 0,28X_1 - 0,51X_2 - 0,73X_3 + 0,7X_1^2 + 0,6X_3^2. \quad (2)$$

Аналіз коефіцієнтів регресії доводить, що колоїдний графіт, дисульфід молібдену і порошковий поліамід сприяють зниженню зносу як полімерного покриття, так і контртіла (коефіцієнти при X_1 , X_2 , X_3

відемі). Колоїдний графіт має більш сильний вплив на зменшення зносу полімерного покриття ($-0,85X_1$) і незначно впливає на знос контртіла. Порошковий поліамід, навпаки, робить більш сильний вплив на зменшення зносу контртіла ($-0,73X_3$) і незначно впливає на знос полімерного покриття. Це пояснюється тим, що поліамід у порівнянні з графітом має більш низькі показники механічної міцності і твердості. Вплив ж дисульфиду молибдену (X_2) на знос полімерного покриття і контртіла приблизно рівнозначний ($-0,44X_2$; $-0,51X_2$).

Отримані залежності $Y_1(X_1, X_2, X_3)$ і $Y_2(X_1, X_2, X_3)$ оптимізували по мінімуму знос поверхонь що труться. Залежності Y_1 та Y_2 влаштовані в такий спосіб, що для дослідження екстремальних властивостей задача зводиться до дослідження функцій двох змінних. Це впливає з того, що як для Y_1 так і для Y_2 квадратичні форми можна виділити тільки для двох змінних, по третій ж змінній обидві функції лінійно убивають.

Визначимо лінію екстремумів Y_1 :

$$\frac{\partial Y_1}{\partial X_1} = 2 \cdot 1,53(X_1 - 0,278) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial Y_1}{\partial X_2} = 2 \cdot 0,53(X_2 - 0,415) = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial Y_1}{\partial X_3} = -0,31. \quad (5)$$

де $X_1 = 0,278$, $X_2 = 0,415$, X_3 – довільне. Так як квадратична форма по X_1 і X_2 позитивно визначена, то вздовж лінії $Y_1(X_3) = 1,85 - 0,31 X_3$ є сповзаючий вниз мінімум.

Аналогічно досліджуємо Y_2 :

$$\frac{\partial Y_2}{\partial X_1} = -0,28 + 1,4X_1 = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial Y_2}{\partial X_2} = -0,51, \quad (7)$$

$$\frac{\partial Y_2}{\partial X_3} = -0,73 + 1,2X_3 = 0, \quad (8)$$

де $X_1 = 0,2$, $X_3 = 0,608$, X_2 – довільне. $Y_2(X_2) = 1,782 - 0,51 X_2$.

Оптимальне значення X_1 для мінімального зносу покриття (Y_1) і контртіла (Y_2) дорівнює 0,278 і 0,200 що відповідає 10,25 % і 9,65 % графіту, тобто остаточні висновки по результатам досліджень доцільно провести при стабілізації $X_1 = 0,25 = 10\%$ графіту.

Підставляючи значення $X_1 = 0,25$ в рівняння (1 і 2) одержимо:

$$Y_1 = 1,94 - 0,44X_2 - 0,31X_3 - 0,53X_2^2, \quad (9)$$

$$Y_2 = 2,0 - 0,51X_2 - 0,73X_3 + 0,6X_3^2. \quad (10)$$

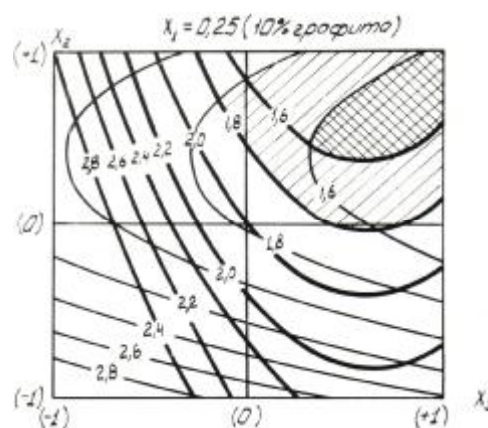


Рис. 6 – Геометричний образ поверхні рівного відклику процесу зносу полімерного покриття і контртіла

За даними рівнянь (9 і 10) побудовані поверхні рівного відгуку процесу зносу полімерного покриття і контртіла (рис. 6). Заштрихована поверхня, показана на рис. 6, обмежена ізолініями, отриманими при розрахунку для зносу полімерного покриття і контртіла рівних 1,6 мг є оптимальною для визначення складу антифрикційних наповнювачів. Однак попередні дослідження показали, що при збільшенні вмісту в композиції порошкового поліаміду більше 10 % приводить до підвищеної адгезії полімерного покриття до стінок деталей, що оформляють пресформу. Для отримання якісного покриття необхідно охолоджувати пресформу, що значно відображається на продуктивності процесу формування. Отже, зону оптимуму доцільно перемістити в точку перетинання ізоліній, отриманих для зносу 1,6 мг. У цій точці вміст порошкового поліаміду 12 АПН-Б складає 9 %, а дисульфиду молібдену ДМ-1 – 3 %.

Так як, при дослідженні композицій вміст подрібненого препригу, що включає скловолокнистий наповнювач було незмінним (83 %), то при перерахунку на 100 % вагових частин композиції оптимальний вміст антифрикційних наповнювачів буде: колоїдний графіт – 9,5 %; дисульфід молібдену – 2,9 %, порошковий поліамід – 8,6 %, подрібнений преприг, що включає скловолокнистий наповнювач, просочений модифікованою фенолоформальдегідною смолою Р2М – решта [11].

Висновки

1. На підставі аналізу літературних даних обрані цільові наповнювачі для створення антифрикційної композиції для покриттів. Обґрунтовано їхню кількість і склад.
2. Отримані рівняння регресії, що адекватно описують процес зносу полімерного покриття і контртіла. Встановлено, що колоїдний графіт СІ сприяє зменшенню зносу полімерного покриття, а порошковий поліамід 12 АПН-Б має більш сильний вплив на зменшення зносу контртіла. Вплив ж дисульфиду молібдену ДМ-1 на знос покриття і контртіла – рівнозначно.
3. Визначено оптимальний склад антифрикційної композиції:

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| а) колоїдний графіт СІ | 9,5 %; |
| б) дисульфід молібдену ДМ-1 | 2,9 %; |
| в) порошковий поліамід 12 АПН-Б | 8,6 %; |
| г) подрібнений преприг, що включає скловолокнистий наповнювач, просочений модифікованою фенолоформальдегідною смолою Р2М | решта. |

Література

1. Вардомская А.Е., Соколов А.Д. Влияние режимов отверждения ДСВ и АГ-4В на их свойства // Пластические массы. – № 1, 1977. – С. 64-65.
2. Соколов А.Д. Реактопласты применяемые в производстве электротехнических изделий. – Информ-экспресс, 1977. – С. 51-61.
3. Брагинский В.А. Точное литье изделий из пластмасс. – Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1977. – 112 с.
4. Гуляев А.С. Новый стеклонаполненный прессматериал АГ-4В и его изготовление. – ГОСНИТИ, 1959.
5. Дедюхин В.Г., Ставров В.П. Технология прессования и прочность изделий из стеклопластиков. – М.: Химия, 1969.
6. Страуме И.Я. Структура и свойства поверхностного слоя терморезистивных композиционных пластмасс. – Дисс. канд. тех. наук. – Рига, 1975. – 152 с.
7. Абашин З.Я., Балахин В.В., Гусарев Г.С. Надежность и долговечность пар трения сталь-графитопласт АСМ-1. – В кн.: Фрикционные и антифрикционные пластмассы / МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1975. – С. 162-166.
8. Беленький М.В. К оценке влияния механических свойств полимеров на трение их по стали. – В кн.: Фрикционные и антифрикционные пластмассы / МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1975. – С. 135-140.
9. Сигалаев Г.В., Шембель Н.Л. Основные принципы создания композиционных полимерных материалов для узлов сухого трения. – В кн.: Фрикционные и антифрикционные пластмассы / МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1975. – С. 22-30.
10. А.с. №1269398 СССР. Способ нанесения полимерной композиции и устройство для его осуществления / Дудчак В.П. и др., Заявка №3748139, 1986
11. А.с. №1218661 СССР. Антифрикционная композиция / Дудчак В.П. и др., Заявка №3606035, 1985.
12. Дудчак Т.В., Дудчак В.П., Остапенко Р.М. Дослідження технологічних параметрів пресування на адгезійну міцність антифрикційних полімерних покриттів // Проблеми трибології (Problems of Tribology) – 2012. – № 2. – С. 91-95.

Надійшла 05.06.2012