

УДК 621

**В.Я. Чабанний, проф., канд. техн. наук, М.В. Онолов, магістрант**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Зміна адгезійної міцності полімерних покриттів з металом в залежності від режимів технологічного процесу нанесення

В статті наведені результати експериментальних досліджень, пов'язаних з підвищенням адгезійної міцності полімерних покриттів з металом в залежності від режимів технологічного процесу нанесення. Адгезія полімерних покриттів у відновлених деталях. Основним чинником, що впливає на зчеплення покриттів з полікапролактаму, є спосіб підготовки поверхні. З метою підвищення адгезійної міцності системи „полімер-метал” застосовували хімічне модифікування поверхні і термічну модифікацію покриття.

**нанесення покриття, полімерний матеріал, технологія відновлення**

Полімерні матеріали мають багато цінних властивостей: малою питомою вагою; доброю корозійною стійкістю; демферуючою властивістю і технологічністю переробки. В той же час їм властиві і недоліки порівняно з металами: невисока міцність і теплостійкість; погана теплопровідність і т.д. Значно менше ці недоліки полімерів позначаються при нанесенні їх у вигляді тонкошарових покриттів на метали. Таке поєднання характеристик метала і полімера в конструкціях дозволяє отримати вироби, що володіють позитивними властивостями обох матеріалів і тим самим поліпшити якість продукції.

Застосування полімерного покриття у відновленій деталі визначається наступними факторами; фізико-механічними, хімічними властивостями покриття і зціпленням покриттів з основним металом.

Адгезія покриття з основою є однією із головних умов, що визначають надійність роботи спряження. Адгезія полімерних покриттів до металу залежить від наступних технологічних факторів процесу нанесення: підготовки металевої поверхні; температури попереднього нагрівання; середовища і режиму термічної обробки.

З метою підвищення адгезійної міцності системи „полімер-метал” застосовували хімічне модифікування поверхні і термічну модифікацію покриття.

В досліджах використовували порошок, отриманий хімічним переосадженням водою з солянокислого розчину гранульованого полікапролактаму, з наступним центрифугуванням. Розмір часток порошкоподібного полікапролактама – 255 мкм. Розсівання проводили на установці для ситового аналізу порошкоподібних полімерних матеріалів. Нанесення покриттів виконувалося на установці вібровихрєвого напилення ОМП і на установці для центробіжного нанесення пластмасових покриттів. Щоб виключити окислення отриманого покриття, в якості транспортуючого середовища використовувався інертний газ (азот). Покриття наносили на зразки зі сталі 45 і чавуну СЧ 18-36. Зчеплення покриття з металом визначали по зусиллю скручування штифта на машині Амслера.

Скручуючий момент

$$M = P \cdot l, \quad (1)$$

де  $P$  – скручуюче зусилля, кН;

$l$  – плече, м;

$M$  – скручуючий момент відраховується безпосередньо за шкалою машини.

Момент опору скручуванню визначається за залежністю:

$$M_c = 2\pi \int_0^R \tau_a \cdot r^2 \cdot dr = \frac{2}{3} \pi \tau_a R^3, \quad (2)$$

де  $R = 4$  мм – радіус штифта;

$\tau_a$  – міцність адгезії на зсув, МПа.

Вирішуючи спільно рівняння (1) і (2) відносно  $\tau_a$ , отримуємо розрахункове рівняння для визначення адгезії:

$$\tau_a = \frac{3P \cdot l}{2\pi \cdot R^3} = 0,48 \frac{M}{R^3}. \quad (3)$$

Хімічне модифікування поверхні полягало в тому, що знежирену в ацетоні деталь занурювали в однопроцентний розчин олеїнової кислоти в уайт-спіриті і витримували в ньому протягом двох годин при температурі 60°C. Оброблені таким методом зразки піддавали екстрагуванню бензолом при температурі 70°C протягом однієї години, щоб видалити адсорбовані молекули жирної кислоти. Після чого нагрівали деталь в печі для нанесення покриття. Нагрівання зразків проводили через 10 хвилин після витягання з ванни з бензолом.

Для порівняння проводили підготовку зразків по найбільш ефективному і поширеному методу – піскоструминна обробка з подальшим фосфатуванням. За цим способом деталь піддавали обробці грубозернистим піском в спеціальній камері за допомогою стислого повітря під тиском 0,6...0,8 МПа. Потім її витримували протягом однієї години при температурі 18...20 °С у ванні наступного складу (на один літр води): сіль «Мажеф» – 50 г, азотно-кислий цинк – 92 г, фтористий натрій – 3 г. Після чого поверхню деталі нейтралізували п'ятипроцентним розчином кальцієвої солі, промивали в проточній воді і сушили. Результати випробувань приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати випробувань

Спосіб підготовки поверхні	Міцність зчеплення, МПа	
	Сталь 45	СЧ 18-36
Обробка олеїновою кислотою	57,2	41,6
Піскоструминна обробка з подальшим фосфатуванням	44,6	29,7

З таблиці 1 видно, що хімічне модифікування поверхні підвищує її міцність зчеплення з покриттям більш ніж на 30%.

Збільшення міцності зчеплення пояснюється тим, що при нанесенні плівки відбувається хемосорбція молекул олеїнової кислоти за рахунок взаємодії карбоксильних груп з металом. При цьому молекули кислоти орієнтуються на поверхні таким чином, що своїми карбоксильними групами спрямовані до металу, а углеводневими – назовні. В процесі нанесення покриття жирні радикали молекул кислоти занурюються в розплавлений полікапролактан і утримуються в ньому після затвердіння фізичними силами. Молекули олеїнової кислоти є як би містками між неполярним полімером і полярним металом.

Запропонований спосіб підготовки поверхні є найпростішим, продуктивнішим, тоді як для піскоструминної обробки необхідний спеціальний апарат.

Деталі перед нанесенням покриття нагрівали для створення в них запасу тепла, необхідного для розплавлення і розтікання шару пластмаси. Якість покриття і його зчеплення з металевою поверхнею в значній мірі залежить від температури попереднього нагрівання. Мета нагрівання полягає в тому, щоб утримати сухий порошок у момент контакту з поверхнею металу і змінити його фізичний стан шляхом термічного спікання.

Залежність зчеплення покриттів з полікапролактаму від температури попереднього нагрівання в загальному вигляді можна виразити рівнянням:

$$y = -ax^2 + bx + c. \quad (4)$$

Максимум цієї функції відповідає оптимальній температурі попереднього нагрівання деталі, оскільки зчеплення в цьому випадку буде найбільшим. Математична обробка експериментальних даних дає наступну залежність між температурою попереднього нагріву і адгезією

$$y = -0,0081x^2 + 4,182x - 396,76. \quad (5)$$

Узявши першу похідну рівняння (5) і прирівнявши її до нуля, отримаємо максимум функції:

$$y' = -0,0162x + 4,182 = 0, \quad (6)$$

З підвищенням температури до 250...260°C зчеплення підвищується (рис. 1), звідки,  $x \approx 259$  °C, тобто оптимальна температура попереднього нагрівання складає 260°C, наступне ж підвищення температури призводить до зниження адгезії. Ця обставина пояснюється тим, що в умовах попереднього нагрівання плавлення і, отже, окислення полімеру починається з міжфазної межі метал-полімер. На процес окислення частинок полімеру, що плавляться на поверхні металу, істотно впливає дифузія кисню з навколишнього середовища, а також кисню, що міститься в об'ємі порошку. При збільшенні температури формування покриття зростає швидкість плівкоутворення. Плівка, що формується з полімеру, блокує доступ кисню навколишнього середовища до міжфазної межі, і адгезія при цьому зменшується.

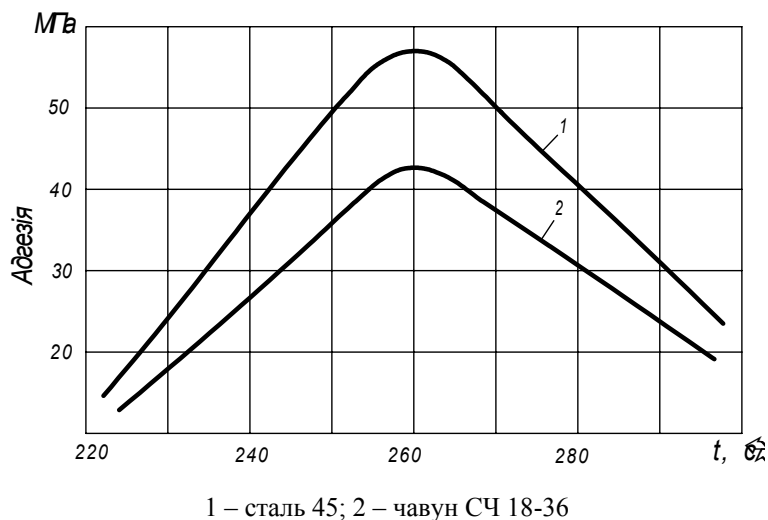


Рисунок 1 – Залежність адгезії покриттів з полікапролактаму до металів від температури попереднього нагрівання

Враховуючи вищевикладене, важливо в кожному окремому випадку визначати температуру нагрівання деталі. Незалежно від геометричної форми її можна визначити

відношенням маси деталі «m» до її поверхні «S», оскільки маса виражає кількість тепла акумульованого деталлю, а поверхня – витрату цього тепла, як на розплавлення полімеру, так і на втрату його в навколишнє середовище. Таким чином, відношення  $\frac{m}{S}$  може служити критерієм для оцінки запасу тепла, акумульованого металом.

Дослідним шляхом визначені температурні області з різним відношенням  $\frac{m}{S}$  з метою отримання якісного, з добрими адгезійними властивостями покриття (рис. 2).

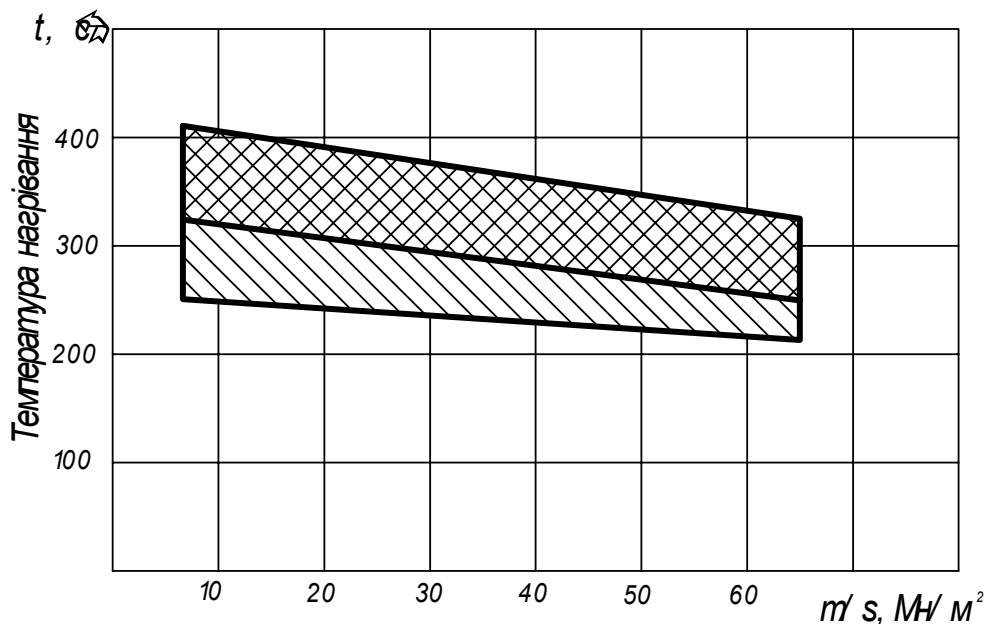
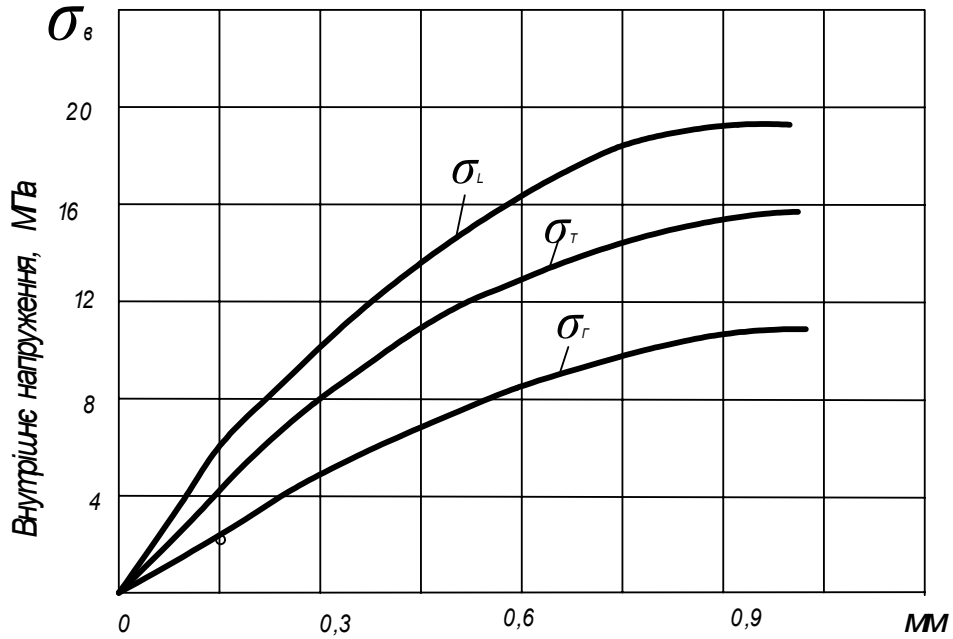


Рисунок 2 – Оптимальні температурні області нагрівання деталей

Верхня межа температурної області – це граничні температури нагріву металевих деталей, при перевищенні яких покриття починають набувати темно-коричневого забарвлення (часткове розкладання). Нижня межа характеризує температури, нижче за яких виконання якісного покриття ускладнюється. У виробничих умовах можна користуватися температурними зонами для різних полімерів залежно від співвідношення  $\frac{m}{S}$ , отримуючи якісні покриття.

Значний вплив на адгезію системи „полімер – метал” справляють усадкові явища. При охолодженні покриття стискається більше, ніж метал, що обумовлене відмінністю в коефіцієнтах температурного лінійного розширення. В результаті виникає значна внутрішня напруга, що сприяє відриву плівки від металу.

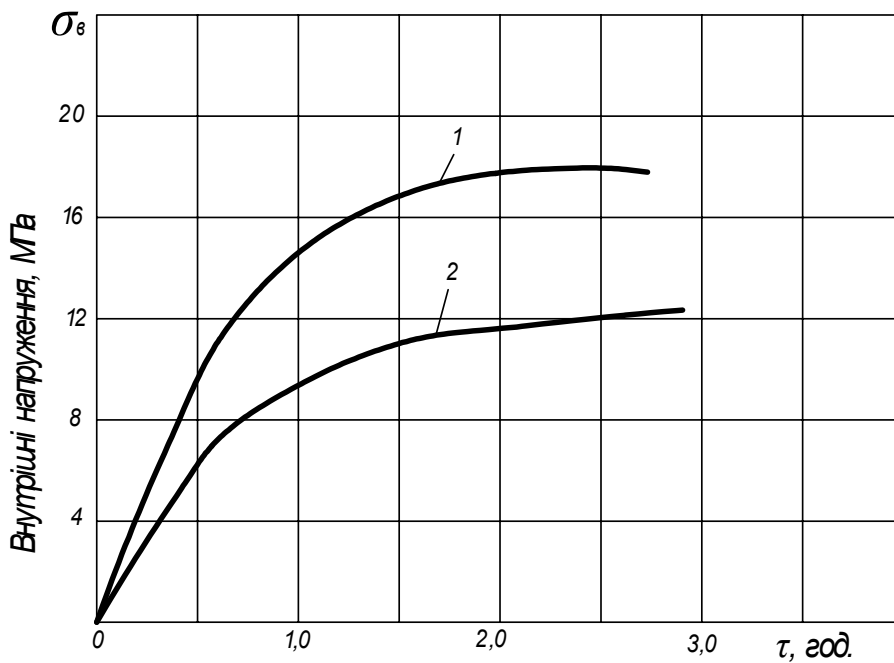
Характер розподілу внутрішньої напруги в покритті з полікапролактаму по товщині показаний на рис. 3. Внутрішні напруження, що виникають в покритті, визначалися за методикою Закса із застосуванням тензометрування – одностороннє розточування з подальшим після кожного розточування вимірюванням осьових і колових деформацій.



$\sigma_L$  – осьові;  $\sigma_T$  – тангенційні;  $\sigma_Г$  – колові

Рисунок 3 – Розподілення внутрішніх напружень по товщині покриття

Величина внутрішнього напруження залежить від швидкості охолодження покриттів (рис. 4). Із збільшенням швидкості охолодження внутрішня напруга зростає.



1- охолодження зі швидкістю 30 град/хв; 2 – охолодження зі швидкістю 15 град/хв.

Рисунок 4 - Кінетика зміни внутрішніх напружень в залежності від швидкості охолодження

В результаті проведених випробувань можна зробити наступні висновки:

1. Основними чинниками, що впливають на зчеплення покриттів з полікапролактаму з металом, є спосіб підготовки поверхні, температура її попереднього нагріву, режим і середовище термічної обробки покриття.
2. У якості підготовки поверхні перед нанесенням покриття слід застосовувати обробку в 1-процентному розчині олеїнової кислоти в уайт-спіриті при температурі 60°C протягом 2 годин. Ця підготовка підвищує адгезію на 30 %, будучи менш трудомісткою.
3. Деталь перед нанесенням покриття необхідно нагрівати до температури 250...260°C. Така температура сприяє отриманню покриття, що має максимальну адгезію з підкладкою.
4. В результаті випробувань визначені температурні зони для різних відносин маси деталі до її поверхні, які дозволяють вибрати правильний температурний режим нагрівання деталі з метою отримання якісних покриттів у виробничих умовах.
5. Охолодження покриттів зі швидкістю 15 град/хв. значно знижує залишкові напруження в покритті.

## Список літератури

1. Власенко Н.В., Черновол М.М., Чабанный В.Я. Восстановление изношенных деталей тонкостенными покрытиями: Учебное пособие.– К: Высшая школа, 1989. – 96 с.
2. Чабанный В.Я., Соколенко І.М. Використання пластичних мас при виготовленні і відновленні підшипників ковзання с.г. техніки. // Наука – виробництву: Тези доповідей на XVII науковій конференції аспірантів та викладачів, 2008. – С. 107-111.

*В. Чабанный, М. Онолов*

**Изменение адгезионной прочности полимерных покрытий с металлом в зависимости от режимов технологического процесса нанесения**

В статье наведены результаты экспериментальных исследований, связанных с повышением адгезионной прочности полимерных покрытий с металлом в зависимости от режимов технологического процесса нанесения. Адгезия полимерных покрытий является одним из важных условий, которые определяют надежность работы сопряжения. Основным фактором, который влияет на сцепление покрытий из поликапролактама, является способ подготовки поверхности. С целью повышения адгезионной прочности системы „полимер-металл” применяли химическое модифицирование поверхности и термическую модификацию покрытия.

*V. Chabanniy, M. Onolov*

**Change adhesion durability of polymeric coverages with a metal depending on the modes of technological process of causing**

In the article it is given the results of experimental researches, related to the increase of adhesion durability of polymeric coverages with a metal depending on the modes of technological process of causing. Adhesion of polymeric coverages is one of important terms which determine reliability robots of interface. A basic factor which influences on tripping of coverages from a polyisocyanate is a method of preparation of surface. With the purpose of increase of adhesion durability of the system a „polymer-metal” was applied chemical retrofitting of surface and thermal modification of coverage.

Одержано 26.11.09