

УДК 621.792

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ НЕРУХОМИХ ПІДШИПНИКОВИХ З'ЄДНАНЬ

Келемеш А.О., к.т.н., Горбенко О.В., к.т.н., доцент  
(Полтавська державна аграрна академія)

*В статті розглядаються результати експериментальних досліджень властивостей полімерних матеріалів при відновленні нерухомих підшипникових з'єднань. Теоретично обґрунтовано і експериментально досліджено кут змочування анаеробного герметика і композиції на його основі. Представлено, що композиція на основі анаеробного герметика і дисперсного наповнювача більш активно взаємодіє з поверхнею при її змочуванні, ніж анаеробний герметик без наповнювача.*

**Постановка проблеми.** Одним з ключових технологічних питань, що підвищують довговічність і технічну готовність, є застосування прогресивних технологічних процесів відновлення деталей, що забезпечують підвищення якості відновлення і відповідно ресурсу відремонтованих машин.

Основним резервом зниження матеріальних витрат при експлуатації та ремонті машин і обладнання АПК є відновлення зношених деталей. Це стає найбільш актуальним в сучасній економічній ситуації, коли відбуваються подорожчання техніки та запасних частин до неї і зниження платоспроможності сільськогосподарських підприємств.

При ремонті сільськогосподарської техніки витрати на придбання нових запасних частин замість зношених можуть досягати протягом усього терміну служби до 70%. Граничні зноси 85% деталей не перевищують 0,3 мм, причому багато з них мають залишкові ресурси 60% і більше, і тільки 20% деталей, що надходять у ремонт, підлягають остаточному вибракуванню. Решта можна відновити, причому собівартість відновлення складе 15...70% собівартості виготовлення [1].

Підшипники кочення є одним з найпоширеніших елементів конструкцій машин і обладнання агропромислового комплексу. Надійність підшипникових складальних одиниць через їхню численність робить істотний вплив на надійність всієї машини. Тому підвищення довговічності підшипникових складальних одиниць, зниження собівартості ремонту, шляхом відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення, є важливою і актуальною задачею, рішення якої дозволить підвищити надійність сільськогосподарської техніки, знизити витрати, пов'язані з технічним обслуговуванням і ремонтом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В даний час в різних галузях машинобудування широке поширення отримали анаеробні герметики [2]. Анаеробні герметики представляють собою багатокомпонентні рідкі сполуки,

здатні тривалий час зберігати властивості і швидко затверджуватися при відсутності взаємодії з киснем повітря. Основою анаеробних герметиків є ефіри поліалкіленгліколей [3]. До складу анаеробних герметиків входять також інгібуючі речовини, що забезпечують тривале зберігання герметиків і швидке затвердіння у виробках, різні загусники, модифікатори, барвники та інші добавки. Анаеробні герметики мають хорошу адгезію до металів, стійкість до дії води, масел, палива, органічних розчинників, кислот, лугів та інших хімічних речовин. Інтервал робочих температур більшості анаеробних герметиків становить від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $175^{\circ}\text{C}$ .

Порівняно високі експлуатаційні властивості анаеробних герметиків дозволяють їх використовувати для відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення [3, 4]. Як показує практика використання анаеробних герметиків, їм притаманні наступні недоліки: недостатня в'язкість в рідкому стані для утримання в зазорі; порівняно низькі деформаційно-міцнісні властивості для роботи у важконавантажених складальних одиницях; низька швидкість затвердіння.

**Метою дослідження** є підвищення ефективності відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки анаеробними герметиками шляхом покращення їх властивостей.

#### **Результати досліджень.**

Відповідно до молекулярної теорії адгезійні явища, що протікають на поверхні розділу «субстрат – полімерний матеріал», є результатом міжмолекулярної взаємодії [5]. При цьому між субстратом і полімерним матеріалом виникають як фізичні (водневі, індукційні і ін.), так і хімічні зв'язки. Причому зв'язок вважається сильним, якщо його енергія перевищує  $500\text{ кДж/моль}$ , слабким – якщо його енергія менше  $100\text{ кДж/моль}$ . Фізичні зв'язки утворюються при енергії взаємодії молекул менше  $15\text{ кДж/моль}$  [5].

Адгезія анаеробних герметиків до металевих субстратів, до яких відносяться кільця підшипника, вал і корпусна деталь, можлива завдяки наявності в їх складі активних функціональних груп.

Поверхня більшості металевих субстратів (залізо, алюміній, мідь і сплави на їх основі) покрита гідроксильними групами [6], з якими функціональні групи анаеробних герметиків утворюють іон-дипольні і водневі зв'язки.

При взаємодії (змочуванні) рідкого ПКМ з поверхнею металевого субстрату гідроксильні групи адсорбують компоненти анаеробного герметика, при цьому утворюються різні види зв'язків.

Адгезійну міцність при формуванні зв'язків між реакційно-здатними групами полімеру і субстрату можна характеризувати питомою роботою, що витрачається на руйнування адгезійного з'єднання, при цьому адгезійна міцність на межі розділу «субстрат – полімерний матеріал» залежить від площі і, відповідно, від шорсткості поверхні. Збільшуючи площу поверхні за рахунок шорсткості можна досягти зростання адгезії, але мікронерівності значної висоти стають концентраторами напружень і знижують міцність клейового з'єднання.

Отже, існує оптимальне значення шорсткості поверхні, при якій адгезійна міцність буде найбільшою.

Для забезпечення високої адгезійної міцності клейового з'єднання середня шорсткість поверхні субстратів після механічної обробки повинна становити 5-20 мкм.

З точки зору термодинаміки адгезії поверхнева активність елементів клейового з'єднання визначається їх поверхневими енергіями. Тоді в найбільш поширеному випадку обмеженого змочування ( $\theta > 0$ ) енергія адгезійної взаємодії визначається з виразу [5]:

$$W_A = \gamma_n \cos \theta + \gamma_m - \gamma_{mn} , \quad (1)$$

де  $\gamma_n$  – поверхнева енергія на межі «полімер - повітря», кДж/м<sup>2</sup>;

$\gamma_m$  – поверхнева енергія на межі «субстрат - повітря», кДж/м<sup>2</sup>;

$\gamma_{mn}$  – поверхнева енергія на межі «субстрат - полімер», кДж/м<sup>2</sup>;

$\theta$  – крайовий кут, або кут змочування (рис. 1).

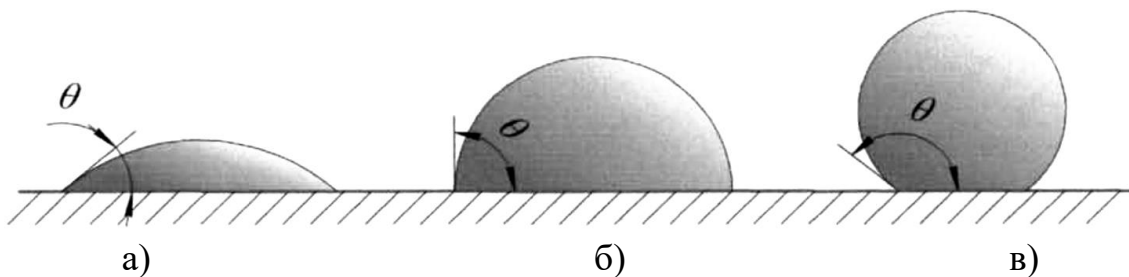


Рисунок 1 – Різні випадки обмеженого змочування:

а)  $\theta < 90^\circ$ ; б)  $\theta = 90^\circ$ ; в)  $\theta > 90^\circ$

Змочування з подальшим розтіканням полімеру по поверхні субстрату здійснюється за рахунок зменшення вільної поверхневої енергії:

$$\Delta\gamma = \gamma_m - \gamma_n \cos \theta - \gamma_{mn} . \quad (2)$$

При  $\Delta\gamma > 0$  з виразу (1) отримуємо умову змочування поверхні субстрату, що необхідна для встановлення міжмолекулярної взаємодії полімеру з поверхнею субстрату:

$$\gamma_m \geq \gamma_n \cos \theta + \gamma_{mn} . \quad (3)$$

З виразу (1) випливає, що висока енергія адгезійної взаємодії «полімерний матеріал - субстрат» забезпечується високими значеннями поверхневих енергій полімеру  $\gamma_n$  і субстрату  $\gamma_m$  при дотриманні умови (3). Це досягається абразивною обробкою і ретельним знежиренням поверхонь, що склеюються, а також вибором полімеру з можливо меншим значенням поверхневої енергії  $\gamma_n$ .

Таким чином, для оцінки характеру міжмолекулярної взаємодії поверхні субстрату з полімерним матеріалом можна використовувати кут змочування  $\theta$ . За умови рівноваги краплі полімеру на поверхні субстрату ( $\Delta\gamma = 0$ ) крайовий кут змочування визначається формулою:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_m - \gamma_{mn}}{\gamma_n} . \quad (4)$$

З формули (4) випливає, що чим менше значення кута змочування, тим більша поверхнева енергія субстрату перевершує поверхневу енергію полімеру і, відповідно, краще змочування поверхні субстрату полімером.

В реальних умовах на значення кута змочування впливає наявність на поверхні субстратів адсорбованих шарів вологи, газів і різних забруднень (переважно, жирних речовин), які є проміжними речовинами між полімерним матеріалом і субстратом. Як правило, вони характеризуються низькими значеннями поверхневої енергії і слабкою адгезією як до субстрату, так і до полімеру.

Для покращення властивостей полімерного матеріалу використовуються дисперсні наповнювачі, однак наповнювачі дуже гігроскопічні. При зберіганні на їх поверхні утворюється шар вологи, що володіє дуже малою міцністю. Також волога суттєво впливає на величину поверхневої енергії твердого тіла. Тому серед мінеральних наповнювачів найкраще використовувати гідрофобний тальк.

Для покращення властивостей клейового з'єднання досліджувались краплі анаеробного герметика ТУРЕ 275 з дисперсними наповнювачами, нанесені на металеву підкладку, по відношенню до якої визначається кут змочування.

В якості підкладки використовували пластину зі сталі 45 розміром 30x60x2мм з шорсткістю поверхні  $R_a=6,3$  мкм. Перед нанесенням краплі композиції поверхню підкладки дворазово обезжирювали ацетоном з наступним просушуванням протягом 5 хв. Герметик або композицію наносили на поверхню кінчиком скляної палички.

Вимірювання проводили при температурі 20°C протягом 10 хв., причому періодичність вимірювань в перші чотири хвилини становила 0,25 хв., в наступні шість хвилин – 0,5 хв.

Для фіксування характеру взаємодії герметика і композиції з поверхнею підкладки використовували цифровий фотоапарат Nikon Coolpix L820 в режимі макрозйомки. Для установки фотоапарата використовували штатив. Після отримання зображення подальшу обробку виконували з використанням програмного забезпечення Adobe Photoshop CS6 і АСКОН КОМПАС-3D v16, тобто проводили дотичну лінію до краплі рідини від точки взаємодії її з поверхнею підкладки і визначали кут змочування (рис 1).

Результати дослідження представлені на рис. 2. За 4 хв. анаеробний герметик ТУРЕ 275 і полімерна композиція, нанесені на сталеву підкладку, досягають рівноважного контакту, при цьому кути змочування складають 29° і 21° відповідно. Така різниця кутів змочування пояснюється наступним чином. Високодисперсний мінеральний порошок (мікротальк) при введенні і змішуванні з анаеробним герметиком адсорбує низькомолекулярні допоміжні речовини з нього, які без використання наповнювача адсорбуються поверхнею підкладки та знижують адгезійну міцність.

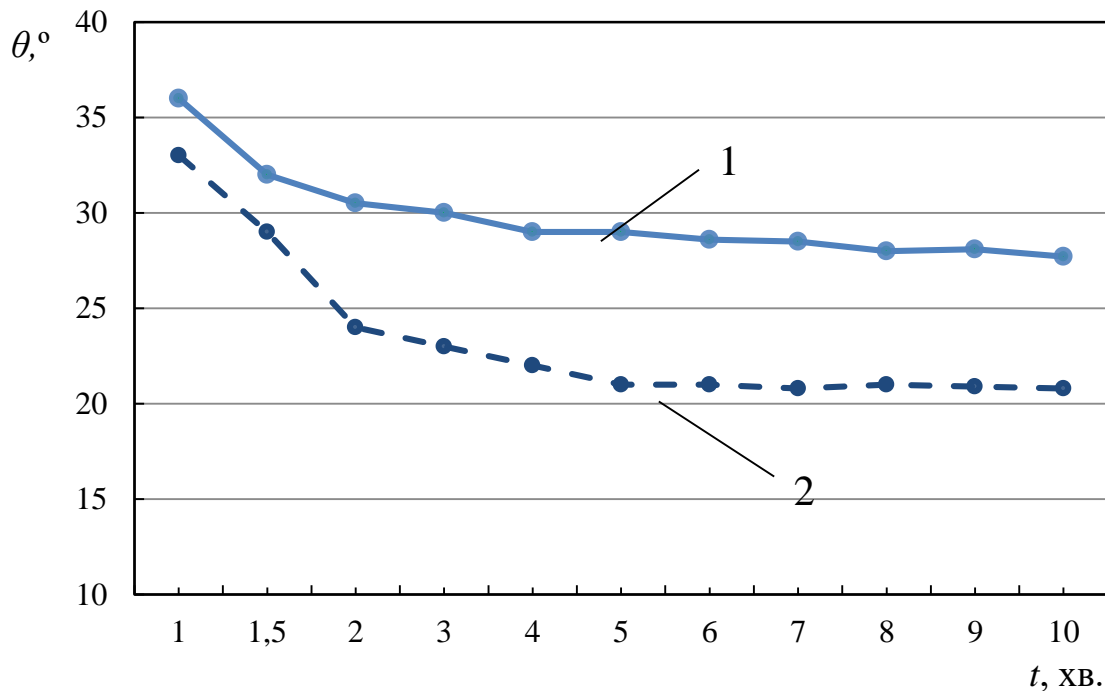


Рисунок 2 - Зміна кутів змочування анаеробного герметика TYPE 275 (1) і композиції на його основі (2)

**Висновки.** Таким чином, на першому етапі формування адгезійних властивостей клейового з'єднання (змочуванні поверхні) композиція на основі анаеробного герметика і дисперсного наповнювача більш активно взаємодіє з поверхнею підкладки при її змочуванні, ніж анаеробний герметик без наповнювача. Тому для покращення властивостей клейового з'єднання при відновленні посадочних поверхонь підшипників кочення потрібно використовувати композицію на основі анаеробного герметика у наступних пропорціях: 88% анаеробного герметика TYPE 275, 11% мікротальк і 1% бронзової пудри.

### Список літератури:

1. Сидашенко А.И. Теоретические основы технологии ремонта машин / А.И. Сидашенко, А.А. Науменко. – Т.1. Харьков: ХНТУСХ, 2005. – 590с.
2. Пучин Е.А. Технология ремонта машин / [Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.А. Очковский и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: Колос. 2007. – 488с.
3. Восстановление деталей машин / [Ф.И. Пантелеев, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов]; под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
4. Балабанов В.И. Безразборное восстановление трущихся соединений автомобиля. / Балабанов В.И. – М.: Астрель, 2002. – 64 с.
5. Finely dispersed particles: micro-, nano- and atto-engeeniring / Edited by Aleksandr C. Spasic. - London - New York: Taylor & Francis, 2006. - 912 p.

б. Адгезия полимеров к металлам / Белый В. А., Егоренков Н. И. - Минск: Наука и техника, 2005. - 286 с.

## Аннотация

### **Исследование свойств полимерных материалов при восстановлении неподвижных подшипниковых соединений**

Келемеш А.А., к.т.н., Горбенко А.В., к.т.н., доцент

*В статье рассматриваются результаты экспериментальных исследований свойств полимерных материалов при восстановлении неподвижных подшипниковых соединений. Теоретически обоснованы и экспериментально исследованы углы смачивания анаэробного герметика и композиции на его основе. Представлено, что композиция на основе анаэробного герметика и дисперсного наполнителя более активно взаимодействует с поверхностью при ее смачивании, чем анаэробный герметик без наполнителя.*

## Abstract

### **Research of properties of polymer materials during the restoration of stationary bearing joints**

Kelemesh A.O., Ph.D., Gorbenko O.V., Ph.D., Associate Professor

*The article deals with the results of experimental studies of the properties of polymer materials during the restoration of stationary bearing joints. The angles of wetting of the anaerobic sealant and the composition based on it are theoretically grounded and experimentally investigated. It is shown that the composition based on anaerobic sealant and disperse filler reacts more actively with the surface when wetted than an anaerobic sealant without filler.*