

В.П. СВИДЕРСЬКИЙ, В.С. ЯРЕМЧУК

Хмельницький національний університет

Г.О. СІРЕНКО

Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника

СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАСПОКОЮВАЧА І НАТЯЖНОГО БАШМАКА ЛАНЦЮГА ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Розроблено структурно-технологічну модель процесу виготовлення лабораторних зразків і пластин заспокоювача і натяжного башмака ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання з полімерного композиційного матеріалу (ПКМ) графелон-20. Детально описані режими технологічних операцій. Наведені властивості ПКМ графелон-20. Окреслено асортимент наповнювачів-модифікаторів і особливості структурної організації цього матеріалу. Сконструйовано пристрій для склеювання виготовленої пластини з металеву основою заспокоювача і башмака. Надані рекомендації щодо використання виконаних досліджень для виготовлення заспокоювача і натяжного башмака ланцюга газорозподільного механізму для автомобілів з ланцюговим приводом.

Ключові слова: двигун внутрішнього згорання, газорозподільний механізм

V.P. SVIDERSKYI, V.S. YAREMCHUK

*Khmelnytsky National University

H.O. SIRENKO

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

THE INCREASE OF WEAR RESISTANCE AND THE DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY FOR PRODUCING THE GAS-DISTRIBUTING CHAIN GUIDE OF GEAR FOR

Based on the results of the analysis, evaluation of basic types of gas-distribution mechanism failures, including wear of the chain damper, has been done; critical parameters of this wear have been defined, which allowed proposing a theoretical model for calculation of dominating types of wear. Basic conditions of this model have been calculated for the scheme of contact of two cross cylinders, whose axis projections cross each other at a 90°-angle, one of the cylinders being stationary. Based on the obtained model, given the prescribed values of load, and friction path, calculation parameters of the model of steady wear, contact pressure in harness have been defined; the value of wear depending on friction path and coefficient of wear comparison for two adopted anti-friction materials (basic (СКН-40 rubber) and newly-proposed (grafelon-20)) has been calculated. The results show that 'grafelon-20' material prevails over the basic material almost in 5.4 times in terms of wear resistance. Based on the calculations done, a technological scheme of production of laboratory samples for research of 'grafelon-20' material was tested and a technological process of production of damper plates was proposed. It envisages three basic operations: briquetting, pressing, and pasting of the produced plate to metal base. The author has provided a detailed description, characteristics, and some peculiarities of these operations, such as defining the temperature of heating while pressing, duration of heating, and the value of pressure needed.

Keywords: gas-distribution mechanism, chain damper, 'grafelon-20', production technology.

Вступ. Газорозподільний механізм відіграє суттєве значення в роботі як двигуна, так і будь-якого транспортного засобу, на якому він встановлений, в цілому [1]. За його допомогою здійснюється подача палива в циліндри двигуна та відводяться продукти згорання. Привід цього механізму виконується за допомогою ланцюга або ремня, що з'єднує дві шестерні механізму. Таким чином, ланцюг або ремінь відіграє роль передавального механізму при роботі двигуна, і його розрив неминуче спричиняє припинення роботи двигуна. Спосіб приводу газорозподільного механізму – ремінь або ланцюг – рідко стає визначальним чинником при виборі автомобіля, але замислитись все-таки змушує. Якщо модель двигуна не характеризується малим ресурсом ланцюга, то ланцюговий привід дещо кращий ремінного. Ремінний привід витримує тільки пробіг до регламентної заміни, а ланцюг може експлуатуватись значно довше.

Конструктивно привід розподільного вала забезпечується дворядним втулково-роликівим ланцюгом від привідної зірочки, яка встановлена на колінчастому валу [2, 3]. Цим самим ланцюгом приводиться також в рух зірочка вала приводу мастильного насоса. Біля ланцюга розміщується натяжний башмак із заспокоювачем ланцюга, в конструкції яких передбачені гумові накладки.

Заспокоювач ланцюга і натяжний башмак газорозподільного механізму виготовлені зі сталі 10, на поверхні якої методом вулканізації нанесені гумові накладки. Сталь 10 (вміст вуглецю < 0,25 %) має невисоку твердість і, водночас, високу пластичність.

Гумові накладки заспокоювача і натяжного башмака – бутадієнітрильний каучук (продукт сумісної полімеризації бутадієну з нітрилом акрилової кислоти). Залежно від складу, каучук може бути різних марок: СКН-18, СКН-26, СКН-40. Наявність у молекулах каучуку групи –CN– надає йому полярні властивості. Чим вища полярність матеріалу, тим кращі його механічні та хімічні властивості і тим нижча морозостійкість (до прикладу, для СКН-18 – від «мінус» 50 °С до «мінус» 60 °С, для СКН-40 – від «мінус» 26 °С до «мінус» 28 °С).

У газорозподільному механізмі автомобілів ВАЗ, найбільш часто виходить з ладу заспокоювач і натяжний башмак ланцюга, які, як уже зазначалося, складаються з металевих пластин, на які нанесені методом вулканізації каучукові накладки, що досить швидко зношуються під постійною дією на них ланок ланцюга. Щоб забезпечити тривалу довговічність та достатню зносостійкість заспокоювача і натяжного

башмака, а при цьому і всього газорозподільного механізму, необхідно підвищити зносостійкість найбільш критичного елемента – матеріалу накладки. В роботах [2, 3] ця задача була вирішена за рахунок заміни базового матеріалу, в якості якого виступає каучук СКН-40 на антифрикційний матеріал графелон-20. Для забезпечення впровадження такої заміни необхідно розробити технологічну схему виготовлення заспокоювача і натяжного башмака ланцюга із застосуванням антифрикційного матеріалу графелон-20.

Мета дослідження. Ставиться задача розробити структурно-технологічну модель процесу формування складу, структури і властивостей полімерного композиційного матеріалу графелон-20 з застосуванням його для виготовлення пластин заспокоювача і натяжного башмака ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання. Крім того необхідно сконструювати пристрій для склеювання виготовленої пластини з металевою основою заспокоювача і натяжного башмака, а також надати рекомендації по використанню виконаних досліджень для виготовлення заспокоювача і натяжного башмака ланцюга газорозподільного механізму для автомобілів з ланцюговим приводом.

Основний розділ

1. Структурно-технологічна модель процесу виготовлення лабораторних зразків, пластини заспокоювача та натяжного башмака ланцюга з матеріалу «графелон-20». Структурно-технологічну модель процесу формування складу, структури і властивостей полімерного композиційного матеріалу графелон наведено на рис. 1.



Рис. 1. Структурно-технологічна модель процесу формування складу, структури і властивостей полімерного композиційного матеріалу «графелон»

Графелон – полімерний композиційний матеріал на основі ароматичного поліаміду, важких ароматичних поліефірів, пентапласту, полікарбонату, поліформальдегіду і його сополімерів, поліімідів, полілін-оксалинів, поліфенілхіноксалинів, поліоксадіазолів, полібензоксазолів, поліфеніленоксидів, поліфенілен-сульфідів, поліфеніленсульфонів чи їх сумішей та основного наповнювача – вуглецевого волокна, отриманого за спеціальною технологією і модифікованого спеціальними добавками і яке має наперед задане розподілення за довжиною [4, 5].

1.1. Формування складу. Багатокомпонентні складові графелона додатково містять дисперсні тверді мастила чи комплекс твердих мастил, порошки термопластичних полімерів, суміші вуглецевих волокон, які відрізняються за властивостями, волокна з жаростійких матеріалів чи металів і органічних термостійких полімерів, термостійкі рідини, модифікатори, окисли металів і алюмосилікати, антиокислювальні добавки.

1.2. Подрібнення і змішування компонентів. Складові графелона активційно подрібнювали та змішували у млині МРП-1 з подовими ножами, які обертаються з частотою 7000 обертів за хвилину, діаметр ножів – 0,205 м за максимальною лінійною швидкістю (75 м/с) протягом 6 хв. Механічну активацію наповнювачів у складі композиції здійснювали з метою запобігання їх агломерації і підвищення структурної активності. Після змішування, композицію сушили в термошафі за температури 100–120 °С протягом 1 год.

Технологічний процес виготовлення лабораторних зразків та пластин заспокоювача і натяжного башмака передбачає декілька основних операцій [6].

1.3. Брикетування. Порошкові ароматичні поліаміди, які одержуються емульсійною поліконден-

сацією, як правило, мають низьку насипну щільність ($0,15\text{--}0,25\text{ г/см}^3$). При завантаженні порошку в прес-форму, завантажувальну камеру необхідно було би робити значно більших розмірів, ніж готовий виріб, що допускається тільки для деяких видів деталей незначних габаритів.

У більшості випадків застосовують низьку завантажувальну камеру, в яку закладають прес-матеріал у вигляді брикетів, що одержані попереднім пресуванням порошку за кімнатної температури. Таким чином, крім зменшення габаритів прес-форм досягається покращення умов прогрівання прес-матеріалу у формах за рахунок збільшення теплопровідності. При використанні брикетів також покращується та прискорюється завантаження прес-матеріалу у форму, оскільки відпадає необхідність його розрівнювання, яку значно складніше виконувати за високої температури форми. При перенесенні матеріалу у вигляді брикету із сушильної шафи у прес-форму, завдяки нижчій гігроскопічності він поглинає менше вологи з повітря, ніж у випадку порошкової суміші. Із сухого порошкового матеріалу отримують достатньо міцні брикети щільністю $0,45\text{ г/см}^3$.

При виготовленні брикету, який за формою і розмірами подібний до виробу, необхідно враховувати, що його розміри при вийманні з форми, зберіганні, а особливо при нагріванні під час сушіння, збільшуються на $1,5\text{--}2\%$ порівняно з розмірами форми, в якій виконується брикетування. Тому необхідно передбачати зменшення розмірів форми для брикетування порівняно з формою для гарячого пресування, наближеної до кінцевих розмірів готового виробу.

Прес-форми для брикетування необхідно вибирати зі значною висотою завантажувальної камери, що розрахована на повний об'єм наважки порошку. Додаткове пресування прес-порошку при завантаженні не рекомендується – на готовому виробі при цьому появляються окремі смужки, що відповідають межам між підпресованою та знову підсипаною порціями матеріалу і що може негативно впливати на міцнісні характеристики виробів та викликати їх неоднорідності.

Ці неоднорідності у виробках виникають, якщо використовувати прес-матеріал у вигляді таблеток. Крім погіршення зовнішнього вигляду при застосуванні таблеток знижується міцність виробів, що особливо помітно при виготовленні виробів простих форм: пластин, циліндрів, втулок. У цих випадках прес-матеріал немає можливості для достатнього розтікання, тому границі розділення між таблетками повністю не зникають. Крім того, насипна щільність таблеток порівняно зі щільністю брикетів знижена майже на 60% . Все це робить недоцільним застосування способу прямого пресування виробів із прес-матеріалу у вигляді таблеток. За великої площі і малої товщини виробів, прес-порошок перед брикетуванням потрібно ретельно розрівняти.

1.4. Пресування і термообробка виробів. Режими технологічних операцій. Заготовки лабораторних зразків, пластин заспокоювача і натяжного башмака композиційного матеріалу на основі ароматичного поліаміду – графелон-20, виготовляли відповідно до рекомендованої послідовності [6].

Шихту композиційного матеріалу засипали в прес-форму, підпресовуючи декілька разів під тиском $30\text{--}35\text{ МПа}$. Потім нагрівали утворений прес-матеріал за відсутності тиску до температури $335\text{--}340\text{ }^\circ\text{C}$, термостатуючи при цій температурі 5 хв , а також 5 хв – під тиском $45\text{--}50\text{ МПа}$. Після цього нагрівання повністю припиняли, вмикали вентилятор і охолоджували прес-форму до температури $200\text{--}220\text{ }^\circ\text{C}$, підтримуючи тиск $45\text{--}50\text{ МПа}$. Потім, за відсутності тиску, охолоджували прес-форму до температури $70\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$ і виймали одержану заготовку у вигляді циліндра діаметром 10 мм . Після виготовлення, зразки перевіряли на міцність стисненням за ГОСТ 33519–2015 [7].

Зразки з ароматичних поліамідів у брикетованому вигляді, перед нагріванням до високої температури необхідно ретельно підсушувати від накопиченої атмосферної вологи, з метою запобігання термічної деструкції. Прес-порошки із матеріалу графелон-20 можна нагрівати на повітрі до порівняно високих температур, тому більш доцільно застосовувати звичайні сушильні шафи, а не складні вакуумні сушарки. Режим сушіння значно впливає на якість виробів. При переробці схильних до кристалізації полімерів, температуру сушіння необхідно знижувати, оскільки за її високих значень виникає впорядкованість структури полімеру, що призводить до збільшення кінцевої ламкості виробів.

Температура гарячого пресування ароматичних поліамідів вибирається з урахуванням експериментальної температурної залежності, яка впливає на міцність виробів. Вибір цих температур для полімерів, що кристалізуються, визначається порогом зниження в'язкості розплаву, яка зменшується з підвищенням температури та попередженням кристалізації, швидкість якої зростає при збільшенні температури. Тому оптимальною температурою пресування для графелона-20 прийнята температура $340\text{ }^\circ\text{C}$, за якої показники міцності виробів, у тому числі й ударна в'язкість, досягають максимальних значень.

Висушений брикет переносять у форму, нагріту до температури дещо вище $100\text{ }^\circ\text{C}$ (для того, щоб полімер не поглинав вологу з повітря). Водночас, брикет недоцільно поміщати в форму, нагріту до максимальної температури, оскільки при такій схемі і форма, і брикет нагріваються послідовно, що збільшує загальний час прогрівання. Також необхідно врахувати, що одночасне нагрівання брикету і форми сприяє додатковому підсушуванню полімеру.

Однак, в деяких випадках, завантаження прес-матеріалу в форму має відбуватися за високої температури. Це виконують у випадку малих швидкостей нагрівання форми, з метою зменшення періоду знаходження полімеру при високих температурах, які негативно впливають на якість виробів. Для визначення і розрахунку часу, необхідного для рівномірного прогрівання прес-матеріалу по всьому об'єму, можна використовувати дані температуропровідності полімерів.

Якщо прес-матеріал за температури T_a , у формі брикету з розмірами, що збігаються з розмірами порожнини форми, завантажуються у форму, нагріту до певної постійної температури T_0 , то тривалість на-

грівання центральної частини брикету до заданої температури T_m можна оцінити за допомогою формули (1), яку застосовують для плоскопаралельної нескінченної пластини:

$$\tau_{ie} = \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2}{a_T} \cdot \ln\left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\theta_a}{\theta_m}\right), \quad (1)$$

і для випадку циліндра безкінечної довжини:

$$\tau_o = \frac{r^2}{5,79 \cdot a_T} \cdot \ln\left(1,6 \cdot \frac{\theta_a}{\theta_m}\right). \quad (2)$$

У формулах (1) та (2) використані наступні позначення: τ_{ie} та τ_o – час прогрівання середини зразка пластини та циліндра, відповідно, год; δ – товщина пластини, м; r – радіус циліндра, м; a_T – коефіцієнт температуропровідності матеріалу, м²/год; θ_a та θ_m – різниця температур між формою і зразком матеріалу для пластини та циліндра, відповідно, °C, які визначаються із виразів (3).

$$\theta_a = T_0 - T_a; \quad \theta_m = T_0 - T_m. \quad (3)$$

Розрахункова тривалість прогрівання для попередньо вибраних параметрів $a_T = 4 \cdot 10^{-4}$ м²/год, $T_0 = 340$ °C, $T_a = 230$ °C та $T_m = 335$ °C (які відповідають умовам пресування графелона-20), наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахункові значення тривалості прогрівання при пресуванні пластини або циліндра з графелона-20

Товщина плоского брикету (або радіус циліндра), мм	6,0	10,0	20,0	25,0	30,0	40,0	50,0
Тривалість прогрівання пластини, хв.	1,80	5,0	20,0	—*	45,0	80,0	—*
Тривалість прогрівання циліндра, хв.	—*	2,3	9,25	14,3	20,8	37,0	58,0

*дані відсутні.

При пресуванні пластин, тривалість прогрівання може бути значно зменшена як результат дії тиску на прес-матеріал під час процесу нагрівання. Якщо в момент прикладання тиску, температура перевищує температуру склування полімеру, прес-матеріал монолітується зі значним зменшенням товщини (для графелона-20 – удвічі), крім того, для монолітного матеріалу підвищується його температуропровідність. Розрахунки показують, що тривалість прогрівання пластини з графелона-20 до температури 300 °C, за відсутності тиску, а також під тиском, знижується більш ніж вдвічі, порівняно зі значеннями, які наведені у таблиці 1.

Зразки, одержані пресуванням, в багатьох випадках мають співвимірні розміри в різних напрямках. Теплообмін при цьому відбувається по всій зовнішній поверхні прес-матеріалу і приводить до прискорення прогрівання порівняно з пластиною, яка має нескінченні розміри.

Як уже зазначалося, тривалість нагрівання зменшується, якщо прес-матеріал вносять у форму за низької температури і прогрівають його разом з нею. При нагріванні форми з постійною швидкістю різниця температур в центрі зразка та на його поверхні визначається за формулами (4) та (5), відповідно:

– для циліндра

$$\Delta t = \frac{\omega r^2}{4a_T}; \quad (4)$$

– для пластини

$$\Delta t = \frac{\omega \delta^2}{8a_T}, \quad (5)$$

де Δt – перепад температур, °C; ω – швидкість нагрівання форми, °C/год; δ та r – товщина пластини і радіус циліндра, відповідно, м; a_T – коефіцієнт температуропровідності, м²/год.

Розрахунок за цими формулами показує, що перепад температур для швидкостей нагрівання 5–10 °C/хв в декілька разів менший порівняно з таким самим параметром в тому випадку, коли брикет переноситься у форму, що нагріта до максимальної температури.

Необхідно врахувати, що при одночасному нагріванні прес-матеріалу і форми до температури пресування, тільки в центрі зразка температура відстає на величину, яка розраховується за формулами (4) та (5), за більш нагрітих інших шарів матеріалу. Очевидно, що при цьому буде значним і виграш у часі.

Для вибору тиску пресування P_{np} досліджувалась залежність показників міцності виробів від нього. Однак, застосування при пресуванні високих тисків може призвести до збільшення внутрішніх напружень у готових зразках. Висока в'язкість розплаву ароматичних поліамідів ускладнює релаксацію внутрішніх напружень, значення яких тим більші, чим вищий тиск пресування. Тому при пресуванні зразків простої форми і невеликих за висотою (до 15 мм), тиск P_{np} становить 40–50 МПа. При пресуванні ароматичних поліамідів температура, за якої прикладається тиск, визначається низкою факторів. Одним з них є необхідність додаткового підсушування прес-матеріалу, що нагрівається у прес-формі. При цьому нагрівання до температури пресування T_{np} здійснюють без прикладання тиску для полегшення виходу вологи з полімеру. Прогрівання

прес-матеріалу у формі без прикладання тиску сприяє також видаленню летких продуктів часткової деструкції полімеру. Водночас, прикладання тиску за температури, нижчої T_{np} , покращує теплопередачу від стінок форми і при досягненні температури розм'ягчування приводить до зменшення товщини зразка, що пресується, значно прискорюючи його прогрів. Тому вибір температури, за якої прикладається тиск до прес-матеріалу, залежить від конкретних умов переробки, виду виробів, вимог щодо них та потребує окремої групи досліджень.

Тривалість витримки під тиском визначається необхідністю повного прогрівання прес-матеріалу і часом, який затрачається на його перетікання та надання кінцевої форми виробу. При прогріві полімеру до температури T_{np} час формування виробів найбільш складної конфігурації становить не більше 5 хв.

Температура зняття тиску і розпресування виробу наприкінці пресування визначається в основному тим, що полімерний виріб, перш ніж буде вилучений з форми, необхідно охолодити нижче температури склування T_c , в іншому випадку незатверділа заготовка неминуче буде пошкоджена. Однак, в деяких випадках тиск можна зняти чи зменшити і за більш високих температур, причому такий режим охолодження сприяє релаксації та зниженню внутрішніх напружень у виробі. Разом з тим, якщо тиск знімають за температури, вищої T_c , міцність виробу і точність його розмірів дещо знижуються, тому при підвищених вимогах до виробів, охолодження при переробці композиційного матеріалу марки графелон-20 повинно відбуватися під тиском і при зниженні температури до 250 °С.

Для зменшення тривалості циклу пресування необхідно цілеспрямовано підвищувати швидкість охолодження форм з готовим виробом. Застосування водяного охолодження дозволяє знижувати температуру стінок форми зі швидкістю ~100 °С/хв. При цьому, необхідно враховувати, що центральна частина особливо масивних виробів, охолоджується значно повільніше. Крім цього, досить швидке охолодження виробів може призвести до появи значних внутрішніх напружень і їхнє зсідання.

1.5. Властивості полімерного композиційного матеріалу (ПКМ). За комплексом фізико-механічних показників графелон перевищує більшість промислових пластмас.

1.5.1. Фізико-механічні властивості. У таблиці 2 наведені основні фізико-механічні показники зразків графелона-20, отриманих прямим пресуванням і литтям. Встановлено, що зразки, отримані прес-литтям, за ударною в'язкістю значно перевершують пресовані зразки. Як видно з таблиці, відносне видовження графелона-20 при розриві не перевищує за кімнатних температур 5–7 %, тоді як при стисненні деформація може бути значною: залежно від форми і розмірів, зразки можуть деформуватися без виникнення тріщин на 30–70 %. Відмітимо, що пластична деформація графелона-20 при стисненні за своєю природою є високо-еластичною. Співставлення великої жорсткості і твердості з високою ударною в'язкістю та здатністю до пластичних деформацій є значною перевагою графелона-20 порівняно з іншими пластмасами.

Таблиця 2

Фізико-механічні показники пресованих* і литих зразків графелона-20 та каучуку СКН-40**

Показник	Графелон-20*	Графелон-20**	Каучук СКН-40
Температура крихкості, °С	–80	–80	–23
Щільність, г/см ³	1,32	–	0,986
Міцність, МПа, при:			
– розтягу	80–90	140–175	29–32
– згині	150–180	200–220	–
– стиску	260–290	300–330	–
Модуль пружності, МПа, при:			
– стиску;	4–5	–	2–2,5
– згині	5,2–5,8	–	–
Відносне видовження при розриві, %	5–8	–	600–700
Ударна в'язкість, кДж/м ²	20–30	70–100	–
Теплостійкість за Віка, °С	290	290	–

Для заміни базового матеріалу накладок заспокоювача і натяжного башмака ланцюга (каучук СКН-40) газорозподільного механізму в роботах [2, 3] пропонується використати матеріал графелон-20, отриманого на основі ароматичного поліаміду, який є стійким до ударів та зносу під дією тертя, а також до високих температур (у межах 180–320 °С). Порівняльна характеристика фізико-механічних властивостей зазначених матеріалів наведена в таблиці 2 [4, 5].

Аналіз фізико-механічних характеристик цих матеріалів показав, що графелон-20 суттєво переважає за своїми фізико-механічними параметрами каучук СКН-40.

Міцність цього матеріалу залишається достатньо високою при значному нагріванні: так, границя текучості при стисненні при 250 °С для графелона-20 складає 100 МПа. Жорсткість і пластичність обумовлюють високу втомну міцність графелона-20. Це свідчить, що графелон-20 за втомною міцністю перевищує капрон на 1,5 рази ($2 \cdot 10^6$ циклів навантаження), а за числом циклів до руйнування при однаковому на-вантаженні – в декілька сотень разів. Графелон-20 також має незначну повзучість. Швидкість деформації залишається невисокою і при великих температурах (табл. 3).

Таблиця 3

Повзучість при стиску і відновленні графелона-20

Показник	Температура дослідження, °C		
	20	200	250
Повзучість за 100 год, %	0,56*	0,68*	1,35*
	1,60**	2,10**	13,30**
Відновлення за 100 год, %	0,04*	0,42*	1,00*
	0,13**	0,45**	5,61**

*напруження стиску – 10 МПа; **напруження стиску – 50 МПа.

Коефіцієнти лінійного розширення і теплопровідності графелона-20 в області температур експлуатації (від – 90 до 250 °C) є достатньо стабільними (табл. 4).

Таблиця 4

Залежність коефіцієнтів лінійного розширення і теплопровідності графелона-20 від температури

Показник	Температура дослідження, °C						
	50	75	100	125	150	175	200
Коефіцієнт лінійного розширення, $\cdot 10^{-6}, ^\circ\text{C}^{-1}$	20,7	22,7	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·K)	0,876	0,903	0,917	0,953	0,980	0,990	1,09

1.5.2. Триботехнічні властивості. Відмінними особливостями графелона-20 є висока зносостійкість за підвищених температур і навантажень, а також підвищена довговічність при роботі у мінеральних мастилах. Матеріал ефективно застосовується при питомому навантаженню до 5 МПа без мащення і 25 МПа зі змащуванням і швидкості ковзання до 3 м/с. Коефіцієнт тертя графелона-20 при роботі без мащення достатньо великий, однак його значення зберігається незмінним в широкому інтервалі температур. За зносостійкістю графелон в 2–10 разів переважає такі матеріали, як масляніт, АТМ-2, АМС-5, Ф4К20 [4, 5]. Триботехнічні дослідження графелона-20 у мастилі полігліколь «Орітес-210 ДС» показали, що найбільша зносостійкість має місце при ковзанні по поверхні нержавіючої сталі або бронзи. При ковзанні по поверхні вуглецевої сталі зносостійкість графелона-20 дещо зменшується, однак з підвищенням твердості вуглецевої сталі зносостійкість матеріалу наближається до зносостійкості при ковзанні по поверхні нержавіючої сталі.

Область термофрикційної працездатності матеріалу графелон-20 при навантаженні до 50 МПа знаходиться в межах 293–473 К, а при навантаженні до 20 МПа – 473–523 К.

Аналіз отриманих результатів трибологічних досліджень показав, що матеріал графелон-20 за зносостійкістю переважає матеріал каучук СКН-40 у 5,4 разу [2, 3].

1.5.3. Вологостійкість та хімічна стійкість. Графелон-20 практично не набухає і вироби з нього не змінюють розмірів при витримці в середовищі більшості вуглеводнів і інших органічних рідинах. Негативний вплив на графелон можуть здійснювати при підвищених температурах лише деякі полярні речовини типу нафтилу. Графелон-20 має задовільну стійкість до розбавлених мінеральних кислот та лугів. Однак концентровані кислоти і луги його руйнують і вплив цих реагентів підсилюється при підвищених температурах.

Графелон-20 при наявності в макромолекулах полімера амідних зв'язків здатний сорбувати вологу з повітря і поглинати воду при витримці у воді і водних розчинах. Вологопоглинання за одну годину при 373 К складає 0,3 %. Набухання графелона-20 у воді при температурі 295 К за 5000 годин не перевищує 3,1 %.

Отже, графелон-20, як і інші ароматичні й циклічні сполуки, має високу твердість, жорсткість і міцність, добрі антифрикційні властивості, пластичність і стійкість до ударних навантажень, високу втомну міцність, й забезпечує можливість широкого його застосування в різних галузях народного господарства.

Комплекс властивостей графелона-20 дозволяє використовувати його як конструкційний матеріал для роботи в широкому інтервалі температур. У багатьох випадках графелон-20 може використовуватись замість металів. Така заміна особливо важлива там, де необхідно знизити масу деталей, покращити їх антифрикційні властивості, забезпечити електроізоляцію, зменшити шум, полегшити отримання деталей складного профілю.

Наповнювачі-модифікатори. Асортимент наповнювачів графелона достатньо широкий: вуглецеві волокна, дисульфід молібдену, кокс, графіт, метали, оксиди і солі металів, полімерні та ультрадисперсні матеріали. Їх вплив на механічні властивості графелона досить значний. Введення наповнювача підвищує твердість, міцність на стиснення, модуль пружності, знижує міцність при згині і ударну в'язкість. Порошкоподібні наповнювачі зменшують міцність при розтягуванні графелона, ще більше падіння зазнає відносно подовження при розриві. Головною ж особливістю введення наповнювачів у матеріал є збільшення зносостійкості – залежно від виду і вмісту наповнювача зносостійкість композиту може значно зростати.

У кожному конкретному випадку важливо правильно вибрати концентрацію наповнювача для забезпечення тих або інших властивостей композиту. Об'ємний зміст наповнювача від 3 до 10 % забезпечує матеріалу високі міцність при розтягуванні і відносно подовження при розриві, хороший опір багатократному згину, низький вміст пор, але такі матеріали мають не дуже високий опір зносу. Об'ємний зміст наповнювача від 10 до 20 % дозволяє одержати зносостійкі матеріали для експлуатації при невисоких навантаженнях і швидкостях ковзання. Підвищений вміст наповнювача від 20 до 35 % забезпечує найбільш зносостійкість, стійкість до деформацій під навантаженням матеріалів, які можуть експлуатуватися при високих навантаженнях і швидкостях ковзання. У зв'язку з цим традиційно застосовували модифікатори, що воло-

діють властивостями «сухих» змащувальних матеріалів, – графіт, дисульфід молібдену, солі жирних кислот, кокс. Застосування таких традиційних антифрикційних наповнювачів у ряді випадків забезпечує досягнення необхідних службових характеристик і застосування композитів графелон у машинобудуванні. Істотного підвищення комплексу фізико-механічних і триботехнічних характеристик вдалося досягнути, використовуючи як наповнювачі дисперсні фрагменти вуглеграфітових волокон типу «Урал» і тканин типу УТМ-8, ТГН-2М та їх аналогів. У міру того, як форма часток наповнювача переходить від сферичної до волокно-подібної, наповнювач надає твердість композиції більшою мірою і починає сприймати все більшу частку навантаження. Як наповнювачі використовують волокна різних типів і конфігурацій – від окремих вусів або волокон до тканини. При введенні в полімер коротких дискретних волокон з високомодульних матеріалів механічне навантаження розподіляється між матрицею і наповнювачем, тому основні механічні властивості композиції поліпшуються в тій чи іншій мірі порівняно з властивостями матриці [4, 5].

Перспективним методом модифікації полімерів є використання як наповнювачів нетрадиційних компонентів – твердих речовин в ультрадисперсному стані. Ці речовини синтезують з використанням методів плазмо-механохімії і детонаційного синтезу. Через високу вартість і енергоємність методів отримання вони застосовувалися як модифікатори полімерів дуже обмежено. Проте використання ультрадисперсних з'єднань для модифікації полімерів забезпечує максимальну структуризацію полімерної матриці на різних рівнях структурної організації і отримання матеріалів з унікальними механічними, електричними, оптичними і іншими властивостями, часто недосяжними для традиційних композитів.

Ультрадисперсні сполуки (УДС) є перехідним станом конденсуючих речовин – макроскопічні ансамблі мікроскопічних частинок з розмірами $\sim 1\text{--}100$ нм. Основні фізичні властивості УДС значно відрізняються від властивостей матеріалів у звичайному стані. Системам з компонентами в ультрадисперсному стані властиві унікальні поєднання електричних, магнітних, теплових, механічних, сорбційних, радіопоглинаючих та інших властивостей, що не властиво у масивних кристалах. Поява подібних властивостей пов'язана з розмірними ефектами УДС. Ці ефекти реалізуються, коли розмір частинок стає співвимірним з характерним кореляційним масштабом того або іншого фізичного явища (наприклад, розміру домена) або характерною довжиною будь-якого процесу перенесення (довжина вільного пробігу електронів та інших елементарних частинок) [8].

1.7. Структурна організація ПКМ. Ароматичний поліамід фенілон при температурах до 300°C має аморфну структуру, після цього розм'ягчується і в інтервалі температур $340\text{--}360^\circ\text{C}$ швидко кристалізується, плавиться при температурі 430°C . Мезоструктура це перехідна зона в області контакту «полімер–наповнювач». Різноманіття наповнювачів-модифікаторів, матриць, схем армування, використовуваних при створенні композиційних матеріалів, дає можливість направлено регулювати міцність, жорсткість, рівень робочих температур і інші властивості шляхом підбору складу, зміни співвідношення компонентів і макроструктури композитів. Так, в роботі [9] представлені результати досліджень впливу металовмісних вуглецевих волокон (Me–ВВ) на структуру та механічні властивості вуглепластиків на основі термостійкого ароматичного поліаміду фенілон С-2. Показано, що використання Me–ВВ забезпечує, в порівнянні з вихідним полімером, підвищення міцності на 10 %, що пояснюється впливом вуглецевих волокон, активованих наночастками металу, на структуру полімерної матриці. В спектрах композитів, наповнених Me–ВВ, виявлені суттєві зміни в смугах поглинання, які належать до коливань амідних груп, що свідчить про суттєвий вплив наповнювача на структуру полімеру і про те, що цей вплив відбувається саме через амідні фрагменти. Рішення таких завдань передбачає прогнозування властивостей матеріалу і діагностики його стану [5, 6]. Питання якості та надійності матеріалів, виробів і конструкцій з них є однією з найбільш актуальних проблем сучасного науково-технічного розвитку.

Сконструйовано пристрій для склеювання виготовленої пластинки з металевою основою заспокоювача і натяжного башмака (рис. 2). Склеювання виготовленої пластинки з металевою основою виконували за допомогою спеціального металевого клею «Мекладин» [10].

Підготовка поверхні деталей для склеювання металевими клеями принципово не відрізняється від підготовки для склеювання звичайним клеєм. Поверхню слід промити спиртом або сумішшю спирту з петролейним ефіром у співвідношенні 1:1, потім деталь необхідно просушити в термостаті за температури 40°C . Перед нанесенням клею поверхні змочують краплею рідкого галію, який наносять вольфрамовим стрижнем. Вольфрам достатньо твердий і добре змочується галієм, через це вольфрамове вістря легко прориває окисну плівку на металі та інших поверхнях. Оксидну плівку можна видалити й іншими способами, наприклад, хімічним, але обов'язково в присутності рідкого галію. Клей наносять невеликою лопаткою з фторопласту на деталь, підігріту до температури $35\text{--}37^\circ\text{C}$, та притирають з поверхнею, щоб він утворив конус з іншими поверхнями. Полімерну пластинку склеюють з металевою основою, нагрітою до тієї самої температури, і притирають їх одна до одної, щоб клей повністю заповнив зазор між деталями. Потім деталь затискають у спеціальному пристрої (рис. 2) і витримують на повітрі при кімнатній температурі протягом 24 годин, або піддають термообробці при температурі $120\text{--}140^\circ\text{C}$ протягом 6–8 год.

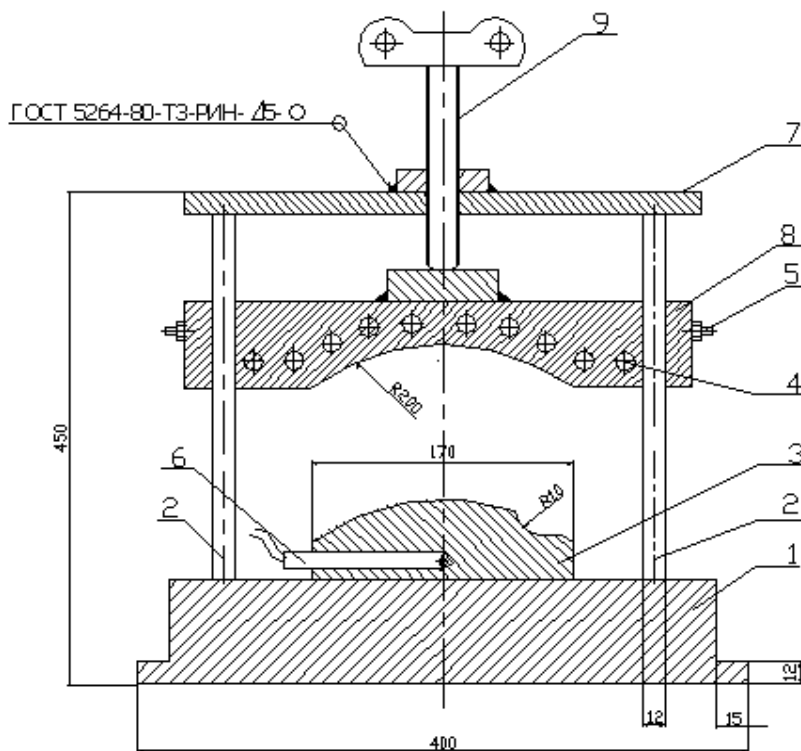


Рис. 2. Пристрій для наклеювання пластинки із графелона-20:

- 1 – нижня нерухома плита; 2 – напрямні;
- 3 – місце для кріплення заспокоювача ланцюга;
- 4 – клема для під'єднання нагрівального елемента;
- 5, 6 – термопари; 7 – верхня нерухома плита;
- 8 – верхня рухома плита; 9 – затяжний гвинт

В останньому випадку деталь після приклеювання охолоджують до кімнатної температури. Металевий клей «Мекладин» може експлуатуватись тривалий термін – до п'яти років. Цим клеєм можна склеювати різні деталі, які працюють у воді та мастилі.

Висновки

Розроблена структурно-технологічна модель процесу формування складу, структури і властивостей полімерного композиційного матеріалу графелон на базі якої запропонована технологія виготовлення лабораторних зразків, пластин заспокоювача і натяжного башмака ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання.

Сконструйовано пристрій для склеювання виготовленої пластинки матеріалу графелон-20 з металеву основою заспокоювача і натяжного башмака ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання.

Результати виконаних досліджень можуть бути використанні для виготовлення заспокоювача і натяжного башмака ланцюга газорозподільного механізму таких автомобілів, як Mercedes-Benz W220, Volkswagen, Skoda, Seat з двигуном 1,8 TFSI 118 кВт, Nissan Note з двигуном 1,4 CR 14DE, Toyota Corolla 150 з двигуном 1ZZ, Nissan Almera з двигуном 1,5 Q615DE, Niva-Chevrolet: 2123-1006019.

Література

1. Карагодин В. И. Ремонт автомобилей и двигателей : учеб. пособ. [для студ. проф. учеб. заведений] / В. И. Карагодин, Н. Н. Митрохин. – 2-е изд., стер. – М. : ИЦ «Академия», 2003. – 496 с.
2. Свідерський В. П. Підвищення зносостійкості і розробка технології виготовлення заспокоювача ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 2. – С. 39–45.
3. Свідерський В. П. Підвищення зносостійкості натяжного башмака газорозподільного механізму автомобіля ВАЗ-21011 / В. П. Свідерський, Л. П. Мельничук, В. С. Нарасівський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 5. – С. 51–55.
4. Антифрикционные термостойкие полимеры / Г. А. Сиренко, В. П. Свидерский, В. Д. Герасимов, В. З. Никонов. – Київ : Техніка, 1978. – 246 с.
5. Сиренко Г. А. Антифрикционные карбопластики / Г. А. Сиренко. – Киев : Техника, 1985. – 195 с.
6. Термостойкие ароматические полиамиды / Л. Б. Соколов, В. Д. Герасимов, В. М. Савинов, В. К. Беляков. – М. : Химия, 1975. – 256 с.
7. Межгосударственный стандарт ГОСТ 33519–2015. Композиты полимерные. Метод испытаний на

сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах. – М. : Стандартинформ, 2016. – 32 с.

8. Охлопкова А. А. Модификация полимеров ультрадисперсными соединениями / А. А. Охлопкова, О. А. Адрианова, С. Н. Попов. – Якутск : ЯФ Издательство СО РАН. – 2003. – 247 с.

9. Буря А. И. Структура и механические свойства углепластиков на основе фенилона С-2, армированных металлосодержащими углеродными волокнами / А. И. Буря, А. М. Сафонова, Л. А. Губачева // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2013. – № 9 (198), ч. 1. – С. 1–6.

10. Кардашов Д. А. Синтетические клеи / Д. А. Карташов. – М. : Химия, 1976. – 502 с.

References

1. Karagodin V. I. Remont avtomobilej i dvigatelej : ucheb. posob. [dlya stud. prof. ucheb. zave-denij] / V. I. Karagodin, N. N. Mitrohin. – 2-e izd., ster. – М. : ІС «Akademiya», 2003. – 496 s.

2. Sviderskyi V. P. Pidvyshchennia znosostiikosti i rozrobka tekhnologii vyhotovlennia zaspokoivucha lantsiuha hazorozpodilnoho mekhanizmu dyhuna vnutrishnoho zghorannia / V. P. Sviderskyi, V. S. Yaremchuk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 2. – S. 39–45.

3. Sviderskyi V. P. Pidvyshchennia znosostiikosti natiazhnoho bashmaka hazorozpodilchoho mekhanizmu avtomobilia VAZ-21011 / V. P. Sviderskyi, L. P. Melnychuk, V. S. Naraievskyi // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2009. – № 5. – S. 51–55.

4. Antifrikcionnye termostojkie polimery / G. A. Sirenko, V. P. Sviderskij, V. D. Gerasimov, V. Z. Nikonov. – Kiyiv : Tehnika, 1978. – 246 s.

5. Sirenko G. A. Antifrikcionnye karboplastiki / G. A. Sirenko. – Kiev : Tehnika, 1985. – 195 s.

6. Termostojkie aromaticheskie poliamidy / L. B. Sokolov, V. D. Gerasimov, V. M. Savinov, V. K. Be-lyakov. – М. : Himiya, 1975. – 256 s.

7. Mezhhgosudarstvennyj standart GOST 33519–2015. Kompozity polimernye. Metod ispytanij na szhatie pri normalnoj, povyshennoj i ponizhennoj temperaturah. – М. : Standartinform, 2016. – 32 s.

8. Ohlopkova A. A. Modifikaciya polimerov ultradispersnymi soedineniyami / A. A. Ohlopkova, O. A. Adrianova, S. N. Popov. – Yakutsk : YaF Izdatelstvo SO RAN. – 2003. – 247 s.

9. Burya A. I. Struktura i mehanicheskie svojstva ugleplastikov na osnove fenilona S-2, armiro-vannyh metallosoderzhashimi uglerodnymi voloknami / A. I. Burya, A. M. Safonova, L. A. Gubacheva // Visnik Shidnoukrayinskogo nacionalnogo universitetu im. Volodimira Dalya. – 2013. – № 9 (198), ch. 1. – S. 1–6.

10. Kardashov D. A. Sinteticheskie klei / D. A. Kartashov. – М. : Himiya, 1976. – 502 s.

Рецензія/Peer review : 25.5.2019 р.

Надрукована/Printed : 1.6.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Каплун В. Г.