МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІПМ

УМТ

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

VIII Міжнародної науково–практичної конференції

"Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування"

25-28 травня 2021 року
м. Луцьк

Голова конференції:
РУДЬ Віктор Дмитрович, Луцький НТУ

Співголови:
СОЛОНІН Юрій Михайлович, ІПМ НАН України,
ВАХОВИЧ Ірина Михайлівна, Луцький НТУ

Програмний комітет:

Баглюк Г.А. (Україна)
Бобир М.І. (Україна)
Буратовський Т. (Польща)
Гергель М. (Польща)
Драган А.В. (Білорусь)
Жигуц Ю.Ю. (Україна)
Заболотний О.В. (Україна)
Іллюшенко А.Ф. (Білорусь)
Клименко С.А. (Україна)
Ковальченко М.С. (Україна)
Крачунов Х. (Болгарія)
Кузнецов Ю.М. (Україна)
Лобода П.І. (Україна)
Рібейро Л. (Португалія)
Лю Сін (Китай)
Майстренко А.Л. (Україна)
МакМілан Е. (Англія)
Uhl Anna (Німетчина)
Назарчук З.Т. (Україна)
Ноурі Х. (Англія)
Озкал Б. (Туреччина)
Перко М. (Польща)
Пальчеський Б.О. (Україна)
Повстяной О.Ю. (Україна)
Похмурський В.І. (Україна)
Рагуля А.В. (Україна)
Рудь В.Д. (Україна)
Савіч В.В. (Білорусь))
Сизоненко О.М. (Україна))
Сосновськи М. (Польща)
Тітов В.А. (Україна)
Туркевич В.З. (Україна)
Уманський О.П. (Україна)
Фролов Г.А. (Україна)
Шафран М. (Польща)
Штерн М.Б. (Україна)

Організаційний комітет:

Повстяной О.Ю. (Луцький НТУ) – *заступник*
Васільєв О.О. (УМТ) – *заступник*
Мурований І.С. (Луцький НТУ) – *заступник*
(Луцький НТУ) – *заступник*
Штерн М.Б. (ІПМ НАНУ) – *заступник*
Імбірович Н.Ю. (Луцький НТУ) – *вчений секретар*
Божко Т.Є (Луцький НТУ)
Валецький Б.П. (Луцький НТУ)
Гальчук Т.Н. (Луцький НТУ)
Герасимчук Г.А. (Луцький НТУ)
Залета О.М. (Луцький НТУ)
Зубовецька Н.Т. (Луцький НТУ)
Згалат-Лозинський О.Б. (ІПМ НАНУ)
Коваль Ю.В. (Луцький НТУ)
Колядинський М.І. (Луцький НТУ)
Марчук В.І. (Луцький НТУ)
Мельник Ю.А. (Луцький НТУ)
Миронюк Д.В. (УМТ)
Онищук В.П. (Луцький НТУ)
Пальчевський Б.О. (Луцький НТУ)
Пастернак В.В. (Луцький НТУ)
Полінкевич Р.М. (Луцький НТУ)
Придальний Б.І. (Луцький НТУ)
Пуць В.С. (Луцький НТУ)
Редько Р.Г. (Луцький НТУ)
Савуляк В.І. (ВНТУ)
Савюк І.В. (Луцький НТУ)
Самчук Л.М. (Луцький НТУ)
Сичук В.А. (Луцький НТУ)
Стороженко М.С. (УМТ)
Четвержук Т.І. (Луцький НТУ)
Шимчук С.П. (Луцький НТУ)

ЗМІСТ

O. Povstyanoy, **A. J. McMillan**. RANDOM POROSITY MODEL THAT IMPLEMENTS THE CORRESPONDING PHYSICAL PROPERTIES OF FILTER MATERIALS……..6

Браїло М. В. Сапронова А. В., Якущенко С. В., Сметанкін С. О., Бертем А. РОЗРОБЛЕННЯ МОДИФІКОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ПІДВИЩЕНОЮ АДГЕЗІЙНОЮ МІЦНІСТЮ…….9

Бундза О. З., Герасимчук О. П., Мартинюк В. П. ОБҐРУНТУВАННЯ ВАГОМОГО ПОКАЗНИКА ВИБОРУ ТРАКТОРНИХ ПРИЧЕПІВ…….....11

Валецький Б. П. ІЖИНІРІНГ ТА РЕІНЖИНІРІНГ ПАКОВАННЯ…14

Гальчук Т. Н., Божко Т.Є. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ХАРАКТЕРИСТИК ЗНОШУВАННЯ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ ТРИБОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ…… 17

Гануліч Б. К. НАПРУЖЕННЯ У М'ЯКОМУ ПРОШАРКУ ПРИ РОЗТЯЗІ В УМОВАХ ПЛОСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ…… 20

Гусєв В. М., Кулініч В. Г., Житник Д. В., Юренін К. Ю., Букетова Н. М. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ІНГРЕДІЄНТІВ ПРИ СТВОРЕННІ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ…….. 23

Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Тимощук А. А., Черняк С. О. АНАЛІЗ СИСТЕМ МІКРОПЕРЕМІЩЕНЬ ДЛЯ МАНІПУЛЮВАННЯ МІНІАТЮРНИМИ ОБ’ЄКТАМИ……25

Зубовецька Н. Т. ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРОЕКТУВАЛЬНИКОМ ВЕРСТАТІВ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ І БАГАТЬОХ АЛЬТЕРНАТИВ…….28

Імбірович Н.Ю., Боярська І.В., Гусачук Д.А., Фещук Ю.П., Посувайло В.М. ВСТАНОВЛЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ВПЛИВУ РЕЖИМУ СИНТЕЗУ НА МІКРОТВЕРДІСТЬ ОКСИДОКЕРАМІЧНОГО ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНОГО ПОКРИТТЯ……..30

Кашицький В.П., Заболотний О.В., Мисковець С.В., Кушнірук А.С., Климовець О.Б. ВПЛИВ ЦИКЛІЧНОЇ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕПОКСИПОЛІМЕРІВ……32

Кашицький В.П., Савчук П.П., Малець В.М., Мельничук М.Д., Шегинський В.О. ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БІОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ДЕРЕВНОГО БОРОШНА……...35

Клименко О.Д., Муравинець Ю.В. ПРОЄКТУВАННЯ ТАРІЛЧАСТОЇ АБСОРБЦІЙНОЇ КОЛОНИ…….37

Коваль Ю. В., Ящинський Л. В., Федосов С. А., Захарчук Д. А., Панасюк Л. І., Луньов С. В. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ В НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МОНОКРИСТАЛАХ……40

Кравчук А. Ю., Скиба М. Є., Шимчук Ю. П. ЩОДО РОЗРОБКИ ПРЕС-ФОРМИ ДЛЯ ЛИТТЯ ПІДОШОВ ІЗ СУМІШІ РОЗПЛАВУ ПОЛІМЕРУ ТА ПЕРЕРОБЛЕНИХ ВІДХОДІВ……..43

Кусса Р. О., Зурнаджи В. І., Зайчук Н. П., Єфременко В. Г. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ TRIP-ASSISTED СТАЛІ ПІСЛЯ Q&P ОБРОБКИ…….46

Литвин Р.В., Мисливченко О. М., Дерев'янко О. І., Згалат-Лозинський О.Б. ОБРОБКА ІЛЬМЕНІТОВИХ РУД В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ НВЧ ДІАПАЗОНУ…….. 48

Луньов С. В., Назарчук П.Ф. ДАТЧИКИ ТИСКУ НА ОСНОВІ МОНОКРИСТАЛІВ ГЕРМАНІЮ…….. 50

Лучинський М. А., Поліщук О. С., Kałaczyński T., Пуць В. С. ПОРІВНЯННЯ ПРИВОДІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЇ МАРКУВАННЯ, КЛЕЙМУВАННЯ ТА ТИСНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ І ВИРОБІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ……. 53

Місяць О. В., Скиба М. Є., Місяць В. П. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ З ЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ……56

Налобіна О. О., Голотюк М. В., Пуць В. С. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ СИСТЕМАТИЗАЦІЇ ТИПОРОЗМІРІВ МІНІТРАКТОРІВ…….59

Никируй Л. І., Замуруєва О. В., Федосов С. А., Сахнюк В. Є. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ І РОЗРОБОК ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМОЕЛЕКТРИКИ…….. 62

Підгайчук С.Я., Дробот О.С., Яворська Н.М. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ…….. 65

Поліщук А. О., Скиба М. Є., Лісевич С. П., Ткачук О. Л. ПЕРЕРОБКА ВІДХОДІВ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ У ГОТОВІ ВИРОБИ З ВИКОРИСТАННЯМ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ……... 67

Савуляк В. І., Бакалець Д. В., Шенфельд В. Й., Шиліна О. П. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ НАПЛАВЛЕННИХ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ ОХОЛОДЖЕННЯ…….69

Савчук П. П., Кашицький В. П., Мороз І. А., Садова О. Л., Боярська І. В. ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ З ВМІСТОМ ПОРОШКУ ДИОКСИДУ ТИТАНУ…….. 72

Сапронов О. О., Соценко В. В., Браїло В. В., Воробйов П. О. ВПЛИВ СИНТЕЗОВАНОЇ ПОРОШКОВОЇ ЗАЛІЗО-КАРБІДОТИТАНОВОЇ ШИХТИ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ……..75

Селезньов Е. Л., Селезньов Д. Е. РОЗРАХУНОК ГІДРАВЛІЧНИХ ОПОРІВ ТРУБОПРОВОДУ……. 78

Слободян З. В., Маглатюк Л. А., Купович Р. Б., Максішко Ю. Я. КОРОЗІЙНО-ЕЛЕКТРОХІМІЧНА ПОВЕДІНКА СТАЛІ 20 В ІНГІБОВАНИХ 5%-ИХ РОЗЧИНАХ ДЕЯКИХ КИСЛОТ……...81

Стельмах О. У., Костюнік Р. Є., Радзієвський В. А., Ковальчук О. Г., Шимчук С.П. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ГРАНИЧНИХ ШАРАХ ЗМАЩУВАННЯ В ТРИБОКОНТАКТІ……...85

Уль А. В., Мельник О.В., Мельник Ю.А. ДО ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВІВ Al-Mg-Si……..... 88

Шимчук С. П., Півницький М. С. ЛАНЦЮГОВІ ПЕРЕДАЧІ В СУЧАСНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ…….. 91

Ярошевич О. М., Шовкомуд О. П., Ярошевич. М. П. ДИНАМІКА ПРИВОДА ВІБРАЦІЙНИХ МАШИНАХ З ПЛОСКИМИ КОЛИВАННЯМИ РОБОЧОГО ОРГАНУ…… 93

UDK 624.131.67+ 532.546
[1]O. Povstyanoy, PhD
[2] A. J. McMillan, professor, PhD CEng
[1]Lutsk National Technical University
[2]Glyndŵr University

RANDOM POROSITY MODEL THAT IMPLEMENTS THE CORRESPONDING PHYSICAL PROPERTIES OF FILTER MATERIALS

Prediction of patterns of formation of structure and properties of materials depends, first of all, on geometrical factors of powder particles. In addition, the analysis of modern technological processes of powder metallurgy shows that the presence of correlations between components, structure and properties is provided by all operations of the technological process, where the initial stage is filling molds with powder, which determines not only size, shape, density, but and affects a number of important properties of the finished product.

The initial stage of powder metallurgy technology is backfilling – packaging with a rather low density, it is important to model the loose packing of spherical particles (Fig. 1) [1].

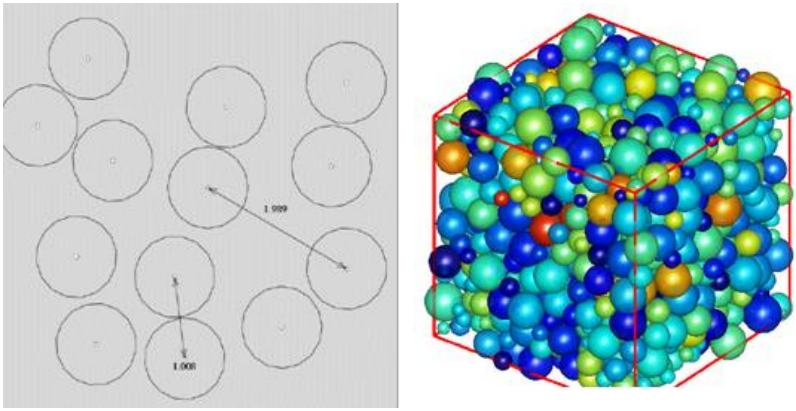


Figure 1 – Model of random porosity, which is generated in Abaqus using Python

Methods for modeling the uncertainty of the geometry affect the strength of the components that are at the initial stage of filling, but

the modeling of the random placement of powder at the stage of backfilling in the hopper taking into account the physical parameters of the components has not been fully investigated.

Development of a methodology for modeling the calculation of real backfill in the form of PPM, which represents a more realistic level of heterogeneity, and is the basis for detecting the physical behavior of powder at the backfill stage for most cases, which are currently determined both empirically and real experiments.

A new method of calculating the physical parameters that are laid down for the study of real packages (two-dimensional case) was developed [2].

The integral characteristics of the source material (steel powder SHX15) such as, for example, dielectric constant are determined. To solve this problem, the following approach was used: as a result of filling the region G with powder, stationary, isotropic random fields appeared $\{\xi_{ij}(u), u \in R^3\}$(1), describing the dielectric constant of the whole.

If we apply an electric potential to the boundaries of the region, then the potential U inside the region will be the solution of the following equation:

$$\begin{cases} \sum_{i,j=1}^{3} \xi_{ij} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} U = 0 \\ U / \partial G = \phi \end{cases}.$$

Figure 2 shows examples of backfill visualization according to the developed computer simulation model.

To verify the calculated values, a series of experiments was performed for cylindrical samples of PPM Ø40 mm and h = 220 mm with different combinations of the percentage of the initial components. After a series of studies of structurally inhomogeneous materials in table 1 presents the results of the main technical parameters of the actual backfill of the powder.

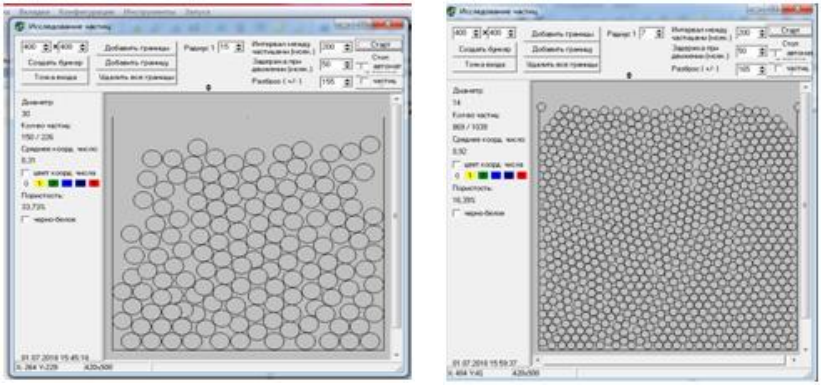


Figure 2 – Examples of visualization of backfill of two-dimensional packaging according to the developed computer simulation model

Table 1 – The results of the main technical parameters of the actual backfill

PPM	**1**	**2**	**3**
Volume content, %	99,1	98,2	98,6
External diameter, mm	40	40	40
Inner diameter, mm	36	36	36
Weight, g	420	420	420
Density, g / cm3	6,75	6,88	6,42
Porosity, %	53,4	55,4	54,7
Deviation of results,%	7,9	8,5	7,6

References:

1. McMillan A. J, Archer E, McIlhagger A, Lelong G. «Strength knock-down assessment of porosity in composites: modelling, characterising and specimen manufacture». *Journal of Physics: Conference Series.* 2012. №3. P.20-27.

2. Model studies of the formation of powder backfill taking into account the properties of the material on the basis of models of random packaging (two-dimensional case) / Povstyanoy O., Dorogovtsev A. Scientific notes. 2018. Issue 63. pp. 183–188.

УДК 667.64:678.026
М. В. Браїло, канд. техн. наук, доцент,
А. В. Сапронова, аспірант,
С. В. Якущенко, PhD,
С. О. Сметанкін, PhD,
А. Бертем, аспірант
Херсонська державна морська академія

РОЗРОБЛЕННЯ МОДИФІКОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ПІДВИЩЕНОЮ АДГЕЗІЙНОЮ МІЦНІСТЮ

Для підвищення надійності та довговічності технологічного устаткування транспорту перспективним є використання епоксидних зв'язувачів, які є найбільш розповсюдженими як на території України, так і за її межами. Вони характеризується широким комплексом фізико-механічних, теплофізичних властивостей. Введення модифікаторів та наповнювачів різної фізико-хімічної природи забезпечує перебіг фізико-хімічних процесів з утворенням надмолекулярних структур при зшиванні композитного матеріалу, що в свою чергу дозволяє поліпшити експлуатаційні характеристики розроблених матеріалів, а, отже і забезпечити надійність та довговічність технологічного устаткування транспорту.

Для формування полімерних матеріалів використовували епоксидний зв'язувач DER – 331. Для зшивання епоксидного зв'язувача використано твердник холодного тверднення триетилентетрамін ТЕТА. Для поліпшення властивостей композитів використовували модифікатор 2-Бензофуран-1,3-діон – фталевий ангідрид (ФА), який вводили у зв'язувач за вмісту від q = 0,10…3,00 мас.ч.

Встановлено, що при введені модифікатора у епоксидний зв'язувач за вмісту q = 0,10 мас.ч. спостерігали максимальне значення адгезійної міцності, що становить – σ_a = 40,0 МПа. Вважали, що за такого вмісту активуються до взаємодії сегменти макромолекул епоксидного олігомеру з активними до взаємодії С=О групами модифікатора, що на початковому етапі під час фізико-хімічного зшивання забезпечує впорядкованість структури. При збільшенні вмісту модифікатора з q = 0,25 мас.ч.

до q = 3,00 мас.ч. спостерігали монотонне зниження адгезійної міцності до σ_a = 15,18…27,5 МПа. Вважали, що зниження показників адгезійної міцності при відриві, можна пояснити дефектною структурою полімеру, яка сформувалася при недостатній взаємодії епоксидних груп, через перенасичення вмісту модифікатора в епоксидній системі «матриця-модифікатор». Додатково показано, що введення модифікатора за вмісту q = 0,10…3,00 мас.ч. призводить до зниження значень залишкових напружень порівняно із вихідною матрицею з $\sigma_з$ = 1,40 МПа до $\sigma_з$ = 0,59…1,00 МПа).

Висновки. У роботі наведено технологічні аспекти модифікації епоксидного олігомеру DER – 331, що забезпечує підвищення адгезійної міцності. Для отримання матриці з підвищеними адгезійними властивостями необхідно у епоксидний зв'язувач вводити модифікатор 2-Бензофуран-1,3-діон за вмісту q = 0,10 мас.ч. (на 100 мас.ч. олігомеру DER – 331 та 10 мас.ч. твердника ТЕТА), що забезпечує формування адгезивів із наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – σ_a = 40,0 МПа, залишкові напруження $\sigma_з$ = 1,1 МПа. Підвищення адгезійних характеристик пов'язано із активацією сегментів макромолекул епоксидного олігомеру до взаємодії з С=О групами модифікатора.

Список використаних джерел:

1. Браїло М.В. Епокси-поліефірні композити з підвищеними експлуатаційними характеристиками для ремонту елементів суднових технічних засобів / М.В. Браїло, О.С. Кобельник, О.О. Сапронов, Е.С. Аппазов, L. Dulebova // Науковий вісник ХДМА, 2019. – №1(20). – С. 134-141.

2. Sapronov O.O. Polymeric materials based on epoxy oligomer DER-331 and hardeners of different physical and chemical nature for repairing of gas production equipment // O. O. Sapronov, V. V. Sotsenko, B. Antonio, S. O. Smetankin, K.Yu. Yurenin. Journal of Hydrocarbon Power Engineering. – 2020. – Vol. – 7(2). – P. 54-60.

3. Lysenkov E.A. The influence of carbon nanotubes on the sensitivity of humidity sensors based on organic-inorganic polymer materials / E. A. Lysenkov, O. V. Stryutskiy, Yu. P. Gomza, V.V. Klepko // Functional materials. – 2015. – V. 22, №1. – P. 40-46.

УДК 62-97
О. З. Бундза [1], канд. техн. наук, доцент,
О. П. Герасимчук[2] , канд. техн. наук, доцент,
В. П. Мартинюк[2] , канд. техн. наук, доцент
[1] *Національний університет водного господарства та природокористування*
[2] *Луцький національний технічний університет*

ОБҐРУНТУВАННЯ ВАГОМОГО ПОКАЗНИКА ВИБОРУ ТРАКТОРНИХ ПРИЧЕПІВ

Одним із показників, за яким оцінюють якість перевезень, є продуктивність, для збільшення якої використовують різноманітні причепи. Враховуючи той факт, що у господарствах постійно виникає потреба в перевезеннях вантажів з різними фізико-механічними властивостями, номенклатура причепів, що знаходяться на балансі господарства, має бути широкою. Крім того, причепи повинні бути оснащені додатковими засобами для полегшення завантажувально-розвантажувальних робіт, що забезпечить збереження вантажів, що легко ушкоджуються [1, 2].

З урахуванням стану доріг сільськогосподарського призначення, причепи повинні відповідати вимогам до показників прохідності, стійкості, маневреності.

Слід також зауважити, що параметри причепа та трактора мають бути узгоджені за рахунок обґрунтування конструкції зчіпного устаткування. Проблема визначення раціонального складу тракторного поїзду полягає в оптимальному поєднанні техніко-експлуатаційних і конструктивних параметрів енергетичного засобу – трактора й причепа. Це складна й трудомістка задача, розв'язок якої потребує, по-перше, систематичного аналізу зовнішніх факторів, що впливають на роботу тракторів із причепом; по-друге, аналізу умов експлуатації причепів, розробки системи показників техніко-експлуатаційних властивостей причепів. З урахуванням зазначеного, розробка концептуальних положень методології виявлення оптимальної сукупності моделей причепів із характеристиками, узгодженими з параметрами енергетичного засобу, наявного в господарстві, є актуальною науково-прикладною задачею, що потребує вирішення.

Приймемо гіпотезу, що процес проектування значно можна облегшити за умови використання результатів статистичного аналізу, що дозволять отримати рівняння, які розкривають взаємозв'язок конструктивних (експлуатаційних або технологічних) параметрів машини із параметром, який слід прийняти за вагомий. Приймемо (концептуально), у якості вагомого параметр – власна маса причепа. Власна маса залежить від конструктивних параметрів причепа й змінюється залежно від їхньої зміни. З метою забезпечення широкого охоплення параметрів тракторного поїзду в процесі його проектування скористаємось результатами обробки статистичної інформації по моделі причепів. З метою встановлення зв'язку вагомого параметру з іншими експлуатаційними та технологічними параметрами складових тракторного поїзду отримано рівняння регресії, оцінку достовірності яких виконано за коефіцієнтом рандомізації, також виконано розрахунок коефіцієнтів кореляції. Взаємозв'язок параметрів досліджували на основі зібраної статистичної бази, яка містить технічні характеристики на 70 моделей причепів виробництва України, Польщі, Китаю та ін. Деякі отримані залежності параметрів причіпа й трактора та математичні моделі, що їх описують, наведено нижче (рис. 1, 2).

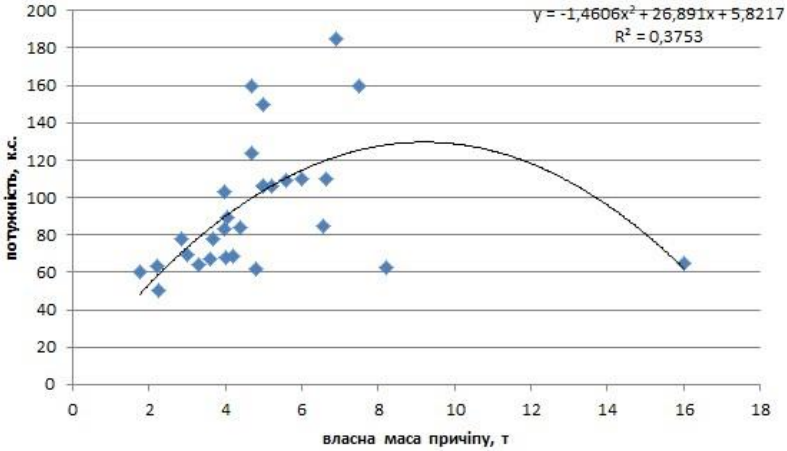


Рисунок 1 – Залежність потужності трактора N, к. с. від маси причепа $m_п$, т

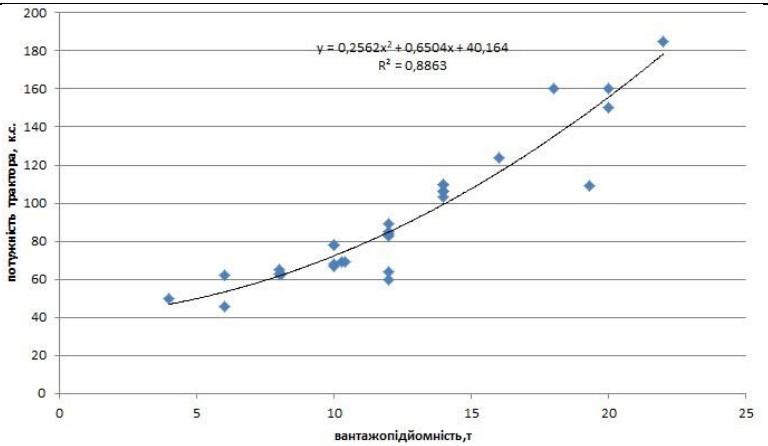


Рисунок 2 – Залежність потужності трактора від вантажопідйомності причепа, *Q*, т

Внаслідок аналізу кореляційного зв'язку техніко-експлуатаційних показників причепів і енергетичних показників тракторів встановлено, що підбір причепів доречно проводити з використанням у якості оціночного показника вантажопід-йомність причепу. Встановлено, що використання даного показника дозволить сформувати причіпний склад із урахуванням впливу таких показників як дотична тягова сила, питома витрата палива. Це, в свою чергу, дозволить ще у процесі обґрунтування складу транспортного агрегату оцінити економічну ефективність його експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Антышев, Н.М. Концепция развития технических средств для транспортных и погрузочных работ в сельском хозяйстве на период до 2010 года / Н.М. Антышев, Н.Е. Евтюшенков, Т.А. Калинкин и др. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. – М., 2002. – 44 с.

2. Бышов, Н.В. Основные требования к техническому уровню тракторов, транспортных средств и прицепов на долгосрочную перспективу / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И. А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Аникин, С.В. Колупаев, К.А. Жуков / Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: доклады Межд. научно-практ. конф. 21 – 22 марта 2013 г. – Минск : Изд-во БГАТУ, 2013. – С. 200-202.

УДК 621.798
Б. П. Валецький, канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет

ІЖИНІРІНГ ТА РЕІНЖИНІРІНГ ПАКОВАННЯ

Родоначальником терміну «реінжиніринг» вважається Майкл ХАММЕР. За його визначенням, реінжиніринг – це фундаментальне переосмислення і радикальне перепроектування бізнес-процесів з метою досягнення істотного поліпшення якості функціонування [1].

Метою цього процесу в пакувальній галузі є забезпечення єдиних стандартів та загальних процесів планування та реінжинірингу упаковки за оптимальних витрат.

Для цінової пропозиції постачальник вибирає один із згаданих стандартних розмірів упаковки для розрахунку та пропонує свою ціну. Це сприяє ефективному використанню транспорту та стратегій простого керування.

Після вибору постачальника («ВК»- виробнича компанія) споживча компанія (СК) формує внутрішній процес запиту впливу на ланцюг постачань (ЗВЛП), щоб забезпечити найбільш збалансованою та економічно вигідною ланцюгом постачань. Роблячи це, покупець надає всі дані, пов'язані з проектом, в корпоративну логістику ВК (наприклад, ім'я та контакт постачальника, відповідні номери деталей з розмірами та вагою, річним обсягом тощо). За допомогою цієї інформації логістичний сервіс ВК підтверджує проект за допомогою технічного аналізу. Корпоративна логістична координація ВК координує між залученими сторонами (заводом виробником, покупцем та постачальником).

Якщо є «оптимальне» пакування ВК, то воно буде подане постачальнику у формі «пропозиції». Якщо в цій формі не пропонується бажана паковання від ВК, постачальник може вибрати тип пакування з каталогу.

Згодом постачальник тестує паковання, заповнює форму пропозиції упаковки та надіслає її у відділ корпоративної логістики ВК. Кінцеве рішення, вибору пакування (стандартне чи спеціальне) та спосіб пакування здійснює ВК.

Коли вся необхідна інформація буде остаточно вивірена, ВК створює інструкцію з пакування в центральній базі даних. Ця Інструкція щодо упаковки буде надіслана постачальнику, і процес

буде завершено, коли постачальник підтвердить отримання та прийняття Інструкції щодо використання пакування.

Спеціальне паковання буде визначене таким же чином і також буде зафіксоване в Інструкції щодо упаковки. Спеціальне паковання повинно мати подібний вид і за розміром бути аналогічним стандартному.

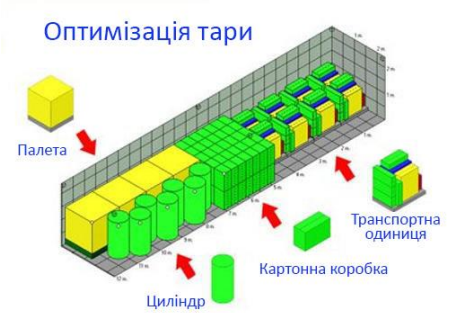


Рисунок 1 – Оптимізована тара

Ідеї щодо зміни паковання або пропозиції щодо реінжинірингу можуть ініціювати постачальник.

Постачальник вносить пропозиції та обґрунтовано розкриває їх. У цьому випадку постачальник надсилає кожну пропозицію щодо переобладнання існуючого паковання покупцю.

Усі пропозиції щодо реінжинірингу заповнюються за допомогою форми пропозиції паковання.

Інструкція на упаковку повинна бути змінена відповідно до фізичних змін. Коригована Інструкція щодо паковання буде відправлена постачальнику, і процес буде завершено, коли постачальник підтвердить отримання та прийняття Інструкції щодо паковання.

Отже, замість того, щоб змінювати продукт, корисно проаналізувати те, що навкруги продукту: упаковка. Покращення та оптимізація паковання продукту – це, мабуть, перше, що можна змінити, що дасть найкращий та швидкий результат.

Внесення невеликих змін може призвести до значних заощаджень. Якщо переробити основне паковання продукту (коробку, пачку), одночасно призведе до оптимізації групового і транспортного, що було доставлено більше товару, що дозволить заощадити кошти на логістиці.

Зараз існує безліч варіантів упаковки. Одне поле розміру підходить не всім. Вдійсності, найкращим рішенням може бути зовсім не коробка, а є новітні пакувальні матеріали, конструкції та

технології. Паковання повинено бути ефективно розробленим, але воно також повинно бути достатньо міцним, щоб витримати логістику подорожей – повітряну, морську, залізничну та автомобільну.

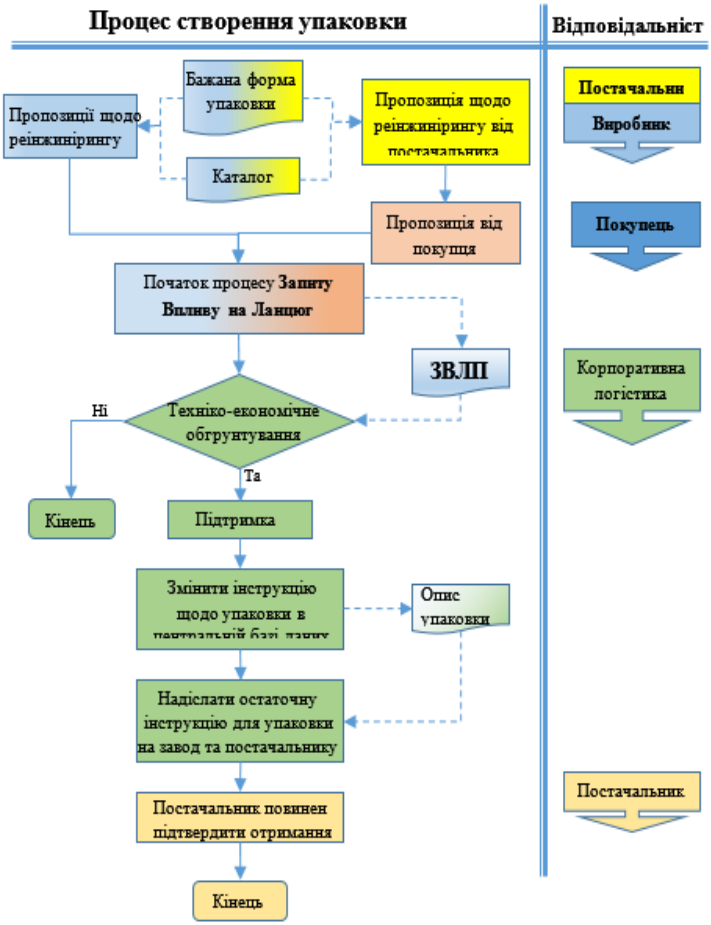


Рисунок 2 – Інженирінг та реінженирінг паковання

Основна мета паковання – захист продукту всередині упаковки. Якщо це забезпечено, всі побічні переваги стануть на місце – заощадження на пошкоджених товарах, переробка товару, повернення та заміна.

Список використаних джерел:

1. Хаммер, М. Реинжиниринг корпорации: манифест революции в бизнесе [Текст]. / М.Хаммер, Д.Чампи. – СПб., 2000. – 332 с.

УДК 631.365.22
Т. Н. Гальчук, канд. техн. наук, доцент
Т. Є. Божко, канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ХАРАКТЕРИСТИК ЗНОШУВАННЯ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ ТРИБОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Досліджено можливість побудови математичної моделі до розв'язання задач взаємозв'язків характеристик зношування і властивостей елементів трибосистеми. Репрезентовано реалізацію моделі математичного планування активного експерименту для розв'язання трибологічних задач з використанням експериментальних даних отриманих в лабораторних умовах.

Представлену методику застосовано для дослідження процесу зношування виробів із композиту на основі порошку сталі ШХ15, отриманого з відходів підшипникового виробництва [1] та порошків міді ПМС–1 (ГОСТ 4960–75) та графіту ГС4 (ГОСТ/ТУ – 8295).

Суміші порошків перемішували у вібромлині протягом 1,5…2 годин і пресували на гідравлічному пресі при тиску 600 МПа. Спікання виробів із композиту проводили за температури 1200 ^{0}С у середовищі водню в лабораторній електропечі опору неперервної дії. Час спікання складав 2 години з моменту встановлення заданої температури. Для дослідження було виготовлено зразки розміром 10×10×16 мм [2].

В цілях виявлення оптимального складу композитів на основі порошку сталі ШХ15 та його впливу на триботехнічні характеристики, використовували метод математичного планування експерименту [3] .

Параметрами оптимізації було обрано коефіцієнт тертя та $У_2$ – зношування, мкм/км., а варіювалися: X_1 – кількість порошку сталі ШХ15 в шихті, %; X_2 – кількість міді (Cu) в шихті, %; X_3 – кількість графіту (С) в шихті, %.X_4 – величина контактного тиску, МПа (табл.1).

Таблиця 1 – Рівні та інтервали варіювання факторів

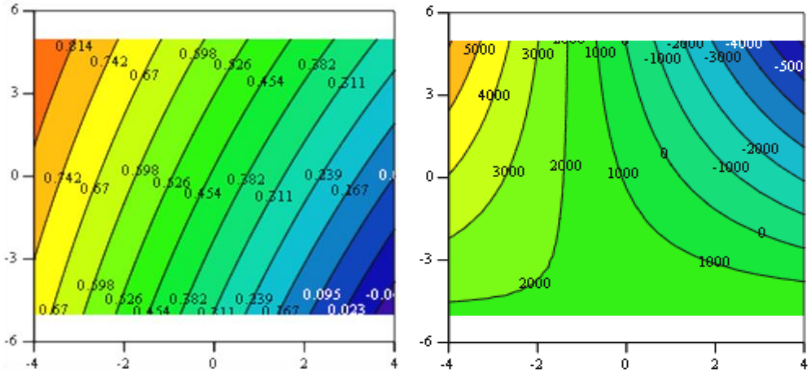
Найменування	Фактори			
	X_1	X_2	X_3	X_4
Основний рівень	94	4	2	3
Верхній рівень	100	8	4	5
Нижній рівень	88	0	0	1
Інтервал варіації	6	4	2	2

В результаті реалізації всіх дослідів матриці планування і обробки дослідних даних складено математичну модель. Оцінку коефіцієнтів моделі знаходили за експериментальними даними отриманими на лабораторній дослідницькій машині моделі СМЦ–2.

Рівняння регресії з високим ступенем адекватності описують залежність параметрів оптимізації від значень факторів, що варіюються. Отримані результати експериментів піддавали комп'ютерній обробці [4].

На основі отриманих рівнянь побудовано карти контурів рівня залежності коефіцієнта тертя (f_m) та зношування (I) від складу композиту (рис. 1).

$$Y23(x1, x2) := Y(x1, x2, 2, 3)$$



а) б)

Рисунок 1 – Карта контурів рівня залежності f_m (а) та I (б) від вмісту міді та порошку ШХ15 (вміст С– 2%, тиск 3 МПа)

За допомогою яких визначено оптимальний склад композиційного порошкового матеріалу із порошку сталі ШХ15 з добавками міді та графіту в межах, заданих інтервалами варіації: основа – порошок сталі ШХ15, отриманий із шліфошламів, вміст графіту 1…3 % та міді 3…8 %.

Отримані результати досліджень вказують на адекватність опису залежності інтенсивності зношування і коефіцієнта тертя від складу порошкового композиту із застосуванням запропонованої математичної моделі опису трибологічного процесу. За результатами роботи розроблені рекомендації з визначення факторів, способів їх завдання і вибору плану експерименту. Проведено аналіз результатів реалізованого експерименту з урахуванням зазначених міркувань та рекомендацій. Одержані результати переконливо свідчать, що математична модель взаємозв'язків характеристик зношування і окремих властивостей трибомеханічної системи має значне практичне значення, зокрема дає можливість встановити оптимальний склад композиту та його вплив на коефіцієнт тертя та зношування.

Список використаних джерел:

1. Рудь В.Д. Использование отходов подшипникового производства в порошковой металлургии / В.Д. Рудь, Т.Н. Гальчук, О.Ю. Повстяной // Порошковая металлургия. – 2005. – № 1/2. – С. 106–112.

2. Гальчук Т.Н., Рудь В.Д. Використання відходів машинобудівного виробництва для виготовлення деталей триботехнічного призначення: Монографія. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2013. – 214 с.

3. Павленко П. М., Філоненко С. Ф., Чередніков О. М., Трейтяк В. В. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. / П. М. Павленко, С. Ф. Філоненко, О. М. Чередніков, В. В. Трейтяк – К. : НАУ, 2017. – 392 с.

4. Завіша В.В., Гальчук Т.Н. Застосування засобів ЕОМ при обробці даних активного експерименту / В. В. Завіша, Т.Н. Гальчук // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». – 2012. – № 1. – С. 52–57.

УДК 539.375
Б. К. Гануліч, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, доцент
Луцький національний технічний університет

НАПРУЖЕННЯ У М'ЯКОМУ ПРОШАРКУ ПРИ РОЗТЯЗІ В УМОВАХ ПЛОСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Запропоновано спосіб і розраховано розподіл напружень у м'якому прошарку при розтягуванні в умовах плоскої деформації.

Вступ. При розтязі зразків з м'яким прошарком (рис.1) виявляється [1-5], що зі зменшенням товщини h м'якого шару М границя плинності і границя міцності $\sigma_в$ подібних зразків збільшується, причому збільшення, в мм залежності від товщини прошарку і співвідношення границь плинності і міцності матеріалу прошарку М і основного металу Т, може досягати кількох разів.

Мета роботи: описати напружений стан м'якого прошарку при розтязі в умовах плоскої деформації, коли значення середніх розтягувальних напружень більші від межі плинності матеріалу прошарку і менші від напружень, що зумовлюють пластичне течіння (плинність) прошарку [6].

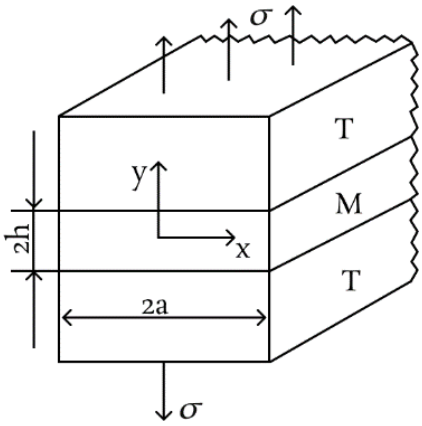


Рисунок 1 – Зразок із м'яким прошарком при розтязі в умовах плоскої деформації

Постава задачі і розв'язок. Якщо $\langle\sigma_y\rangle < \sigma_{0,2}^M$ увесь зразок (рис. 1) перебуває у стані однорідного розтягу. Коли $\langle\sigma_y\rangle$ стають більшими, ніж $\sigma_{0,2}^M$ м'який прошарок переходить у новий напружений стан.

У підручнику [7] стверджується, що описати напружений стан прямокутної області можна завжди, якщо вибрати функцію Ері у вигляді полінома.

Напруження у прямокутнику (рис.1) $|x| \le a$, $|y| \le h$ (рис.1) очевидно повинні задовольняти умови:

1) диференціальні умови рівноваги

$$\frac{\partial\sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{xy}}{\partial y} = 0, \frac{\partial\sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{xy}}{\partial y} = 0; \quad (1)$$

2) $\sigma_x(x,y) = 0, \tau_{xy}(x,y) = 0$, якщо $|x| = a$, (2)

бічні поверхні вільні від напружень;

3) $\int_{-\alpha}^{\alpha} \sigma_y(x,y)\,dx = 2a\sigma, \forall y \in [-h,h]$, (3)

де σ – прикладене навантаження (рис.1)

Для того, щоб задовольнити умови рівноваги, достатньо прийняти

$$\sigma_x = \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}, \sigma_y = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}, \tau_{xy} = -\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\,\partial y}, \quad (4)$$

де $\varphi = \varphi(x,y)$ – довільна, двічі диференційована функція. Оскільки після переходу прошарку у "новий" напружений стан $\{(\langle\sigma_y\rangle > \sigma_{0,2}^M)$ закон Гука про лінійну залежність між напруженнями і деформаціями порушується, то $\varphi(x,y)$ не обов'язково буде задовольняти біквадратне рівняння Лапласа. Щоб задовольнити умови (1) (2) і (3) достатньо прийняти

$$\varphi(x,y) = ky^2(x^2 - a^2)^2 + \frac{\sigma}{2}x^2, \quad (5)$$

де k – постійний параметр.

Тому, згідно (4):

$$\sigma_x = 2k(x^2 - a^2)^2,\ \sigma_y = \sigma + 2ky^2(3x^2 - a^2);$$

$$\tau_{xy} = -4k\,xy(x^2 - a^2)$$

Постійну k визначаємо з умови

$$\sigma_y(0,0) - \sigma_x(0,0) = 2\tau_s \qquad (6)$$

Таким чином у прошарку, коли $\sigma > \sigma_{0,2}^M$, виникають напруження

$$\sigma_x = \frac{\sigma - 2\tau_s}{a^4}(x^2 - a^2)^2,$$

$$\sigma_y = \sigma + \frac{\sigma - 2\tau_s}{a^4}y^2(3x^2 - a^2), \qquad (7)$$

$$\tau_{xy} = -2\frac{\sigma - 2\tau_s}{a^4}xy(x^2 - a^2).$$

Список використаних джерел:

1. Leach R.N. When and how to ase silver sölder. – Metal Industry, 49. 1936, p. 511.

2. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Пайка металлов. М.: Машиностроение, 1967. – 367с.

3. Moffat W.G., Wulf J. Strenght of silver brased joints in mild steel. – Jorn Metals, 9.4., 1957, p. 442.

4. Colbus J., Keel C.C., Blank D.M. Notes on the strength of brased joints. – Welding Journal, 41, № 9, 1962. p. 413.

5. Немчинский А.Л. Определение сопротивления отрыву с применением гладких образцов. – Заводская лаборатория., 1952, № 11, с. 1382-1384.

6. Ганулич Б.К., Гнып И.П., Похмурский В.И. К вопросу о контактном упрочнении мягких прослоек. – ФХММ, 1981, № 3, с. 68-73.

7. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. (Пер. с англ.) – М.: Наука, 1975. – 575 с.

УДК 629.1
В. М. Гусєв, канд. техн. наук, доцент,
В. Г. Кулініч, аспірант,
Д. В. Житник, аспірант,
К. Ю. Юренін, аспірант,
Н. М. Букетова, докторант
Херсонська державна морська академія, м. Херсон, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ІНГРЕДІЄНТІВ ПРИ СТВОРЕННІ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

У роботі розроблено захисні покриття з підвищеними експлуатаційними характеристиками для засобів морського і річкового транспорту. З метою зменшення кількості випробувань і з причини оптимізації вмісту інгредієнтів у покритті використано метод математичного планування експерименту [1, 2].

При виборі матеріалів, призначених для відновлення деталей транспорту, необхідно враховувати значення руйнівних напружень при згинанні, що дозволить експлуатувати такі матеріали тривалий час без зміни їх властивостей. Забезпечення цього надає можливість уникнути негативного явища відшарування полімерного композиту від основи.

Основою для зв'язувача при формуванні епоксидних покриттів вибрано епоксидний діановий олігомер ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78) використовували для зшивання епоксидних композицій як твердник, який дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Як модифікатор обрано диамінодифенілметан (ДХДАФМ), який відзначається високою хімічною стійкістю і фізико-механічними властивостями.

Як зазначено вище, при оптимізації вмісту інгредієнтів під час формування композитного матеріалу досліджено руйнівні напруження при згинанні, як одну з основних властивостей модифікованих покриттів, наповнених частками полістиролу «ОАЗИС».

Провівши математичне планування експерименту отримали рівняння регресії з натуральними значеннями змінних параметрів:

$$\sigma_{зг} = -124{,}3 + 2041{,}8q_1 - 484{,}2q_2 - 4273{,}3q_1^2 + 1150{,}0q_1q_2$$

де q_1 – вміст у композиті модифікатора ДХДАФМ;
q_2 – вміст у композиті наповнювача полістиролу «ОАЗИС».

Наведене рівняння в натуральних значеннях дозволяє лише передбачити значення вихідної величини для будь-якої точки в середині області варіювання факторів. Однак, з його допомогою можна побудувати графіки залежності вихідної величини (руйнівні напруження при згинанні) від будь-якого фактору (чи двох факторів).

Висновки. На основі експериментальних досліджень встановлено, що квадратична залежність першого фактору має більший вплив на показники руйнівних напружень матеріалів. Слід зазначити, що вплив вмісту наповнювача полістиролу «ОАЗИС» на показники руйнівних напружень при згинанні є вищим порівняно з модифікатором ДХДАФМ (згідно з картою Парето). Аналізуючи розраховані поверхні відгуку визначено, що оптимальні показники руйнівних напружень при згинанні ($\sigma_{зг}$ = 110,6 МПа) має розроблений епоксидний композит з модифікатором і наповнювачем за наступного вмісту: модифікатор ДХДАФМ – 0,25 мас.ч., наповнювач полістирол «ОАЗИС» – 0,06 мас.ч.

Список використаних джерел:

1. Букетов А. В. Багатофункціональні епоксидні нанокомпозити з поліпшеними діелектричними властивостями для підвищення експлуатаційних характеристик транспортних засобів: монографія / А. В. Букетов, С. О. Сметанкін, В. Л. Алексенко, К. Ю. Юренін, В. В. Соценко. – Херсон: ХДМА, 2021. – 220 с.

2. Букетов А. В. Метод підвищення ресурсу роботи устаткування річкового та морського транспорту за рахунок використання модифікованих захисних антикорозійних покриттів: монографія / А. В. Букетов, С. О. Сметанкін, Т. В. Чернявська, М. В. Браїло, О. О. Сапронов, В. В. Соценко, К. Ю. Юренін, В. Г. Кулініч, С. В. Якущенко, В. М. Яцюк. – Херсон: ХДМА, 2021. – 126 с.

УДК 621.822
В. Ю. Денисюк, канд. техн. наук, доцент,
В. П. Симонюк, канд. техн. наук, доцент,
Ю. С. Лапченко, канд. техн. наук, доцент,
А. А. Тимощук, студент,
С. О. Черняк, студент
Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ СИСТЕМ МІКРОПЕРЕМІЩЕНЬ ДЛЯ МАНІПУЛЮВАННЯ МІНІАТЮРНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Системи мікропереміщень (СМП) мініатюрних об'єктів використовуються в приладобудуванні протягом багатьох десятиліть і пов'язані в основному з оптико-механічними приладами і годинниковими механізмами. СМП застосовуються також у вестатобудуванні, автомобілебудуванні, авіаційній, космічній, корабельній та інших промисловостях. Підвищені вимоги до військової та космічної техніки, медицини, моніторингу навколишнього середовища і безпеки атомних електростанцій дали поштовх до розвитку мініатюрних і мікроелектромеханічних систем (МЕМС). СМП включають в себе пристрої, що забезпечують переміщення вихідної ланки на відстань до міліметра з мінімальним кроком до десятих часток мікрометра. Крім того, МЕМС можуть бути елементами СМП, зокрема робочими органами. Основні перспективні напрямки розвитку СМП представлені на рис. 1.

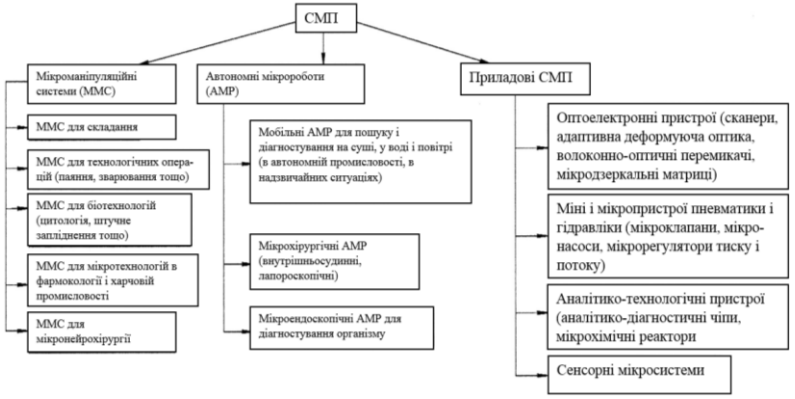


Рисунок 1 – Основні напрямки розвитку систем мікропереміщень

Мініатюризація електромеханічних систем за рахунок інтегруючого ефекту при поєднанні в єдиному об'ємі пристрою, як приводних елементів, так і керуючих елементів, є наочним прикладом ефективності принципів мехатроніки. Цьому сприяє загальна технологія виготовлення електронних компонентів і механічних деталей та вузлів.

Мікроманіпуляційні системи (ММС) – це автоматизовані електромеханічні системи, призначені для здійснення технологічних операцій або для переміщення (маніпулювання) міні- і мікрооб'єктів. До них відносяться ММС для механічного складання мікромеханічних пристроїв. Залежно від об'єктів, що підлягають складанню, хід робочого органу може варіюватися в межах від 0,2 мм до 5 мм, а точність позиціонування (або ступінь дозволу) від 0,5 мкм до 0,05 мм [1, 2].

Для СМП характерні наступні типи елементів, що перетворюють енергію електромагнітного поля в механічну енергію. Їх можна розділити на дві групи (рис. 2).

Рисунок 2 – Перетворення енергії в приводах, що застосовуються в системах мікропереміщень

Особливе місце, з точки зору зменшення розмірів системи, займають автономні мікроботи (АМР), які призначені для малотравматичних хірургічних лапароскопічних і внутрішньосудинних операцій.

Приладові СМП можуть бути складовими частинами як різних апаратів і приладів звичайних габаритів, так і елементами ММС і АМР. Для цих пристроїв характерні наступні характеристики: діаметр (максимальний розмір) дзеркала від 0,4 мм до 5 мм, кут сканування від 2^0 до 25^0, частота сканування від 100 Гц до 40 кГц.

За швидкодією кращими є електростатичні приводи. За силовими характеристиками – п'єзоелектричні і магнітострикційні приводи (працюють на розтягнення-стиснення) [3]. За компактністю з урахуванням використання технологій електронних компонентів найбільш перспективними для приладових мікросистем є електростатичні приводи і приводи на основі перетворення теплової енергії в механічну. Електромеханічні (мікроелектродвигуни), електромагнітні та п'єзоелектричні приводи мають найбільшу перспективу для здійснення точного позиціонування робочих органів ММС і АМР.

Список використаних джерел:

1. Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Лапченко Ю.С. Дослідження точності мікропереміщень предметного столика мікроскопа з біморфними п'єзоактюаторами / Укл.: Скиба М.Є., Поліщук О.С., Романець Т.П. Хмельницький: ХНУ, 2021. – № 4 – С. 10 – 11.

2. Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Лапченко Ю.С., Шибковський І.А. Метрологічне забезпечення вимірювання механічних та трибологічних властивостей матеріалів на субмікронному і нанометровому діапазонах лінійних розмірів / "Перспективні технології та прилади". Збірник статей. Випуск 17. м. Луцьк, грудень 2020 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2020. – С. 33–41.

3. Смирнов А.Б. Мехатроника и робототехника. Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 160 с.

УДК 621.906
Н. Е. Зубовецька, канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет

ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРОЕКТУВАЛЬНИКОМ ВЕРСТАТІВ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ І БАГАТЬОХ АЛЬТЕРНАТИВ

Для класу слабкоструктурованих задач характерним є потрібність прийняття рішень за умов недостатності інформації. До типових слабкоструктурованих проблем в області конструювання і технології належать проблеми, для яких характерні такі особливості: широкий діапазон альтернатив; рішення залежить від неповноти поточних технологічних досягнень; запропоновані рішення вимагають вкладання великих ресурсів і пов'язані з елементами ризику; неповністю визначені вимоги стосовно вартості і часу рішення проблеми; проблема складна через необхідність комбінувати різні ресурси для її розв'язання [1].

На розвиток СППР (англ. DSS—Decision Support System), істотно вплинули вражаючі досягнення в галузі інформаційних технологій. Враховуючи значні втрати при помилковому прийнятті рішень в машинобудуванні, які пов'язані зі значною вартістю верстатного обладнання і великою кількістю альтернатив при прийнятті конструкторських і технологічних рішень, впровадження спеціалізованих СППР в машинобудуванні є важливою задачею. Застосування сучасних СППР у сукупності з розвинутими інформаційними базами для підтримки діяльності осіб, що приймають рішення (ОПР) в машинобудуванні, зокрема у верстатобудуванні, здатні також підвищити якість і скоротити терміни розробки нових конструкцій і технологій. У верстатобудуванні поки що немає широкого досвіду застосування СППР, тому проблеми, які розглядаються у цій роботі, є своєчасними й актуальними.

Прийняття рішення (оцінка рішення) – це вибір один з деякої множини варіантів: $E_i \subseteq \mathrm{E}$, $i = 1,2,...,m$. У загальному випадку кожному допустимому варіанту рішення E_i унаслідок різних зовнішніх умов можуть відповідати різні зовнішні умови (стани) F_j і результати рішень e_{ij}. Під результатом рішення e_{ij} тут можна

розуміти оцінку, відповідну варіанту E_i і умовам F_j, що характеризує економічний ефект (прибуток), корисність або надійність, тобто корисністю рішення. Сімейство рішень описується деякою матрицею рішень $||e_{ij}||$. Об'єм сімейства (розмір матриці) пов'язаний як з об'ємом інформації, так і з різноманіттям технічних і організаційних можливостей. Оціночна функція зводить матрицю рішень $||e_{ij}||$ до одного стовпця $||e_{ir}||$, приписуючи, таким чином, кожному варіанту E_i деякий результат e_{ir}, що характеризує, в цілому, всі наслідки цього рішення.

Результати, отримані по різним оціночним функціям, можуть істотно розрізнятися, при тому вибір критерію визначається тільки ОПР. Будь-яке технічне рішення в умовах неповної інформації – свідомо або неусвідомлене – ухвалюється відповідно до якої-небудь оцінної функції. При цьому вибір оціночних функцій завжди повинен здійснюватися з урахуванням кількісних характеристик ситуації, в якій ухвалюється рішення [2].

Програмне забезпечення «DSS» здійснює ряд важливих дій та операцій, що призначаються для полегшення та відповідно оптимізації діяльності ОПР. Метою програмного засобу є вибір найоптимальнішої альтернативи з множини усіх запропонованих у відповідності та за допомогою обраної користувачем методології. Програма «DSS» забезпечує ведення бази даних, її коректування, пошук та обробку необхідної інформації для прийняття рішень, створення вихідних даних. Розглянуто приклад вибору багатоцільового верстату для обробки певної номенклатури деталей.

Список використаних джерел:

1. Евланов Л. Г. Теория и практика принятия решений. // М.: Экономика, 1998. — 176 с.

2. Ніпіаліді О. Прийняття управлінських рішень, аналітичний і інформаційний аспект // Наукові записки. 2001. - №7. – С. 176 – 178.

УДК 620.197.2:677.631.2
[1]**Н. Ю. Імбірович**, канд. техн. наук, доцент,
[1]**І. В. Боярська**, канд.техн.наук, доцент,
[1]**Д. А. Гусачук**, канд. техн. наук, доцент,
[1]**Ю. П. Фещук**, канд. тех. наук, доцент,
[2]**В. М. Посувайло**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.
[1]*Луцький національний технічний університет*
[2]*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України*

ВСТАНОВЛЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ВПЛИВУ РЕЖИМУ СИНТЕЗУ НА МІКРОТВЕРДІСТЬ ОКСИДОКЕРАМІЧНОГО ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНОГО ПОКРИТТЯ

Актуальне завдання зменшення маси деталей і механізмів без втрати їх продуктивності і механічних властивостей є причиною пошуку і використання нових матеріалів і композитів. Широко вживані в авіа- і машинобудуванні, хімічній і нафтогазовій промисловості алюмінієві та титанові сплави мають достатню міцність і високу корозійну стійкість за малої питомої ваги. Однак, ряд недоліків цих сплавів, таких як низька температура плавлення і зносостійкість, висока теплопровідність обмежують використання даного матеріалу. Більшість методів для нанесення покриттів спрямовані на те, щоб запобігти появі корозії або сповільнити її появу. Перспективним методом захисту сплавів, деталей чи механізмів від корозії та механічних ушкоджень розглядають плазмоелектролітне оксидування (ПЕО).

В даній роботі встановлено кореляційну залежність між режимами плазмоелектролітного оксидування та властивостями оксидокерамічного покриття на алюмінієвих та титанових сплавах.

З метою встановлення стадійності синтезу було побудовано формувальні криві залежності напруги від часу синтезу в різного складу лужних електролітах.

Результат впливу складу електроліту та співвідношення густини струмів на стадійність процесу синтезу представлено на рисунках 1 та 2. В результаті експериментів виявили, що збільшення в електроліті лугу КОН та рідкого скла призводить до пониження формувальної напруги, що відображено на кривих.

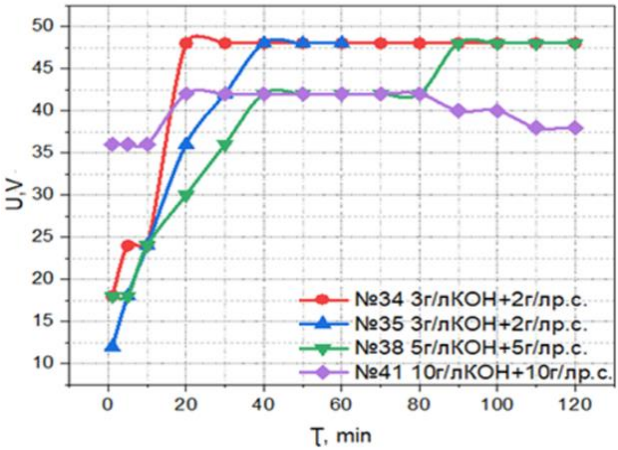


Рисунок 1 – Електрофізичні параметри ПЕО сплаву ASTM B265 за співвідношення густини струмів I_a/I_c=10/10 A/dm^2 в різних електролітах

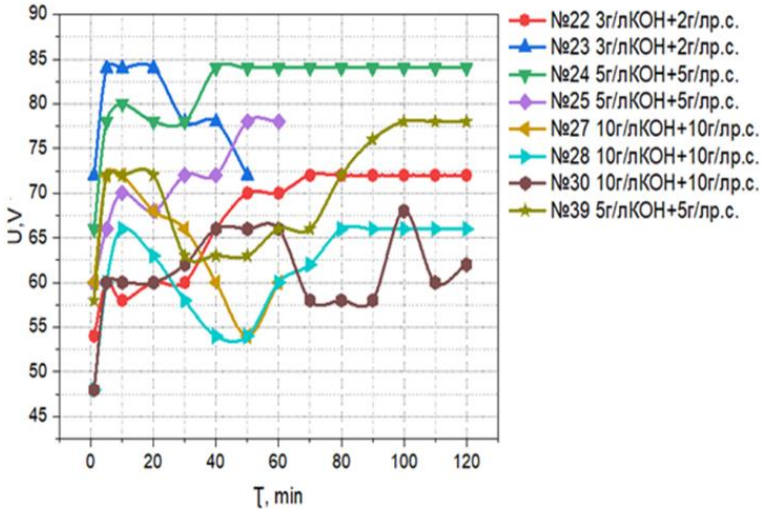
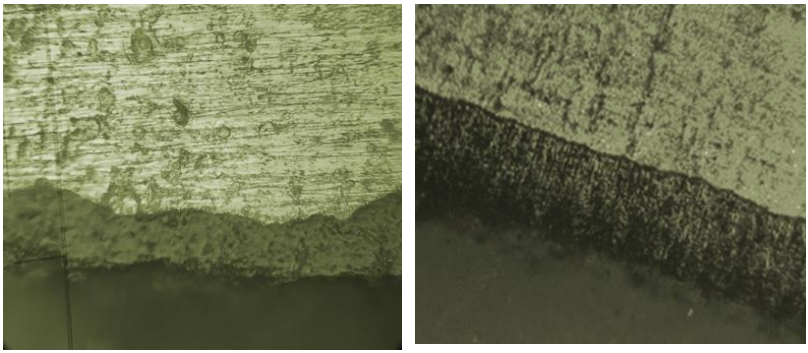


Рисунок 2 – Електрофізичні параметри ПЕО сплаву 2024 за співвідношення густини струмів I_a/I_c=10/10 A/dm^2 в різних електролітах

Також, за допомогою проведених експериментів було встановлено залежність впливу складу електроліту на формування оксидокераміки. Було встановлено, що підвищення

концентрації електроліту понижує формувальну напругу синтезу для досліджуваних сплавів.

В результаті синтезу на поверхні металу синтезується захисне (оксидокерамічне) покриття (рис. 3).



а б

Рисунок 3 – Мікрошліфи алюмінієвого (а) та титанового (б) сплавів з ОКП (х400)

Проведені експерименти дають можливість встановити, що оксидокерамічне покриття синтезується більшої товщини на алюмінієвому сплаві. Мікротвердість ОКП в залежності від режимів синтезу досягає значень 800 HV.

Список використаних джерел:

1. О. В. Кислова, І. С. Макєєва Основи електрохімії // Навчальний посібник. 2017. – С. 78-84.

2. Мерцало І. П. Зносотривкість анодно–іскрового покриву на сплавах алюмінію / І. П. Мерцало, В. Т. Яворський, М. Д. Клапків, Р. С. Мардаревич // Фіз.–хім. механі-каматеріалів. – 2003. – С. 116–118.

3. Ye.A. Krivonosova, A.I. Gorchakov & Yu.V. Scherbakov / Structure and properties of coatings in microarc oxidation / Welding International 2014, Vol. 28. – С.816-81.

4. Пономарев И. С., Кривоносова Е. А., Горчаков А. И. Особенности влияния электрических режимов на процесс микродугового оксидирования. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. — 2013. – Т. 15, №4. – С. 99-103.

УДК 667.64
В. П. Кашицький, к.т.н., професор,
О. В. Заболотний, к.т.н., доцент,
С. В. Мисковець, к.т.н.,
А. С. Кушнірук, аспірант,
О. Б. Климовець, аспірант
Луцький національний технічний університет

ВПЛИВ ЦИКЛІЧНОЇ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕПОКСИПОЛІМЕРІВ

У зв'язку з розвитком сучасної техніки і появою нових конструкцій, машин, апаратів і виробів, що експлуатуються в умовах впливу високих і низьких температур, тиску або вакууму, різного роду агресивних середовищ і випромінювань, проблема отримання ущільнених структур полімеркомпозитних матеріалів набуває надзвичайно важливого значення [1, 2].

Оптимальний режим тверднення композицій забезпечує отримання матеріалу з високими фізико-механічними властивостями. Технологічно обґрунтований термічний вплив у процесі або після формування виробів приводить до підвищення інтенсивності релаксаційних процесів внаслідок зміни ступеня зшивання матеріалу, що супроводжується покращенням механічних характеристик полімерів [3]. Застосування механічного впливу під час формування високонаповнених епоксикомпозитів пов'язано з необхідністю отримати щільну та бездефектну структуру матеріалу з високими значеннями механічних характеристик.

Наукову цікавість представляє дослідження впливу ступеня деформації стиснення на різних етапах формування виробів під одночасним або послідовним впливом теплового поля на процеси структурування епоксиполімерної матриці, що призводить до появи напруженого стану системи.

Найнижчу твердість мають епоксиполімери, структуровані за температури 40 ºС, оскільки дана температура є недостатньою для завершення утворення зв'язків між кінцевими групами епоксидної смоли і твердника. За вищої температури 50 ºС кількість хімічних зв'язків зростає, що пов'язано з достатнім запасом теплової енергії, яка необхідна для ефективного структуроутворення.

Встановлено, що початкова температура 40 ºС є недостатньою для епоксиполімерних зразків, ступінь деформації яких 10 %, оскільки за даної температури утворилася не достатня кількість вузлів зшивання в епоксиполімерній матриці. З підвищенням ступеня деформації ударна в'язкість спочатку дещо зростає, а потім спадає, оскільки високий ступінь деформації призводить до формування напруженого стану епоксисистеми. Однак температура 40 ºС забезпечує вищі значення ударної в'язкості епоксиполімерів порівняно з температурою 50 ºС за вищих ступенів деформації 15 %, оскільки за нижчої температури не встигає утворитись значна кількість вузлів зшивання, які будуть перешкоджати пружній та пластичній деформації локальних об'ємів полімерної матриці.

Температура термічної обробки 50 ºС є більш прийнятною у випадку стиснення епоксиполімерів зі ступенем деформації 3-6 %, оскільки ударна в'язкість зростає на 29-32 %. Підвищення ступеня деформації призводить до аналогічного зниження ударної в'язкості, оскільки структурування відбувається більш інтенсивно і сформована структура чинить опір переміщенню сегментів макромолекул, в результаті чого зростає напружений стан.

Висновок. Підвищення механічних характеристик епоксиполімерів забезпечено в результаті термомеханічної обробки матеріалу за температури 50 ºС з наступним стисненням виробів із ступенем деформації 6 %, що забезпечує формування однорідної та щільної епоксиполімерної сітки з низьким напруженим станом.

Список використаних джерел:

1. Чеботарева Е.А. Полимерные композиционные материалы: формирование структуры и влияние ее на свойства / Е.А. Чеботарева, Л.Р. Вишняков // Вісник інженерної академії України. – 2012. – Т. 25 – №2. – С. 157-163.

2. Odegard G.V. Consitutive modeling of anotebe-reinforsed polymer composites / G.V. Odegard, T.S. Gates, K.E. Wise // National Aeronautics and Space Administration Langley Reseach Center. – 2012. – 15. – 258 – P. 358

3. Marshall. D.V. The mechanics of matrix in brittle-matrix fiber composites / D.V. Marshall, B.N. Cos, A.G. Evans // Acta Metallurg. – 2013. – 12. – 22 – P. 201.

УДК 678.549
В. П. Кашицький, канд. техн. наук, професор,
П. П. Савчук, докт. техн. наук, професор,
В. М. Малець, канд. техн. наук,
М. Д. Мельничук, канд. техн. наук, доцент,
В. О. Шегинський, аспірант
Луцький національний технічний університет

ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БІОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ДЕРЕВНОГО БОРОШНА

Важливим напрямком сталого розвитку вітчизняного виробництва є комплексне використання деревної сировини. Практично на всіх стадіях лісозаготівельного і дерево-переробного процесів утворюються відходи, які різні за своїми фізико-хімічними властивостями та масштабними параметрами. Спектр напрямків розвитку переробки відходів від діяльності лісової промисловості досить великий. Залежно від виду відходів деревообробної галузі їх можна використовувати в різних напрямках вітчизняної промисловості. Збільшення вторинного використання деревних продуктів є важливою ланкою в розвитку ресурсозбереження, раціонального природокористування та екологічної безпеки виробництва [1].

Потреба в ефективному використанні відходів деревини забезпечила розвиток виробництва деревинних композитних матеріалів, які мають нові експлуатаційні властивості порівняно з деревиною та високу економічну ефективність виготовлення виробів на їх основі [2]. Перспективним напрямком переробки відходів деревообробки є отримання деревного борошна, яке знаходить широке застосування в різних галузях сучасної промисловості, зокрема, у виробництві дерево-полімерних композитних матеріалів.

Дані композитні матеріали мають такі позитивні якості, як здатність до механічної обробки, висока питома міцність, екологічність та декоративність. Однак, існують недоліки, такі як гігроскопічність, схильність до біологічного ураження, що значно знижує термін служби дерев'яних конструкцій, а також низька вогнестійкість [3]. Тому виникає потреба в розробці спеціальних методів і засобів, спрямованих на зниження

пожежної небезпеки дерев'яних композитних матеріалів і підвищення їх вогнестійкості [4]. Ефективним захистом є просочування деревинних компонентів солями або кислотами, які під час нагрівання плавляться або виділяють негорючі гази. В результаті деревина покривається захисною плівкою або утворюються негорючі гази, які ізолюють поверхню деревини від кисню повітря.

В роботі використано антипіренову добавку на основі борної кислоти у вигляді порошку та 3 % спиртового розчину [5]. Дана добавка знижує горючість біокомпозитного матеріалу, наповненого деревним борошном, яке отримано шляхом подрібнення на млинах з відходів обробки деревини (тирса, стружка, тріска) з розміром частинок від 40-50 мкм.

Експериментально встановлено, що кращі показники стійкості до горіння були отримані у випадку використання співвідношення деревного борошна до апрету (у вигляді порошку) 1:7, при цьому ступінь пошкодження біокомпозиту по масі становить 0,42 %. Встановлено, що апретування деревного борошна у такому співвідношенні відносно необробленого деревного борошна підвищує стійкість до горіння у 30 разів за рахунок втрати теплоти на плавлення борної кислоти та підвищення температури спалаху, що ускладнює процес горіння. Даний антипірен захищає розроблений біокомпозитний матеріал на основі деревного борошна від загоряння, підвищує його пожежну безпеку, а також перешкоджає поширенню полум'я.

Список використаних джерел:

1. Bezrukih Ju.A. Medvedev S.O., Alashkevich Ju.D., Mohirev A.P. Jekonomika i predprinimatel'stvo, 2014. № 12-2. pp. 994-996.

2. Pogrebnjak R.G., Potrubach N.N. Mikrojekonomika. 2008. T. 8. pp. 5-14.

3. Mingaleva Zh.A. Vektor nauki Tol'jattinskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Jekonomika i upravlenie. 2012. № 4. pp. 120-12.

4. Sinclair, R.G., 1996. The case for polylactic acid as a commodity packag ing plastic. J. Macromol. Sci., Part A 33: 585-597.

5. Drumright, R.E., Gruber, P.R., Henton, D.E., 2000. Polylactic acid technology. Adv. Mat. 12: 1841-1846.

УДК 66.081.2
О. Д. Клименко, канд. техн. наук, доцент
Ю. В. Муравинець, канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет

ПРОЄКТУВАННЯ ТАРІЛЧАСТОЇ АБСОРБЦІЙНОЇ КОЛОНИ

Абсорбція, як і інші процеси масопередачі, протікає на поверхні розділу фаз. Тому абсорбція апарати повинні забезпечувати розвинену поверхню контакту між рідкою і газовою фазами. Як наслідок, основна класифікація абсорберів проводиться за способом утворення цієї поверхні.

У промисловості абсорбцію застосовують для вирішення наступних основних задач:

– для отримання готового продукту, наприклад, абсорбція розведеної сірчаної кислотою сірчаного ангідриду в виробництві сірчаної кислоти, абсорбція водою хлороводню при отриманні соляної кислоти, абсорбція водою оксидів азоту в виробництві азотної кислоти;

– для виділення цінних компонентів з газових сумішей, наприклад, абсорбція бензолу з коксового газу, абсорбція ацетилену з газів крекінгу і піролізу природного газу; при цьому абсорбцію проводять в поєднанні з десорбцією;

– для очищення газів від домішок, наприклад, очищення коксового і нафтового газів від сірководню, очищення азотно-водневої суміші від чадного і вуглекислого газу при синтезі аміаку;

– для осушення газів, наприклад, нафтового газу і природного газу при їх переробці;

– для очищення газових викидів від шкідливих домішок, наприклад, очищення топкових газів від діоксиду сірки, очищення від фтористих сполук газів, що виділяються при виробництві мінеральних добрив. [1]

З різних типів апаратів в даний час найбільш поширені насадкові і барботажні або тарілчасті абсорбери. При виборі типу абсорбера потрібно у кожному конкретному випадку виходити з фізико-хімічних умов проведення процесу з урахуванням техніко-економічних чинників.

У тарілчастих абсорберів поверхню контакту фаз більше, ніж у інших абсорберів. Однак, для абсорбера велику роль відіграє його гідравлічний опір, при високому його значенні енергетичні витрати на транспортування газу стають неприпустимо великими. Тому з усіх тарілчастих апаратів найбільшого поширення в якості абсорберів отримали апарати з провальними решітчастими тарілками (рис. 1), гідравлічний опір яких не настільки великий.

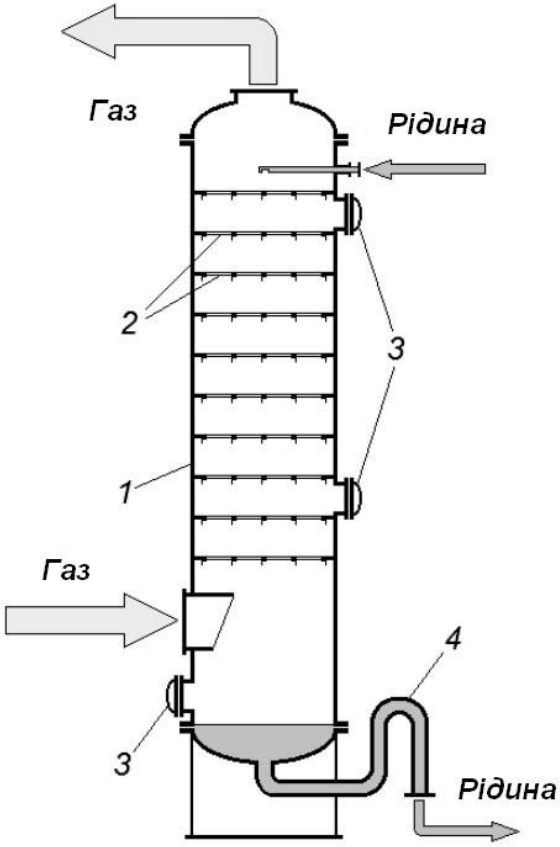


Рисунок 1 – Барботажна, тарілчаста абсорбційна колона:
1 – корпус; 2 – тарілки; 3 – люки для обслуговування; 4 – гідрозатвор

Абсорбер з провальними решітчастими тарілками – це протиточний апарат зі ступінчастим контактом фаз, де поверхня контакту фаз утворюється за рахунок барботажа газу через шар рідини на тарілках.

Переваги абсорбера з провальними решітчастими тарілками:

– велика поверхня контакту фаз на одиницю об'єму апарату;

– можливість роботи при невеликих витратах рідини, на відміну від насадок плівкових абсорберів;

– можливість відведення теплоти шляхом установки на тарілках трубчатки, по якій рухається охолоджуюча вода.

Недоліки абсорбера з провальними решітчастими тарілками:

– високий гідравлічний опір (нижче, ніж у інших тарілок, але вище, ніж у насадки, що працює в плівковому режимі);

– неможливість роботи при низьких витратах газової фази через те, що при низькій витраті газу рідина не утримується на тарілці, стікаючи через отвори, і барботажний шар не утворюється.

Проєктування ж абсорберів вимагає значних затрат часу. Основні розміри абсорбера (наприклад, діаметр і висота) визначають шляхом розрахунку, виходячи із заданих умов роботи (продуктивність, необхідний ступінь вилучення компоненту і т. д.). [2] Тому існує потреба в повній або частковій автоматизації даного процесу. Це дозволить скоротити як часо-людські так і матеріальні ресурси. Автоматизація процесу проєктування, також дозволить проводити аналітичні дослідження та на основі отриманих даних приймати рішення по вибору тих чи інших розмірів.

Список використаних джерел:

1. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: «Химия», 1976г.
2. Иванов В. А. Расчет тарельчатых абсорбционных колонн / под ред. В А. Иванова. – Москва, 1985.

УДК 621.315.592
Ю. В. Коваль[1], канд. фіз.-мат. наук, доцент,
Л. В. Ящинський[1], канд. фіз.-мат. наук, доцент,
С. А. Федосов[2], докт. фіз.-мат. наук, професор,
Д. А. Захарчук[1], канд. фіз.-мат. наук, доцент,
Л. І. Панасюк[1], канд. фіз.-мат. наук, доцент,
С. В. Луньов[1], канд. фіз.-мат. наук, доцент
[1]*Луцький національний технічний університет*
[2]*Волинський національний університет імені Лесі Українки*

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ В НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МОНОКРИСТАЛАХ

Відомо, що монокристали, вирощені методами Чохральського або зонної плавки, мають так звану шарувату структуру (шари чи смуги росту) [1-3]. Шарувата структура являє собою періодичну зміну концентрації домішок і дефектів вздовж осі росту кристала. Це призводить до періодичних змін питомого опору та інших параметрів кристалів, впливає на характеристики приладів, вихід придатних інтегральних схем, характеристики позиційно-чутливих детекторів і детекторів довгопробіжних часток, для яких максимальний геометричний розмір вибирається вздовж осі росту кристалу [1].

В роботах багатьох авторів, зокрема [2, 4], звертається увага на те. що період шаруватої неоднорідності буває різний в межах від десятків мікрон до міліметрів та зростає пропорційно градієнту температури в області фронту кристалізації. Вважається, що домішкові смуги утворюються внаслідок флуктуацій температури в процесі росту кристала, які виникають через обертання чи внаслідок конвекційних потоків в розплаві. Це призводить до коливань швидкості росту, які зумовлюють неоднорідний розподіл домішок, для яких коефіцієнт сегрегації відмінний від одиниці. Поряд з тим, існує й інша точка зору, згідно з якою, шарувата структура виникає в результаті конвекційних потоків, зумовлених температурними градієнтами. В результаті концентраційного переохолодження ростучий фронт швидко просувається вперед до зникнення нестійкого температурного градієнта, коли швидкість росту знову приймає нормальне значення. Через періодичне повторення процесу

зміни швидкості росту в кристалі утворюються поперечні шари з різним вмістом домішок.

Аналіз численних методів, які застосовуються для вивчення неоднорідностей в напівпровідниках, показав, що у випадку багатодолинних напівпровідників необхідні вимоги кількісного контролю може задовольнити двохзондовий компенсаційний метод з якомога більшою роздільною здатністю [5]. Точність двохзондового компенсаційного методу практично мало залежить від питомого опору матеріалу, оскільки струм через вимірювальні зонди при повній компенсації не проходить і вони є потенціальними.

Метою нашої роботи було виявлення структурних неоднорідностей в монокристалах антимоніду кадмію, легованих телуром, та встановлення наявності періодичності в розподілі даних неоднорідностей. Зразки CdSb(Te) для досліджень двохзондовим компенсаційним методом вирізались паралельно та перпендикулярно до осі росту кристалу. Через зразок пропускався постійний стабілізований струм, який можна було змінювати, як за величиною, так і за напрямком. Спад напруги між зондами вимірювався компенсаційним методом за допомогою потенціометричної установки. Вимірювання питомого опору проводились по довжині зразка з роздільною здатністю 0,5 мм. За результатами вимірювань побудовані експериментальні криві розподілу питомого опору по довжині зразків. На одержаних залежностях $\Delta\rho/\rho_c=f(X)$ виявлено значно більші відносні відхилення питомого опору від середнього значення ρ_c в зразках, вирізаних вздовж осі росту кристала, ніж у зразках, вирізаних перпендикулярно до даної осі.

Різкі зміни градієнтів питомого опору $\Delta\rho$ в напрямі росту кристала пояснюються існуванням в даному напрямі значних градієнтів концентрації носіїв заряду Δn. А отже, можна говорити про наявність в напрямі росту кристалу неоднорідностей концентрації домішки, при чому необхідно відмітити певну періодичність (порядка декількох міліметрів) в їх розподілі по довжині зразків.

Поряд з тим, нами також проведено дослідження монокристалів антимоніду кадмію методом оптичної топографії та виявлено наявність в них шаруватої структури з періодом порядка 300 мкм. При порівнянні результатів, одержаних

двохзондовим компенсаційним методом та методом оптичної топографії висловлене припущення, що в досліджуваних кристалах проявляється шарувата структура з декількома типами шарів, що характеризуються різними періодами.

З метою перевірки даного припущення проведено дослідження структури на растровому електронному мікроскопі, в ході яких виявлено шарувату структуру в монокристалах CdSb(Te) з періодом порядка 1,5 мкм. В свою чергу, за допомогою EDX-аналізу нами зроблено оцінку розподілу хімічних елементів в об'ємі даних монокристалів. На отриманих залежностях також спостерігається неоднорідний розподіл концентрації домішки телуру по довжині зразків.

З приведених результатів досліджень можна зробити висновок, що в легованих напівпровідникових монокристалах існують шари неоднорідного розподілу домішок з різними періодами, що, в свою чергу, необхідно враховувати при вивченні анізотропії фізичних властивостей даних монокристалів та конструюванні приладів з них.

Список використаних джерел:

1. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. / К. Рейви ; пер. с англ. – М. : Мир, 1984. – 475 с.

2. Sem observation of dopant striae in silicon / A. J. R. de Kock, S. O. Ferris, L. C. Kimerling, H. J. Leamy // J. Appl. Phys. – 1977. – Vol. 48, № 1. – P. 301–303.

3. Ueda H. Resistivity striatkm in germanium single crystals / H. Ueda // J. Phys. Soc. Japan. – 1961. – Vol. 16, № 1. – P. 61–66.

4. Баранський П. І. Неоднорідності напівпровідників і актуальні задачі міждефектної взаємодії в радіаційній фізиці і нанотехнології / П. І. Баранський, А. В. Федосов, Г. П. Гайдар. – Луцьк : Надстир'я, 2006. – 316 с.

5. Семенюк А. К. Исследование электрофизических параметров кремния, предназначенного для изготовления силовых полупроводниковых приборов / А. К. Семенюк // отчет по теме №4320. – Львов, 1987. – 108 с.

УДК 678.023.5
А. Ю. Кравчук,
М. Є. Скиба, докт. техн. наук, професор
Хмельницький національний університет
Ю. П. Шимчук
Луцький національний технічний університет

ЩОДО РОЗРОБКИ ПРЕС-ФОРМИ ДЛЯ ЛИТТЯ ПІДОШОВ ІЗ СУМІШІ РОЗПЛАВУ ПОЛІМЕРУ ТА ПЕРЕРОБЛЕНИХ ВІДХОДІВ

Сьогодні перероблені полімерні відходи можна використовувати в більшості технологічних процесів легкої промисловості, включаючи лиття під тиском, компресійне пресування, екструзію та каландрування. Найбільш прийнятними технологічним процесами є ті, що мають широкий діапазон технологічних параметрів, тобто такі, у яких непотрібне влучання у вузькі рамки специфікацій. Тому вторинно перероблений полімерний матеріал бажано використовувати при виробництві нових товарів легкої промисловості, які отримують литтям під тиском або екструзією. Інші способи формування полімерних виробів легкої промисловості можна застосовувати тільки в тих випадках, коли вторинний полімер має властивості, близькі до оригінального [1]. Найбільш перспективною на сьогодні технологією отримання полімерних виробів із використанням значної частки перероблених полімерних відходів є лиття під тиском полімерних виробів при введенні в них вторинних полімерів як з'єднувального матеріалу.

За допомогою розробленої моделі руху розплаву полімеру в ливниковому каналі і в порожнині прес-форми для лиття під тиском деталей низу взуття [5] розроблено метод проектування прес-форм для лиття під тиском армованих полімерних виробів [2,3] було спроектовано і виготовлено прес-форму, яка складається з двох напівматриць і пластини (рис. 1). Конструкція виготовленої прес-форми дозволяє отримувати підошви для взуття із включеннями перероблених полімерних відходів.

Рисунок 1 – Прес-форма для отримання підошви із включенням частинок перероблених полімерних відходів

Частинки перероблених полімерних відходів подавалися за допомогою спеціально розробленого пристрою (рис. 2) безпосередньо у впускний канал прес-форми. Як було встановлено [6], початкова орієнтація полімерних частинок зовсім не впливає на орієнтацію їх у готовому виробі.

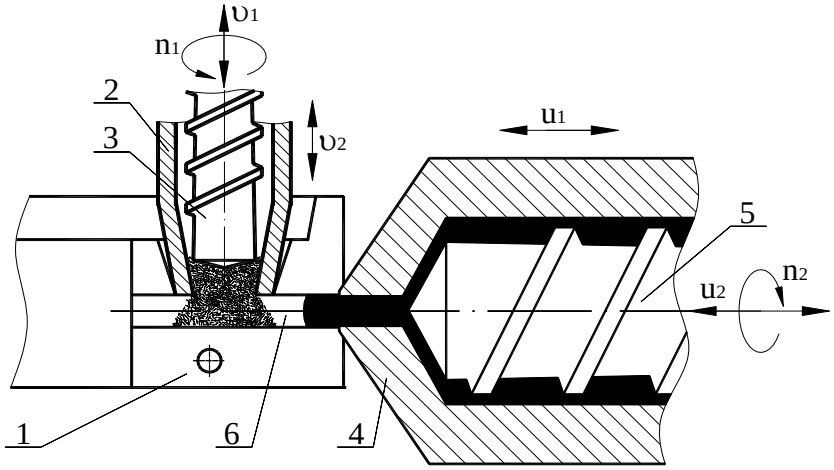


Рисунок 2 – Конструкція пристрою для подачі частинок перероблених відходів у впускний канал прес-форми: 1 – прес-форма; 2, 4 – матеріальні циліндри пристроїв для подачі, відповідно, частинок перероблених відходів та розплаву полімеру; 3, 5 – шнеки; 6 − впускний канал прес-форми

Шнеки 3 і 5, обертаючись, рухаються в напрямку від прес-форми 1. У результаті цього частинки перероблених відходів потрапляють у впускний канал 6 прес-форми 1, а гомогенний розплав полімеру заповнює зону дозування матеріального циліндру 4, що знаходиться перед шнеком 5. Забезпечивши необхідний об'єм частинок відходів і розплаву полімеру, шнеки 3 і 5 зупиняються і починають рухатися без обертання в протилежному напрямку зі швидкостями, які забезпечують рівномірний розподіл частинок в об'ємі підошви.

Список використаних джерел:

1. Мантия Ф. Ла. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Ла. Мантия; под. ред. Г.Е. Зайкова; пер. с англ. – СПб. : Профессия, 2006. – 400 с.

2. Кравчук А.Ю. Визначення в'язкопружної деформації полімерного матеріалу / О.М. Синюк, О.А. Кравчук, А.Ю. Кравчук // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ, 2018, №3. – С.78-90

3. Синюк О.М. Моделювання пружного відновлення струменя, що виходить з формуючої головки / О.М. Синюк // Вісник Херсонського національного технічного університету, 2016. − №4 (59). − С. 203-212

4. Синюк О. Розробка прес-форм для лиття полімерних виробів / О. Синюк // Технічно-економічне сприяння розвитку підприємництва: Зб. праць II міжнародної Польсько-Української наукової конференції (13-14 жовтня 2005 року). − Краків (Польща) : Краківська політехніка ім. Тадеуша Костюшки, 2005. − С. 287-296.

5. Кравчук А.Ю. Математична модель руху розплаву полімеру в порожнині прес-форми / О.М. Синюк, О.А. Кравчук // Тези наукових праць XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Новости передовой науки – 2020», 15-22.05.2020 р., Болгарія, м.Софія. – С.50-52.

6. Кравчук А.Ю. Розробка математичної моделі заповнення порожнини прес-форми розплавом полімерного матеріалу з наповнювачем О.М. Синюк, О.А. Кравчук, А.Ю. Кравчук, О.М. Яшина // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ, 2020, №2. – С.195-201

УДК 621.798:681.5.015.23
Р. О. Кусса,
В. І. Зурнаджи, канд. техн. наук,
Н. П. Зайчук, канд. техн. наук, доцент
В. Г. Єфременко, докт. техн. наук, професор
Приазовський державний технічний університет,
Луцький національний технічний університет

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ TRIP-ASSISTED СТАЛІ ПІСЛЯ Q&P ОБРОБКИ

Наразі в даний час в автомобілебудівній галузі чітко простежується тенденція зниження маси авто, в тому числі за рахунок зниження металоємності кузова. Це обумовлено вимогами до скорочення витрати палива, і, отже, зниження викидів вихлопних газів в атмосферу. Разом з тим, при зниженні маси автомобіля необхідно зберегти міцність і експлуатаційні характеристики на колишньому рівні, що реалізується використанням сучасних високоміцних сталей. Одним з найбільш перспективних для широкого промислового застосування класів високоміцних сталей є низьковуглецеві TRIP-assisted сталі, високий комплекс властивостей яких досягається шляхом реалізації деформаційного мартенситного перетворення залишкового аустеніту при виробництві або експлуатації сталевих виробів (так званий TRIP-ефект) Перетворення метастабільного аустеніту є ефективним шляхом покращення комплексу механічних, трибологічних, технологічних та експлуатаційних властивостей сталей та чавунів різних класів.

Покращення комплексу механічних властивостей TRIP-assisted сталей можливо застосуванням інноваційної технології термічної обробки «Quenching and Partitioning» (Q&P). Ця обробка проводиться в кілька етапів. Після аустенітизації (А) сталь охолоджують до температури «Quenching» (Q) яка знаходиться між точками M_S і M_F, для отримання в структурі певної кількості міцного мартенситу. Після цього сталь витримують при температурі «Partitioning» (Р), яка, як правило, знаходиться вище точки M_S. Під час витримки відбувається дифузійний перерозподіл вуглецю між мартенситом і аустенітом,

із збагаченням останнього, який стає стабільним до мартенситного перетворення. Якщо витримка на стадії «Р» була досить довгою, переохолоджений аустеніт може частково або повністю перетворитися в бейніт. Термічна обробка закінчується охолодженням до кімнатної температури, приводячи до формування багатофазного стану з високою об'ємною часткою мартенситу різного ступеня відпуску і підвищеною кількістю метастабільного аустеніту. Вплив параметрів Q&P-обробки на мікроструктуру і механічні властивості низьковуглецевої TRIP-assisted сталі вимагає додаткового дослідження, що є предметом даної роботи.

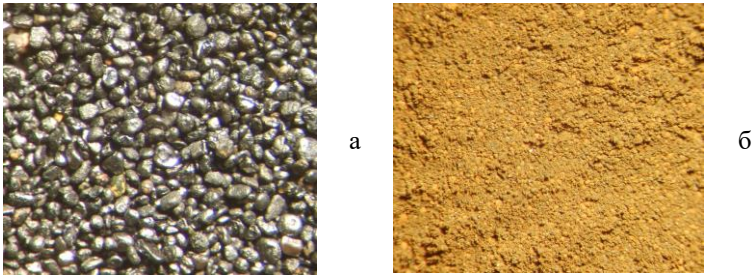
В роботі досліджено вплив схеми термічної обробки (ізотермічної обробки з міжкритичного інтервалу температур (МКІ), Q&P-обробки з МКІ або із однофазної аустенітної області) на мікроструктуру і механічні властивості TRIP-assisted сталі 20С2Г2Б. Встановлено, що застосування термічної обробки за схемою ІЗО (нагрів в МКІ з подальшою ізотермічною витримкою при 300 °С, 20 хв) забезпечила сталі помірний комплекс механічних властивостей ($\sigma_в$ = 1009 МПа, δ = 13,5 %, PSE=13,5 ГПа·%) при низькій ударній в'язкості (KCV_{20} = 8 Дж/см^2). Термічна обробка за схемою «Quenching-and-Partitioning» з аустенітизацією в МКІ привела до істотного збільшення відносного подовження (до 23 %) і ударної в'язкості (36 Дж/см^2) при збереженні досить високої міцності ($\sigma_в$ = 873 МПа), що забезпечило найвищий рівень показника PSE (20,3 ГПа·%). Q&P-обробка з нагрівом в однофазну область температур забезпечила сталі 20С2Г2Б різкий приріст міцності ($\sigma_в$ – до 1392 МПа) при помірній пластичності (δ = 7,1-12,5 %) і максимальній ударній в'язкості (KCV_{20} = 31-47 Дж/см^2), що дозволяє використовувати сталь 20С2Г2Б при виробництві навантажених деталей, які зазнають ударні навантаження. Показано, що термічна обробка за схемою МКІ/Q&P забезпечує сталі 20С2Г2Б високу здатність до зміцнення при холодній пластичній деформації, що є важливим для забезпечення високоміцного стану штампованих металовиробів.

УДК 621.385.8:549.641.23
Р. В. Литвин, О. М. Мисливченко,
О. І. Дерев'янко, О.Б. Згалат-Лозинський
Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України

ОБРОБКА ІЛЬМЕНІТОВИХ РУД В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ НВЧ ДІАПАЗОНУ

Ільменітова руда є джерелом видобутку важливих для промисловості концентратів титану та заліза. Питання ефективної обробки ільменітової руди є надзвичайно актуальним для України, де останнім часом відкрито ряд ільменітоносних родовищ, які пов'язані з основними породами Коростенського плутону. Зараз для екстракції оксидів титану та заліза з ільменітової руди використовують технологію високотемпературної обробки в печах та хімічної обробки в кислотах, яка окрім високої енергоємності створює екологічну загрозу навколишньому середовищу. Застосування мікрохвильової обробки ільменітових руд замість традиційної високотемпературної обробки дозволить підвищити екстракцію оксидів титану та заліза, одночасно зменшивши енергозатрати на виробництво та загрозу екології довкілля [1].

Для НВЧ обробки ільменіту в роботі застосували мікрохвильове обладнання Phoenix CEM, США та LG, П. Корея. Як вихідну сировину використовували подрібнений до 0,125 мм порошок ільменітової руди вітчизняного походження. За даними РФА, основною фазою вихідної суміші є FeO_3Ti.



а б

Рисунок 1 – Порошок ільменіту до (а) та після (б) обробки при збільшенні х30)

Було виконано серію експериментів з опромінення ільменіту в НВЧ-діапазоні, шо відрізнялися за температурою та часом обробки. Деякі з режимів наведено на рис. 2.

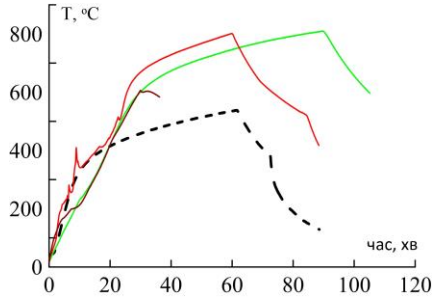


Рисунок 2 – Режими мікрохвильової обробки

Встановлено, що НВЧ опромінення за температури в камері до 1000 °С та часу витримки до 60 хв призводить до часткового розпаду сировини з утворенням фаз $FeTiO_5$, TiO_2, $FeO{\cdot}Fe_2O_3$, SiO_2 при залишку первинної фази ільменіту до 20%. Повний розпад відбувається при збільшенні температури до 1100 °С та витримці 90 хв (рис. 3).

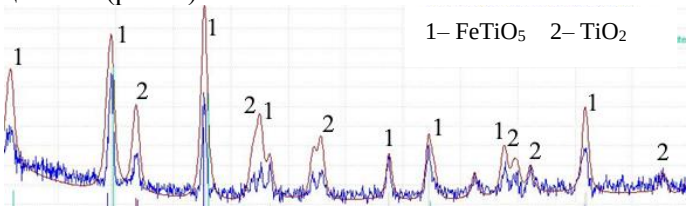


Рисунок 3 – Склад матеріалу після обробки при T=1100 °С, t=90 хв

В цьому випадку утворюються фази псевдобрукіту $FeTiO_5$ та рутілу TiO_2 у співвідношенні 80%:20% відповідно.

На цій стадій досліджень показано, що запропонована методика дозволяє провести розклад ільменітової руди та екстракцію титанового концентрату без використання хімічної обробки та енергоємного нагріву в печах опору.

Список використаних джерел:

1. Microwave assisted grinding of ilmenite ore Guo Sheng-Hui, et al/Trans. Nonferrous Met. Soc. China 21(2011) 2122-2126

УДК 621.315.592
С. В. Луньов, канд. фіз.-мат. наук, доцент
П. Ф. Назарчук, канд. фіз.-мат. наук, доцент
Луцький національний технічний університет

ДАТЧИКИ ТИСКУ НА ОСНОВІ МОНОКРИСТАЛІВ ГЕРМАНІЮ

Германій завжди був і залишається одним з провідних матеріалів сучасної напівпровідникової техніки. Він використовується для виготовлення діодів, тріодів, кристалічних детекторів і силових випрямлячів. Монокристалічний германій застосовується також в дозиметричних приборах і приладах, що вимірюють напруженість постійних і змінних магнітних полів, в інфрачервоній техніці для виробництва детекторів інфрачервоного випромінювання, що працюють в області 8-14 *мкм*, пікосекундній оптоакустиці [1, 2].

Сучасні дослідження в галузі нанотехнологій показують, що германій також є перспективним матеріалом для потреб наноелектроніки.

Так використання наноструктур із самоіндукованими Ge/Si нанооствівцями відкриває нові перспективи для розвитку опто- та наноелектроніки [3].

Масиви Ge (GeSi) квантових точок з успіхом можуть бути застосовані для виготовлення фотодетекторів для ближнього інфрачервоного діапазону та світловипромінюючих діодів для цієї ж спектральної області.

Конструювання ж на основі германію даних електронних приладів з необхідними характеристиками вимагає знань про параметри зонної структури матеріалу, механізмів розсіяння носіїв заряду, досліджень різних кінетичних та оптичних ефектів.

Науково – технічний прогрес автоматики та сенсорної техніки вимагає широкого впровадження автоматизованих систем управління та контролю різноманітних технологічних і фізичних процесів. Це в свою чергу висуває нові вимоги до датчиків тиску як первинних засобів отримання інформації [4]. Датчики тиску широко використовуються у машинобудуванні, транспорті, авіакосмічній промисловості, енергетиці, наукових дослідженнях та ін.

Надзвичайно важливою особливістю застосування датчиків тиску у цих галузях є жорсткі умови експлуатації: широка амплітуда тисків від 10^{-8} Па до тисяч *МПа*; робочий діапазон температур – від кріогенних до сотень градусів, значні вібрації а також стійкість до агресивного середовища [5]. Зонна структура германію має багатодолинний характер.

Найнижчими (основними мінімуми) за шкалою енергій в *n-Ge* є 4 мінімуми із симетрією L_1, які беруть участь при малих збуреннях в різних кінетичних та оптичних ефектах та визначають роботу багатьох електронних приладів, в яких використовується германій. Тому параметри даних мінімумів на сьогодні є достатньо добре вивченими. Вище за шкалою енергій на 0,14 *eB* знаходиться один мінімум із симетрією Γ_2 і на 0,18 *eB* шість мінімумів із симетрією Δ_1. Найвищий мінімум (Γ_{15}) знаходиться на відстані приблизно 2,5 *eB*. Значна віддаленість даних мінімумів від основних як за енергією, так і за квазіімпульсом не сприяла дослідженням їх впливу при малих фізичних збуреннях на властивості матеріалу. Але в екстремальних умовах дії значних електричних, деформаційних, оптичних та температурних полів дані мінімуми можуть вносити суттєвий вклад, а то й визначальний у відповідні ефекти. А це в свою чергу відкриває перспективи створення на основі германію різних електронних приладів та датчиків, які можуть працювати в таких полях.

Тому в даній роботі досліджувався тензорезистивний ефект монокристалів германію n-типу провідності в умовах, коли одновісний тиск направлений вздовж кристалографічних напрямків [100], [110] та [111]. Вимірювання проводились при кімнатній температурі та температурі рідкого азоту. Ефект п'єзоопору в *n-Ge* при одновісному тискові вздовж кристалографічних напрямків [110] та [111] пов'язаний з деформаційним перерозподілом електронів між мінімумами типу L_1. Як показують результати експериментальних досліджень для даних випадків, п'єзоопір буде вже відсутнім при одновісних тисках X>1,5 ГПа як при температурі рідкого азоту, так і кімнатній. При одновісному тискові X>2 ГПа вздовж кристалографічного напрямку [100] при температурі рідкого азоту виявлено значний ефект п'єзоопору, який пояснюється деформаційним перерозподілом електронів між мінімумами типу L_1 та Δ_1.

При кімнатній температурі в даних умовах питомий опір монокристалів *n-Ge* монотонно починає зростати при одновісних тисках X>1 ГПа і не виходить на насичення.

На основі одержаних експериментальних результатів було обчислено коефіцієнти тензочутливості для різних кристалографічних напрямків при одновісній пружній деформації. Показано, що максимальне значення коефіцієнта тензочутливості можна отримати при одновісному тиску вздовж кристалографічного напрямку [111]. Значний ефект п'єзоопору для кристалографічного напрямку [100] при температурах рідкого азоту та кімнатній може бути використаний для конструювання сенсорів тиску на основі монокристалів *n-Ge,* які можуть працювати в значних деформаційних полях.

Список використаних джерел:

1. А.А. Селезенев, А.Ю. Алейников, П.В. Ермаков, Н.С. Ганчук, С.Н. Ганчук, R.E. Jones. Молекулярно-динамический расчет коэффициента теплопроводности монокристалла германия // Физика твердого тела. 2012. Том 54. Вып. 3. С. 436-441.

2. Н.В. Чигарев, Д.Ю. Паращук. Пикосекундная оптоакустическая гиперзвуковая спектроскопия германия. Труды VI Всероссийской школы– семинара «Люминесценция и сопутствующие явления», 13 -18 ноября 2000 г., г. Иркутск, с. 194 – 203.

3. Д. Н. Дроздов, А. Н. Яблонский, В.Б.Шмагин, З. Ф. Красильник, Н. Д. Захаров, P. Werner, ФТП. 43, 332 (2009).

4. Озаренко А. В. Разработка полупроводниковых тензочувствительных элементов для систем неразрушающего контроля напряженно-деформированного состояния материалов: Дис. канд. техн. наук, 05.11.13. – Тамбом, Тамбовский государственный технический університет, 2008. – 131 с.

5. Клокова Н. П. Тензорезисторы: теория, методики расчета, разработки. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.

УДК 687.053.9
М. А. Лучинський,
О. С. Поліщук, докт. техн. наук, професор
Хмельницький національний університет
T. Kałaczyński
UTP University of Science and Technology
В. С. Пуць, канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет

ПОРІВНЯННЯ ПРИВОДІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЇ МАРКУВАННЯ, КЛЕЙМУВАННЯ ТА ТИСНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ І ВИРОБІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Найбільше розповсюдження в пресовому обладнанні зі зворотно-поступальним рухом робочих органів, яке використовується для виконання операцій маркування, клеймування та тиснення деталей та виробів легкої промисловості, отримали електромеханічні, гідравлічні і пневматичні приводи [1].

Коефіцієнт корисної дії електромеханічного приводу вищий, ніж гідравлічного і пневматичного. Легкість управління і гнучкість електромеханічного приводу дозволяють вирішувати різноманітні технічні задачі. Однак, він має і ряд суттєвих недоліків: довгі кінематичні ланки з великою кількістю проміжних ланок; потреба в частому змащуванні; невигідний режим роботи двигуна з змінним навантаженням, що обумовлює його низькі енергетичні показники, які прискорюють знос.

До основних переваг гідравлічного приводу можна віднести можливість отримання великих ходів повзуна, а також можливість створення великих зусиль порівняно невеликими по габариту силовими пристроями. До інших переваг гідроприводу відносяться: можливість забезпечення плавності руху робочих органів машини; забезпечення безступеневого регулювання швидкості в широкому діапазоні; простота реверсування; легкість включення, переключення та керування; стандартність та типовість пристроїв; безшумність роботи тощо.

Поряд з позитивними якостями, гідропривод має певні недоліки. Пресове обладнання виходить складним за конструкцією, коштовним у виготовленні та експлуатації, тихохідним. Високу вартість в обслуговуванні, порівняно з пневматичним

приводом, обумовлює необхідність використання в якості робочої рідини мінеральних масел, які потрібно періодично замінювати. Застосування мінеральних масел приводить до необхідності їх ретельної герметизації через значне використання більш високих тисків порівняно з пневмоприводом, а це веде до збільшення вартості конструкції пристроїв.

Пневматичний привід за принципом дії не відрізняється від гідравлічного та має ряд переваг. В основному, його використовують в машинах з малими технологічними зусиллями на робочих органах (до 30 кН) через обмеженість його силових можливостей. Обмеження силових можливостей пневмоприводу викликано тим, що для створення значних зусиль потрібно збільшувати габаритні розміри силових при-строїв. Це в свою чергу приводить до ускладнення конструкції машини. Вони виходять громіздкими і незручними в експлуатації. Тому його використання в силових машинах є недоцільним. Основні переваги пневмоприводу: надійність і довговічність; швидкість спрацювання; простота і економічність, обумовлені одноканальним живленням. Порівняно з гідроприводом пневмопривод має більш низький ККД.

Одним з суттєвих недоліків пневмоприводу є те, що на великих фабриках для приведення в дію машин використовують стиснене повітря від загальної компресорної установки. Тепер, коли зростає кількість малих підприємств, використання компресора і пневматичної мережі стає недоцільним.

Проаналізувавши електромеханічний, гідравлічний і пневматичний приводи, які використовуються в обладнанні легкої промисловості, можна прийти до висновку, що для них характерне багатоступеневе перетворення первинної енергії (як правило електричної) в механічну енергію робочого органу.

При роботі пресового обладнання з електромеханічним приводом проходить проміжне перетворення енергії обертового руху електродвигуна в енергію зворотно-поступального руху робочого органу. Для обладнання з гідравлічним та пневматичним приводами необхідне більш складне проміжне перетворення енергії: спочатку електрична енергія перетворюється в енергію стисненого повітря або рідини, яка далі перетворюється в енергію зворотно-поступального руху робочого органу. Наявність проміжних стадій перетворення

енергії приводить до ускладнення конструкції приводу, додаткових втрат, зниження ККД.

Крім того, загальним недоліком всіх цих приводів є те, що вони не відключаються, тобто споживають енергію під час холостих ходів органів машини, а також під час завантаження і розвантаження машини об'єктами обробки. Наприклад, час для операції вирубування складає від 70% до 90% всього виробничого часу.

В зв'язку з цим, актуальним є створення пресового обладнання для виконання технологічних операцій легкої промисловості, що має зворотно-поступальний рух робочих органів, заснований на іншому енергетичному принципі – безпосередньому перетворенні електричної енергії в кінетичну енергію прямолінійного руху робочого органу.

Безпосереднє перетворення електричної енергії в кінетичну енергію прямолінійного руху робочого органу можуть виконати лінійні електричні двигуни. Їх використання дасть змогу об`єднати машину-двигун з машиною робочим органом і отримати цілу низку переваг порівняно з обладнанням, в якому використовується електромеханічний, гідравлічний чи пневматичний привід.

Питання розробки, випуску конкурентоздатного, енергозберігаючого пресового обладнання є актуальним питанням для наших машинобудівних підприємств, так як Україна ніколи не мала власного виробництва даного обладнання. Кожний виробник зацікавлений в тому, щоб його продукція була конкурентоздатною на ринку. Таку продукцію можна випускати тільки на сучасному високоефективному, енергозберігаючому обладнанні, здатному підтримувати технологію виробництва на рівні передових розробок.

Список використаних джерел:

1. Поліщук О. С. Електромеханічне пресове обладнання на підприємствах легкої промисловості / О.С. Поліщук – Хмельницький: Видавництво PolyLux, 2018. – 285 с.

УДК [67/68.08:678.053](043.3)
О. В. Місяць,
М. Є. Скиба
Хмельницький національний університет
В. П. Місяць
Київський національний університет технологій та дизайну

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ З ЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Роторні дробарки є найбільш поширеним представником обладнання для переробки відходів виробництв легкої промисловості. Існує ряд питань, що пов'ряд з енергоефективністю технологічних процесів переробки відходів та довговічністю роторних дробарок, оскільки неусталені режими їх роботи супроводжуються значними динамічними навантаженнями на робочі органи [1, 2].

В роботі [3] було теоретично обґрунтовано ефективність використання системи частотного керування асинхронним електродвигуном роторної дробарки, яка дозволить регулювати частоту обертання ротора і регулювати ступінь завантаження дробарки в залежності від потужності, що витрачається на подрібнення відходів.

Для проведення експериментальних досліджень роботи роторної дробарки з частотним керуванням її електроприводом розроблено експериментальну установку, яка дозволяє здійснювати керування швидкості обертання ротору і контролювати основні технологічні параметри процесів подрібнення матеріалів (швидкість, продуктивність і струм живлення електродвигуна). На рис. 1 представлено зовнішній вигляд роторної дробарки і блоку частотного керування електродвигуном.

На рис. 2. представлено структурну електричну схему експериментальної установки. Важливою відмінність розробленої системи керування дробаркою є відсутність електричних апаратів пуску і теплового захисту асинхронного електродвигуна. Натомість, блок частотного керування дозволяє здійснювати плавний пуск і електричне гальмування електродвигуна дробарки, що є корисним при великому моменті інерції ротора,

який забезпечується маховиком. Окрім цього, можливе живлення електроприводу дробарки від однофазної мережі 220 В. Для вимірювання струму живлення електродвигуна в установці використано датчик на основі ефекту Холла, що увімкнений безпосередньо в ланку живлення силової частини (інвертора) постійним струмом. Таке рішення дозволило уникнути похибок вимірювання споживаної потужності споживаної електродвигуном при використанні трансформатору струму [1].

а б

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд роторної дробарки (а) і блоку частотного керування електродвигуном (б)

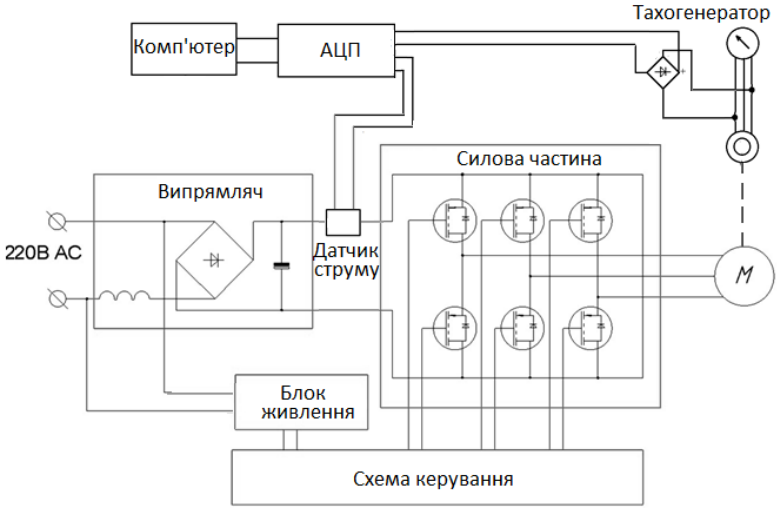


Рисунок 2 – Структурна електрична схема експериментальної установки

Технічна характеристика експериментальної установки представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічна характеристика експериментальної установки

Показник	Значення
Потужність електродвигуна дробарки, кВт	4
Потужність перетворювача частоти, кВт	5,5
Частота живлення електродвигуна, Гц	0…75
Частота обертання ротору, об/хв	0…1800
Продуктивність дробарки (залежно від матеріалу і форми відходів, що подрібнюються), кг/год	20…100
Матеріал, що подрібнюється – гума, полістирол, ПВХ	6
Число рухомих ножів на роторі, шт	4
Число нерухомих ножів, шт	195
Робоча довжина ножа, мм	155
Діаметр ротора подрібнення по кромках ножів, мм	6, 8, 12
Розмір отворів в каліброваних сітках, мм	950x860x350
Габаритні розміри дробарки, мм.	350
Маса , кг	

Список використаних джерел:

1. Місяць В. П. Експериментальна установка для дослідження динамічних характеристик роторної ножової дробарки / В. П. Місяць, М. М. Рубанка // Праці Одеського політехнічного університету : науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2014. – Вип. 1 (43). – С. 78-82.

2. Рубанка М. М. Експериментальні дослідження динаміки роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості / М. М. Рубанка, В. П. Місяць // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2016.– № 1 (94). – С. 27-36.

3. Місяць О.В. Аналіз системи частотного керування приводом роторної дробарки / М.Є. Скиба, В.П. Місяць // Тези VI Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2020 «ПРОГРЕСИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ» м. Луцьк, 2-4 червня 2020 р. С. 104-105.

УДК 62-112
О. О. Налобіна[1], докт. техн. наук, професор
М. В. Голотюк[1], канд. техн. наук, доцент
В. С. Пуць[2], канд. техн. наук, доцент
[1] *Національний університет водного господарства та природокористування*
[2] *Луцький національний технічний університет*

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ СИСТЕМАТИЗАЦІЇ ТИПОРОЗМІРІВ МІНІТРАКТОРІВ

Аграрно-промисловий комплекс сучасної України є різнопланови́м. У його структурі з'являється все більше фермерських, порівняно невеликих, господарств. Функціонування таких господарств має певну специфіку експлуатації технічних засобів. Сільськогосподарські машини, які добре зарекомендували себе під час виконання робіт на площах у сотню гектар, в даних умовах мають низьку завантаженість. Крім того, використання великогабаритної техніки приводить до перевитрати енергетичних ресурсів. Все це накладає негативний відбиток на собівартість продукції та стримує розвиток господарств.

Враховуючи вище зазначене, розробка та удосконалення малогабаритної техніки, яка здатна виконувати широке коло задач як в умовах відкритого так і закритого ґрунту, є актуальним науково-практичним завданням.

Проблеми створення малогабаритної техніки висвітлюються в роботах Войнаша С.А. [1], Ситникова В.Р.[2], Гурякова М.В. [3], Кисельова К.В., Козьмина С.Ф. [4], Norang S. [5], Sohne W. [6], Rasool S. [7] та інших вчених.

Аналіз чинних досліджень виявив, що, в основному, роботи з питань дослідження взаємодії малогабаритних машин із ґрунтом стосуються машин для лісового комплексу. Закономірності взаємодії малогабаритної техніки з ґрунтом під час виконання сільськогосподарських робіт мало досліджені. Крім того, відсутні дослідження, спрямовані на розробку методик проектування ефективної малогабаритної техніки, призначеної для виконання технологічних процесів у сільському господарстві, зокрема й у закритому ґрунті.

Метою нашої роботи був аналіз особливостей конструкцій малогабаритної техніки для сільського господарства на прикладі тракторів. З цією метою було проаналізовано технічні характеристики більше ніж 150 моделей міні тракторів, а також особливості їхнього компонування. Аналізу підлягали моделі, найбільше представлені на ринку України, зокрема міні трактори фірм Solis (Індія), Chery-Zoomlion (Китай), Dongfeng (Китай), Yanmar FX-22D (Японія), Shifeng (Китай) тощо.

З метою виявлення конструктивних та експлуатаційних особливостей міні тракторів нами було проаналізовано понад 250 моделей.

На основі аналізу встановлено, що у конструктивних і експлуатаційних параметрів міні тракторів різних фірм виробників чітко прослідковуються закономірності їхньої зміни. Причому конструктивні параметри набувають змін із зміною показника потужності.

Встановлено залежність, яка розкриває взаємозв'язок між параметрами потужності та конструктивної маси міні тракторів. Даний зв'язок можна оцінити залежністю:

$$N = 0{,}024m - 1{,}25 \quad (1)$$

Достовірність залежності підтверджено коефіцієнтом рандомізації, який становить 0,984. Крім того конструктивна маса міні трактора і його потужності характеризується високим кореляційним зв'язком (коефіцієнт кореляції становить 0,992).

Подальша систематизація взаємовпливів конструктивних параметрів є основою формування універсальних рекомендацій аграріям щодо функціонального призначення тої чи іншої моделі.

Процес систематизації потребує великої бази статистичних даних і розв'язку значної кількості рівнянь регресії. Спростити даний процес можна внаслідок вибору значущого параметра, який найбільшою мірою впливає на конструктивні та експлуатаційні параметри. У якості такого параметра рекомендуємо прийняти конструктивну масу міні трактора.

Список використаних джерел:

1. Войнаш С. А. Особенности проектирования колесного малогабаритного трелевочного трактора / С. А. Войнаш, А. С. Войнаш // Тракторы и сельхозмашины, – 2012. – № 11. – С. 21-23

2. Ситников В.Р., Войнаш А.С. Малогабаритный энергомодуль класса тяги 0,6 (ЭМ-0,6). Совершенствование рабочих органов сельхозмашин машин и агрегатов: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Барнаул: АлтГТУ, 1994. – С. 63-64.

3. Гуряков М. В. Малогабаритная сельскохозяйственная техника: справочник / М. В. Гуряков, Н. Н. Поляков. – М.: Машиностроение, 1994. – 160 с.

4. Исследование вертикальной динамики малогабаритного колесного трактора. Киселев К.В., Козьмин С.Ф., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Санкт-Петербург, 27 января 2020 года. С. 68-72.

5. Narang S. Draftability of a 8.95 kW walking tractor on tilled land / S. Na-rang, A.C.Varshney // Journal of Terramechanics. – 2006. – Vol. 43. – P. 395-409.

6. Sohne W. Eeinfluss von Form und Anordnung der Werhzeuge auf Antrieb-smomonte von Acker-frasen / W. Sohne, D. Grundl // Landtechn. - 1957. – № 9. – P. 696-787.

7. Rasool S. Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks / S, Rasool, H. Raheman // Biosystems Engineering. – 2018. – Vol. 167. – P. 51-62.

УДК 620.9+621.315.592
Л. І. Никируй[1], канд. фіз.-мат. наук, професор,
О. В. Замуруєва[2], канд. фіз.-мат. наук,
С. А. Федосов[2], д-р фіз.-мат. наук, доцент,
В. Є. Сахнюк[2], канд. фіз.-мат. наук, доцент
[1]*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника*
[2]*Волинський національний університет імені Лесі Українки*

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ І РОЗРОБОК ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМОЕЛЕКТРИКИ

Зменшення залежності від викопного палива є важливим кроком у трансформації стійкої енергетичної системи. З цієї причини більшість держав розпочали підтримувати розвиток відновлювальних джерел енергії на законодавчому рівні та заохочувати перехід до їх широкого використання. Одним із перспективних напрямків відновлювальної енергетики є Термоелектрика.

Однозначними країнами лідерами щодо публікацій у сфері термоелектричної енергетики є США та Китай. Є країни, які мають національні пріоритети у сфері відновлювальної енергетики – Японія, Індія, Німеччина, Великобританія, Південна Корея, Франція. Ситуація щодо науково-дослідних центрів, які займають провідні позиції за кількістю публікацій, аналогічна рейтингу за державою. Існують організації, які здобули незаперечну позитивну репутацію: Массачусетський та Каліфорнійський технологічні інститути, Університети Цінхуа та Ухань, Національний центр наукових досліджень та ін.

Щодо українських та польських видань, то кількість робіт набагато менша ніж кількість публікацій світового наукового співтовариства. Дослідження термоелектрики тісно пов’язані з наукою про напівпровідникові матеріали. Найбільш цитовані праці за участю польських авторів стосуються фундаментальних досліджень електронних властивостей широкого кола напівпровідників. Також увага приділяється вивченню класичних термоелектричних матеріалів, і отримані результати відповідають високому світовому рівню. З точки зору якості

варто відзначити перелік найпопулярніших видань, в яких публікуються вчені з Польщі. Серед найбільш цитованих однозначним лідером є *Physical Review*, який свідчить про розвиток фундаментальних досліджень. *Journal of Alloys and Compounds*, *Journal of Electronic Materials*, *Solid State Ionics* також дуже популярні.

Найбільш цитовані праці дослідників з України стосувалися нових класів матеріалів, які відповідають світовим тенденціям – пошуку нових, екологічно чистих та недорогих матеріалів. Однак вивчення класичних матеріалів також проводиться на високому рівні. Більше того, в деяких випадках демонструються ефекти, досліджені в певних матеріалах вперше.

Українські дослідники зазвичай публікують результати таких провідних видань, як *Applied Physics Letters*, *Acta Materialia*, *Journal of Alloys and Compounds*. Це журнали з імпакт-фактором 3-7. Однак, на відміну від журналів, в яких польські вчені зазвичай публікують свої найцитованіші праці, існує певний баланс між прикладними результатами та суто матеріальними дослідженнями.

Аналіз наукових праць, опублікованих нещодавно, показує, що залишається тенденцією дослідження багатокомпонентних об'ємних і низькорозмірних сполук та наноматеріалів. Але, в той же час, існує велика кількість і дуже чітко спрямованих прикладних досліджень, що стосуються розробки конкретних термоелектричних пристроїв, зокрема для медицини, або гібридних енергосистем, що поєднують різні види генерації відновлюваної енергії в одному пристрої.

Загалом напрям «Термоелектрична енергія» є одним з пріоритетних на дослідницькому ринку України, що й у світі. Хоча h-індекси публікацій українських дослідників є значно нижчими за h-індекси науковців світу, для України зберігається за тегом «Thermoelectric Energy» однаковий відсоток, як і у світі, від усієї кількості публікацій за тематикою відновлювальної енергетики (по 12 %).

Розглядаючи термоелектричну енергетику (термоелектрику) в Україні та Польщі, можна виділити певні спільні риси. Перш за все, співпраця польських та українських вчених, виражена через велику кількість спільних публікацій, що є пріоритетом обох країн. Також вчені обох країн успішно співпрацюють зі своїми колегами з Німеччини та США. Логічно пояснити, що є спільні

дослідження як сусідніх держав, так і високотехнологічних, які володіють найсучаснішим обладнанням.

Кількість публікацій про термоелектрику порівнянна в обох країнах: 1 145 представлені польськими вченими та 901 українськими. Але h-індекси тут різні – 40 та 28. Це майже на 50 % вище для польських видань. Це означає, що публікації українських вчених, які часто мають дуже високий науковий рівень, все ще публікуються у менш відомих журналах світової наукової спільноти, і, отже, менш цитуються.

Нормалізовані значення h-індексу публікацій українських та польських вчених практично однакові за величино для напрямку «Термоелектрика». Тобто можна зробити висновок, що якість наукових публікацій у високотехнологічних фундаментальних напрямках майже однакова для науковців обох країн.

Порівняння високо цитованих публікацій польських та українських вчених у галузі термоелектрики свідчить про те, що акцент польських вчених робиться на вивченні властивостей матеріалів, однак розробка приладів активно почала розвиватися лише в останні роки. Для України особливістю є паралельне існування цілого ряду робіт, присвячених термоелектричному матеріалознавству та термоелектричним прикладним системам. Одним із висновків, що випливає з цього аналізу, є те, що в Україні завжди була хороша база для промислового виробництва термоелектричних систем або елементів. У Польщі це лише на початкових етапах творення. Однак, беручи до уваги якість досліджень, проведених польськими вченими, нова промислова база буде зосереджена на нових екологічно чистих термоелектричних матеріалах.

Важливо зазначити, що так як і за напрямком «Фотоелектрика» дослідження польських вчених в основному зосереджені на фундаментальних дослідженнях (Фізика та Матеріалознавство), тоді як для України є певний зсув пріоритету на прикладні дослідження (Інженерія та Фізика). Тобто, значні та визнані технічні рішення є більш специфічними для України.

УДК 539.374:548
С. Я. Підгайчук, канд. техн. наук, доцент
Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького
О. С. Дробот, канд. техн. наук, доцент
Хмельницький національний університет
Н. М. Яворська, канд. техн. наук, доцент
Хмельницький національний університет

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Для капітального ремонту циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання проводять повне розбирання деталей та відповідну дефектацію. Пропонується провести ремонтні операції для деталей підшипників ковзання (корінних втулок та шатунних) щодо заміни втулок, виготовлених із бронзи, на сталеві, з плазмовим напиленням бронзовим порошком марки Бр.ОЦС 5-6-5. Для підвищення щеплення покриття пропонуємо використати комплексні електроліти міднення для нанесення підшару електролітичної міді, після чого провести плазмове напилення бронзою, що дозволить відновити розміри зношених деталей та підвищити опір фретинг-корозії

Одним з прикладів застосування подібної технології є ремонт та відновлення посадочних місць під підшипники веду-чого вала цапфи поворотного кулака тролейбуса, застосованого на Хмельницькому підприємстві «Електротранс». Для цього було використано плазмове напилення бронзовим порошком марки Бр.ОЦС 5-6-5 (розміром 23-100 мкм), що дозволяло відновити розміри зношених деталей (величина зносу до 20 мкм) та підвищити опір фретинг-корозії [1] Процес плазмового напилення полягав в нанесенні попередньо розплавленого металу на спеціально підготовлену поверхню зношеної деталі товщиною 0,5 - 4 мм. Напилення здійснювали на плазмотроні УН-126М. Для розпилення розплавленого металу використовували аргон.

З метою підвищення адгезійної міцності покриття з основою авторами [1] було запропоновано додатково сформувати прошарок із міді з наступним напиленням на нього шару бронзи. На відміну від електролітичного осадження міді з кислих

електролітів нами запропоновано використовувати комплексні електроліти міднення, які краще забезпечують щеплення основи з покриттям [2].

За даними [3] в парі зі сталлю прошарок міді товщиною в межах 0,05-0,15 мм. забезпечує пластичність та високу адгезійну міцність до 30 МПа (проти 15 МПа для осадження без прошарку міді). Для відновлення корінних та шатунних втулок мідь наносили з комплексних електролітів міднення на поверхню зразка виготовленого із Сталі 45 після покращення (гартування від 850 ^{o}С у воді, відпуск 600 ^{o}С, охолодження на повітрі).

На підготовлені таким чином поверхні здійснювали плазмове напилення бронзовим порошком Бр.ОЦС 5-6-5. Одержані покриття випробували на знос за схемою «циліндр - площина», без змащування на установці ЗНМ-24. Для оцінки зносу втулок розглядалась пара тертя «підшипник ковзання – вал» [4]. Вимірювання ширини сліду тертя *а* проводились на приладі ПМТ-3.

Знос покриття сформованого напиленням на попередньо нанесену мідь з комплексного електроліту міднення у 3 рази менший ніж на зразках без прошарку, адгезійна міцність підвищилась до 35-40 МПа.

Проведення ремонтних операцій з заміни деталей підшипників ковзання, виготовлених із бронзи, є доцільним у випадку наявності більш дешевшого матеріалу (Сталь 45) та розробленої технології з використанням відповідного обладнання.

Список використаних джерел:

1. Дробот О.С., Волинський Б.С., Бабак О.П. Вдосконалення технології відновлення цапфи тролейбуса. – Наукові нотатки. Луцьк 2009. – с. 134-138.

2. Кузьменко А.Г., Волынский Б.С. Скрэч – метод определения трибологических свойств поверхности. Часть 1. Обзор. //Проблемы трибологии – 1998. – №1(7). – С. 3-19.

3. Прикладная техника обработки поверхности металлических материалов. Справ.изд. Симон Г., Тома М., Пер. с нем. \ Под ред. Пименова А.Ф.- Челябинск: Металлургия. Челябинское отделение. 1991. – 368 с.

4. Кузьменко А.Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Хмельницький: ТУП, 2002. – 120 с.

УДК 687.053.9
А. О. Поліщук,
М. Є. Скиба, докт. техн. наук, професор,
С. П. Лісевич
Хмельницький національний університет
О. Л. Ткачук, канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет

ПЕРЕРОБКА ВІДХОДІВ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ У ГОТОВІ ВИРОБИ З ВИКОРИСТАННЯМ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Проблема ресурсозбереження, переробки та утилізації відходів є актуальною для всіх галузей виробництва. Однак для підприємств легкої промисловості вирішення цієї проблеми має особливу практичну значимість. Це пов'язано з тим, що частка сировини та матеріалів у собівартості, наприклад, взуттєвої продукції складає 75-90% [1]. Раціональне використання вторинної сировини економічно привабливо за рахунок збільшення масштабів виробництва при незмінному розмірі сировинної бази. Проблема ефективного використання вторинних ресурсів може та повинна вирішуватися на підприємствах легкої промисловості.

Широка гама полімерних матеріалів, що використовуються на підприємствах легкої промисловості обумовлює зростання об’ємів відходів, використання яких є значним резервом розширення сировинної бази, економії грошових і трудових ресурсів, запобігання забрудненню навколишнього середовища.

Під час виготовляння одягу та взуття виникають різні типи відходів матеріалів. Серед основних видів відходів виробництва найбільш привабливими, як в економічному так і в екологічному аспектах при їх переробці є термопластичні матеріали. Серед основних способів переробки відходів полімерних матеріалів найбільш ефективним є пряме повернення відходів у виробничий процес. Це здійснюється за допомогою різних технологічних схем переробки, наприклад адитивних технологій та які можуть бути зведені до однієї загальної схеми, що складається з трьох стадій. Перша стадія включає збір відходів на підприємстві, що займається виготовлення виробів легкої промисловості. Друга

стадія полягає у подрібненні відходів полімерів і є однією з найбільш відповідальних в процесі. В результаті одно- двох- або трьохстадійного подрібнення матеріал досягає розмірів, достатніх для того, щоб можна було здійснювати його подальшу переробку методом 3D-друку. На даному етапі постає питання розробки спеціального устаткування для подрібнення відходів полімерів до необхідної фракції.

Третя стадія пов'язана з переробкою подрібнених полімерних відходів полімерів у готові вироби з використанням адитивних технологій. При цьому необхідно врахувати, що процес отримання готового виробу із відходів потребує специфічного підходу до вибору режимів переробки у екструдері та геометричних розмірів черв'яка екструдера.

Між другою і третьою стадією може виникнути ще проміжна стадія, яка може включати змішування подрібнених відходів з іншими інгредієнтами полімерної композиції: стабілізаторами, наповнювачами, пороутворювачами тощо та отримання гранул на спеціальному обладнанні.

Переробка полімерних відходів легкої промисловості з використанням адитивних технологій є складною і вартісною задачею, зважаючи на необхідність створення екструдера для 3D-принтера у якому геометричні розміри черв'яка будуть залежати від типу матеріалу, що піддається плавленню.

Таким чином, розробка екструдера для переробки відходів полімерних матеріалів методом 3-D друку потребує фундаментальних та прикладних досліджень.

Впровадження інноваційних, ресурсозберігаючих технологій та обладнання на підприємствах легкої промисловості забезпечить випуск конкурентоспроможної продукції з покращеними техніко-економічними показниками.

Список використаних джерел:

1. Буркин А.Н. Переработка отходов обувного производства. Материалы докладов Международной научно-практической конференции Переработка отходов текстильной и легкой промышленности: теория и практика. Витебск. 2016. С.23-28.

УДК 621.798:681.5.015.23
В. І. Савуляк, докт. техн. наук, професор,
Д. В. Бакалець, канд. техн. наук, доцент,
В. Й. Шенфельд, канд. техн. наук, доцент,
О. П. Шиліна, канд. техн. наук, доцент
Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ НАПЛАВЛЕННИХ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ ОХОЛОДЖЕННЯ

Для сучасного машинобудування характерні, як і раніше, важкі умови роботи машин, а, отже, і швидке зношування відповідальних деталей різноманітних вузлів. Створення зносостійких поверхневих шарів вирішує проблему забезпечення зносостійкості функціональних поверхонь. Пошук нових, високоефективних способів нанесення чи створення цих поверхневих шарів повинен враховувати зменшення потреби у кількості та вартості витратних матеріалів, підвищення продуктивності обладнання та виробничих площ.

На сьогодні можливості розширення застосування традиційних матеріалів на основі легованих сталей є досить обмежені, що пов'язано зі зменшенням у природі запасів нікелю, молібдену, міді, титана й інших елементів. Тому проблема створення композицій та сплавів, які б містили мінімум легувальних елементів, мали б високі механічні властивості є однією з найважливіших народногосподарських проблем, успішне рішення якої дозволить різко зменшити витрата чорних і кольорових металів, підвищити якість і довготривалість роботи устаткування й машин, істотно збільшити продуктивність праці, заощадити матеріальні, енергетичні і трудові ресурси.

Метою роботи є дослідження властивостей покриттів, наплавлених в екстремальних умовах охолодження у водяній ванні з навуглецьовуванням шляхом використання порошкового графіту, доданого у воду.

Для експерименту використовували деталі типу «вал», виготовлені з конструкційної низьковуглецевої сталі Ст 3 та сталі 40Х. Зразки механічно оброблялись до заданих розмірів. Ст 3 обрали через її відносну дешевизну і поширеність. В сталі 40Х є

0,40 відсотка вуглецю і менше півтора відсотка хрому. Цей матеріал відноситься до важко зварювальних, однак дуже поширений серед деталей, які потрапляють на ремонт.

Наплавлення проводили в середовищі захисних газів з використанням установки УД-209М для якої було виготовлено пристосування для реалізації можливості наплавлення деталі під водою. У якості матеріалу для наплавлення використовували дріт марки Св-08. Зразки, які використовувались для експерименту, були попередньо очищені від бруду та іржі для покращення якості наплавленого шару. Режими підбирались експериментально під час наплавлення: dдр=1,2 мм; I=140А; U=20В. Вимірювання температури проводили з використанням пірометра.

У роботі запропоновано принципово нову схему навуглецьовування під час наплавлення деталей машин. Вона полягає у частковому зануренні деталі, що наплавляється, в ванну з охолоджувальною рідиною з додаванням графіту у вигляді порошку. Тонкий шар графіту плаває на поверхні води, і за рахунок сил поверхневого натягу налипає на деталь, що обертається. В процесі наплавлення між дротом з низьким вмістом вуглецю і деталлю горить дуга, яка розплавляє поверхню деталі з графітом який знаходиться на ній. Після цього отримане наплавленням уже високовуглецеве покриття потрапляє у воду, що призводить до його швидкого охолодження і відповідно гартування.

Після наплавлення класичним та запропонованим способами з отриманих покриттів були зроблені зразки для вимірювання твердості. Твердість вимірювалась за методом Роквелла твердоміром ТК-2М відповідно до ГОСТ 9013-59.

В результаті зразки, отримані під час експерименту, з наплавленням без охолодження, мали твердість наплавленого покриття 3-8 HRC, що пояснюється низьким вмістом вуглецю як у дроті так і в матеріалі деталі із сталі Ст3. При наплавленні деталей з сталі 40Х та охолодженні водою отримали твердість 36-40 HRC, що є прийнятним для низки застосувань. На нашу думку це пояснюється дифузійним насиченням наплавленого шару вуглецем з основного металу та підгартовуванням за рахунок водяного охолодження.

Під час третього експерименту наплавлення проводили на деталь із сталі Ст3, а у воду додавався порошок графіту. Вимірювання показали, що твердість наплавленої поверхні, яка охолоджувалась холодною становила 43-45 HRC. З підвищенням температури води в зоні наплавлення розпочинається кипіння, яке перешкоджає потраплянню порошку графіту на деталь, що в комплексі зменшує твердість покриття до 25-30 HRC.

В зв'язку з цим для забезпечення найкращого результату доречним буде забезпечення проточного охолодження водою з підтримуванням концентрації графіту.

Список використаних джерел:

1. Бакалець Д. В. Оцінка впливу мокрого наплавлення на напружено-деформований стан валів / Д. В. Бакалець, О.І. Шугайло, П.Ю. Бондарчук // Вісник машинобудування та транспорту. – 2019 – № 1(9). – С. 4–8.

2. Каховський М. Ю. Інноваційна технологія механізованого мокрого зварювання високолегованої корозійностійкої сталі / М.Ю. Каховський // Наука та інновації. – Київ. – 2015. – № 11(4) – С. 25–31.

3. Савуляк В.І. Наплавлення висовуглецевих зносостійких покриттів : монографія / В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд — Вінниця: ВНТУ, 2016. – 124 с.

4. Бакалець Д. В. Оцінка напружено-деформованого стану валів, наплавлених з охолодженням [Електронний ресурс] / Д. В. Бакалець, П. Ю. Бондарчук, О. І. Шугайло // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. – Електрон. текст. дані. – 2020. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2020/paper/view/9350.

УДК 667.64
П. П. Савчук, докт. техн. наук, професор,
В. П. Кашицький, канд. техн. наук, професор,
І. А. Мороз, канд. хім. наук, доцент,
О. Л. Садова, канд. техн. наук,
І. В. Боярська, канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет

ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ З ВМІСТОМ ПОРОШКУ ДИОКСИДУ ТИТАНУ

Розробка сучасних полімеркомпозитних матеріалів передбачає формування багатокомпонентних систем із заданими властивостями. Одним із способів керування властивостями матеріалів є зміна хімічного складу полімерів та обробка композицій у фізичних полях, яка призводить до модифікації структури і, відповідно, властивостей полімеру на різних рівнях технологічного процесу. Найбільш технологічними є фізичні методи модифікації: термічна обробка, радіаційне опромінення, циклічна деформація, обробка полімерів в електричних і магнітних полях.

Серед широкого спектру існуючих полімерів значне місце займають епоксидні смоли, які завдяки високій адгезійній міцності та технологічності широко використовують в техніці для формування епоксикомпозитних виробів або нанесення захисних покриттів [1].

Покращення властивостей епоксикомпозитів відбувається в результаті трансформації надмолекулярної структури за рахунок обробки композиції ультразвуком [2]. Під впливом ультразвуку змінюються умови гомогенізації композиції, її в'язкість, час релаксації і кінетика структурування епоксикомпозитів. Ультразвукова обробка дозволяє підвищити деформаційно-міцнісні і адгезійні характеристики епоксикомпозитів, знизити рівень залишкових напружень, збільшити довговічність та значно скоротити час структурування системи [3].

Введення порошку диоксиду титану (TiO_2) забезпечує підвищення механічних та експлуатаційних характеристик епоксикомпозитних покриттів, однак виникають проблеми із

рівномірним розподілом наповнювача в об'ємі полімерної матриці та підвищенням адгезійної міцності, оскільки складно забезпечити високу взаємодію епоксидного в'яжучого з поверхнею високодисперсних частинок.

Приготування композиції полягало у поетапному введенні дозованого вмісту компонентів та механічного вимішування суміші. Обробку композиції ультразвуком проводили у полімерному контейнері в середовищі води протягом 5-10 хв. Тверднення епоксикомпозитів за нормальних умов відбувалося протягом 24 год з наступною термічною обробкою за ступінчастим режимом: витримка протягом 1 год за температури 50 °С, 1 год – 100 °С, 4 год – 140 °С.

Встановлено, що епоксикомпозити з невисоким вмістом порошку диоксиду титану (4 мас. ч.) та тривалістю ультразвукової обробки композиції протягом 5 хв мають високу адгезійну міцність, оскільки даний вміст наповнювача забезпечує формування однорідної системи. При цьому рівень залишкових напружень є низький через рівномірний розподіл частинок наповнювача та відсутність концентраторів напружень на межі розділу фаз. Збільшення тривалості ультразвукової обробки композиції до 10 хв призводить зниження адгезійної міцності за рахунок інтенсивного структурування системи через підвищення швидкості реакції утворення хімічних зв'язків між макромолекулами епоксидної смоли та поліетиленполіаміну.

У випадку збільшення вмісту наповнювача диоксиду титану в системі до 8 мас. ч. за тривалості ультразвукової обробки 5 хв відбувається зниження адгезійної міцності епоксикомпозитів, оскільки тривалість обробки 5 хв є недостатньою для руйнування агрегатів наповнювача і забезпечення високого ступеня однорідності системи. При цьому обробка ультразвуком композиції протягом 10 хв призводить до редиспергування та рівномірного розподілу високодисперсних частинок в епоксиполімерній матриці в результаті чого підвищуються адгезійні характеристики епоксикомпозиту.

Висновки. Експериментально встановлено, що підвищення адгезійної міцності відбувається за рахунок введення оптимального вмісту порошку диоксиду титану в кількості 8 мас. ч. і тривалості ультразвукової обробки 10 хв. Високочастотні ультразвукові коливання забезпечують рівномірний розподіл частинок та підвищують ліофільність поверхні

наповнювача. Також в процесі ультразвукової обробки відбувається інтенсивне видалення повітряних включень з композиції, в результаті чого формується менш дефектна структура.

Список використаних джерел:

1. Kolosova O.P. Ultrazvukova obrobka texnologichnoyi syrovyny polimernykh kompozycijnykh materialiv: navchalnyj posibnyk [elektronne vydannya] dlya pidgotovky aspirantiv, yaki navchayutsya za specialnistyu «Galuzeve mashynobuduvannya» / O.P. Kolosova, V.V. Vanin, O.Ye. Kolosov, V.I. Siveczkyj. – K.: KPI imeni Igorya Sikorskogo, 2017. – 188 p.

2. Buketov A.V., Stukhlyak P.D., Kalba Ye.M. Fizyko-khimichni procesiyi pry formuvanni epoksykompozytnykh materialiv. – Ternopil: Zbruch. 2005 – 182 p.

3. Examining the effect of physical fields on the adhesive strength of protective epoxy composite coatings / V. Kashytskyi, P. Savchuk, V. Malets, Y. Herasymiuk, S. Shchehlov. – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 3/12 (87) 2017.

УДК 667.64:678.026
[1]**О. О. Сапронов**, докт. техн. наук, професор,
[1]**В. В.Соценко**, аспірант,
[1]**В. В. Браїло**, м.н.с., [2]**П. О. Воробйов**, викладач 1-ї категорії
[1]Херсонська державна морська академія
[2]Морський фаховий коледж херсонської державної морської академії

ВПЛИВ СИНТЕЗОВАНОЇ ПОРОШКОВОЇ ЗАЛІЗО-КАРБІДОТИТАНОВОЇ ШИХТИ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

При виборі матеріалів призначених для відновлення деталей транспорту необхідно враховувати значення адгезійної міцності та відносно невисокі показники залишкових напружень і усадки, що дозволить експлуатувати такі матеріали тривалий час без зміни їх властивостей [1]. Забезпечення вище наведеного дає можливість уникнути негативного явища відшарування полімерного композиту від основи.

Як основний компонент для зв'язувача при формуванні композиного матеріалу використовували епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який затверджували твердником поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78). Як активну добавку для експериментальних досліджень використано синтезовану порошкову залізо-карбідотитанову шихту (ЗКТШ). Формування наповнювача проводили високовольтним електророзрядним (ВЕР) синтезом. У вигляді вихідного матеріалу використовували суміш порошків наступного вихідного складу: Fe (75 %) + Ti (25 %). За рахунок ВЕР-обробки досягнуто подрібнення усіх оброблених часток та змінився їх фазовий склад у напрямку створення високомодульних сполук Fe (70%) + Ti (5%) + TiC (20%) + Fe_3C (5%) [2].

У роботі досліджено вплив вмісту синтезованої порошкової залізо-карбідотитанової шихти на адгезійну міцність при зсуві (τ) композитного матеріалу (КМ). Активну добавку вводили у епоксидний зв'язувач за вмісту q = 0,025…5,000 мас.ч. Результати проведених досліджень наведено у таблиці 1. Введення добавки за вмісту q = 0,025…0,075 мас.ч. забезпечує монотонне

підвищення адгезійної міцності при зсуві з τ = 9,0 МПа (для епоксидної матриці) до τ = 9,8 МПа (наповненої частками ЗКТШ). Якісна оцінка характеру руйнування дозволяє констатувати, що переважає когезійний відрив. Введення ЗКТШ за вмісту q = 0,100…1,000 мас.ч. забезпечує максимальне підвищення адгезійної міцності при зсуві (τ = 9,9…10,0 МПа). Відсутність чітко виражених сріблястих ділянок поверхні основи дозволяє констатувати про чисто когезійний характер руйнування адгезійного з'єднання. При цьому отримані значення залишкових напружень, що становлять – $\sigma_з$ = 1,5…1,6 МПа, свідчать про кінетично врівноважену полімерну систему, а, отже, можливість довготривалої експлуатації таких полімерних адгезивів. Введення понад q = 1,000 мас.ч. ЗКТШ, призводить до зменшення адгезійної міцності при зсуві, що вказує на присутність агломератів у об'ємі полімеру. Це забезпечує формування неврівноваженої полімерної системи підтвердженням чого є збільшення залишкових напружень ($\sigma_з$ = 1,7…1,8 МПа), а також отримані світлини руйнування адгезійного з'єднання.

Таблиця 1 – Значення адгезійної міцності при зсуві композитних матеріалів із різним вмістом синтезованої порошкової залізо-титанової шихти

№	Вміст добавки ЗКТШ q, мас.ч.	Адгезійна міцність при зсуві КМ τ, МПа	Залишкові напруження КМ $\sigma_з$, МПа
1	Матриця	9,0	1,4
2	0,025	9,6	1,8
3	0,050	9,7	1,7
4	0,075	9,8	1,6
5	0,100	9,9	1,5
6	1,000	10,0	1,6
7	3,000	9,8	1,7
8	5,000	9,6	1,8

Такі епоксикомпозити характеризуються змішаним відривом, де більша частина поверхні руйнування приймає

адгезійний характер, що вказує на незначну кількість зв'язків полімеру із металевою основою.

Не менш важливим при експлуатації полімерних покриттів є усадка. Отримане значення усадки вихідної матриці становить – δ = 0,025 %. Введення ЗКТШ за вмісту q = 0,025…5,000 мас.ч. забезпечує зменшення усадки КМ до δ = 0,016 %. Тобто, введення у епоксидний зв'язувач навіть максимального вмісту ЗКТШ (q = 5,000 мас.ч.) забезпечує седиментаційну стійкість композицій, а, отже, і забезпечує технологічність при нанесенні покриттів на довговимірні поверхні складного профілю.

Висновки. У роботі проведено аналіз впливу вмісту синтезованої порошкової залізо-карбідотитанової шихти на адгезійну міцність при зсуві, залишкові напруження і усадку полімерних покриттів. Доведено, що введення дисперсної добавки у епоксидний олігомер ЕД-20 за оптимального вмісту q = 1,000 мас.ч. забезпечує поліпшення адгезійних характеристик композитного матеріалу. При цьому значення адгезійної міцності при зсуві становить – τ = 10,0 МПа, залишкових напружень – $\sigma_з$ = 1,5 МПа, при цьому усадка не перевищує 1 %.

Публікація містить результати досліджень, проведених у рамках НДДКР молодих вчених «Спрямоване керування структуроутворенням нановуглецевовмісних полімерних композитів для підвищення експлуатаційних характеристик транспорту» (№ д.р. 0121U107610).

Список використаних джерел:

1. Sapronov O.O. Polymeric materials based on epoxy oligomer DER-331 and hardeners of different physical and chemical nature for repairing of gas production equipment // O. O. Sapronov, V. V. Sotsenko, B. Antonio, S. O. Smetankin, K.Yu. Yurenin. Journal of Hydrocarbon Power Engineering. – 2020. – Vol. – 7(2). – P. 54-60.

2. Syzonenko O. Method of preparation of blend for aluminium matrix / O.Syzonenko, E.Sheregii, S.Prokhorenko and other // Composites by high voltage electric discharge. Machines. Technologies. Materials. – 2017. – Vol. 11, Issue 4. – P. 171-173.

УДК 66.026.2
Е. Л. Селезньов, канд. техн. наук, доцент,
Д. Е. Селезньов, канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет

РОЗРАХУНОК ГІДРАВЛІЧНИХ ОПОРІВ ТРУБОПРОВОДУ

Труби з'єднують між собою різні апарати хімічних установок. За допомогою них відбувається передача речовин між окремими апаратами. Як правило, кілька окремих труб за допомогою з'єднань створюють єдину трубопровідну систему.

Трубопровід – це система труб, об'єднаних разом з допомогою з'єднувальних елементів, та застосовується для транспортування хімічних речовин та інших матеріалів. У хімічних установках для переміщення речовин, як правило, використовуються закриті трубопроводи. Якщо мова йде про замкнутих і ізольованих деталях установки, то вони також відноситься до трубопровідної системи або мережі [1].

До складу замкнутої трубопровідної системи можуть входити: труби; з'єднувальні елементи труб; герметизуючі ущільнення, що з'єднують два рознімних ділянки трубопроводу.

Втрати напору пов'язані з гідравлічними опорами, які долає потік рідини під час руху. Їх поділяють на два види – поздовжні, пов'язані з довжиною і діаметром трубопроводу, і місцеві, пов'язані зі зміною конфігурації потоку на малій ділянці.

На місцевих гідравлічних опорах, унаслідок зміни конфігурації потоку на коротких ділянках змінюються швидкості руху рідини за значенням і напрямком та утворюються вихорі. Це й є причиною місцевих втрат напору. Місцевими опорами є розширення та звуження русла, поворот, розгалуження потоку, шайба, діафрагма, вентиль, засувка, кран тощо. Втрати напору на місцевих опорах визначають за допомогою формули Вайсбаха

$$h_м = \xi \frac{\upsilon^2}{2g}$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору, υ – середня швидкість після місцевого опору, іноді – до опору.

Використовують також формулу у вигляді:

$$h_м = \lambda \frac{l_e}{d} \frac{v^2}{2g}$$

де l_e – еквівалентна довжина місцевих опорів, тобто довжина трубопроводу, втрати напору в якому такі ж, як і на місцевих опорах [1].

При турбулентному режимі коефіцієнт ξ залежить в основному від різновиду опору, а при ламінарному – також від числа Рейнольдса. Для всіх місцевих опорів цей коефіцієнт визначають експериментально. Лише для різкого розширення теоретично вивели формулу Борда:

$$h_{pp} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

де v_1, v_2 – швидкості рідини перед і після різкого розширення. Формулу Борда можна записати і так:

$$h_{pp} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g} = \left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g}$$

При цьому для швидкості $v_1 \xi_{pp} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2$

для $v_2 \xi_{pp} = \left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right)^2$.

Під час руху рідини із труби в резервуар виникає різке розширення потоку, при якому $v_2 \approx 0$, оскільки площа резервуара велика. Для цього випадку, тобто для входу в резервуар

$$h_{вх} = \frac{v_1^2}{2g}, \quad \text{а } \xi_{вх} = 1$$

Для зменшення втрат напору труби різного діаметра з'єднують конічною вставкою – дифузором. Найменші втрати напору будуть, якщо дифузор має кут між стінками 6°, при цьому $\xi = 0{,}15$.I

Для різкого звуження при $d_2 < 0{,}5 d_1$ можна використати емпіричну формулу Ідельчика

$$\xi_{рз} = 0{,}5 \left(1 - \frac{S_2}{S_2}\right)$$

а при $d_2 > 0{,}5 d_1$ – формулу Альтшуля

$$\xi_{рз} = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2$$

де $\varepsilon = 0{,}57 + \frac{0{,}043}{1{,}1 - n}$ – коефіцієнт стиснення; n – ступінь стиснення

$$n = \frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

Вихід рідини із резервуара з дуже великим діаметром d_1 в трубу є різким звуженням, тоді $\xi_{вих} = 0{,}5$. [2]

Ділянка з плавним звуженням називається конфузором. Найменше значення коефіцієнта місцевого опору для нього $\xi = 0{,}1$.

При числах Рейнольдса, менших 10000, коефіцієнт місцевого опору обчислюють за формулою Альтшуля

$$\xi' = \frac{A}{Re}$$

де ξ визначається як вказано вище; А – коефіцієнт, значення якого наведені в довідниках.

При дуже малих значеннях Re рідина протікає через місцеві опори без відриву і $\xi' = \frac{A}{Re}$.

Отже, робимо висновок, що розрахунок місцевих та поздовжніх гідравлічних опорів досить громіздка задача. Тому здійснити часткову, або повну автоматизацію розрахунку місцевих та поздовжніх гідравлічних опорів досить актуальна задача. Завдяки використанню персональних комп'ютерів, вдасться мінімізувати час на розрахунок опорів у гідравлічних системах. При розробці програм розрахунку місцевих опорів, існує необхідність додати в функціонал програм можливість побудови графіків залежностей: коефіцієнта Дарсі від числа Рейнольдса та числа Рейнольдса від діаметра трубопроводу. Це дасть можливість наочно зобразити і більш суттєво вивчити існуючі процеси.

Список використаних джерел:

1. Большаков В.А.., Попов В.Н. Гидравлика. Общий курс: Учебник для вузов. – К.: Высшая школа. Головное изд-во, 1989. – 215 с.

2. Мандрус В.І., Лещій Н.П., Звягін В.М. Машинобудівна гідравліка. Задачі та приклади розрахунків. – Львів: Світ, 1995. – 264 с.; іл.

УДК 620.197.3
З. В. Слободян[1], канд. техн. наук, ст. наук. співроб.,
Л. А. Маглатюк[1], канд. техн. наук, ст. наук. співроб.,
Р. Б. Купович[1], пров. інженер,
Ю. Я. Максішко[1], аспірант
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

КОРОЗІЙНО-ЕЛЕКТРОХІМІЧНА ПОВЕДІНКА СТАЛІ 20 В ІНГІБОВАНИХ 5%-ИХ РОЗЧИНАХ ДЕЯКИХ КИСЛОТ

Різке погіршення екологічного стану довкілля вимагає нагальної зміни підходів до виробництв, утилізації відходів та ін. Значна доля у забрудненні навколишнього середовища належить корозії. Протикорозійні заходи значно покращують ситуацію, однак, часто самі агенти захисту, наприклад, інгібітори, містять небезпечні речовини. В зв'язку з тим, в останні десятиліття суттєво зріс інтерес до еко-безпечних проти-корозійних матеріалів. Зокрема, отримання еко-інгібіторів (green inhibitors) з відновлюваних природних джерел є перспективним напрямком не лише з екологічної, але й з економічної точки зору. Відчутно зросла кількість наукових досліджень та практичних розробок ефективних інгібіторів на базі перероблення рослинної сировини 1, 2].

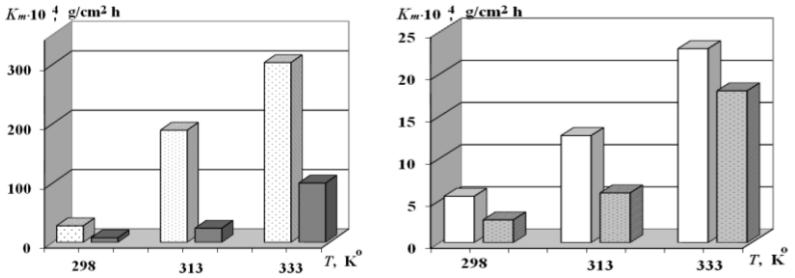
Ефективність еко-інгібіторів є достатньо високою [3,4] Аналіз літературних даних [5, 6] та власних результатів [7] дозволяє стверджувати, що найвищі захисні властивості виявляють сполуки, що містять атоми нітрогену, оксигену, сульфуру з їх неподільними парами електронів.

Останні десятиліття українські дослідники, розробляючи еко-інгібітори, модифікатори іржі, пігменти використовували відходи олійної (шріт ріпака, соняшника), деревообробної (тирса, стружка, кора дуба, сосни) та ін. промисловостей. Розширення сировинної бази для синтезу еко-інгібіторів звернуло нашу увагу на шкаралупу волоських горіхів, яка практично не використовується та не утилізується.

Розроблена методика підготовки субстрату та отримання екстракту полягала в наступному. Вихідну сировину – шкаралупу горіха волоського (Juglansregia L.) висушували за температури 313°К, подрібнювали під пресом та у кульковому

млині до дисперсності 80 меш (0,177 mm). Екстракцію активних складових здійснювали дистильованою водою за температури 363°K впродовж 12 год.

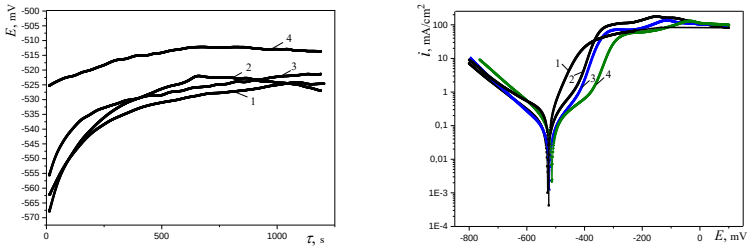
Гравіметричним методом встановлено, що за концентрації екстракту горіхової шкаралупи 1 г/л швидкість корозії сталі 20 в 5% хлоридній та лимонній кислотах помітно знижується (рис.1 *а,б*). Захисна ефективність екстракту в 5% HCl за вказаних температур є суттєво вищою, ніж у лимонній кислоті, що може бути результатом синергічного впливу хлорид-іону. Максимальні ступені захисту та коефіцієнти гальмування спостерігались за температури 313°K (Z = 87% та γ = 7,9 у хлоридній кислоті супроти Z = 54,5% та γ = 2,2 – у лимонній).



а *б*

Рисунок 1 – Вплив екстракту горіхової шкаралупи (1 г/л) на швидкість корозії сталі 20 у 5%-их розчинах хлоридної (*а)* та лимонної (*б*) кислот за температур 298, 313, 333 °K

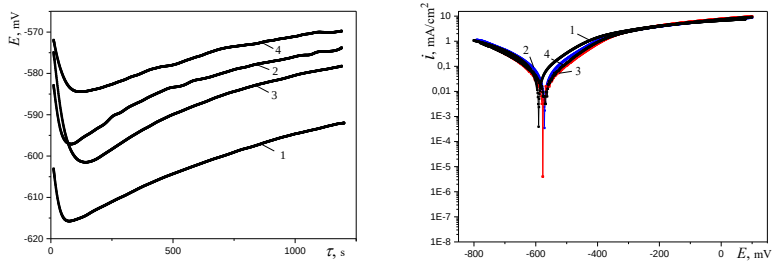
Електрохімічні дослідження підтвердили відмінності у поведінці екстракту в лимонній і хлоридній кислотах. Так, встановлення стаціонарного потенціалу сталі 20 в HC1 відбувається поступовим плавним зсувом в сторону менш негативних значень і досягненням стабільних значень вже через 700 с від початку експозиції (рис. 2*а*). В лимонній кислоті стаціонарний потенціал сталі 20 протягом перших 150 с експозиції зразка зсувається в більш негативну сторону і стабілізується лише після 1200 с (рис. 3*а*).



а *б*

Рисунок 2 – Встановлення стаціонарного потенціалу (*а*) та поляризаційні криві (*б*) сталі 20 в хлоридній кислоті (1) та з додатком екстракту горіхової шкаралупи: 2 – 1 г/л; 3 – 2 г/л; 4 – 3 г/л

Характер поляризаційних кривих сталі 20 в 5% HCl свідчить, що екстракт є інгібітором змішаної дії з превалюючим впливом на анодну реакцію. Зростання концентрації екстракту веде до появи ділянок початкової пасивації: константа Тафеля анодної реакції b_a зростає від 35 мВ у HC1 до 95 мВ. Вплив інгібітора на водневу деполяризацію менш помітний: b_k зростає від 45 мВ до 60 мВ. Струми корозії при цьому зменшуються з 10^{-2} мА/см^2 до $2 \cdot 10^{-3}$ мА/см^2, що задовільно узгоджується з результатами гравіметричних випроб.



а *б*

Рисунок 3 – Встановлення стаціонарного потенціалу (*а*) та поляризаційні криві (*б*) сталі 20 в лимонній кислоті (1) та з додатком екстракту горіхової шкаралупи: 2 – 1 г/л; 3 – 2 г/л; 4 – 3 г/л

В лимонній кислоті екстракт теж виявляє властивості інгібітора змішаної дії: нахил анодних і катодних кривих відрізняється мало, константа Тафеля анодної реакції b_a зростає від 45 мВ до 70 мВ. Струми корозії при цьому зменшуються з 10^{-3} мА/см^2 до 10^{-4} мА/см^2, що теж корелює з гравіметричними даними.

Отримані результати свідчать, що водний екстракт горіхової шкаралупи є еко-інгібітором корозії вуглецевих сталей в середовищі хлоридної та лимонної кислот.

Список використаних джерел:

1. Sastri V.S. Green Corrosion Inhibitor: theory and practice, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc. 2011.

2. Raja P. B. and Seturaman M. G. Natural products as corrosion inhibitors for metals in corrosive media. *Materials Letters*. 2008. № 62. P. 113–116.

3. Amitha Rani B.T. and Bharathi Bai J. Basu. Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys: An Overwiew.*International Journal of Corrosion*. 2012. ID380217. P. 1–15.

4. Younes Shirmohammadli, Davood Efhamisisi, Antonio Pizzi. Tannins as sustainable raw material for green chemistry: A review. *Industrial Grops & Products.* 2018. № 126. P. 316–332.

5. Behpour M., GhoreishiS.m., Rhayatkashani M., Soltani N. Green approach to corrosion inhibition of mild steel in two acid solutions by extract of punica granatum peel and main constituents. *Materials Chemistry and Physics*. 2012. № 131. P. 621–633.

6. Слободян З., Хабурський Я., Горак Ю. Екстракти дубової кори – «зелені» інгібітори корозії середньовуглецевих сталей у нейтральних та кислих середовищах. *Вісник ТНТУ*. 2012. №4 (68). С. 73–80.

7. Слободян З.В., Маглатюк Л.А., Купович Р.Б., Хабурський Я.М. Композиції на основі екстрактів з кори та стружки дуба – інгібітори середньовуглецевих сталей у воді. *Фіз.- хім. механіка матеріалів*. 2014. № 5. С. 58–66.

УДК 621.891
О. У. Стельмах, докт. техн. наук., с.н.с.,
Р. Є. Костюнік, канд. техн. наук, с.н.с.,
В. А. Радзієвський,
О. Г. Ковальчук
Національний авіаційний університет
С. П. Шимчук
Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ГРАНИЧНИХ ШАРАХ ЗМАЩУВАННЯ В ТРИБОКОНТАКТІ

У трибосистемах з лінійним контактом в умовах граничного тертя ковзання було встановлено підвищення зносостійкості з ростом миттєвих контактних напружень, асиметрія зношених доріжок ковзання, виникнення первинних вузлів адгезійної взаємодії в дифузорній області (ДО) і осідання продуктів зношування в районі, близькому до конфузорної області (КО) контакту [1]. Отримані закономірності не знаходять однозначного пояснення в рамках традиційних уявлень, заснованих на положеннях адгезійно-деформаційної і еластогідродинамічної теорій тертя. Для пояснення цих результатів була висунута гіпотеза про виникнення в граничних шарах трибоконтакта двох різнополярних процесів за рахунок мікротечій у змащувальному середовищі, які ініціюють появу областей розрідження в ДО і стиснення – в КО. З метою проведення прямих експериментальних вимірювань розподілу локального тиску і підтвердження висунутої гіпотези про динамічні процеси в граничних шарах [2] був розроблений спеціальний апаратно-методичний комплекс.

Для візуального дослідження і вивчення динамічних процесів, що виникають у граничних шарах трибоконтакта, було розроблено і виготовлено кілька лабораторних приладів тертя з оптично-прозорим лінійним контактом. У приладі АСБ-01 контакт модельного плоского і прозорого підшипника ковзання здійснювався з валом зверху, а в приладах АСБ-02 і АСБ-02Т знизу. При цьому прозорість модельних підшипників дозволяє спостерігати за перебігом змащувального середовища через поліровані грані зразка, виготовленого з оргскла, кристала парателуриту (TiO_2), сапфіра або кварцу. Як модельний вал

використовувався фторопластовий або сталевий (ШХ-15, HRC 59 ... 63) ролик полірованої (R_a <0,04мкм) робочою поверхнею утворюючу циліндр. Діаметр модельних валів – 80 мм, а їх довжина – від 9 до 16 мм.

У всіх приладах передбачено вимір локального тиску в граничних шарах у процесі тертя (рис. 1, а). Для цього в модельному прозорому підшипнику (паралелепіпеді) на робочій поверхні тертя виготовлявся приймальний пристрій у вигляді отвору або щілини (діаметр отвору – 0,2 мм, ширина щілини 0, 23 ... 0,3 мм, а довжина – 6 мм). Такий приймальний пристрій через внутрішні канали, виготовлені всередині зразка, потім через штуцер і гнучкий шланг з'єднувався з вимірювальними приладами (манометри, вакуометри, електромеханічні або тензометричні датчики тиску). У всіх приладах забезпечено сталість лінійного контакту і рівномірний розподілу миттєвих контактних напружень при переміщенні робочої поверхні модельного вала завдяки використанню системи самовстановлення контакту.

Рисунок 1 – Прилади АСБ-01, АСБ-02 (а), інтерфейс програми (б) і розподіл локального тиску в контакті при терті в авіагасі ТС-1 (в)

Це досягнуто тим, що вісь хитання модельного підшипника перетинає вісь навантаження і вісь обертання модельного вала в його центрі мас. Крім того, в цих приладах реалізовано електромеханічне сканування контактних областей приймальними пристроями (отворами круглого або прямокутного січення у вигляді щілин), розташованими на контактній поверхні модельного підшипника. Сканування проводилося шляхом переміщення електроприводу модельного вала з контрольованою швидкістю шаговим двигуном. Розроблені і створені спеціальні АЦП, ЦАП і програма управління параметрами тертя забезпечують їх стабільність завдяки зворотним зв'язкам з відповідними датчиками. Інтерфейс програми дозволяє

реєструвати локальний тиск на зрізі приймального отвору, координати, швидкість сканування і інші параметри.

На всіх приладах встановлені додаткові електронні датчики тиску і розрідження для вимірювання локального тиску в зоні контакту модельного вала з поверхнею плоского модельного підшипника, оптичний датчик частоти обертів вала і датчик визначення споживання струму основного двигуна, механізм позиціонування на базі шагового двигуна.

Графічний інтерфейс у сукупності з програмними модулями математичної обробки експериментальних даних дозволили створити наочну, зручну і відносно просту автоматизовану систему реєстрації параметрів і управління режимами тертя ковзання (рис. 1, б). В якості основного модельного змащувального середовища використовувався авіаційний гас ТС-1 як прозоре, малов'язке середовище, котре виключає при терті ковзання на малих швидкостях (0,2...0,8 м /с) і малих навантаженнях (1...10 Н) виникнення режиму гідродинамічного безконтактного тертя. Також вивчалася поведінка змащувальних шарів різних рідин: гліцерин ХЧ, масла ВМ-6, ІПМ-10, МС-20, АМГ-10, дистильована вода, диалкілбензольне синтетичне масло та ін. Розроблені прилади та методики дозволяють візуально і прямими вимірами (рис. 1, в) вивчати динамічні процеси в граничних шарах.

Список використаних джерел:

1. Стельмах О.У. Компресійно-вакуумна складова сили тертя в умовах граничного змащування // Вісник НАУ. – 2008. – №4. – С. 50–57.

2. Стельмах А. У. Исследование динамических процессов в граничных слоях смазки на приборах трения с оптическим каналом съема информации / А. У. Стельмах, К. К. Бадир // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. пр. / НАН України, Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. – Київ, 2012. – Вип. 63. – С. 214–224.

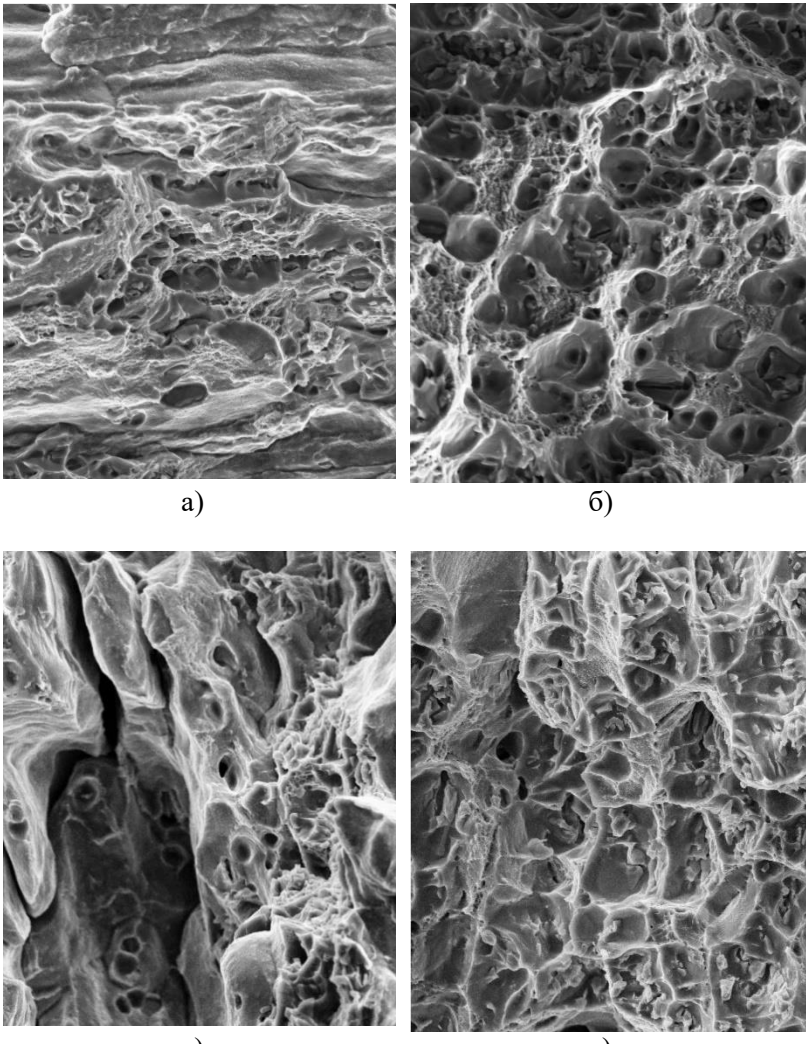
УДК 621.783.2
А. В. Уль, доктор техн. наук, професор
О. В. Мельник, канд. техн. наук, доцент
Волинський національний університет імені Лесі Українки
Ю. А. Мельник, канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет

ДО ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВІВ Al-Mg-Si

Незважаючи на те, що сплави Al-Mg-Si достатньо досліджені, по відношенню до окремих осадів вникає більше неясностей, ніж для сплавів AlCu. В механіці матеріалів недостатньо відомостей про параметри пове-дінки систем Al-Mg-Si, особливо під дією високих навантажень і під впливом температури. Також для законів матеріалознавства, які описують пла-стичну поведінку, включаючи процеси пошкодження під час пластичної деформації, існують лише перші теоретичні підходи щодо можливих критеріїв. Механчні властивості алюмінієвих сплавів (стійкість до пластичної деформації, пошкоджень і зламів) визначається їх мікроструктурою. До основних механізмів руйнування алюмінієвих сплавів відносять пластичне руйнування та тріщиноутворення. Природа утворення тріщин в алюмінієвих сплавах детально викладена ще в працях [1, 2]. Дослідження морфології та складу осадів алюмінієвих сплавів викладені в роботах [3–5] та ін.

Перед початком механічних та металографічних вишукувань зразки були термічно оброблені з метою досягнення зразками бажаних властивостей [6].

Частина зразків досліджуваного сплаву були піддані термообробці (штучно зістарені) при постійній температурі – 190°С з метою активації дифузних процесів. По мірі збільшення часу відпалу твердість зростала до тих пір, поки зразки не були витримані на протязі 2 годин, при цьому до-сягається максимальний показник твердості – 124 HV30, міцність на розтяг RB в цьому стані становить 362,4 Н/мм2. На поверхні зламу спостерігався інтеркристалічний злам з дрібними сотами (рис. 1, а).



а) б)

в) г)

Рисунок 1 – Мікрофотографії дослідних зразків після термообробки та механічних досліджень

В зразках, які піддавались термообробці протягом 21 год. твердість поступово зменшувалась і після 21-ї години термообробки досягається най-нижчий показник твердості, який

залишається незмінним. Під час випробувань на розтяг підтверджується факт, що розтягуючі зусилля значно зменшились і становлять 273,6 Н/мм^2. На рис. 1,б спостерігається транскристалічний сотовий злам.

За результатами ударних навантаженнях встановлено, що енергія, не-обхідна для руйнування зразка, становить 11,4 Дж. На поверхні прослідковується інтеркристалічний злам, рис. 3,в. Діаметри осадів становлять 2-2,5 мкм.

Порівнюючи поверхні зламів після 2-х та 22-х годин термообробки, мо-жна стверджувати, що для обох випадків стан зразків м'який.

На противагу до міцності, яка зменшується, для руйнування зразка сплаву необхідно більше енергії – 12,4 Дж. На рис. 1,г утворений транскристалічний сотовий злам. Осади крупніші, їх орієнтовний діаметр - 3,5-4 мкм.

Список використаних джерел:

1. V. Shyamu, T. Murali, M. Raju, S. Sapthagir, A. Venkateswarlu, IJIET, Vol. 5 Issue 4, 2015, pp. 132-141.

2. R. Di Sante, P. Cavaliere, G. L. Rossi, A. Squillace, Materials Science Forum. (2007).

3. G. T. Hahn, A. R. Rosenfield, Metallurgical Transactions: A (1975).

4. K. Tanaka, T. Mura, Metallurgical Transactions A. 1982.

5. T. Kobayashi, Materials Science and Engineering: A. 286. 8-16. (2000). DOI: https://doi.org/10.1016/S0921-5093(99)00649-8.

6. A. V. Uhl, O. V. Melnyk, Y. A. Melnyk, and L. V. Ilyin, Microphotogrammetric Approach in the Study of AlSiMg Alloys, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 43, No. 2: 255—271 (2021) (in Ukrainian)

УДК 621.891
С. П. Шимчук, канд. техн. наук, доцент
М. С. Півницький, аспірант
Луцький національний технічний університет

ЛАНЦЮГОВІ ПЕРЕДАЧІ В СУЧАСНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Ланцюгові передачі (ЛП) – це так звані передачі з гнучким зв'язком, які передають рух за допомогою ланцюга, що рухається по зубчатих колесах (зірочках) [1, 2]. Ці передачі можуть працювати при високих швидкостях та передавати значні навантаження (швидкість руху ланцюга у передачі досягає до 35м/с), маючи при цьому високий ККД.

Ланцюгові передачі поділяють на передачі з:

- втулковими ланцюгами;
- роликовими ланцюгами;
- фасонними ланцюгами.

За конструктивними особливостями та умовами експлуатації розрізняють відкриті й закриті ЛП, що працюють за умови сухого тертя та зі змащенням. Міжосьова відстань в ланцюгових передачах може бути постійною та регульованою (з періодичним та неперервним регулюванням натягу). Традиційно ці передачі використовують в автомобілебудуванні, сільськогосподарських машинах, машинах легкої промисловості, конвеєрах, підйомних пристроях гірничодобувної промисловості.

Ланцюгові передачі мають ряд переваг порівняно з іншими механічними передачами. Зокрема:

- можливість використання при значних міжосьових відстанях;
- високий ККД;
- можливість передачі руху одним ланцюгом кільком валам.

Недоліки ЛП пов'язані зі складністю виготовлення ланцюгів, збільшення довжини ланцюга при експлуатації, зношення робочих поверхонь ланок ланцюгів, динамічні явища, що пов'язані з нерівномірністю руху ланцюга (додаткові шуми), низька кінематична точність при реверсивному русі, потреба в додаткових пристроях для регулювання натягу [3].

Особливий інтерес для сільськогосподарського машинобудування, конвеєрів та підйомних пристроїв гірничодобувної промисловості становлять ланцюгові передачі з фасонними ланцюгами. Зазвичай ці ланцюги працюють за порівняно невеликих швидкостей руху та при значних навантаженнях. Ланки таких ланцюгів виготовляються зварюванням, що потребує додаткових технологічних операцій при виготовленні так і при можливому ремонті. Тому актуальною науково-прикладною задачею є створення ланцюгів без використання операцій зварювання, що і є об'єктом наших подальших досліджень.

При попередній побудові технологічного процесу виготовлення досліджуваної ЛП планується виготовляти зірочки зі сталі 45, як такої що має необхідну зносостійкість при заданих умовах тертя, а ланки ланцюга зі сталі 35 чи взаємозамінних сталей шляхом штампування. Використання таких матеріалів є економічно обґрунтовано, а запропонована «беззварна» конструкція ланок є технологічною, надійною, на багато дешевшою у виготовленні, порівняно з іншими конструкціями ланцюгів та ремонтопридатною.

Список використаних джерел:

1. Павлище В. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. Львів: Афіша, 2003. — 560 с.

2. Коновалюк Д.М., Ковальчук Р.М. Деталі машин: Підручник. – Вид. 2-ге. — К.: Кондор, 2004. — 584 с.

3. Романовский Б.В. Уточненный расчет на усталостную прочность пластин роликовых цепей / В сб. Механические передачи, НИИМАШ, М.: 1971.

УДК 621.1
О. М. Ярошевич, аспірант,
О. П. Шовкомуд, канд. техн. наук, доцент,
М. П. Ярошевич, докт. техн. наук, професор
Луцький національний технічний університет

ДИНАМІКА ПРИВОДА ВІБРАЦІЙНИХ МАШИНАХ З ПЛОСКИМИ КОЛИВАННЯМИ РОБОЧОГО ОРГАНУ

Проблема проходження зони резонасу несучої системи інерційним віброзбудником досить важлива для розвитку вібротехніки. В наш час вона достатньо добре вивчена. Зокрема, в роботах [1, 2] звертається увага на наявність в області ефекту Зоммерфельда повільних коливань віброзбудника. Практично важливим є те, що повільні коливання успішно використовуються для полегшення проходження збудниками зони резонансних частот несучого тіла. Проте у відомих дослідженнях виникнення повільних коливань розглядається лише на прикладах вібромашин з одним ступенем вільності несучого тіла. Дана робота присвячена подальшому розвитку результатів праць [2, 3].

Динамічна модель вібромашини прийнята у вигляді м'яко віброізольваного несучого твердого тіла, яке може здійснювати плоскі коливання. За привід використовується дебалансний віброзбудник, який приводиться в обертання від електродвигуна асинхронного типу.

Для дослідження руху дебалансного віброзбудника при «повільному» проходженні зони резонансу було використано підхід вібраційної механіки та метод прямого розділення рухів [1, 2]. Зазначимо, що розглядуваний режим «застрягання» швидкості обертання збудника при пуску вібромашини являє собою максимально навантажений режим її роботи.

Слідуючи даному методу, отримано рівняння повільних рухів у вигляді, наведеному в [1, 2] та знайдено формулу для вібраційного моменту (додаткового динамічного навантаження на електродвигун викликаного коливаннями несучої системи), яку подано у наступному вигляді

$$V(\omega) = -\frac{1}{2}\omega \sum_{q=x,y,\varphi} A_q^2 \, k_q^2 \, \beta_q \,,$$

де A_q – амплітуди зарезонансних коливань вібромашини; k_q – коефіцієнт динамічності; β_x – коефіцієнт в'язкого тертя підвіски несучого тіла; ω – частота «застрягання» віброзбудника.

Величина вібраційного моменту пропорційна квадрату динамічності, що свідчить про значне та досить стрімке зростання навантаження на електродвигун в області власних частот вібромашини, яке й призводить до виникнення ефекту Зоммерфельда.

Знайдено формулу для визначення частоти повільних коливань p_ψ віброзбудника в області ефекту Зоммерфельда; при цьому, рівняння швидких коливань ротора віброзбудника отримано у вигляді, наведеному у роботі [3].

Аналіз рівняння швидких коливань свідчить, що при встановленні стаціонарного режиму в області ефекту Зоммерфельда, буде мати місце чітко виражений перехідний процес, який являє собою згасаючі бігармонічні коливання швидкості віброзбудника з основною частотою p_ψ. Показано, що початкові амплітуди цих коливань є порівняно великими, а їх затухання відбувається досить повільно.

Результати виконаного комп'ютерного моделювання переконливо свідчать, що повільні коливання швидкості віброзбудника являють собою нестаціонарний процес в області ефекту Зоммерфельда (рис. 1).

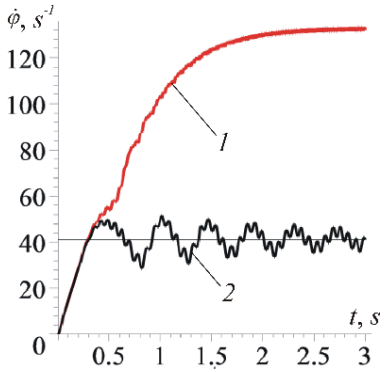


Рисунок 1 – Зміни частоти обертання віброзбудника: 1 – прохождення резонансної зони; 2 – «застрягання» швидкості

Встановлено, що для випадку, коли несуча система вібромашини має кілька ступенів вільності, рівняння повільних рухів та швидких коливань ротора дебалансного віброзбудника зберігає вигляд рівняння отриманого для найпростішої системи з одним ступенем вільності; змінюється лише формула для частоти повільних коливань, методика визначення якої залишається тією ж самою.

Показано, що при розбігу вібромашини у випадку виникнення ефекту Зоммерфельда, крім резонансного зростання амплітуди коливань вібромашини, збільшення величини гальмівного вібраційного моменту і, як наслідок, «застрягання» швидкості двигуна, збуджуються підвищені крутильні коливання пружно-демпфуючих елементів, які з'єднують ротори двигуна та збудника. Такі коливання є більш небезпечними, ніж ті, що виникають в момент пуску двигуна: за практично тих же максимальних амплітуд, їх тривалість може бути істотно більшою. Виконані дослідження сприятимуть вибору параметрів для алгоритмів керування проходженням зони резонансу вібраційними машинами з інерційними віброзбудниками.

Список використаних джерел:

1. Блехман И.И. Вибрационная механика / И. И. Блехман. – Москва: «ФИЗМАТЛИТ», 2018. 752 с.

2. Blekhman I.I., Indeitsev D.A., Fradkov A.L. Slow motions in systems with inertial excitation of vibrations. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2008. Vol. 37. Issue 1. P. 21-27.

3. Yaroshevich N., Yaroshevych O., Lyshuk V. (2021) Drive Dynamics of Vibratory Machines with Inertia Excitation. In: Balthazar J.M. (eds) Vibration Engineering and Technology of Machinery. Mechanisms and Machine Science, vol 95.

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

VII Міжнародної науково-технічної конференції

«Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування»

м. Луцьк, УКРАЇНА

25– 28 травня 2021 року

Комп'ютерний набір та верстка: О. Залета