

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Хмельницький національний університет  
Центральноукраїнський національний технічний університет,  
Приазовський державний технічний університет  
Національний технічний університет України "КПІ"  
Університет "Стефан чел Маре", м. Сучава, Румунія  
Технічний університет «Georghe Asachi», м. Яси, Румунія

## **МАТЕРІАЛИ**

### **VI-ої МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

#### **“ПРОБЛЕМИ ДОВГОВІЧНОСТІ МАТЕРІАЛІВ, ПОКРИТТІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ”**

13-15 вересня 2018 року

Частина 1

*Конференція приурочена до 70-річчя від  
дня народження професора В.І. Савуляка*

**ВНТУ, Вінниця, 2018**

УДК 621.891:621.791:669.1

*Відповідальні за випуск* **В. І. Савуляк, Д. В. Бакалець**

*Рецензенти:* **Козлов Л.Г.**, доктор технічних наук, професор  
**Севостьянов І.В.**, доктор технічних наук, професор

Матеріали VI-ої міжнародної конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій», 13 - 15 вересня 2018 року: збірник наукових праць. Частина 1 / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 101 с.

Збірник містить тези доповідей VI-ої міжнародної конференції за такими основними напрямками: способи і технологічні процеси ремонту транспортних засобів шляхом відновлення їх деталей; підвищення зносостійкості та ресурсу деталей, вузлів, агрегатів засобів транспорту в технологіях ремонту; методи управління ресурсом, надійністю і технічним станом засобів транспорту; забезпечення триботехнічних властивостей поверхонь тертя шляхом нанесення функціональних покриттів; прогнозування результатів контактної взаємодії твердих тіл в заданих умовах; матеріалознавчі аспекти процесів зварювання і споріднених технологій; неруйнівний контроль деталей, заготовок, матеріалів; розробка та вдосконалення обладнання для нанесення покриттів; технології нанесення та матеріалознавство функціональних покриттів.

Роботи публікуються в авторській редакції. Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність інформації, яка наведена в роботах, та залишає за собою право не погоджуватися з думками авторів на розглянуті питання.

**УДК 621.891:621.791:669.1**

© Вінницький національний технічний університет,  
укладання, оформлення, 2018

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ МОНОКРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ                    |    |
| Критська Т.В., Карпенко Г.В.....  | 7  |
| ЗМІЦНЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ РОЛИКІВ МАШИН БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАЗМА-МІГ ПРОЦЕСУ                   |    |
| Макаренко Н.О., Куліков В.П.....  | 9  |
| ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ З'ЄДНАННЯ ЗУБОК – КОРПУС ШАРОШКИ БУРОВОГО ДОЛОТА  |    |
| Кустов В. В., Вуйцік С.Д., Ленів І.Я.....   | 10 |
| СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОДНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ШАРІВ З ВИСОЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ СТІЙКІСТЮ                                  |    |
| Голуб Д.М., Авагян В.Ш., Пліс С.Г., Тігаренко В.І.....  | 11 |
| УДОСКОНАЛЕННЯ ЗВ'ЯЗУЮЧОГО ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ЕЛЕКТРОДІВ  |    |
| Власов А.Ф., Куцій Г.М., Кончич П.І., Гайворонський О.О.....  | 12 |
| ЩОЗМІННЕ ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЧНА НАДІЙНІСТЬ ЛЬОНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ                                  |    |
| Лімонт А.С.....   | 13 |
| АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ГАЗОРІДИННОГО СЕРЕДОВИЩА З ПОВЕРХНЕЮ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЇХ МИЙЦІ ПЕРЕД НАНЕСЕННЯМ ПОКРИТТІВ         |    |
| Гордєєв А.І., Старий А.Р.....   | 14 |
| ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЙОГО РЕЖИМІВ |    |
| Гайдамак О. Л., Савуляк В. І.....   | 16 |
| КРИТЕРІЇ ТРИБОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ДВЗ  |    |
| Диха О.В., Бабак О.П.....   | 17 |
| ПРОТИЗНОШУВАЛЬНІ ПРИСАДКИ В ЦИЛІНДРИЧНИХ ТРИБОСИСТЕМАХ КОВЗАННЯ МАШИН   |    |
| Диха О.В., Дитинюк В.О.....   | 18 |
| ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ СТАЛЕЙ БЕЗВОДНЕВИМ ІОННИМ АЗОТУВАННЯМ ПРИ ТЕРТІ КОЧЕННЯ                                      |    |
| Каплун П.В., Гончар В.А.....  | 21 |
| ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЗМУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В КУЗОВ СМІТТЄВОЗА                            |    |
| Березюк О.В.....  | 22 |
| АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ҐРУНТУ, ЯК ЕЛЕМЕНТА ТРИБОСИСТЕМИ «РОБОЧИЙ ОРГАН-ҐРУНТ»   |    |
| Дворук В.І., Борак К.В.....   | 25 |
| ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ НА ГАЗОВИХ ПІДВІСАХ З ПОЗДОВЖНИМИ КАНАВКАМИ                           |    |
| Федотов В.О., Савуляк В.І., Віштак І.В. ....  | 27 |
| ВПЛИВ ДОМШОК $CrV_2$ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ NiAl   |    |
| Українець М.С. ....   | 29 |
| ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ РУКАВА ВИСОКОГО ТИСКУ НА ЙОГО СТАТИЧНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ПОДАТЛИВОСТІ                                     |    |
| Дусанюк Ж.П., Дерібо О.В., Репінський С.В., Жарський А.О. ....  | 30 |
| КОМПОЗИЦІЙНИЙ ПОЛІМЕРНИЙ МАТЕРІАЛ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ   |    |
| Свідерський В. П., Кириченко Л. М. Константінова Т. Є., Даніленко І. А.....   | 31 |

|  |    |
|--|----|
| МЕТОДИ ВІБРОАКУСТИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ МАШИН   |    |
| Біліченко В.В., Борисюк Д.В. ....  | 34 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОКРИТТІВ, ЯКІ НАПЛАВЛЕНІ ПОРОШКОМ ПГ-10Н-01, МОДИФІКОВАНИМ КОМПОЗИЦІЙНИМ МАТЕРІАЛОМ СИНТЕЗОВАНИМ З ВИКОРИСТАННЯМ СВС-ПРОЦЕСУ |    |
| Лузан С.О., Сідашенко О.І., Лузан А.С. ....  | 36 |
| ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ  |    |
| Савуляк В.І., Виговський В.Е., Осокін В.А., Панібрацький В.О., Полункін Е.В., Солоненко В.І. ....  | 39 |
| ПІРОЛІЗНА УСТАНОВКА ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ  |    |
| Іскович-Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В., Турчик Д. В. ....  | 41 |
| ВІБРАЦІЙНИЙ КОНВЕЄР НА БАЗІ ГІДРОМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА  |    |
| Іскович-Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В., Козловський А. В. ....   | 42 |
| НАПРУЖЕННІТЬ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ГІДРАВЛІЧНИХ МАНІПУЛЯТОРІВ  |    |
| Петров О.В., Сухоруков С.І., Лозінський Д.О. ....  | 43 |
| СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ  |    |
| Шиліна О. П. ....  | 44 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ АЛЮМОТЕРМІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ КУВАЛЬНО - ПРЕСОВОГО ВИРОБНИЦТВА  |    |
| Рудь В.Д., Савюк І.В., Самчук Л.М. ....  | 46 |
| АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОМИСЛОВОГО ВІБРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОЦЕСУ СЕГРЕГАЦІЇ ПОРОШКОВИХ СУМІШЕЙ  |    |
| Рудь В.Д., Христинець Н.А. ....  | 47 |
| ОДНОСТОРОННЄ ВИСОКОШВИДКІСНЕ ЗВАРЮВАННЯ ТРУБ ДЛЯ ГАЗО-І НАФТОПРРОВІДНИХ МАГІСТРАЛЕЙ  |    |
| Щетинін С. В., Щетиніна В.І., Никитенко П.В., Коваль О.В., Елсаєд Халед. ....  | 49 |
| МЕХАНІЗМ ПІДВИЩЕННЯ ТРИЦІНОСТІЙКОСТІ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ НАПЛАВЛЕННІ НА НИЗЬКІЙ ПОГОННІЙ ЕНЕРГІЇ   |    |
| Щетинін С. В., Щетиніна В.І., Никитенко П.В., Коваль О.В., Елсаєд Халед. ....  | 50 |
| РЕМОНТ И МОДЕРНИЗАЦІЯ МЕХАНІЗМОВ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕННЯ   |    |
| Зусин А.М., Кисляк В.Г. ....   | 51 |
| ОПТИМІЗАЦІЯ ШИХТЫ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ НАПЛАВКИ ЖАРОПРЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ   |    |
| Зусин В.Я., Бодягин В.С., ....   | 53 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ЭЛЕКТРОДНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ  |    |
| Чигарев В.В., Белик А.Г. ....  | 54 |
| СБОРНЫЕ ШНЕКИ С ВСТАВНЫМИ ВИНТОВЫМИ КРОМКАМИ И ПЛАСТИНАМИ  |    |
| Севостьянов И.В. ....  | 55 |
| СТРУКТУРА ТА ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ШЛІФУВАЛЬНИХ ВІДХОДІВ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ  |    |
| Роїк Т. А., Олійник В. Г., Віцюк Ю. Ю. ....  | 56 |
| ОБОСНОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ПРИРАБОТКИ ТРИБОСИСТЕМ   |    |
| Войтов В.А., Бекиров А.Ш., Войтов А.В. ....  | 57 |
| ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ НАНОПЛЕНОК НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТРЕНИЯ ТРИБОСИСТЕМ   |    |
| Кравцов А.Г. ....  | 58 |
| ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАЛІКІВ ПРИ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ ПІД ФЛЮСОМ В ПОПЕРЕЧНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ   |    |
| Размишляев О.Д., Агеева М.В. ....  | 59 |

|  |    |
|--|----|
| ВПЛИВ ГЛИБИНИ РІЗАННЯ НА ОПТИМАЛЬНІ ЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ   |    |
| Дусанюк Ж.П., Дерібо О.В., Репінський С.В., Бойко М. Є.....  | 60 |
| КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОНСИСТЕНТНІ МАСТИЛА З ПІДВИЩЕНИМИ ТРИБОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ                                  |    |
| Ранський А. П., Гордієнко О. А., Худоярова О. С., Крикливий Р. Д., Іванівська В. М.....                                    | 61 |
| УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ С ПОМОЩЬЮ ВЕРОЯТНОСТНО ОБОСНОВАННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗАПАСА  |    |
| Алфёров А.И.....   | 62 |
| ЗНОСОСТІЙКІ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВІ ПОКРИТТЯ З МАРТЕНСИТНО - АУСТЕНІТНОЮ СТРУКТУРОЮ  |    |
| Шенфельд В.Й.....  | 64 |
| ВПЛИВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ЗАЛИШКОВИЙ РЕСУРС ЦИКЛІЧНО НАВАНТАЖЕНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ                                   |    |
| Поліщук Л. К.....  | 67 |
| ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДСИЛЕННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ, ОТРИМАНИХ ГНУТТЯМ   |    |
| Савуляк В.В.....   | 68 |
| СФЕРИЧНІ НАНОРОЗМІРНІ КАРБОНОВІ КЛАСТЕРИ – НОВІТНІ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНІ ПРИСАДКИ ДО СУЧАСНИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ                   |    |
| Полункін Є.В., Гайдай О.О., Березницький Я.О. ....   | 70 |
| ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА НАПРУЖЕНО ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН РІЗЦЯ ДЛЯ ДОЛІТ ТИПУ PDC                                       |    |
| Роп'як Л.Я., Пригородська Т.О.....   | 72 |
| ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПІД ЧАС МОКРОГО НАПЛАВЛЕННЯ   |    |
| Бакалець Д.В., Щербаков О.В.....   | 74 |
| ПРО МОЖЛИВОСТІ ЗМЕНШЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ГІДРОПРИВОДІ МАНІПУЛЯТОРА МОБІЛЬНОЇ МАШИНИ                               |    |
| Козлов Л.Г.....  | 76 |
| ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СХЕМИ ФОРМУВАННЯ СИЛИ ТЕРТЯ ЕЛАСТИЧНИМ ЕЛЕМЕНТОМ ПІД ВПЛИВОМ ТИСКУ РІДИНИ           |    |
| Савуляк В.І., Пурдик В. П.....   | 77 |
| ПОКРАЩЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАСТИЛ З ДОДАВАННЯМ НАНОПОРОШКІВ  |    |
| Савуляк В.І., Пушкар М.В.....  | 79 |
| СФЕРИЧНІ ПОЛІШАРУВАТІ НАНОРОЗМІРНІ КАРБОНОВІ КЛАСТЕРИ –НОВІТНІ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНІ ПРИСАДКИ ДО ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ |    |
| Є. В. Полункін, О.О. Гайдай, Я.О. Березницький, В. С. Пилявский, Є.В. Шелудько, Т. М. Каменева.....                        | 80 |
| ПОРІВНЯННЯ СПОСОБІВ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПІДКЛАДОК   |    |
| Фуштей М. В., Савуляк В. І.....  | 84 |
| ВИКОРИСТАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТІВ ДЛЯ ПРЕС-ФОРМ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ВІДХОДІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ                   |    |
| Луцик В.Л., аспірант.....  | 85 |
| НЕПЕРЕРВНО-ДИСКРЕТНІ ГРАНИЧНІ ЗАДАЧІ В КОНЦЕПЦІЯХ ПОБУДОВИ ЛИВАРНИХ РОТОРНО-КОНВЕЄРНИХ ЛІНІЙ                               |    |
| Дорошенко В.С., Кравченко В.П., Янченко О. Б.....  | 86 |
| ПРО СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ ДЛЯ НЕВЕЛИКИХ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ   |    |
| Дорошенко В.С., Янченко О. Б.....  | 87 |

|  |    |
|--|----|
| ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ІЗОТЕРМІЧНО ЗАГАРТОВАНОГО ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ                          |    |
| Дорошенко В.С., Янченко О. Б.....  | 90 |
| РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ БРОНЬОВОЇ ПЕРЕШКОДИ ДЛЯ ЛИТТЯ З БЕЙНІТНОГО ЧАВУНУ У ЛИВАРНИХ ФОРМАХ З СИПКОГО ПІСКУ                   |    |
| Дорошенко В.С., Янченко О. Б.....  | 92 |
| ОЦІНКА МІЦНОСТІ ДВОШАРОВОЇ КОЛОНИ: БЕТОН – БЕТОН З ПОЛІМЕРНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ З УРАХУВАННЯМ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ МІЖ ШАРАМИ |    |
| Малишевська О. С., Величкович А. С.....  | 94 |
| ВПЛИВ ЦИКЛІЧНОГО ІМПУЛЬСНОГО СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА КРИСТАЛІЗАЦІЮ, СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ЛИТИХ ЗАГОТОВОК               |    |
| Янченко О.Б., Коц І.В.....   | 95 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВУГЛЕЦЬ-АЛЮМІНІЄВИХ КОМПОЗИТІВ АДАПТАЦІЙНОГО ТИПУ                                 |    |
| Скачков В.О., Іванов В.І., Нестеренко Т.М., Карпенко Г.В.....  | 97 |
| ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ НАВУГЛЕЦЮВАННЯ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ                                 |    |
| В.І. Савуляк, А.А. Осадчук.....  | 99 |

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ МОНОКРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ**

Критська Т.В., д.т.н., проф., Карпенко Г.В., к.т.н.

Вуглецеві матеріали в якості теплоізоляції теплових вузлів, при проведенні високотемпературних процесів, використовуються за необхідності стійкої підтримки температури і забезпечення високої чистоти продукту, що виробляється. Використання вуглецевих композиційних матеріалів (ВКМ), що мають низьку теплоємність, в електровакуумному устаткуванні, дозволяє різко збільшити його продуктивність (за рахунок скорочення часу на нагрів і охолодження), збільшити робочий простір камер установок (за рахунок зменшення об'єму теплоізоляції). Досить ефективно використання ВКМ в техніці високих температур, у тому числі, для екранування деталей оснащення теплових вузлів і пристроїв, робочим середовищем яких є інертні гази або водень.

Останніми роками досить широке застосування ВКМ знайшли в конструкціях теплових вузлів установок для отримання монокристалів напівпровідникових (Si, Ge, GaAs, InSb) і діелектричних матеріалів.

Сучасна установка для вирощування монокристалів кремнію по методу Чохральського є складним комплексом технічних засобів, який складається з камери з механізмами обертання і переміщення верхнього і нижнього штоків, вакуумного агрегату, системи електроживлення, блоку очищення, подання і регулювання витрати інертного газу, блоку водяного охолодження і системи автоматичного управління процесом.

Тепловий вузол включає підставку під кварцовий тигель, нагрівач, систему екранів. Конструкція теплового вузла практично визначає температурно - тимчасові параметри процесу кристалізації, макро- і мікроструктуру вирощуваного монокристала, характер розподілу в нім легуючих елементів і фонових домішок.

Тепловий вузол установки вирощування повинен забезпечувати істотне зменшення втрат тепла, що виділяється нагрівачем, не допускати перегрівання поверхонь водоохолоджуваних стінок камери, а також створювати певні температурні градієнти в зоні зростання кристала з розплаву з метою набуття заданих властивостей вирощуваних монокристалів. Особливістю конструкції теплового вузла є точність виготовлення і монтажу його елементів, дотримання співвісної (вісесиметричності) розташування елементів відносно зростаючого монокристала, у тому числі системи теплових екранів і елементів, які активно впливають на градієнти температури в розплаві і зростаючому кристалі. Із зростанням габаритів установок і маси зростаючих монокристалів, створення великогабаритних елементів теплоізоляції з щільного дрібнопористого графіту високої міри чистоти є складним технічним завданням. Також зростають вимоги до зниження маси елементів теплового вузла, у зв'язку із складнощами їх установки в камері і необхідністю використання механізмів. Існуючі екранування умовно можна підрозділити на два типи: відкриті і закриті. Вибір екранування і її особливості диктуються залежністю якості отримуваних монокристалів від умов вирощування і економічними міркуваннями. При вирощуванні монокристалів з відкритим екрануванням в зоні кристалізації створюються більш високі температурні градієнти, ніж при вирощуванні в закритій системі.

Бічне екранування, як правило, складається з першого, ближнього до нагрівача, графітового екрану, за яким розташовуються ще два або три графітові або молібденові екрани. В деяких випадках для цих цілей використали екрани із спеченого кварцу, проте для великогабаритних теплових вузлів (діаметр тигля більше 400 мм) такі екрани виявилися громіздкими і неефективними.

У зв'язку з розробкою нових видів високотемпературних ВКМ стало можливим створення екранування нової конструкції зручної в експлуатації. На перший екран намотуються декілька шарів вуглеграфітової тканини або повсті, що мають високі теплоізоляційні властивості. Донна частина екранування складається з декількох графітових екранів, на яких розташовується низькощільний ВКМ (або графітована повсть), який у разі розливання розплаву кремнію захищає від прогорання піддон камери печі. На верхньому торці бічних екранів розташовують, у разі потреби, плоский (чи іншої форми) стельовий екран з ВКМ.

Схематично конструкція теплового вузла установки вирощування монокристалів типу "Редмет - 30" приведена на рисунку 1.

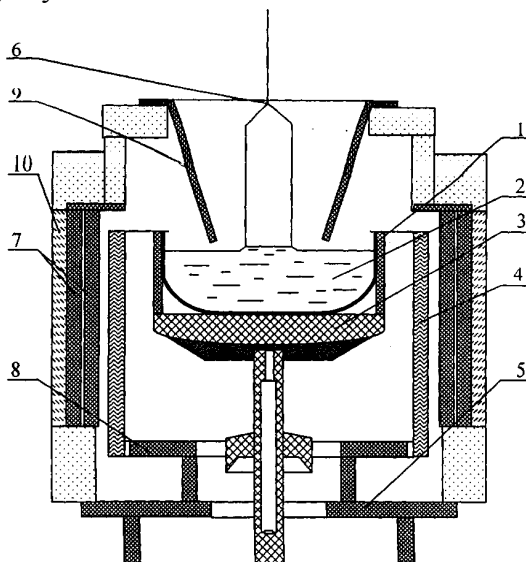


Рисунок 1 - Схема теплового вузла установки Редмет – 30

1 - кварцовий тигель; 2 - розплав кремнію; 3 - підставка під тигель з низькощільного ВКМ; 4 - нагрівач; 5 - нижній теплоізоляційний екран; 6 - вирощуваний монокристал; 7 - бічні теплоізоляційні екрани з низькощільних ВКМ; 8 - додатковий теплоізоляційний екран; 9 - конічний екран; 10 - додатковий бічний теплоізоляційний екран.

В тепловому вузлі з низькощільного ВКМ виконані бічні циліндричні і плоскі теплоізоляційні екрани, а також екрани для захисту піддону установок вирощування монокристалів кремнію по методу Чохральського. Теплові вузли з елементами теплозахисту з низькощільних ВКМ використовувалися при виробництві монокристалів кремнію для мікроелектроніки і фотоелектричних перетворювачів. Використані ВКМ містять домішки бору, алюмінію, заліза, хрому, марганцю, міді, титану з концентрацією  $3 \cdot 10^{-4} \dots 7 \cdot 10^{-6} \%$  мас, що задовольняє вимогам технології напівпровідникового монокристалічного кремнію.

Виготовлено елементи теплових вузлів для вирощування кремнію й германію напівпровідникової чистоти, що дозволяють одержувати досконалі кристали, знизити рівень забруднення домішками металів і зменшити витрати дорогих теплоізоляційних матеріалів на основі вольфраму, молібдену та графіту особливої чистоти.

Отримані низькощільні вуглецеві композиційні матеріали пройшли випробування при виготовленні й експлуатації теплових вузлів на ВАТ «Завод напівпровідників» (м. Запоріжжя), що показало ефективність використання низькощільних вуглецевих композиційних матеріалів при одержанні монокристалів кремнію для мікроелектроніки.

Використання термоізоляції з розробленого низькощільного вуглецевого композиційного матеріалу при експлуатації електровакуумних печей з робочою температурою від 1000 до 2500 °С дозволило знизити енергоспоживання в межах 40...50 %, збільшити ресурс роботи теплоізоляції на 30...50 %, підвищити ремонтпридатність, знизити



витрати на підготовку до роботи. Встановлені результати підтверджені при експлуатації установок для вирощування монокристалів кремнію «Редмет – 15», «Редмет – 30».

*Критська Тетяна Володимирівна* - д.т.н., проф., завідувач кафедри електронних систем, Запорізька державна інженерна академія

*Карпенко Ганна Володимирівна* – к.т.н., завідувач аспірантурою, Запорізька державна інженерна академія.

УДК 621.791

## **ЗМІЦНЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ РОЛИКІВ МАШИН БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАЗМА-МІГ ПРОЦЕСУ**

Макаренко Н.О., д.т.н., проф.; Куліков В.П., д.т.н., проф.

Ролики машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) виготовляються з теплостійких сталей (у вітчизняній практиці це зазвичай сталь 25Х1М1Ф, а за кордоном частіше застосовують сталі 42CrMo4, 25CrMo4, 16CrMo44, 21CrMoV511, DIN EN 10083).

Однак, температура нагріву, яку сприймає поверхня ролика в процесі контакту з деформуємою заготовкою, перевищує допустиму для цих сталей, в зв'язку з чим застосовується наплавлення поверхні жаростійкими сталями. На металургійних заводах України та пострадянського простору як матеріал для наплавлення найчастіше використовуються порошкові дроти ПП-Нп15Х13 або ПП-Нп20Х17 (згідно ГОСТ 26101-80).

На Новокраматорському машинобудівному заводі при виготовленні експериментального сегменту зони правки МБЛЗ було застосовано дріт ПП-Нп20Х17. Однак, стійкість роликів при цьому склала всього 150 тис. тонн прокатаного металу (до допустимого зносу роликів) і близько трьох місяців роботи сегменту, що не відповідає вимогам експлуатації МБЛЗ, міжремонт-ний цикл яких складає близько року.

У зв'язку з цим для наплавлення були застосовані дроти додатково ле-говані елементами, що підвищують жаростійкість наплавленого металу. До них відносяться нікель, молібден, ванадій, ніобій.

Досліджувався метал, наплавлений порошковими дротами «WLDC-3» (Великобританія), «TUBRODUR 15, 73» (Швеція), ПП-Нп15Х13, ПП-Нп20Х17, ПП-Нп15Х14ГН2М1ФБ (Україна).

Критичний аналіз матеріалів для наплавлення, що застосовуються при зміцненні і відновленні роликів машин безперервного лиття заготовок пока-зав перевагу наплавлення жароміцних сплавів плазма-МІГ методом. Розроб-лено порошковий дріт з урахуванням особливостей даного процесу. Встано-влено, що введення до складу шихти порошкового дроту  $\text{Ca}(\text{BF}_4)_2$  забезпе-чує зниження у наплавленому металі вмісту сірки і кисню. Встановлено оп-тимальний вміст  $\text{Ca}(\text{BF}_4)_2$ , що забезпечує стабільне протікання процесу на-плавлення без застосування додаткових заходів щодо його стабілізації. Крім того, доведено, що дрібнокрапельне перенесення електродного металу в да-ному процесі є переважним. Наведено дані про вплив вмісту Zr і Ti у наплав-леному металі на подрібнення зерна. Встановлено оптимальні режими на-плавлення.

Макаренко Наталія Олексіївна – д.т.н., проф., завідувач кафедри «Об-ладнання і технологій зварювального виробництва», Донбаська державна машинобудівна академія  
Куліков Валерій Петрович – д.т.н., проф., завідувач кафедри «ОІТЗВ», Білоруський університет

## ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ З'ЄДНАННЯ ЗУБОК – КОРПУС ШАРОШКИ БУРОВОГО ДОЛОТА

Кустов В. В., к.т.н, доц., Вуйцік С.Д., асистент., Ленів І.Я., аспірант

Ефективність бурових робіт у значній мірі залежить від роботоздатності породоруйнівного інструменту, який використовують для руйнування гірських порід. Серед останніх широке застосування отримав спосіб обертowego буріння шарошковими долотами. За допомогою цих доліт виконують до 90 % об'ємів буріння. Основним робочим елементом таких інструментів є шарошки, які оснащені зубчастим озброєнням, виконаним у вигляді суцільних, виготовлених за одно із корпусом шарошки, зубців, або у вигляді вставних зубців із різних зносостійких матеріалів. У роботі ми дослідили шарошкові долота, спорядженні твердосплавними зубками. Використання цих зубків дозволяє суттєво підвищити продуктивність бурових доліт під час буріння свердловин на нафту і газ, під час геологорозвідуваного буріння, а також при виконанні різних видів прохідницьких робіт у гірничо-видобувній промисловості.

Не достатньо висока довговічність шарошок із вставними зубками знижує економічну ефективність їх використання внаслідок того, що під час буріння поряд із руйнуванням гірських порід проходить зношування бурильного інструменту, і насамперед його озброєння. Під час контакту із гірською породою озброєння долота, яке виконане у вигляді зубків, спрацьовується, що призводить до зміни первинних геометричних параметрів зубків, збільшення їх площі контактування із вибоєм свердловини і зниження питомого навантаження на гірську породу. Вказані фактори спричиняють зменшення швидкості буріння, і тим самим призводять до зниження його продуктивності. До того ж, спрацьовування зубців призводить до виникнення в них значних деформацій, які, в свою чергу спричиняють їх руйнування. Крім того до виникнення поломок зубків призводять також втомні тріщини, які утворюються внаслідок багато чисельних ударів зазначених зубців по гірській породі під час буріння. Мікротріщини, як показує практика, виникають у зоні контакту тіла зубка із цементованим шаром отвору в корпусі шарошки, в яку запресовані зубки. Встановлено, що сколи і поломки зубків проходять у площині зовнішньої крайки отворів шарошки, які виступають контрацентраторами напружень.

Існуючі методи холодного і гарячого пресування з гарантованим натягом, пайка, вібропресування не завжди забезпечують можливість отримати ефект підвищення довговічності долота. Тому в роботі поставлено задачу розробити конструкцію кріплення зубка, яка б дозволила підвищити стійкість озброєння шарошkových доліт, а значить і їх довговічність у порівнянні із серійно виготовленим озброєнням.

Вирішення зазначеної проблеми може бути, на нашу думку виконано двома способами. Суть першого з них заключається в тому, що поверхню корпусу шарошки в зоні кромки отвору під зубок не цементують. У другому способі запропоновано зменшити величину натягу на глибину цементованого шару корпусу шарошки. Останній спосіб було використано в даній роботі для вирішення поставленого завдання. Для цього було сконструйовано зубок, в якому верхня частина має конічну форму бокової поверхні на відміну від стандартних, де вона циліндрична. Ця конічна частина зубка виконується із кутом нахилу твірної від 5' 30" до 45' 00". Глибина запресування конічної частини зубка в корпус шарошки становить від 3 мм до 6 мм. Зазначені граничні величини кутових і лінійних параметрів забезпечують отримання у з'єднанні по периметру крайки отвору натягу, при якому вплив крайки отвору на концентрацію напружень буде зменшено, що забезпечить зростання довговічності роботи зубків та шарошки в цілому.

Зменшення величини натягу біля кромки отвору при запресуванні зубка знімає вплив крайки, як концентратора напружень, а запресування конічної частина зубка, яка обхоплюється більш пластичним матеріалом тіла шарошки, утворює своєрідний «замок». Завдяки цьому підвищуються довговічність озброєння долота.

*Кустов Віктор Володимирович* – к.т.н., доцент кафедри комп'ютеризованого машинобудування, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

*Вуйцік Сергій Дмитрович* – асистент кафедри комп'ютеризованого машинобудування, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

*Ленів Ігор Ярославович* – аспірант кафедри комп'ютеризованого машинобудування, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

УДК 621.791

## **СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОДНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ШАРІВ З ВИСОЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ СТІЙКІСТЮ**

Голуб Д.М., к.т.н., ст. викл., Авагян В.Ш., д.т.н., проф., Пліс С.Г., ст. викл., Тітаренко В.І., здобувач

Електроди для зносостійкого наплавлення створюють на деталях шар з підвищеними механічними властивостями. За рахунок їх використання можна:

- привести виріб у первісний вигляд;
- повернути йому геометричні розміри;
- надати додаткові цінні якості робочої поверхні;
- збільшити експлуатаційну стійкість.

Залежно від умов роботи деталей та легуючої системи наплавленого металу наплавочні електроди поділяються умовно на такі групи:

Перша група, забезпечує отримання низьковуглецевого, низьколегованого наплавленого металу стійкого до ударних навантажень в умовах тертя.

Друга група забезпечує отримання низьколегованого середньовуглецевого наплавленого металу стійкого до ударних навантажень в умовах тертя при нормальних і підвищених температурах експлуатації (до 600-650 °С).

Третя група електродів, забезпечує отримання легованого або високолегованого вуглецевого наплавленого металу стійкого до ударних навантажень в умовах абразивного тертя.

Четверта група електродів забезпечує отримання високолегованого вуглецевого наплавленого металу стійкого до великих тисків і високих температур експлуатації (до 600-900 °С).

П'ята група електродів забезпечує отримання аустенітного високолегованого наплавленого металу стійкого до ерозійно-корозійного зношування і тертя при підвищених температурах експлуатації (до 550-600 °С).

Шоста група електродів, забезпечує отримання високолегованого дисперснозміцненого наплавленого металу стійкого до важких температурно-деформаційних умов (до 900-1100 °С).

Наприклад, для нелегованих сталей використовують марки UTP 690 і ESAB ОК 84.42. Для виробів з твёрдосплавних сталей, що піддаються абразивному і ударному зношенню, можна використовувати Nilco Hardmelt 600, UTP PUR 600, ESAB ОК 83.53.

ЦС-2 – марка залізо-хромистих електродів, литий твёрдий сплав типу сормайт. Можна використовувати для ремонту загартованих деталей.

ОЗШ-6 - застосовуються при роботі з металургійним, верстатним устаткуванням, що експлуатується при термічній втомі 950 °С. Твердість наплавленого шару 52-50 HRC.

Електроди УТР 7000 підходять для зносостійкого наплавлення поверхонь інструментів, що піддаються тепловому навантаженню, типу кувальних штампів, прокатних валків та інш.

Голуб Денис Михайлович - к.т.н., ст. викл. кафедри обладнання і технологій зварювального виробництва, Донбаська державна машинобудівна академія.

Авагян Вардан Шаваршевич – член ради директорів Інституту синхротронних досліджень "Кендл", м Єреван, Вірменія.

Пліс Сергій Григорович – ст. викл. кафедри обладнання і технологій зварювального виробництва, Донбаська державна машинобудівна академія.

Тітаренко Віталій Ігорович - здобувач кафедри обладнання і технологій зварювального виробництва, Донбаська державна машинобудівна академія.

УДК 621.791

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ЗВ'ЯЗУЮЧОГО ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ЕЛЕКТРОДІВ**

Власов А.Ф., д.т.н., професор, Кущій Г.М., к.т.н., ст. викл, Кончич П.І., студент,  
Гайворонський О.О., студент

В даний час для зварювання низьколегованих сталей, а також сталей і сплавів, що містять елементи з великою спорідненістю до кисню, застосовуються електроди з різного типу безокичним покриттям. Одна з вимог, що пред'являються до таких електродів, полягає в більш повному обмеженні в складі покриття вмісту елементів, які є джерелом виділення кисню в умовах зварювання. Використання в якості зв'язуючого рідкого скла призводить до окиснення легуючих елементів з великою спорідненістю до кисню, що є розкиснювачами для SiO<sub>2</sub> (у вигляді сухого залишку рідкого скла), відновленню з покриття кремнію з його переходом в наплавлений метал, а також забруднення металу оксидами легуючих елементів. Досліджено можливість застосування алюмінату натрію в якості зв'язуючого в покритті високопродуктивних електродів на основі екзотермічної суміші (окалина + алюмінієвий порошок). Як показують результати досліджень, вимогам стійкості відповідають розчини алюмінату натрію, густина яких змінюється в діапазоні 1,53...1,60 г/см<sup>3</sup>. Вимірювання електропровідності, показника заломлення, в'язкості, а також аналіз рентгенографічного визначення фазового складу випарених алюмініатів дозволяють стверджувати, що при утриманні в розчині 21,83% Na<sub>2</sub>O для значень каустичного модуля  $\alpha_k = 1,34...1,60$  відбувається зміна структури алюмінату при збільшенні густини останнього, починаючи зі значення 1,53 г/см<sup>3</sup>. Наявність високого тиску при опресовуванні сприяє виникненню реакцій між алюмінатом натрію і активними, по відношенню до зв'язуючого, компонентами шихти, що часто призводить до розігріву і засихання обмазувальної маси в голівці преса. Для усунення зазначених недоліків в алюмінаті розчиняли крохмаль. Результати перевірки дослідних партій електродів різних типів показали наступне: якість опресування - задовільна, покриття електродів після випробування по ГОСТу не мали порушень суцільності. Дослідження, проведені в напрямку зменшення відношення окалини до алюмінієвого порошку, підвищення вмісту феросплавів в покритті електродів, дозволили отримати кращі результати. Так, при відношенні окалини до алюмінієвого порошку, рівному 3:1, коефіцієнт

наплавлення становив 10,5...11,5 г/А-год при задовільних зварювально-технологічних властивостях досліджуваних складів електродів.

*Власов Анатолій Федорович* – д.т.н., професор кафедри «ОіТЗВ», ДДМА  
*Куцїй Ганна Михайлівна* – к.т.н., ст. викл. кафедри «ОіТЗВ», ДДМА  
*Кончич Павло Ігорович* – студент кафедри «ОіТЗВ», ДДМА  
*Гайворонський Олександр Олегович* – студент кафедри «ОіТЗВ», ДДМА

УДК 62-192:633.521:631.172

## **ЩОЗМІННЕ ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЧНА НАДІЙНІСТЬ ЛЬОНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ**

Лімонт А.С., к. т. н., доц.

Забезпечення технічного ресурсу і довговічності машин залежить від визначених режимів управління технічним станом засобів механізації виробництва та їх надійності. В питаннях управління технічним станом машин важливе місце займає визначення затрат часу на виконання відповідних технічних обслуговувань. Таке ж стосується і щозмінного технічного обслуговування (ЩТО) льонозбиральних комбайнів (ЛЗК), що може впливати на надійність останніх.

Мета дослідження полягала у з'ясуванні впливу і напряду впливу на технологічну надійність ЛЗК, яку оцінювали коефіцієнтом технологічної надійності ЛЗК, наробітком впродовж зміни на їх технологічні відмови та числом технологічних відмов комбайна за годину змінного часу роботи ЛЗК. Технологічні відмови комбайнів викликаються забиванням стеблами бральних секцій, поперечного транспортера, входу і виходу затискного конвеєра та транспортера вороху. Вибрані стебла можуть затримуватися і нагромаджуватися на розстильному щиту, порушуючи утворення стрічки розстелюваної соломи. Рослинні рештки напресовуються на зуби гребенів очісувального барабана, а стебла намотуються на гребені, спричинюючи порушення якості очісування коробочок і їх транспортування лопатями та викликаючи підвищену витрату потужності на технологічний процес. Означене спричинює підвищений відхід стебел в плутанину, що, крім іншого, викликає збільшений їх вміст у воросі та супроводжується нераціональною витратою дизельного палива, електроенергії і теплоти при його сушінні та переробці. Стебла намотуються і на інші обертальні деталі. Для уникнення забивань робочих органів при використанні ЛЗК періодично зупиняють машинний агрегат і очищають робочі органи від часток технологічних матеріалів та інших рослинних решток. Зупинки агрегату характеризують час настання технологічної відмови, а тривалість очищення робочих органів – визначає витрату часу на усунення технологічної відмови.

Для одержання вихідних даних щодо оцінювання технологічної надійності ЛЗК здійснені хронометражні спостереження за використанням льонозбиральних комбайнових агрегатів. Опрацювання одержаних експериментальних даних здійснені з використанням дисперсійного і кореляційно-регресійного аналізів та стандартних комп'ютерних програм. За результатами дисперсійного аналізу щодо з'ясування впливу тривалості ЩТО ЛЗК на коефіцієнт технологічної надійності ЛЗК та наробіток на технологічні відмови комбайнів впродовж зміни і число відмов за годину змінного часу визначено, що цей вплив доведений на рівнях ймовірності відповідно 0,90 та 0,95 і 0,75. Додатні значення коефіцієнтів кореляції, які характеризують кореляційний зв'язок коефіцієнта технологічної надійності ЛЗК і їх наробітку на технологічні відмови впродовж зміни, свідчать, що досліджувані результативні ознаки зростають із збільшенням тривалості ЩТО ЛЗК. Від'ємний коефіцієнт кореляції між числом технологічних відмов ЛЗК за годину змінного часу і тривалістю їх ЩТО є ознакою зменшення числа відмов із збільшенням тривалості ЩТО ЛЗК.

Знайдені рівняння прямолінійної регресії з додатними кутовими коефіцієнтами коефіцієнта технологічної надійності ЛЗК і наробітку впродовж зміни на їх технологічні відмови залежно від тривалості ЩТО ЛЗК. Із збільшенням цієї тривалості число технологічних відмов ЛЗК за годину змінного часу зменшується за експоненціальною залежністю.

Продуктивність ЛЗК за годину змінного часу інтенсивно підвищується із збільшенням тривалості ЩТО ЛЗК до 25 хв, а з подальшим збільшенням цієї тривалості інтенсивність підвищення продуктивності значно уповільнюється.

*Лімонт Анатолій Станіславович* – к. т. н., доц., доцент кафедри агроінженерії, Житомирський агротехнічний коледж.

УДК 621.1

## **АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ГАЗОРІДИННОГО СЕРЕДОВИЩА З ПОВЕРХНЕЮ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЇХ МИЙЦІ ПЕРЕД НАНЕСЕННЯМ ПОКРИТТІВ**

Гордєєв А.І. д.т.н., проф., Старий А.Р., аспірант

Вібраційні поля дозволяють успішно здійснювати не тільки оздоблювально-зачисну та зміцнювальну операції, але і такі операції, як: сепарація, перемішування, вібраційне транспортування за важких експлуатаційних умов, гомогенізація, фільтрування, сушіння, насичення середовища певними речовинами, очищення та мийку поверхонь та ряд інших процесів. Це обумовлює ефективність застосування вібраційних технологій.

Створення вібраційного обладнання з пульсуючим робочим тілом на основі гідропульсатора [1], у якому робоче тіло виступає як інструмент, стримується недостатністю теоретичних та експериментальних досліджень в цій області. Цим зумовлюється актуальність роботи. Як показали раніше виконані дослідження динамічних явищ у рідинних середовищах [2], підданих керованим вібраційним впливам, що вони можуть бути успішно використані для інтенсифікації зазначених процесів. Цілеспрямоване використання вібраційних впливів як основного провідного фактора є перспективним напрямком у вібраційній технології, пов'язаній з мийкою поверхонь деталей перед нанесенням захисних покриттів.

Аналіз способів мийки та обладнання, яке реалізує ці способи, свідчить про велике їх різноманіття. Усі вони мають свої переваги та недоліки. Вибір конкретного способу мийки обумовлюється в залежності від виду та властивостей забруднень, від вимог, що ставляться щодо чистоти виробів, умов та типу виробництва, а також з урахуванням економічних чинників. Для створення газорідинного потоку запропоновано використовувати гідродинамічну кавітацію, що виникає при зворотно-поступальному руху рідини через насадок із гострими крайками на вході, при якому виділяється газ, розчинений у рідині [1].

Мийка поверхні деталей, внутрішніх порожнин вузлів, агрегатів й систем являє собою сукупність складних фізико-хімічних й механічних процесів, ефективність яких залежить від властивостей миючого середовища, розміру й властивостей часток забруднень, технологічних режимів мийки, конструктивних особливостей деталей, що очищаються, агрегатів і систем. Вид й ступінь забруднення, що залишилося після мийки поверхні, залежить в основному від способу мийки й типу миючої середовища.

Режим мийки поверхні деталі потоком миючої рідини (оптимальну технологію) визначають, виходячи з аналізу гідродинамічної взаємодії миючої рідини з частками забруднень, а також на підставі результатів експериментальних досліджень. У цьому зв'язку розглянемо механізм видалення забруднень потоком миючої рідини із включеннями газових

пухирців. Не применшуючи при цьому значення фізико-хімічних факторів, обумовлених активністю миючого середовища, вважається, що процес механічного впливу рідини на забруднення є однією з основних умов, що визначають ефективність мийки.

Процес мийки поверхні металу потоком рідини можна розділити на наступні, зв'язані між собою елементарні процеси: відрив часток забруднень від поверхні, що очищається, зависання забруднень у потоці рідини, транспортування забруднень до фільтруючого пристрою.

Потік миючої рідини у пульсуючому струмені, при взаємодії із забрудненою поверхнею, розплющується та розтікається в сторони від центру контакту з поверхнею. При цьому на поверхню з боку потоку діють сили гідродинамічного тиску, що створюють нормальний тиск на поверхню та сили швидкісної дії потоку рідини, який розтікається по поверхні. Ці сили створюють дотичні напруження тертя. При турбулентному режимі руху рідини з пухирцями відбувається дуже енергійне хаотичне перемішування рідини. Турбулентні пульсації переносять імпульс рідини до поверхні твердого тіла і це призводить до появи середнього потоку імпульсу до поверхні. Перенесення імпульсу в рідині можна характеризувати турбулентною в'язкістю. В загальному випадку осереднений турбулентний потік одночасно має молекулярну й турбулентну в'язкість. Тому повне сумарне дотичне напруження тертя потоку рідини без включень на поверхні визначається за формулою:

$$\tau = (\mu + A) \frac{d\bar{u}}{dy} , \quad (1)$$

де  $\mu$  – динамічний коефіцієнт в'язкості несучої фази;  $A$  – коефіцієнт пропорційності, що називається динамічним коефіцієнтом турбулентного обміну;  $\frac{d\bar{u}}{dy}$  – градієнт швидкості.

Для двофазних середовищ (рідина з включеннями газових пухирців) широке розповсюдження має поправка Ейнштейна до динамічного коефіцієнта несучої фази.

Враховавши її тоді узагальнений динамічний коефіцієнт несучої фази виражається через відповідні коефіцієнти:  $\mu$  – для чистої несучої фази;  $\mu^*$  – для газоподібних домішок із сферичною формою часток.

Газові пухирці, що виникають при протіканні рідини через насадок із гострими крайками на вході мають розміри порядку від 0,1 мм до 0,3 мм в діаметрі та вважаються твердими домішками тому, що тиск всередині газових пухирців перевищує тиск в рідині. Тому динамічний коефіцієнт в'язкості несучої фази прийме вигляд:

$$\mu^* = \mu \left( 1 + \frac{5}{2} \alpha \right) , \quad (2)$$

де  $\alpha$  – об'ємна доля домішок.

Тоді дотичні напруження тертя турбулентного потоку несучої фази з включеннями газових пухирців можна представити наступним виразом:

$$\tau = \left[ \mu \left( 1 + \frac{5}{2} \alpha \right) + A \right] \frac{d\bar{u}}{dy} . \quad (3)$$

У результаті аналітичних досліджень встановлено, що наявність газових пухирців які утворюються при протіканні рідини через насадок з гострими крайками на вході збільшують дотичні напруження тертя і поводяться як "тверді частки" у газорідній суміші, що дозволяє підвищити інтенсивність процесу очищення забруднень.

*Гордєєв Анатолій Іванович* – д.т.н., проф., професор кафедри технології машинобудування. Хмельницький національний університет

*Старий Андрій Романович* – аспірант кафедри технології машинобудування. Хмельницький національний університет.

УДК 621.793.79

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЙОГО РЕЖИМІВ**

Гайдамак О. Л., к.т.н., доц., Савуляк В. І., д.т.н., проф

На кафедрі технології підвищення зносостійкості Вінницького національного технічного університету розроблена і виготовлена дослідна установка для газодинамічного нанесення функціональних покриттів (рис. 1).

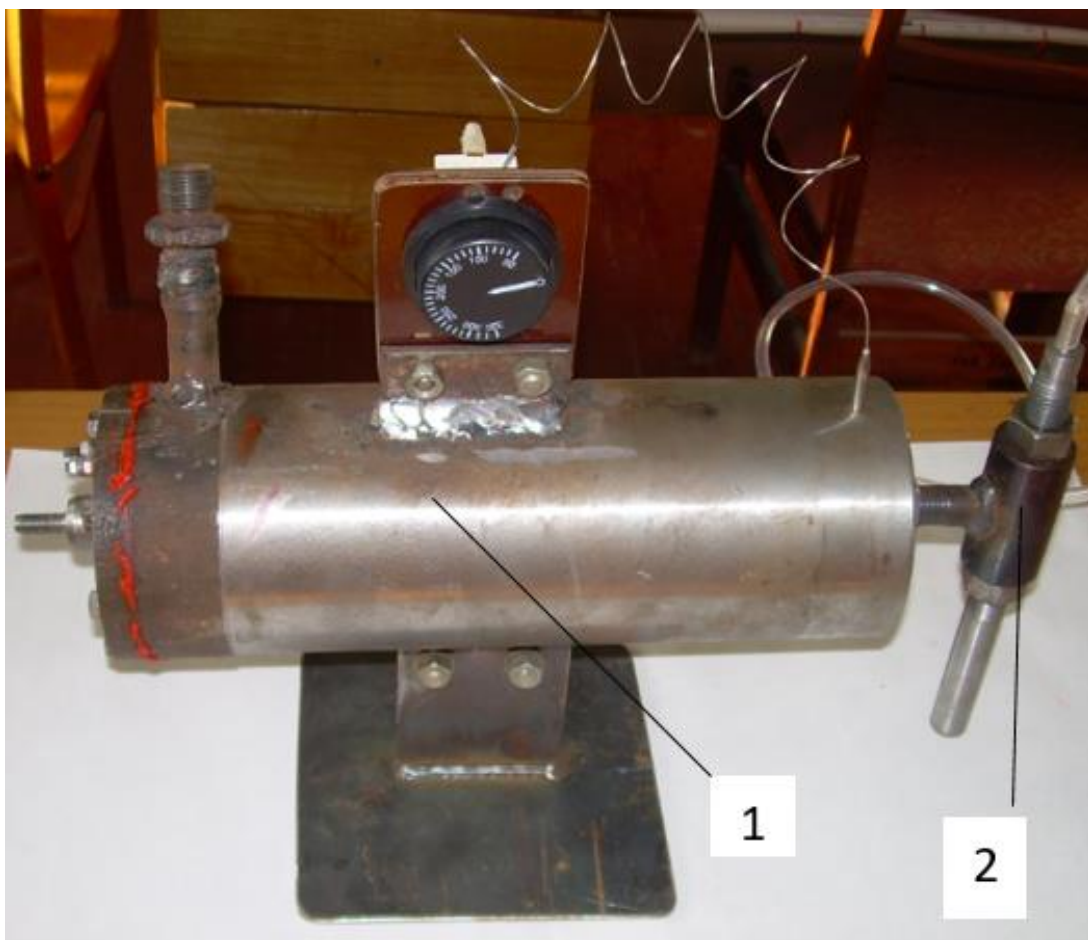


Рисунок 1 – Дослідна установка для газодинамічного нанесення функціональних покриттів: 1 – нагрівач повітря, 2 – головка для напилювання



Принцип її дії заснований на тому, що металеві порошокві частки розганяються до високих швидкостей, близьких до швидкості звуку, а при зіткненні з підкладкою вступають з нею в молекулярні зв'язки і здатні створювати міцне з'єднання з останньою і між частинками порошку. При цьому температура частинок порошку що напилюються є нижчою за температури їх плавлення. Досліджено закономірності формування фігури напилення, її профілю і розмірів в залежності від дистанції напилення. Встановлено, що перетин фігури напилення є симетричним щодо її осі, а її профіль в загальному випадку, з великою вірогідністю, може бути описаний функцією розподілу Гаусса. Середня інтегральна відносна похибка функції Гаусса не перевищує 9,5%. За отриманими результатами побудували графіки залежності геометричних параметрів фігури напилення від дистанції напилення. Встановлено, що зі збільшенням висоти фігури напилення до 0,4 мм оптимальний крок між суміжними проходами доріжок напилення становитиме 56% від діаметра основи фігури напилення. Зі збільшенням висоти до 0,54 мм оптимальний крок між суміжними проходами доріжок напилення зменшується і становить 48% від діаметра основи фігури напилення. Встановлено, що формування фігури напилення відбувається відповідно до закону нормального розподілу, а геометричні розміри фігури напилення залежать від дистанції напилення. На основі отриманих результатів дослідження запропонована інженерна методика розрахунку режимів нанесення покриття. Методика розрахунку режимів нанесення покриття дозволяє визначати, в залежності від продуктивності напилювальної пристрою, швидкість переміщення пристрою вздовж деталі, швидкість обертання деталі, необхідну кількість порошку для покриття заданої поверхні, час напилення. Наведено конкретний приклад розрахунку режимів напилення.

*Гайдамак Олег Леонідович* - к.т.н., доц. кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет

*Савуляк Валерій Іванович* - д.т.н., проф., завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет

УДК 621.891

## **КРИТЕРІЇ ТРИБОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ДВЗ**

Диха О.В., д.т.н., проф., Бабак О.П., к.т.н., доц.

Підшипники ковзання (ПК) мають важливу відмінну рису, яка вимагає розробки спеціальних критеріїв оцінки їх надійності. Ця особливість полягає в тому, що поява і розвиток однієї або навіть декількох тріщин в підшипниковому шарі найчастіше не приводить до відмови. Проте, в процесі розвитку тріщин настає момент, що форсовано веде до нагрівання вузла тертя. Застосування звичайних стандартних критеріїв надійності для підшипників є недостатнім і наближеним. Відповідно до особливостей руйнування підшипникового шару можуть висуватися такі завдання, пов'язані з оцінкою якості надійності та стану підшипника.

1. За експлуатаційними даними визначаються необхідні імовірнісні характеристики стану підшипника. Проводиться аналіз значущості критеріїв і вибираються базові для оцінки надійності і граничного стану вузли.

2. За видом окремого підшипника і за певними критеріями надійності визначається залишкова надійність і залишковий термін служби підшипника.

3. За даними експлуатації оцінюється вплив різних зовнішніх і внутрішніх факторів на надійність підшипника.

4. Розроблюється методика розрахунково - експериментального визначення параметрів надійності з метою використання її в проектувальних розрахунках і при розробці заходів щодо підвищення надійності підшипників ковзання вузла в цілому.

Пропонуються наступні базові критерії розрахункової оцінки надійності підшипників ковзання за критерієм втомного руйнування поверхневих шарів.

1. Навантаження, що діють на ПК можуть бути визначені теоретично і експериментально.

2. Для визначення напруженого стану необхідно вирішувати просторові контактні задачі теорії пружності для тіл складної форми. На основі рішень контактних задач отримують функції контактних тисків і компоненти тензора напружень в будь-якій точці підшипника.

3. Процес втомного руйнування в реальних умовах має ряд особливостей, які можна врахувати, проводячи випробування підшипника-зразка в умовах максимально наближених до реальних.

4. Для переходу від моделі до натури необхідно знати закономірності впливу масштабного чинника на втому.

5. Розрахунок терміну служби до появи тріщин при наявності кривих втоми і спектра напружень проводиться при використанні лінійної моделі процесу накопичення пошкоджень. Використання нелінійних моделей вимагає знання хронологічного спектру навантажень і застосування імітаційних алгоритмів розв'язання задач.

6. Для визначення терміну служби підшипників ковзання необхідно за допомогою гіпотези лінійного підсумовування або по нелінійним моделям накопичення втомних пошкоджень визначити середнє значення терміну служби і термін служби з будь-якої заданої ймовірністю з урахуванням розсіювання.

8. Для визначення із заданою ймовірністю терміну служби на всьому підшипнику необхідно отримати криві втоми і параметри рівняння подібності. За результатами підсумовування пошкоджень визначаються відповідні ймовірнісні характеристики.

Таким чином, критерії розрахунково - експериментальної методики дають можливість оцінювати стан, залишковий ресурс, ймовірність безвідмовної роботи, швидкість розвитку тріщин і інші параметри надійності підшипників.

*Диха Олександр Володимирович* - д.т.н., проф., завідувач кафедри зносостійкості і надійності машин, Хмельницький національний університет

*Бабак Олег Петрович* - к.т.н., доц., доцент кафедри зносостійкості і надійності машин, Хмельницький національний університет.

УДК 621.891

## **ПРОТИЗНОШУВАЛЬНІ ПРИСАДКИ В ЦИЛІНДРИЧНИХ ТРИБОСИСТЕМАХ КОВЗАННЯ МАШИН**

Диха О.В., д.т.н., проф., Дитинюк В.О., аспірант

Дія мастильних матеріалів залежить від властивостей трибологічної системи. До цих властивостей відносять: здатність до адсорбції й хемосорбції, корозійна стійкість, здатність до пластичної дії в зоні контакту, мастильна здатність. Крім того, дія мастильних матеріалів залежить від їхніх механічних властивостей (реологічних), хімічних і поверхневих.

Механічні властивості проявляються в обсязі мастильної речовини, і є передачею сил від одного елемента тертьової пари на другий елемент. Особливо виявляється це в сфері змішаного й рідкого тертя. Поверхневі властивості мастильних матеріалів можуть змінювати властивості експлуатаційного верхнього шару. Досягається це, головним чином, через так

званий ефект Ребіндера, або явище адсорбційного зниження пластичної межі поверхневого шару речовини під впливом активно-полярних молекул.

Останні дослідження мастильних матеріалів спрямовані на методи хімічного одержання протизносних плівок шляхом використання явища вибіркового переносу матеріалів і застосуванням добавок, здатних до утворення полімерів тертя або комплексних з'єднань. У цьому випадку хімічний механізм мастильних матеріалів не може бути безпосередньо пов'язаний з хімічним складом вихідного базового матеріалу. Мастильний матеріал є тільки носієм хімічних реакцій, а вузол тертя виконує роль "реактора", у якому процеси регулюються не тільки складом мастильної речовини, але й властивостями тертьових поверхонь й умовами тертя.

Коли в матеріалах тертьових пар мідь відсутня, для реалізації режиму вибіркового переносу вона повинна бути уведена в зону тертя зі змащенням у вигляді дрібнодисперсних частинок, окислів, солей або іонів.

Металоплакуючі мастильні матеріали містять металевий порошок чистих металів і сплавів, а також інші мінеральні з'єднання металів або металоорганічні з'єднання. Введення в мастильний матеріал металу у вигляді окислів або солей міді дозволяє одержати більше якісну захисну плівку при менших концентраціях присадки. У цьому випадку плівка на поверхні тертя утвориться в результаті відновлення металу з його з'єднання. Відновлювачами є атоми заліза й вуглецю, що перебувають на поверхні деталі.

Областю застосування дрібнодисперсних порошків металу й оксидів металу є в основному пластичні мастильні матеріали. При введенні в гліцерин або пластичне мастило порошків міді, бронзи або латуні поверхні тертя сталевих деталей покриваються тонкими плівками, що складаються з матеріалу порошків, внесених у змащення. При цьому автори розрізняють два принципи дії порошків. Перший це міцно схоплюватися з поверхнею деталі й реалізувати ефект вибіркового переносу, другий - не схоплюватися з поверхнею, а заповнювати нерівності на поверхні. Перший принцип можна назвати адгезійним, а другий - механічним.

Застосування порошків з використанням механічного принципу має ряд особливостей. При цьому методи використовують порошки, головним чином мідні й свинцеві. Мідний порошок марки отримують електrolітичним осадженням.

Результати експериментів підтверджують створення поверхневих шарів за участю порошків металів, що виконують функцію мастильних додавань для мастил. Модифікований верхній шар зменшує коефіцієнт тертя й зношування вузла тертя. У практиці застосовуються наступні порошки: Cu, Al, Pb, Fe та деякі інші.

Проблема пояснення механізму дії порошків металів у зоні тертя залишається відкритою. За одною з гіпотез вважалось, що сферичні частинки металів відокремлених від поверхні в процесі тертя змінюють характер тертя ковзання контактів вершин нерівності на перекочування за участю третього тіла - сферичних частинок металів. Але ця гіпотеза не знайшла підтвердження в експериментальних роботах, тому що порошки інших форм виконували також функцію мастильних присадок.

Більшість останніх досліджень схиляється до того, що механізм зменшення зношування вузла тертя із застосуванням масла з додаваннями порошків металів, полягає в модифікації верхнього шару в процесі тертя.

Контакт металу з навколишнім середовищем веде до адсорбції атомів і молекул середовища на поверхню металу. Поверхневий шар металевої деталі завжди несе на себе складну систему адсорбційних шарів. Над ювенільною поверхнею металу є шар його окислів, склад, будова й властивості яких відрізняються від самого металу. Адсорбційні плівки формуються на поверхні металу під дією сил Ван-дер-Ваальса, у результаті взаємодії полярних атомних груп з мастильного матеріалу з активними центрами твердої поверхні.

Однак, такі плівки не можуть нівелювати шорсткість поверхневого шару, висота яких значно більше. У зв'язку із цим, адсорбційні шари, що утворилися на поверхні металу з

мастильного матеріалу, відтворюють мікрорел'єф поверхневого шару деталей. Властивості адсорбційного шару значно відрізняються від властивостей мастильного матеріалу, що становить об'ємний шар. Молекули, що входять до складу граничного мастильного шару, утворюють на металі міцний і гнучкий ворс, що приймає на себе контактне навантаження, а також має низький опір до дії дотичних напружень. Сформовані адсорбційні шари можуть витримувати більші нормальні навантаження, однак, зі збільшенням температури їхня орієнтація порушується.

Взаємний контакт деталей відбувається на виступах поверхонь, утворених мікронерівностями. Тут розташовуються зони, з яких складається контурна площа контакту. Деформація поверхонь веде до зближення поверхонь, а в міру збільшення навантаження зближення поверхонь зростає й у контакт вступають виступи з меншою висотою. Пластична деформація збільшує фізико-хімічну активність поверхневих шарів, від яких залежать будова й властивості граничних мастильних шарів, а також протікання фізико-хімічних процесів на контакті.

Оксидні плівки захищають поверхневий шар від схоплювання й глибинного виривання і є важливим чинником не тільки в умовах тертя при граничному змащуванні, але й напіврідинному. Більшою міцністю володіють оксидні плівки, твердість яких близька до твердості металу, як, наприклад, у міді й сталі. При механічному впливі на поверхню таких металів плівка, що сформувалася, деформується в місці з підшаром, що при високих навантаженнях захищає її від руйнування. Міцність оксидних плівок знижується зі збільшенням їхньої товщини. Товсті плівки відрізняються підвищеною крихкістю. Властивості окисних плівок залежать також від мікронерівностей поверхневого шару металу й швидкості окислювання.

Під дією речовин, хімічно активних стосовно металу, на поверхнях тертя утворюються модифіковані шари, що є продуктами взаємодії хімічно активних речовин з металом. У процесі тертя під дією тепловиділення формування таких шарів полегшується. Товщина модифікованих шарів поверхневого шару металу в десятки разів більше товщини адсорбційних шарів.

З метою зниження тертя й підвищення зносостійкості рухливих сполучень машин й устаткування, а також запобігання заїдання в мастильні матеріали вводять присадки.

Досвід застосування традиційних сірко-, фосфор-, хлорвмісних протизносних й антифрикційних присадок показав, що їхня ефективна дія досягається при порівняно високих концентраціях у мастильних матеріалах. Це пов'язане з механізмом дії таких з'єднань, що засновано на їхньому розкладанні в зоні тертя й хімічній взаємодії з металом. Плівки, що утворилися на поверхні тертя металу в результаті взаємодії із присадками, що вводять у мастильні матеріали, виконують таку ж роль, як й оксидні плівки.

При зношуванні металевих пар у мастильних матеріалах із присадками в місцях безпосереднього контакту поверхонь утворюються продукти їхньої взаємодії, які мають малу міцність на зрушення або ж меншу ніж основний метал температуру плавлення, що забезпечує їх антифрикційні й протизносні властивості.

*Диха Олександр Володимирович* - д.т.н., проф., завідувач кафедри зносостійкості і надійності машин, Хмельницький національний університет

*Дитинюк Володимир Олександрович* - аспірант кафедри зносостійкості і надійності машин, Хмельницький національний університет.

## ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ СТАЛЕЙ БЕЗВОДНЕВИМ ІОННИМ АЗОТУВАННЯМ ПРИ ТЕРТІ КОЧЕННЯ

Каплун П.В. д.т.н., доц., Гончар В.А. к.т.н., ст. викл.

В техніці велика кількість деталей і вузлів машин та механізмів працюють при терті кочення. Переважаюча більшість деталей машин при коченні працюють з проковзуванням і їх вихід з ладу відбувається від зношування та руйнування поверхні викришуванням при контактній втомі металу. Підвищення їх довговічності має велике значення для народного господарства і є актуальною проблемою.

Найбільш раціональним шляхом підвищення довговічності деталей машин, що працюють в умовах тертя кочення, є методи інженерії поверхні, зокрема, нанесення покриттів з модифікацією поверхневого шару та основи. На сьогодні, для підвищення контактної витривалості найбільш поширеними є технології ХТО – цементації та нітроцементації. Але вони високотемпературні і застосовують водневомісткі середовища насичення, що негативно впливає на характеристики міцності і контактної витривалості.

Відомо, що іонне азотування в безводневих середовищах має значні переваги над азотуванням в водневих середовищах, а саме: виключається воднева крихкість металу; підвищується пластичність азотованого шару; в 1,3–1,5 рази зменшується енергія активації процесу, що приводить до зменшення витрат електроенергії до 40 %; процес є екологічно чистим.

Проведені експериментальні дослідження довговічності зразків із сталей 40Х, ШХ15 і Х12М в мастилi І-20 на спеціальних машинах для випробувань на тертя кочення при точковому (тк) та лінійному (лк) контактах і максимальному тиску на ділянці контакту 2140 МПа. Зразки мали різну термічну обробку та азотувалися в тліючому розряді в безводневому середовищі насичення за режимом: температура дифузійного насичення  $T = 570^{\circ}\text{C}$ , тиск в вакуумній камері  $P = 240$  Па, насичуюче середовище 75об.%  $\text{N}_2$ +25об.%  $\text{Ar}$ , час дифузійного насичення  $\tau = 480$  хв. Випробування проводилися до появи пітингу на доріжках кочення.

Результати випробувань (табл. 1) показали, що іонне азотування сталі 40Х без термообробки дало значне (на 53%) підвищення її контактної витривалості порівняно з неазотованою сталлю, що обумовлено наявністю азотованого шару. Проте, порівняно невисока довговічність ( $1,0 \cdot 10^6$  циклів) азотованої сталі при високій твердості азотованого шару обумовлена низькою твердістю основи. Це привезло до швидкого руйнування азотованого шару в зв'язку з його великими деформаціями від зовнішнього навантаження. Підвищення твердості основи методом гартування збільшило довговічність всіх досліджуваних сталей понад в 20 разів. Іонне азотування гартованих сталей незначно підвищило їх довговічність (на 5–12 %) в зв'язку тим, що під час азотування відбувся високотемпературний відпуск основи, що зменшило її твердість. Навпаки, при технології нітрогартування, коли гартування відбувається після азотування і азотований шар опирається на основу високої твердості, довговічність всіх досліджуваних сталей значно збільшилася і перевищила в 1,6 –2,1 рази довговічність гартованих сталей (табл. 1). Це свідчить про важливість твердості основи при контактному циклічному навантаженні.

Таблиця 1. Результати випробувань на контактну витривалість сталей при терті кочення в мастилi І-20 при максимальному тиску на ділянці контакту 2140 МПа

| № з/п | Марка сталі | Вид термообробки та технології нанесення покриття | Мікротвердість в Н <sub>100</sub> , МПа |        | Товщина покриття, мкм | Довговічність, N·10 <sup>6</sup> циклів при контактi |       |
|-------|-------------|---|---|--------|-----------------------|--|-------|
|       |             |   | Поверхні                                | Основи |                       | лк   | тк    |
| 1     | 40X         | без термообробки                                  | 3200                                    | 2560   | 0                     | 0,45   | 0,65  |
| 2     | 40X         | без термообробки + іонне азотування               | 7620                                    | 2560   | 290                   | 0,7  | 1,00  |
| 3     | 40X         | гартування  | 5600                                    | 5500   | 0                     | 16,1   | 21,75 |
| 4     | 40X         | гартування + іонне азотування                     | 7800                                    | 4100   | 290                   | 18,4   | 23,80 |
| 5     | 40X         | нітрогартування                                   | 7940                                    | 5500   | 310                   | 29,4   | 44,55 |
| 6     | ШХ15        | гартування  | 7210                                    | 7210   | 0                     | 17,3   | 24,1  |
| 7     | ШХ15        | гартування + іонне азотування                     | 9180                                    | 4970   | 300                   | 15,7   | 25,2  |
| 8     | ШХ15        | нітрогартування                                   | 8300                                    | 7200   | 320                   | 27,1   | 38,7  |
| 9     | X12M        | гартування  | 8560                                    | 8520   | 0                     | 17,7   | 26,6  |
| 10    | X12M        | гартування + іонне азотування                     | 9560                                    | 5240   | 325                   | 18,3   | 29,8  |
| 11    | X12M        | нітрогартування                                   | 9270                                    | 9140   | 340                   | 28,5   | 43,25 |

Таким чином, дослідження показали ефективність застосуванні іонного безводневого азотування для підвищення довговічності сталей при терті кочення. Для сталей з малою твердістю (маловуглецеві сталі та сталі без термообробки) іонне азотування в безводневих середовищах дозволяє підвищити їх контактну витривалість більше як в 1,5 рази.

Найвищу довговічність сталей при терті кочення можна отримати при застосуванні технології нітрогартування, що дозволяє підвищити контактну витривалість до 2 разів порівняно з її значенням після гартування.

*Каплун Павло Віталійович* – д.т.н., доцент кафедри зносостійкості та надійності машин Хмельницького національного університету.

*Гончар Володимир Антонович* – к.т.н., старший викладач кафедри зносостійкості та надійності машин Хмельницького національного університету.

УДК 62-192

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЗМУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В КУЗОВ СМІТТЄВОЗА

Березюк О.В., к.т.н., доц.

Одним із недоліків відомих механізмів перевертання контейнера з твердими побутовими відходами (ТПВ) в кузов сміттєвоза [1-3] є низька надійність розвантаження. Це викликано тим, що під час перевертання контейнера з ТПВ в кузов сміттєвоза можливе його неповне розвантаження, спричинене самоущільненням відходів під час наповнення ними контейнера, а також їхньою механічною (структурною) зв'язністю та здатністю налипати на стінки контейнера.

Для усунення вказаного недоліку запропоновано схему гідроприводу перевертання контейнера з ТПВ в кузов сміттєвоза, в якому за рахунок введення нових конструктивних елементів та зв'язків досягається забезпечення під час зворотного ходу парних гідроциліндрів вібраційне витрушування відходів в кузов сміттєвоза із контейнера у випадку його неповного розвантаження, що приводить до підвищення надійності роботи сміттєвоза за рахунок усунення імовірності неповного розвантаження контейнера з ТПВ.

Запропонована схема гідроприводу вібраційного витрушувача контейнера з ТПВ в кузов сміттєвоза захищена патентом України на корисну модель 91672 U [4] і наведена на рис. 1.

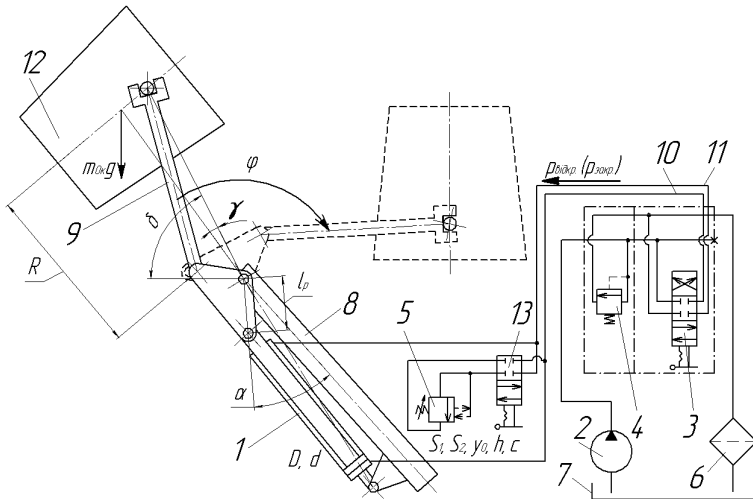


Рисунок 1 – Схема гідроприводу вібраційного витрушувача контейнера з твердими побутовими відходами в кузов сміттєвоза: 1 - гідроциліндри; 2 - гідронасос; 3 - трьохпозиційний гідророзподільник; 4 – запобіжний клапан; 5 – ГТТ; 6 – фільтр; 7 - маслобак; 8 – важелі; 9 – захват; 10 – поршнева магістраль; 11 - штокова магістраль; 12 - контейнер; 13 – двохпозиційний гідророзподільник

Гідропривод перевертання контейнера з ТПВ в кузов сміттєвоза працює таким чином: після підйому важелів 8 у верхнє положення здійснюється перевертання захвату

9 для контейнера 12. Керування парними гідроциліндрами 1 через поршкову магістраль 10 та штокову магістраль 11 здійснюється трьохпозиційним гідророзподільником 3. Привод перевертання контейнера 12 здійснюється за допомогою парних гідроциліндрів 1, живлення яких здійснюється від гідронасоса 2. При цьому, керований за допомогою двохпозиційного гідророзподільника 13, ГТТ 5 під час зворотного ходу парних гідроциліндрів 1 забезпечує генерування імпульсів тиску для вібраційного витрушування ТПВ в кузов сміттєвоза із контейнера 12 у випадку його неповного розвантаження. При перевищенні тиску в гідросистемі спрацьовує запобіжний клапан 4, який через фільтр 6 стравлює частину робочої рідини в маслобак 7.

Для збурення вібрацій та управління їхніми параметрами в гідроприводі вібраційного витрушувача контейнера ТПВ доцільно застосовувати ГТТ релейної диференціальної дії, конструкція та принцип роботи якого детально розглянуті в роботах [5, 6]. На основі аналізу математичної моделі приводу перевертання контейнера ТПВ, наведеної в роботі [3], тиск відкриття запірного елемента ГТТ може бути визначений за допомогою виразу

$$P_{\text{відкр.}} > \frac{2m_{0к} g R \cos(\varphi + \delta - \gamma)}{\pi(d^2 - D^2) \nu_p \sin(\alpha + \varphi)}, \quad (1)$$

де  $m_{0к}$  – маса порожнього контейнера, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $R$  – радіус обертання рухомих елементів, м;  $\varphi$  – кут повороту захвату;  $\delta$  – кут між плечем захвату та горизонталлю;  $\gamma$  – кут, що враховує відхилення положення центра мас;  $D, d$  – діаметри поршня та штока, відповідно, мм;  $l_p$  – відстань між центрами обертання захвату та штока;  $\alpha$  – кут між осями важеля та плеча гідроциліндра.

Підставляючи у вираз (1) дані, що відповідають параметрам сміттєвоза КО-436 [3], та оптимальні значення параметрів  $l_p$  та  $\alpha$ , визначені в роботі [7], знаходимо тиск відкриття запірного елемента ГТТ  $p_{\text{відкр.}} > 4,885$  МПа.

Попередню деформацію пружини та тиск закриття запірнього елемента ГІТ можна визначити за формулами:

$$y_0 = p_{\text{відкр.}} S_1 / c; \quad (2)$$

$$p_{\text{закр.}} \leq c(y_0 + h) / S_2, \quad (3)$$

де  $S_1$ ,  $S_2$  – площі відкриття та закриття ГІТ, відповідно,  $\text{м}^2$ ;  $c$  – жорсткість пружини,  $\text{Н/м}$ ;  $y_0$  – попередня деформація пружини,  $\text{м}$ ;  $h$  – сумарне перекриття запірнього елемента ГІТ,  $\text{м}$ . Після підставки у формули (2, 3) параметрів ГІТ [2, 5], визначаємо попередню деформацію пружини  $y_0 = 17,35$   $\text{мм}$  і тиск закриття запірнього елемента ГІТ  $p_{\text{закр.}} \leq 0,755$   $\text{МПа}$ .

Отже, встановлено, що підвищення надійності механізму завантаження твердих побутових відходів в кузов сміттєвоза може бути досягнуто за допомогою запропонованого гідроприводу вібраційного витрушувача контейнера у випадку його неповного розвантаження. Визначено основні характеристики генератора імпульсів тиску вібраційного витрушувача.

#### Список використаної літератури

1. Патент України 39285 А, МКИ В65F 3/02. Пристрій для розвантажування контейнерів в кузов сміттєвоза / А. І. Стельмашенко, Ю. А. Подольський, І. В. Петраков, М. Ф. Павлик – 99095037 ; заявл. 10.09.1999 ; опубл. 15.06.2001, Бюл. № 5.
2. Савуляк В. І. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів : монографія / В. І. Савуляк, О. В. Березюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 217 с.
3. Березюк О. В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів перевертання контейнера під час завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз / О. В. Березюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 5. – С. 60-64.
4. Патент України № 91672 U, МПК(2014.01) В65F 3/00. Гідропривод перевертання контейнера з твердими побутовими відходами в кузов сміттєвоза / Березюк О. В.; заявник і патентовласник Березюк О. В. – u201401777; заявл. 24.02.2014 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.
5. Патент України № 92720 U, МПК(2014.01) F15B 21/00. Генератор імпульсів тиску релейної диференціальної дії / Березюк О. В. ; заявник і патентовласник Березюк О. В. – u201404118 ; заявл. 16.04.2014 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16.
6. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску релейної диференціальної дії / О. В. Березюк // Гідро- та пневмоприводи машин – сучасні досягнення та застосування : міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 22 груд. 2014 р. : збірник тез доп. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – С. 38-39.
7. Berezyuk O. Approximated mathematical model of hydraulic drive of container upturning during loading of solid domestic wastes into a dustcart / O. V. Berezyuk, V. I. Savulyak // Technical Sciences. – University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland, 2017. – No. 20(3). – P. 259–273.  
*Березюк Олег Володимирович* – к.т.н, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет



## АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ҐРУНТУ, ЯК ЕЛЕМЕНТА ТРИБОСИСТЕМИ «РОБОЧИЙ ОРГАН-ҐРУНТ»

Дворук В.І., д.т.н., проф., Борак К.В., к.т.н.,

Для побудови моделей ґрунту різні дослідники використовують феномологічний підхід з ідеалізацією елементів ґрунту [1]. Так і роботі 1 відзначається що механіка ґрунтів обмежується лише механічними явищами і не розглядає фізико-хімічні і інші процеси, що відбуваються в ґрунтах. Це значить що механіка ґрунтів має справу з нереальними ґрунтами, а з деякими механічними моделями тобто з тілами, які наділені спрощеними властивостями в порівнянні з реальними ґрунтами [2].

Першою механічною моделлю ґрунтів, що відображає дисперсність ґрунтів, було ідеальне сипуче тіло (рис. 1.) – скупчення шарів, що не зв'язані між собою [2].

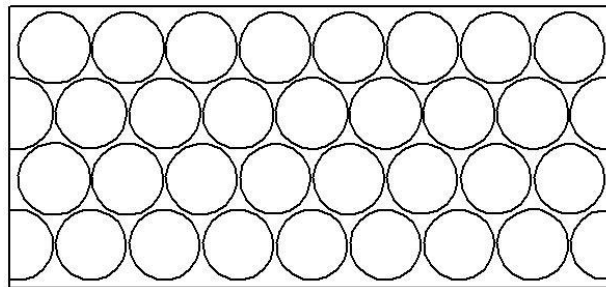


Рисунок 1 – Механічна модель ідеального сипучого тіла.

Спочатку дану модель використовували для всіх рихлих ґрунтів, але пізніше було встановлено, що обґрунтовано її можна використовувати тільки для пісків [2].

Для зв'язаних глиняних ґрунтів було запропоновано 2 моделі (рис. 2).

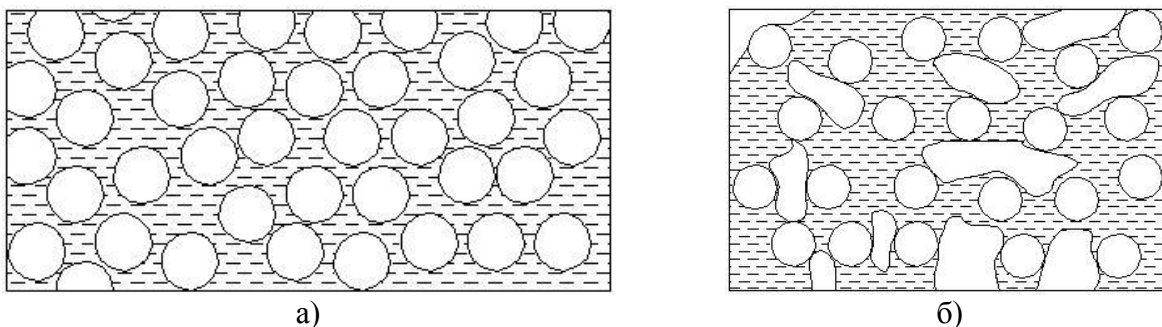


Рисунок 2 – Механічна модель зв'язаних ґрунтів: а) двофазна система, б) трьохфазна система.

Перша з них (рис.2 а) моделює слабо зв'язані насичені водою ґрунти, друга (рис. 2 б – зв'язані маловологі ґрунти [2].

В роботі [3] ґрунт розглядається як пружно-в'язке середовище за допомогою моделі Кельвіна–Фойгта. Абразивна частинка при моделюванні в моно- і полідисперсного середовища ґрунту розглядалася, як така що має ідеально сферичну форму (рис. 3.).

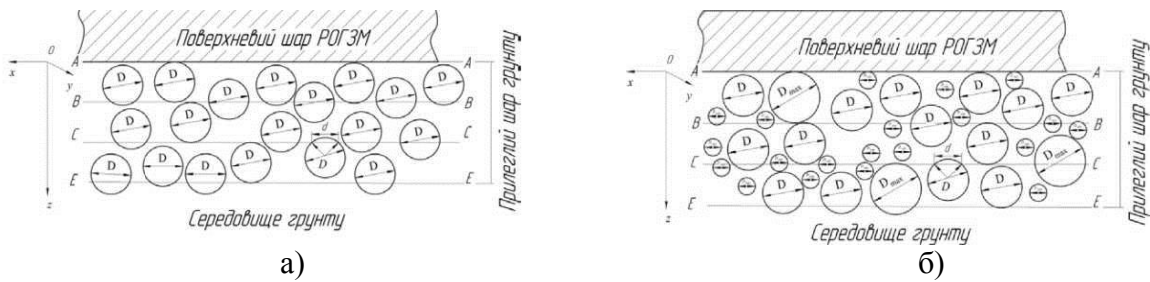


Рисунок 3 – Схема взаємодії поверхневого шару робочого органу з шаром ґрунту: а) монодисперсний шар ґрунту; б) полідисперсний шар ґрунту.

В.П. Дьяков [4] для моделювання шару ґрунту який піддається обробці сільськогосподарськими машинами запропонував використовувати реологічну пружно-в'язку модель (рис. 4.)

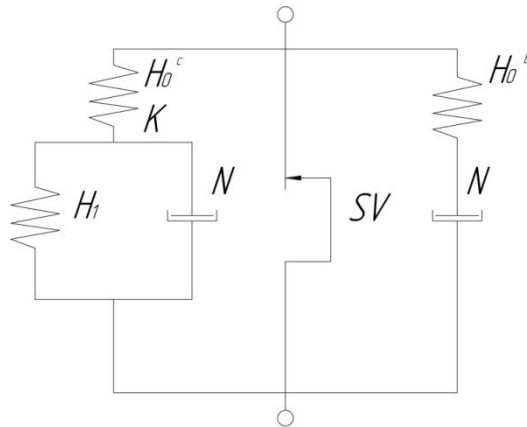


Рисунок 4 – Реологічна пружно-в'язка модель ґрунту.

Модель ґрунту, як реологічного тіла, представляє собою систему із паралельно з'єднаних тіл Кельвіна, Максвела і елемента Сен-Венана. Модель тіла Кельвіна відображає пружну післядію деформації при постійному напруженні, модель Максвела – релаксацію пружних напружень при постійній деформації, елемент Сен-Венана – кардинальну властивість дискретних тіл – опір тертю, що діє як в початковій стадії деформації, так і граничному стані деформації, що слугує обов'язковою вимогою до змісту моделі [4].

Як бачимо приведені моделі ґрунтів доволі різноманітні, це все зумовлено тим, що моделі ґрунту будувались для вирішення певних локальних задач, так роботі 3 – для визначення площі контакту абразивних частинок з матеріалом робочого органу, в роботі 2 – для визначення несучої здатності ґрунтів, в роботі 4 – для визначення зусиль для втрати міцності ґрунту у вигляді відокремлення пласта від масиву.

Висновок. На даний час не існує моделі ґрунту, яка дозволить врахувати реальну структуру ґрунту при моделюванні процесу зношування робочих органів ґрунтообробних машин.

#### Список використаних джерел

1. Шелудченко Б.А. Агромеханіка ґрунтів. – Житомир: Полісся, 1992. – 249 с.
2. Левин С.В. Механіка ґрунтів. / С.В. Левин. – М.: Недра, 1964. – 164 с.
3. Аулін В.В. Модель взаємодії дисперсного середовища ґрунту з поверхнею робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2014, вип. 27 – С. 140-149.

4. Дьяков В.П. Механика почвы и реология грунтов. Точки соприкосновения и различия. / В.П. Дьяков // Достижение науки и техники АПК, 2007. - №7 – С.48-51.

*Дворук Володимир Іванович* – д.т.н., проф., професор кафедри теоретичної та прикладної фізики, Національний авіаційний університет, м. Київ

*Борак Костянтин Вікторович* – к.т.н., заступник директора з навчальної роботи, Житомирський агротехнічний коледж

УДК 621.822.57

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ НА ГАЗОВИХ ПІДВІСАХ З ПОЗДОВЖНИМИ КАНАВКАМИ

Федотов В.О., к.т.н, доц., Савуляк В.І., д.т.н., проф., Віштак І.В., к.т.н, доц.

Газові підвіси з поздовжніми глухими канавками сталої глибини та ширини успішно використовуються як в високошвидкісних шпиндельних вузлах ( $n \geq 6000$  об/хв) так і у тихохідних ( $n \leq 6000$  об/хв).

Вузли прості за конструкцією та технологічні в виготовленні. Надійність в роботі обумовлена їх працездатністю при майже 100% вологості повітря (газу), що повітря (газу), що подається від джерела стиснутого газу в робочий зазор між поверхнями вала та втулки, і при наявності в газі сторонніх твердих часток (недостатня очистка газу фільтрами).

Дослідженню, оптимізації конструктивних параметрів та розрахунку газових підвісів з канавками сталої глибини та ширини присвячена значна кількість наукових праць. Але такі підвіси за своїми характеристиками поступаються опорам з регуляторами тиску поза робочого зазору у вигляді отворів малого діаметру, щілинами наддування газу, пористих втулок.

Підвищити силові характеристики газових підвісів з поздовжніми канавками можна за рахунок зменшення шкідливих колових перетікань газу з ділянки з мінімальним робочим зазором в напрямку ділянки з меншим тиском, що досягається використанням канавок змінної глибини.

Розглянемо конічний газовий підвіс (рис. 2), в якому глибина поздовжніх канавок змінюється за лінійним законом (рис. 2, б).

Якщо канавки мають сталу ширину, а їх глибина змінюється за лінійним законом, тоді робочий зазор в канавці  $h_k$  і на виступі  $h_e$  на ділянках 1 та 3 знайдемо за формулами:

$$\begin{aligned} h_k &= (c + \sigma)h_q, \quad h_q = 1 - \nu\zeta - \nu(\varepsilon + \theta\xi)\cos\varphi - (1 - \nu - \beta)\xi, \\ h_a &= ch_\nu, \quad h_\nu = 1 - \zeta - (\varepsilon + \theta\xi)\cos\varphi. \end{aligned}$$

Знаходимо розподіл тиску в зазорах при компланарній неспіввісності вала та втулки конічної газостатичної опори.

$$\chi(1 - \varkappa)^2 \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \chi(\varkappa_0 h_q^3 + \nu^3 h_\nu^3) \frac{\partial u}{\partial \xi} \right) \cos^2 \alpha + \nu^3 \lambda^2 \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{h_\nu^3 h_q^3}{\varkappa_0 \nu^3 h_\nu^3 + h_q^3} \cdot \frac{\partial u}{\partial \varphi} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\text{де } \chi = 1 + 2\xi \lambda \operatorname{tg} \alpha, \quad \lambda = \frac{l_0}{R_0}, \quad \varkappa_0 = 1 - \varkappa.$$

Якщо в рівнянні (1) вважати  $\alpha=0$ , то будемо мати диференціальне рівняння розподілу тиску газу в профільованих зонах кінцевого газостатичного підвісу (рис. 2). При  $\alpha=0$ ,  $\nu=1$ ,  $\gamma=1$  і  $\psi=0$  із рівняння (1) отримаємо основні рівняння для ділянок 2 і 4 кінцевого підвісу.

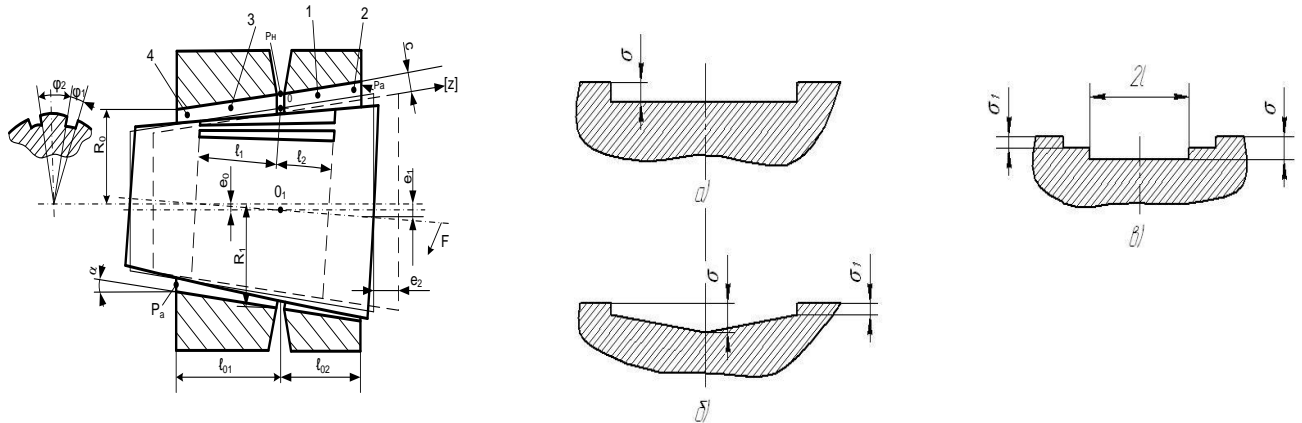


Рис. 2. Кінчний газовий підвіс з поздовжніми канавкам різного профілю: а) постійна глибина; б) глибина зменшується в напрямку течії газу; в) східчаста форма з більшою глибиною на вході в робочий зазор.

Для визначення безрозмірного квадрату тиску газу  $u_1, u_2, u_3, u_4$  в робочих зазорах газових підвісок відповідно на ділянках 1 – 4 (рис. 2) використовувався метод сплайнів та метод циклічної прогонки. Знаючи розподіл тиску газу в робочому шарі підвісок (рис. 2), знаходимо статичні характеристики кінцевої газової підвіски, що визначаються осьювою  $F_\zeta$  та радіальною  $F_\varepsilon$  підйомними силами, відновлювальним моментом  $M$  газового шару при кутових переміщеннях вала та витратами газу  $Q$ .

$$F_\zeta = 4R_0^2 P_a F_\zeta^*, F_\varepsilon = 4R_0^2 P_a F_\varepsilon^*, M = R_0^2 P_a M^*, Q = \frac{\pi \rho P_a c^3}{12\mu} Q^* \quad (2)$$

де  $F_\zeta^*$  – безрозмірна осьова підйомна сила;  $F_\varepsilon^*$  – безрозмірна радіальна підйомна сила;  $\rho$  – густина газу ( повітря) при атмосферному тиску;  $\mu$  – динамічний коефіцієнт в'язкості газу;  $M^*$  – безрозмірний відновлювальний момент;  $Q^*$  – безрозмірний параметр витрат газу.

Зменшити коллові перетікання газу в кінчній опорі (рис. 2) можна шляхом нанесення східчастих поздовжніх канавок (рис. 2, в).

Безрозмірна підйомна сила  $F^*$  кінцевого підвісу з поздовжніми канавками зі східчастим профілем та безрозмірні витрати газу  $Q^*$  знаходяться при  $\varepsilon=0$ .

У кінцевого газового підвісу з мінімальною глибиною канавки на лінії наддування газу (рис. 2, б) є екстремуми безрозмірної радіальної жорсткості по коефіцієнту глибини канавки  $\beta$  та параметру плавності зазору  $\nu$ .

Профіль поздовжніх канавок в незначній мірі впливає на кутову та осьову жорсткості вала і значно впливає на радіальну жорсткість .

З однаковими енергетичним витратами існують значення параметрів  $\nu$  та  $\beta$  поздовжніх канавок кінцевої підвіски (рис. 2, б), глибина яких зменшується по ходу течії газу, при  $\alpha = 2^0$  яких її радіальна жорсткість, а значить і радіальна підйомна сила, більші на 34- 36% ,а при  $\alpha = 6^0$  на 37-40% у порівнянні з кінчною підвіскою з оптимальними параметрами канавок сталої глибини.

При зафіксованому значенні відносної довжини канавки  $\alpha$  для кінцевого підвісу при  $\alpha = 2^0$  з поздовжніми канавками (рис 2, в), глибина яких зменшується в напрямку течії газу, існують значення  $\nu$  та  $\beta$  при яких безрозмірна жорсткість  $K_\varepsilon^*$  досягає максимуму і

більше (на 36-38%), ніж у опори з канавками постійної глибини, що має оптимальні значення безрозмірних конструктивних параметрів  $\nu$  та  $\beta$  поздовжніх канавок (при максимумі функції  $\Phi = K_{\epsilon}^*/Q^*$ ).

Витрати газу для роботи конічного підвісу з поздовжніми канавками з мінімальною глибиною канавки на лінії наддування газу на 10 - 15 % менше ніж у канавок постійної глибини.

Використання у конічного підвісу поздовжніх канавок глибина яких зменшується в напрямку течії стиснутого газу приводить до збільшення радіальної підйомної сили, відновлювального моменту при кутових переміщеннях вала, що підвищує надійність роботи шпиндельних вузлів.

Для підвищення надійності роботи шпиндельних вузлів на газових підвісах з поздовжніми канавками необхідно забезпечити працездатність шпинделя при вимушеному контакті поверхонь вала та корпусу підвісу та збільшити їх силові характеристики. Щоб убезпечити зварювання вала та втулки (для виготовлення яких використовувалися сталі 9Х18, ШХ15 загартованих до твердості HRC 56-64) при їх аварійному контакті на поверхню вала механічним способом наносилися антифрикційна твердоплівочна змазка на основі дісульфіда молібдена.

*Федотов Валерій Олександрович* – к.т.н., доц., професор кафедри опору матеріалів та прикладної механіки

*Савуляк Валерій Іванович* - д.т.н., проф., завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет

*Виштак Інна Вікторівна* – к.т.н., доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки

УДК 621.793; 621.762; 669.018.45

## **ВПЛИВ ДОМІШОК CrB<sub>2</sub> НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ NiAl**

Українець М.С., к.т.н.

NiAl є перспективним конструкційним і зносостійким матеріалом, проте його використання у вузлах тертя є обмеженим внаслідок незадовільно високої крихкості інтерметаліду в діапазоні температур до  $T \approx 400$  °С. Підвищити опір алюмініду нікелю до крихкого руйнування можна шляхом введення до його складу частинок тугоплавких сполук із високою зносостійкістю. Перспективною домішкою для зміцнення інтерметаліду є тугоплавкий диборид хрому, який має високі фізико-механічні та експлуатаційні характеристики. Введення CrB<sub>2</sub> в кількості 15 і 30 мас.% призводить до формування в об'ємі NiAl фрагментів зміцнюючого каркасу, завдяки чому значно підвищується пластичність і міцність отриманих композитів за кімнатної температури, порівняно із вихідним алюмінідом нікелю.

Вплив домішок дибориду хрому на зносостійкість отриманих матеріалів визначалася шляхом встановлення інтенсивності зношування плазмових покриттів NiAl-15 мас.% CrB<sub>2</sub> і NiAl-30 мас.% CrB<sub>2</sub>. Для порівняння також проводилися випробування покриття вихідного інтерметаліду.

Для нанесення покриттів методом гарячого пресування при  $T=1180$  °С (відкрита атмосфера) виготовлено порошкові композити. Спресовані конгломерати розмелено і

прокласифіковано до фракцій 70-100 мкм. Товщина отриманих плазмових покриттів становила ~500 мкм. Зносостійкість визначалася на мікротрибостері CETR UMT-2 за схемою «pin-on-disc» із режимами  $S=1$  км,  $V=0,157$  м/с,  $P=4$  МПа (табл. 1). В якості контр-тіла використовувалися сталеві диски з покриттям NiAl.

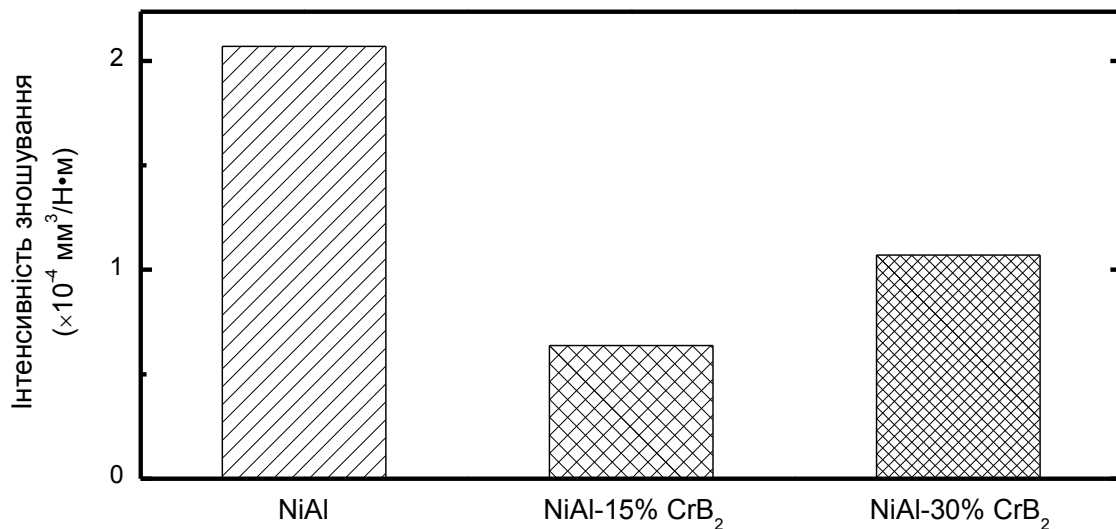


Рисунок 1 – Інтенсивності зношування пар тертя «Плазмове покриття – контр-тіло NiAl»

Введення дибориду хрому до інтерметаліду призводить до значного зростання зносостійкості отриманих композиційних покриттів порівняно з покриттям вихідного NiAl. Найвищу зносостійкість має зразок із 15 мас.% CrB<sub>2</sub>. Вища інтенсивність зношування покриття NiAl-30 мас.% CrB<sub>2</sub>, порівняно з NiAl-15 мас.% CrB<sub>2</sub>, очевидно, пояснюється його нижчою пластичністю. Тобто матеріал із 30 мас.% дибориду хрому чинить нижчий опір поширенню тріщин, які зароджуються в зоні тертя. Дані тріщини розвиваються і утворюють границі, по яким відшаровуються частини покриття, підвищуючи рівень його зносу.

*Українець Максим Сергійович* – к.т.н., інженер-конструктор 2-ї категорії, ТОВ «ПРОГРЕСТЕХ-УКРАЇНА»

УДК 621.22

## **ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ РУКАВА ВИСОКОГО ТИСКУ НА ЙОГО СТАТИЧНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ПОДАТЛИВОСТІ**

Дусанюк Ж.П. к.т.н., доц., Дерібо О.В., к.т.н., проф., Репінський С.В. к.т.н., доц., Жарський А.О., студент

В технологічних машинах різного призначення широко застосовується гідравлічний привід. Для комунікації рухомих агрегатів у таких приводах використовують рукави високого тиску (РВТ). Під час розрахунків та імітаційного моделювання динаміки гідроприводів важливими є врахування жорсткісних властивостей всіх його робочих порожнин та трубопроводів, у т. ч. й РВТ. Ці властивості характеризуються коефіцієнтом податливості, який в загальному випадку визначається відомим співвідношенням

$$K(p) = \frac{\Delta W}{W_0 \Delta p},$$

де  $W_0$  – об'єм порожнини за відсутності тиску;  $\Delta p$  – приріст тиску;  $\Delta W$  – зміна об'єму порожнини через зміну тиску.

В роботах проф. І. А. Немировського показано, що  $K(p)$  залежить від тиску у відповідній порожнині і тому величина цього коефіцієнта в динамічних процесах і в статиці відрізняються. Разом з тим, в цих же роботах рекомендовано для спрощення розрахунків і математичних моделей брати статичний коефіцієнт податливості (СКП), який відповідає усередненому значенню тиску в порожнині гідроагрегату або в трубопроводі.

Мета цієї роботи – виявлення впливу конструктивних параметрів РВТ і тиску в порожнині на величину СКП.

Розглянуто РВТ, які складаються з металевих обплетень та гумових шарів. Кожне з обплетень навито зі сталевого дроту в два шари під кутом один до одного. Гумові шари є суцільними трубками. РВТ такої конструкції виготовляються ГК «Вінницький агрегатний завод». Досліджувались РВТ, конструкція яких включає від одного до чотирьох сталевих обплетень.

В результаті розрахунків побудовані графіки залежності СКП від внутрішнього діаметра РВТ, кількості металевих обплетень та тиску у його порожнині.

Аналіз отриманих графіків показав, що:

- зі збільшенням кількості металевих обплетень величина СКП зменшується;
- зі збільшенням тиску в порожнині рукава СКП для всіх конструкцій РВТ зменшується;
- передатні відношення гумових шарів РВТ залежать від їх товщини; з їх збільшенням передатне відношення деформацій зменшується;
- жорсткість гумових шарів РВТ також залежить від їх товщини і зменшується зі зменшенням цього параметра;
- жорсткість металевих обплетень РВТ підвищується зі збільшенням їх товщини і зростанні тиску в порожнині РВТ;
- результати дослідження можуть бути використані для прийняття рішення щодо вибору будови РВТ для забезпечення необхідної величини СКП.

*Дусанюк Жанна Павлівна* – к. т. н., доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет.

*Дерібо Олександр Володимирович* – к. т. н., доцент, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет.

*Репінський Сергій Володимирович* – к. т. н., доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет.

*Жарський Артем Олександрович* – студент факультету машинобудування та транспорту.

УДК 621.893

## **КОМПОЗИЦІЙНИЙ ПОЛІМЕРНИЙ МАТЕРІАЛ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Свідерський В. П., к. т. н., доц., Кириченко Л. М. наук., співробітник,  
Константінова Т. Є., д. фіз.-мат. н., провід. н. с., Даніленко І. А., к. фіз.-мат. н., ст. н. с.

Полімерні композиційні матеріали на основі політетрафторетилену мають такі недоліки: при навантаженні у вузлі тертя більше 10 МПа різко зменшується зносостійкість і спостерігається пластичне деформування матеріалу та недостатньо висока міцність

граничних шарів між полімером і наповнювачем. Виконані дослідження антифрикційних характеристик композиційного матеріалу Ф4К20 показали, що даний матеріал можна застосовувати до питомого навантаження не більше 1,5 МПа, при перевищенні якого відбувається різке зростання зносу.

Метою проведених досліджень є покращення фізико-механічних і антифрикційних характеристик композиційного полімерного матеріалу Ф4К20.

Завдання вирішується за рахунок того, що в композиційний полімерний матеріал трибо технічного призначення, який містить політетрафторетилен і кокс вводять наномодифікатор  $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$  (оксид), активований у високооборотному млинку МРП-1 на протязі 6 хвилин при наступному співвідношенні компонентів, мас. %: політетрафторетилен – 80 мас. %, кокс – 19 мас. %, нанопорошок  $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$  (оксид) – 1 мас. %.

Для покращення фізико-механічних і антифрикційних характеристик матеріалу Ф4К20 використано принцип багаторівневого модифікування полімерної матриці. Реалізація даного принципу здійснюється шляхом введення в ПТФЕ суміші наповнювачів різного складу і дисперсності: коксу і нанодисперсних частинок оксиду цирконію  $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ .

Введення наномодифікаторів сприяє інтенсивному структуруванню матриці, оскільки наночастинки можуть створювати ансамблі за типом кластерів. В результаті цього створюється армована полімерна система, що відрізняється підвищеними міцнісними і триботехнічними характеристиками. В композиті одночасно існують різні за типом і розмірами надмолекулярні утворення. Наномодифікатор в першу чергу сприяє структурним змінам в аморфній фазі полімера, змінюючи співвідношення між її впорядкованою і невпорядкованою ділянками. Ефект збільшення адгезійної взаємодії між матрицею ПТФЕ і частинками наповнювача реалізується в результаті структуруючого впливу наночастинки з некомпенсованим зарядом на макромолекули граничного шару і формування мілкосферолітних надмолекулярних утворень в об'ємі композиту. Таким чином частинки наномодифікатора збільшують адгезійну взаємодію полімера і наповнювача і сприяють підвищенню рухомості структурних елементів ПТФЕ і, тим самим полегшують протікання деформаційних процесів.

Випробування на зносостійкість проведені на установці ХТІ-72 за схемою контакту - «сфера - площина». Режим змінних граничних питомих навантажень при постійному нормальному навантаженні, зразки висотою  $(10 \pm 0,1)$  мм і діаметром  $(10 \pm 0,1)$  мм з кінцевою сферою радіусу 6,35 міліметра контактували сферою по площині металевого контртіла діаметром  $(60 \pm 0,15)$  мм і висотою  $(10 \pm 0,15)$  мм; металеве контртіло було виготовлено із сталі 45 (НВ  $4,5 \pm 0,18$  ГПа) і оброблено до початкового середнього арифметичного відхилення профілю поверхні  $Ra_0 = 0,2 \pm 0,03$  мкм.

В цій схемі випробувань можна виділити дві характерні області:

а) область нелінійної залежності зношування від шляху тертя, коли питоме навантаження змінюється від навантаження, близького до твердості НВ матеріалу, до навантаження, яке відповідає граничній навантажувальній здатності; позначення: шлях тертя  $S_1$ , інтенсивність зношування  $I_1$ .

б) область лінійної залежності зношування від шляху тертя, коли граничне питоме навантаження в меншій степені знижується, ніж в першій області; позначення: шлях тертя  $S_2$ , інтенсивність зношування  $I_2$ .

За результатами цього експерименту розраховували чинник зношування (інтенсивність об'ємного зносу) для шляху тертя  $\Delta S_i$ :

$$I_1 = \frac{\Delta V_{1i}}{N_i \cdot \Delta S_1}; \quad (1)$$



$$I_2 = \frac{\Delta V_{2i}}{N_i \cdot \Delta S_2}, \quad (2)$$

де  $\Delta V_{1i}$  – зміна об'єму і-зразка на проміжку шляху тертя  $S_1$  (нелінійна залежність зношування від шляху тертя);

$\Delta V_{2i}$  - зміна об'єму і-зразка на проміжку шляху тертя  $S_2$  (лінійна залежність зношування від шляху тертя).

Нормальне навантаження на один зразок дорівнювало  $N_i = 100$  Н, швидкість ковзання  $v = 0,45$  м/с. Випробовування проводилися на шляху тертя  $S_1 = 0-3$  км і  $S_2 = 3-23$  км. Результати виконаних досліджень наведені у табл. 1.

Внаслідок хімічної інертності макромолекул ПТФЕ на межі розділу з наповнювачем не утворюється хімічних зв'язків, а в результаті низької поверхневої енергії і високої в'язкості не забезпечується якісного змочування поверхні наповнювача. В результаті міжфазний шар не здатний до передачі навантаження і при дослідженнях на розтяг композитів армуючий наповнювач фактично не сприяє підвищенню опору розриву зразка. Тому значення міцності при розтягу є показником якості наповненого ПТФЕ: на відміну від всіх інших полімерів його наповнення будь-яким компонентом при застосуванні традиційних технологій приводить до зниження межі міцності під час розтягу композиту.

Перед дослідженнями на розтяг по три зразки кожного матеріалу кондиціонували не менше 16 годин при температурі  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  і відносній вологості  $(50 \pm 5)\%$ . Висоту, ширину і діаметр зразка вимірювали з похибкою не більше 0,01 міліметра і не менше ніж в чотирьох місцях.

Встановлювали зразок між опорними площадками розривної машини МР-05-1 так, щоб вертикальна вісь зразка збігалась з напрямком дії навантаження і розтягували його з постійною швидкістю 15 мм/хв.

В табл. 1 приведені склади композицій і порівняльні дані по зносостійкості і міцності при розтягу матеріалів на основі композиції Ф4К20 і розробленого матеріалу триботехнічного призначення.

Таблиця 1

| Матеріал   | Політетрафтор-етилен, мас%. | Наповнювач, мас. %   | Шлях тертя, $S_2 = 3-23$ км            |  | Межа міцності під час розтягу, МПа |
|--|-----------------------------|--|--|--|------------------------------------|
|  |                             |  | Питоме навантаження в кінці тертя, МПа | Інтенсивність зносу, $I_2 \cdot 10^{-6}$ , мм <sup>3</sup> / (Н·м) |                                    |
| Ф4К20  | 80                          | кокс – 20  | 1,95                                   | 1,32   | 5,1                                |
| Розроблений матеріал триботехнічного призначення | 80                          | кокс – 19, ZrO <sub>2</sub> + 3% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , оксид – 1 | 2,58                                   | 0,52   | 5,8                                |

Встановлено, що розроблений композиційний матеріал триботехнічного призначення переважає матеріал Ф4К20 за зносостійкістю в 2,54 разів, а за міцністю під час розтягу на 14 %.

*Свідерський Владислав Петрович* – к.т.н., доц., кафедри зносостійкості і надійності машин, Хмельницький національний університет

*Кириченко Людмила Мефодівна* – науковий співробітник лабораторії композиційних матеріалів, Хмельницький національний університет

*Константинова Тетяна Євгенівна* – д. фіз.-мат. н., провідний науковий співробітник відділу фізичного матеріалознавства, Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна НАН України, м. Київ

*Даніленко Ігор Анатолійович* – к. фіз.-мат. н., ст. н. с. відділу фізичного матеріалознавства, Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна НАН України, м. Київ.

УДК 620.179

## **МЕТОДИ ВІБРОАКУСТИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ МАШИН**

Біліченко В.В., д.т.н, проф., Борисюк Д.В., інженер

Діагностика і прогнозування ресурсу машин являються одним із важливих напрямів наукових досліджень в галузі експлуатації, технічного обслуговування і ремонту тракторів, автомобілів та інших машин.

Віброакустичний метод діагностування заснований на реєстрації параметрів пружних коливань, що виникають у механізмах при співударі деталей під час функціонування. Пружні коливання (структурний шум) на відміну від повітряного шуму, поширюються по корпусу механізму. При діагностуванні вони фіксуються датчиками, які перетворюють механічні коливання в електричні сигнали.

Методи обробки віброакустичних сигналів можна розділити на дві групи: аналіз сигналів у часовій області та аналіз в частотній області.

Спосіб обробки вібрації для виділення інформативних компонентів визначається характером сигналу. Максимальний обсяг діагностичної інформації з вібрації можна отримати, розділивши сигнал на складові і проаналізувавши кожен з них окремо [1]. Метод аналізу вібрації залежить від типу об'єкта, що діагностується і виду дефекта. Найбільш складною із завдань діагностування є виявлення дефектів, що зароджуються, так як для цього потрібне застосування трудомістких методів діагностування і аналіз тонкої структури сигналу. Як показано в [2] більшість методів діагностування дефектів ґрунтуються на уявленні, що розвиток дефекту викликає зростання амплітуд і числа короткочасних імпульсів в віброакустичному сигналі.

Порівняння методів віброакустичного діагностування представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння методів віброакустичного діагностування

| Метод вібро-акустичного діагностування                            | Особливості методу             | Переваги  | Недоліки  |
|---|--------------------------------|---|---|
| 1   | 2                              | 3   | 4   |
| Метод вимірювання загального рівня вібрації, аналіз форми сигналу | Оцінка технічного стану машин. | 1. Простота отримання вимірювальної інформації;<br>2. Простота інтерпретації результатів вимірювання. | 1. Низька чутливість до компонентів вібрації з малою амплітудою;<br>2. Невисока ступінь достовірності розпізнавання стану агрегату. |

Продовження таблиці 1.3

| 1   | 2   | 3  | 4   |
|---|---|--|---|
| Метод пік-фактора                           | Контроль стану підшипників.   | Простота отримання вібродіагностичних даних  | 1. Низька перешкодозахищеність;<br>2. Необхідність проведення багаторазових вимірювань.   |
| Статистичний аналіз                         | Застосовується для аналізу конкретних параметрів вібрації, визначення основних тенденцій зміни даних параметрів в часі. | Можливість прогнозування стану обладнання.   | 1. Необхідний оптимальний вибір інтервалу і періоду вимірювання;<br>2. Потрібна велика кількість вимірювальних даних;<br>3. Потрібні точні межі граничних значень.                  |
| Частотна селекція віброакустичного сигналу. | Оцінка рівнів вібрації в обмеженій смузі частот.  | Можливість аналізу вібрації на певних частотах.  | Необхідне виконання подальшого аналізу вимірювальної інформації.  |
| Спектральний аналіз.                        | Дефекти і несправності обладнання, що виникають, внаслідок зміни низькочастотної вібрації.                              | 1. Дозволяє діагностувати велику кількість розвинених дефектів;<br>2. Реалізований у всіх сучасних засобах аналізу вібрації.   | 1. Можливість аналізу тільки стаціонарної вібрації;<br>2. Слабка просторова локалізація частотних складових;<br>3. Неможливість діагностування дефектів на ранніх стадіях розвитку. |
| Спектр огинаючої високочастотної вібрації.  | Дефекти на ранніх стадіях розвитку.   | 1. Висока чутливість до дефектів на ранніх стадіях розвитку;<br>2. Локалізація дефекту.  | 1. Точне місце установки датчика;<br>2. Використання дорогого устаткування або спеціального програмного забезпечення.   |
| Кепстральний аналіз.                        | Слабкі періодичні ударні імпульси в низькочастотній вібрації.   | Моніторинг віброакустичного сигналу з імпульсними складовими.  | Складність виконання аналізу та інтерпретації результатів.  |
| Нейронні мережі.                            | Дефекти і несправності, на які було проведено навчання нейронної мережі.  | 1. Висока точність визначення дефекту.<br>2. Високий рівень автоматизації процесу діагностування.  | 1. Складність реалізації.<br>2. Складність навчання нейронної мережі.   |
| Вейвлет-перетворення.                       | Локальні особливості сигналу.   | 1. Можливість отримання достовірних даних з невеликих вибірок сигналу;<br>2. Локалізація дефекту одночасно в частотній і часовій областях;<br>3. Вирішення одночасно завдань моніторингу і діагностування. | Складність інтерпретації результатів.   |

З табл. 1 видно, що кожен з розглянутих методів використовується для вирішення будь-якої одиночної проблеми, і для контролю технічного стану обладнання переважно використовуються різні способи обробки даних в сукупності. Представлені методи орієнтовані на виявлення розвинутих дефектів або дефектів, що зароджуються. Метод, що дозволяє проводити діагностування об'єкта по високочастотній і низькочастотній вібрації одночасно, відсутній. У свою чергу методи контролю і діагностування дефектів, що зароджуються вимагають високої кваліфікації фахівця, так як вони трудомісткі і складні в інтерпретації. При моніторингу машин і обладнання по низькочастотній вібрації дослідник користується розробленими нормативними документами і загальноприйнятими рекомендаціями, що дозволяють віднести обладнання до конкретного стану. При дослідженні високочастотної вібрації дослідник стикається з труднощами визначення дефекту вузла машини, так як на даний момент відсутні регламентовані документи і бази даних по класифікації дефектів і ступеня їх розвитку. Всі існуючі методи діагностування мають певні недоліки. Вони орієнтовані на виділення дефектів конкретного вузла обладнання (метод пік-фактора), вимагають великої кількості вимірювальної інформації і точних меж граничних значень параметрів вібрації (статистичний аналіз), не дозволяють отримати достовірних відомостей про стан устаткування, типу і локалізації дефекту (метод вимірювання загального рівня вібрації і аналізу форми сигналу), вимагають подальшої обробки діагностичних даних (частотна фільтрація), при діагностуванні на низьких частотах, мають обмеження при аналізі в високочастотній вібрації (спектральний аналіз), вимагають спеціального устаткування і програмного забезпечення (метод спектра обвідної високочастотної вібрації, кепстральний аналіз).

#### Список використаних джерел

1. Барков А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учебное пособие / А.В. Барков, Н.А. Баркова. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2004. – 152 с.
2. Ширман А. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Ширман, А. Соловьев. – М.: Спектр-инженеринг, 1996. – 272 с.

*Біліченко Віктор Вікторович* — доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту ВНТУ.

*Борисюк Дмитро Вікторович* — Вінницький національний технічний університет, інженер кафедри автомобілів та транспортного менеджменту ВНТУ.

УДК:621.793.7

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОКРИТТІВ, ЯКІ НАПЛАВЛЕНІ ПОРОШКОМ ПГ-10Н-01, МОДИФІКОВАНИМ КОМПОЗИЦІЙНИМ МАТЕРІАЛОМ СИНТЕЗОВАНИМ З ВИКОРИСТАННЯМ СВС-ПРОЦЕСУ**

Лузан С.О., д.т.н., проф., Сідашенко О.І., к.т.н., проф., Лузан А.С., аспірантка

У 1967 році група вчених (Мержанов А.Г., Боровинська І.П. і Шкиря В.М.) Наукового Центру Академії наук СРСР в м. Черноголовка, Московської області, досліджуючи експериментальні моделі горіння конденсованих систем, відкрила нове явище, що отримало

назву «твердого полум'я» (офіційна назва «Явище хвильової локалізації автогальмуючих твердофазних реакцій»). Тверде полум'я, яке було для того часу досить незвичайним явищем, являє собою процес, в якому вихідні реагенти, проміжні і кінцеві продукти залишаються в твердому стані протягом всього процесу перетворення. Тверде полум'я дозволило отримувати цінні тугоплавкі матеріали. Ця обставина привела до створення нового високоефективного методу їх виробництва – високотемпературного синтезу (СВС), який є одним з найбільш перспективних напрямків у створенні нових композиційних матеріалів. Застосування методів механічної активації дозволяє синтезувати матеріали, що володіють більш високими фізико-хімічними і механічними властивостями. При обробці матеріалів в кульових млинах створюються умови для протікання механохімічних реакцій безпосередньо в них, або при подальшій термічній активації перетворень в механокомпозитах.

В якості вихідних матеріалів для отримання композиційного матеріалу з використанням СВС-процесу застосовувалися порошки титану марки ВТ1-0, бору В, вуглецю марки ПМ-15 з метою синтезування карбіду і дибориду титану. Крім того, для збільшення теплового ефекту в процесі синтезу карбіду і дибориду титану в механічну суміш вводиться терморегулюючий порошок алюмініда нікелю ПТ-НА-01, алюмінієва пудра (порошок) ПАП-1 ГОСТ 5494-95 і оксид заліза  $Fe_2O_3$ . Фракційний склад всіх вихідних порошкових компонентів знаходився в межах (63...100) мкм. Співвідношення компонентів в суміші було еквімолярним, щоб в результаті подальшої СВС-реакції відбувався синтез карбіду і дибориду титану, карбіду заліза стехіометричного складу. Для поліпшення СВС-процесу порошок суміш піддавали механічній активації в кульовому млині. Після механоактивації в порошок суміш додавали сполуки, формували зразок у вигляді циліндра і здійснювали сушку (рис. 1, а). Підпал зразка проводився електричною дугою.

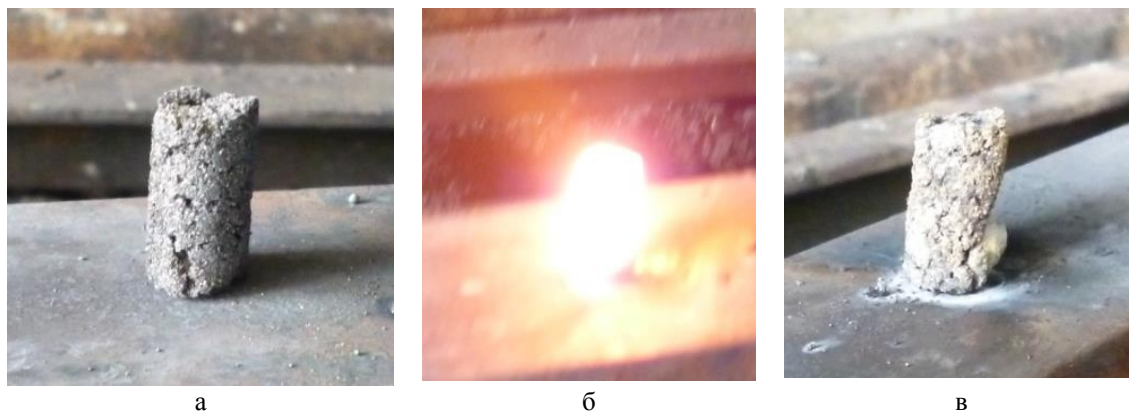


Рисунок 1 – Процес отримання композиційного матеріалу:

а - після формування; б - СВС-процес; в - композиційний матеріал у вигляді спека

Далі здійснювали його дроблення, додавали матричний матеріал ПГ-10Н-01 в кількості 80% і виконували механоактиваційну обробку. В отриману порошок суміш вводили рідке скло до отримання пастоподібного стану. Приготовану пасту наносили на підготовлену для наплавлення поверхню сталеві пластини (сталь 20), і після просушування здійснювали наплавку з використанням інверторного джерела живлення Патон ВДИ-200Р DC TIG графітовим електродом діаметром 10 мм, струм наплавлення 80-120 А, полярність – пряма.

Результати зносних випробувань покриттів ПГ-10Н-01 і покриття, модифікованого композиційним матеріалом {20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01}, на машині тертя МІ за схемою диск-колодка в середовищі індустриального мастила з питомим навантаженням 8 МПа представлені на рис. 2. Як видно з рис. 2 результати випробувань свідчать про більш високу зносостійкість пропонованого композиційного матеріалу {20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01}, яка

в 2,35 рази перевищує зносостійкість сплаву марки ПГ-10Н-01.

Мікроструктура наплавлених покриттів є матричний матеріал – сплав ПГ-10Н-01, в якому рівномірно розподілені тверді включення: частинки карбіду (TiC) і дибориду титану (TiB<sub>2</sub>), карбіду заліза (Fe<sub>3</sub>C).

Дані включення забезпечують високу зносостійкість композиційного матеріалу. При збільшенні вмісту твердих включень в матричному матеріалі його зносостійкість збільшується.

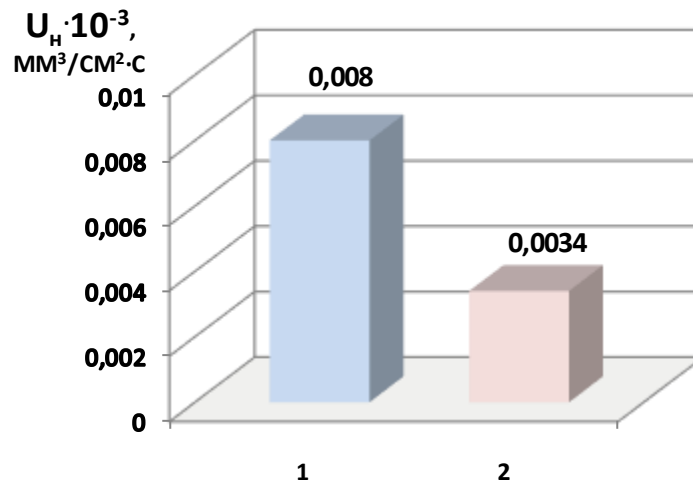


Рисунок 2 – Інтенсивність зношування в процесі нормального тертя в середовищі індустріального мастила пар: покриття ПГ-10Н-01 - сталь 45 HRC 50 (1); покриття {20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01} - сталь 45 HRC 50 (2)

Експериментально встановлено, що перевищення вмісту в композиційному матеріалі синтезованого модифікуючого композиційного матеріалу більше 20% погіршує його наплавочно-технологічні властивості.

Вимірювання коерцитивної сили в наплавлених валиках на сталь 20, виконані з використанням структуроскопу КРМ-Ц-К2М відповідно галузевого стандарту СОУ29.32.4-37-532: 2006, показали, що при напавленні порошку ПГ-10Н-01 її величина становить  $H_c = 4,9 \text{ А/см}$ , а при напавленні порошку, що містить 20% модифікуючого композиційного матеріалу, –  $H_c = 6,4-7,3 \text{ А/см}$ , що також свідчить про зміну структури напавленого покриття.

*Лузан Сергій Олексійович* - д.т.н., проф., професор кафедри технологічних систем ремонтного виробництва, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П. Василенка

*Сідашенко Олександр Іванович* - к.т.н., проф., завідувач кафедри технологічних систем ремонтного виробництва, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П. Василенка

*Лузан Аліса Сергіївна* – аспірантка кафедри технологічних систем ремонтного виробництва, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П. Василенка

## ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ

Савуляк В.І., Виговський В.Е., Осокін В.А., Панібрацький В.О.,  
Полункін Е.В., Солоненко В.І.

Досліджувались вуглецеві конденсати, отримані в електронно-променевої установці Інституту електронно-променевої нанотехнологій і наноматеріалів, (Вінниця, Україна), а також зразки інтеркальованого графіту, отриманого в Інституті неорганічної та електрохімії ТГУ (м.Тбілісі, Грузія).

Виміри проводилися в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії НАНУ на атомно-силовому мікроскопі АСМ «NT-206». Перед вимірами зразки оброблялися за схемою:

1. Нановуглецевий конденсат галогенували бромом з метою модифікування поверхні наночастинок і збільшення їх розчинності.

2. Виконувалась сублимація броду, а наночастинок екстрагували.

3. Отриманий розчин наносився на спеціальне кварцове скло і висушувався.

Після цього поверхні сканувалися з фотографуванням наночастинок та вимірюванням їх топографії та розмірів. Розміри видно внизу кожної світлини. Виявлено наночастинок графенові і полішарові. Сферичні частинки дещо видовжені 559-468нм з висотою 20-26нм. Вимірювання виконувалися між точками 1 та 2, приклади яких показані на світлинах.

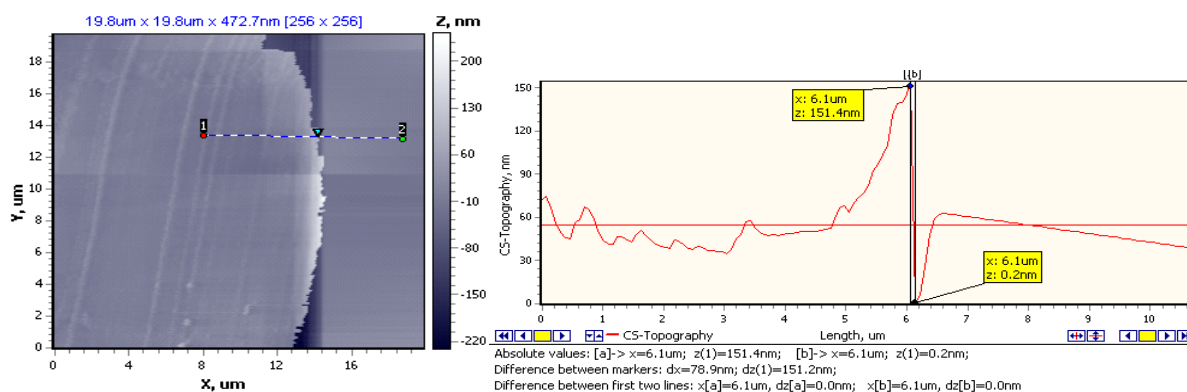


Рисунок 1 – Топографія вуглецевої нанопластики, виявленої на краю зразка (можливо графен).

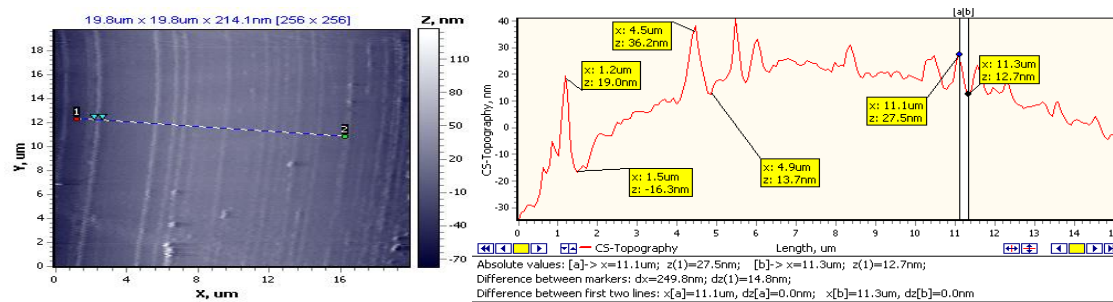


Рисунок 2 – Топографія поверхні зразка з хвилями та сфероїдальними включеннями

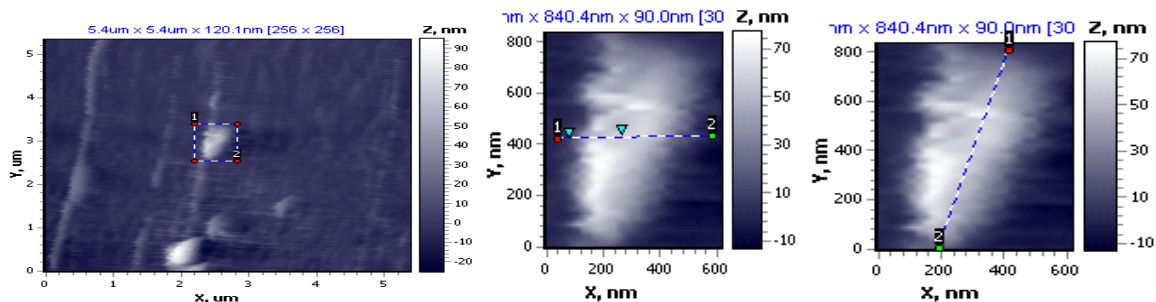
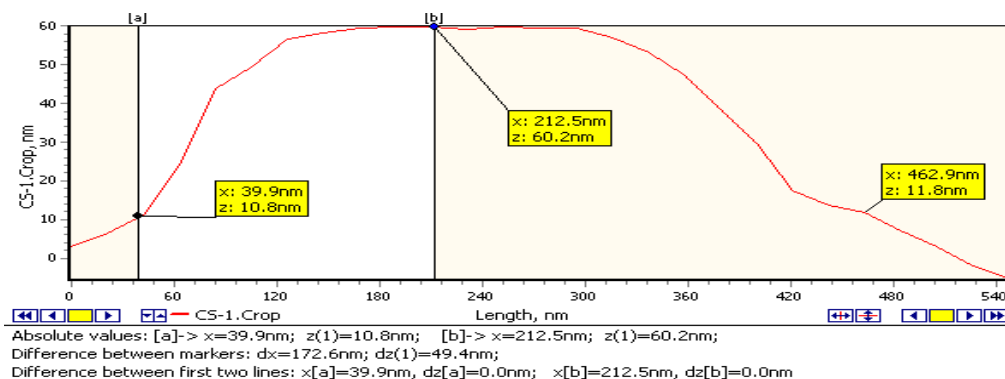
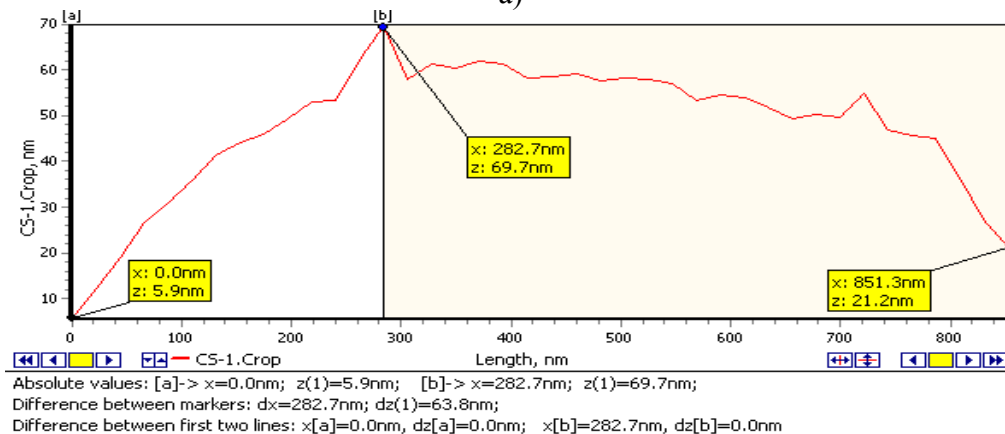


Рисунок 3 – Світлини ділянки пластини з виділеними вклученнями



а)



б)

Рисунок 4 – Топографія поверхні сфероїдальних вклучень, показаних на рис.3 (а – поперечний переріз, б – поздовжній переріз)

#### Висновки.

1. Аналіз результатів досліджень, виконаних на атомно-силовому мікроскопі зразків вуглецевого конденсату, показує наявність різних схем спонтанного утворення зародків та росту нанорозмірних плівок. Спостерігається ріст двовірних плоских пластин та тривимірних сфероїдальних.
2. Потрібен цикл додаткових досліджень для встановлення процесу та умов утворення зародків сферичних вклучень, ролі атомів домішок на ці процеси та виявлення інших факторів структуроутворення.
3. Важливим фактором утворення двовірних кластерів та росту 2-D плівок є пошук варіантів підкладок для осадження атомів вуглецю на них з електронними гібридизованими оболонками.
4. Якість формування графітних 2-D плівок важко забезпечити без вирішення питання заліковування дефектів їх структури.



*Савуляк Валерій Іванович* - д.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет

*Выговський Віктор Євгенович* – засновник інституту електронно-променевої нанотехнологій і наноматеріалів (ІЕПНІН) м.Вінниця

*Осокін В* - к.т.н., ІЕПНІН, м.Київ

*Панібрацький Валерій Олексійович* – директор ІЕПНІН, м.Вінниця

*Полункін Е.В.* – к.х.н., Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАНУ, м.Київ

*Солоненко Володимир Іванович* – к.ф-м.н.,

УДК 664

## ПІРОЛІЗНА УСТАНОВКА ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ

Іскович-Лотоцький Р. Д., д.т.н., проф., Іванчук Я. В., к.т.н., доц.,  
Турчик Д. В., магістр

На рівні з такими методами утилізації, як депонування й інсинерація, більш ефективним є піролітичний спосіб утилізації побутових, медичних та промислових відходів. У зв'язку з цим було розроблено піролізну установку (рис. 1), яка дозволяє ефективно для навколишнього середовища утилізувати відходи, з мінімальними економічними і технологічними витратами на утилізацію, а також з подальшим ефективним використанням теплової енергії. Дана продукція може знайти застосування на вітчизняних підприємствах, які в даний момент відходи транспортують і захоронюють на полігонах сміттєзвалищ, медичних закладах та підприємствах комунального господарства.



Рисунок 1 – Піролізна установка для утилізації відходів

Найважливішим показником є те, що при піролізі органічна фракція піддається попередньому розкладу в безкисневій атмосфері, після чого утворена концентрована парогазова суміш направляється в камеру опалювання, де в режимі керованого спалювання газотвірних продуктів відбувається перехід токсичних речовин в менш або повністю безпечних. Основною перевагою даної розробки, на рівні з такою відомою установкою, як *Ati-Incinerateurs Muller*, є високий ККД, а також низька собівартість виготовлення.

Продуктивність утилізації даної піролізної установки - 200 кг/год, при цьому кількість виділяючого тепла становить 0,3 ГКал/год, рівень гранично-допустимих викидів у атмосферу в межах ПДК. Подібні піролізні установки можуть бути використані на усіх підприємствах і медичних закладах України.

Виготовлений експериментальний зразок, відпрацьовані конструктивні схеми, підтверджені заплановані характеристики, а також розроблена конструкторська документація.

*Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович* - д.т.н., проф., завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет

*Іванчук Ярослав Володимирович* – к.т.н., доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет

*Турчик Дмитро Володимирович* – магістр гр. 1ГМ-17м, кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет

УДК 534

## ВІБРАЦІЙНИЙ КОНВЕЄР НА БАЗІ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА

Іскович-Лотоцький Р. Д., д.т.н., проф., Іванчук Я. В., к.т.н., доц.,  
Козловський А. В., магістр

Технологічний процес вібраційного переміщення служить не тільки транспортним цілям, але й складає основу багатьох технологічних процесів. Основними видами вібраційних транспортних операцій є переміщення по горизонталі або із невеликим підйомом (нахилом), підйом по гвинтовому вантажонесучому органу або в установках спеціального пристрою, вібраційне завантаження і випуск із порожнин, бункерування.

У науковій школі Р. Д. Ісковича-Лотоцького ВНТУ на базі гідроімпульсного привода (ГІП) для неперервного транспортування крупнокускових насипних вантажів було розроблено вібраційний конвеєр на базі ГІП (рис. 1, а), в якому застосовується у якості генератора імпульсів тиску (ГІТ) однокаскадний клапан пульсатор (рис. 1, б).

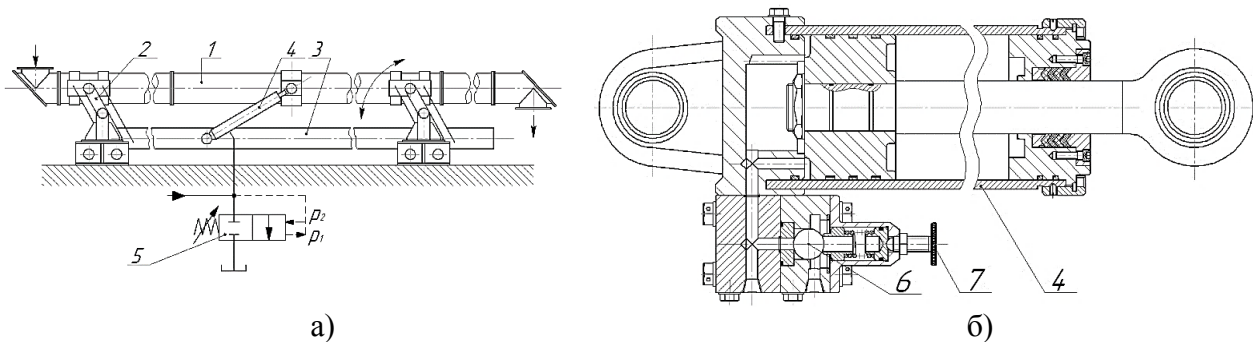


Рисунок 1 – Вібраційний конвеєр на базі ГІП:  
а) – принципова схема; б) – конструктивна схема ГІП

Вібраційний конвеєр (див. рис. 1, а) складається із вантажонесучого органу 1 (лотка) до якого через пружні елементи торсійного типу 2 приєднана інерційна маса 3. Вібраційні коливання створюються ГІП, який складається із гідроциліндра 4 і ГІТ 5, у вигляді однокаскадного клапана-пульсатора. У порожнині гідроциліндра 4 ГІТ створюються імпульси тиску амплітудою  $\Delta p = p_1 - p_2$ . Налаштування тиску спрацювання  $p_2$  ГІТ (див. рис. 1, б) залежить від налаштування пружини 6, а з'єднання напірної гідролінії зі зливною відбувається за допомогою (скидання робочого тиску до тиску  $p_1$ ) від запірної елементу 6 у вигляді кулькового клапану. Вібраційне переміщення насипного вантажу реалізується за допомогою асиметричного вібраційного навантаження на вантажонесучий орган 1 (лоток) від дії ГІП, який

створює різницю в часі переднього  $t_n$  і заднього  $t_z$  фронту функції зміни переміщення, для способу приєднання ГТГ до виконавчого гідроциліндра за схемою «на виході».

Даний вібраційний конвеєр дозволяє транспортувати крупнокусковий матеріал, у вигляді свинцевого агломерату, із продуктивністю  $Q=25$  м<sup>3</sup>/год і розподілом транспортуючого матеріалу по поверхні лотка –  $q_m=2,0$  т/м<sup>3</sup>. Середня швидкість транспортування вантажу по лотку при цьому складає  $V=0,2$  м/с, при амплітуді коливань вантажонесучого органу (лотка)  $A=1,2$  мм і частоті коливань  $\nu=10$  Гц.

*Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович* - д.т.н., проф., завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет

*Іванчук Ярослав Володимирович* – к.т.н., доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет

*Козловський Андрій Владиславович* - магістр гр. 1ГМ-17м, кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет

УДК 630.21

## **НАПРУЖЕННІТЬ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ГІДРАВЛІЧНИХ МАНІПУЛЯТОРІВ**

Петров О.В., к.т.н., доц., Сухоруков С.І., к.т.н., доц.,  
Лозінський Д.О., к.т.н., доц.

Основними критеріями працездатності металоконструкції маніпулятора є міцність та жорсткість, оцінка яких на стадії проектування виконується на основі існуючих методів інженерних розрахунків. В більшості, результати оцінки за цими критеріями залежить від прийнятих розрахункових схем навантаження, що враховує режими роботи маніпулятора та його конкретну конструкцію, а також технологічний процес його виготовлення.

Найбільш реальну оцінку напруженого стану металоконструкції маніпулятора можна провести на основі результатів її тензометричних досліджень, які передбачають визначення як можливих розрахункових схем навантаження, так і величин напружень у вузлах металоконструкцій при відповідних режимах навантаження.

Останнім часом метод розрахунку за допустимими напруженнями при статичній міцності все більше витісняється методом розрахунку по граничному стану, який характеризується більшою точністю, оскільки враховує реальні фактори динаміки конструкції в експлуатації. Таким чином, під час розрахунку металоконструкцій гідравлічних маніпуляторів варто використовувати метод статистичної оптимізації за критерієм металоємності з врахуванням обмежень по надійності.

Надійність металоконструкцій маніпуляторів багато в чому залежить від надійності вузлів передачі зосереджених сил. Відомі формули для визначення напруження в накладці та верхньому поясі короба стріли дуже громіздкі, не враховують товщини листа верхнього пояса та накладки і тому не мають високої точності в проектних розрахунках.

Отже, з метою підвищення надійності металоконструкцій гідравлічних маніпуляторів на стадії їх проектування найбільш раціональною можна вважати таку послідовність дослідницьких робіт:

- тензометричні дослідження металоконструкції існуючої базової моделі маніпулятора з визначенням коефіцієнта динамічності із гідроапаратурою, що планується встановлюватись на

серійні моделі маніпуляторів, а також коефіцієнтів у формулах для визначення напружень у вузлах передачі зосереджених сил;

- використання у існуючих формулах проектних розрахунків значень коефіцієнтів чи залежностей, що отримані в результаті експериментальних дослідів;
- тензOMETричні дослідження нових моделей маніпулятора у перетинах, де діють найбільші напруження та порівняння їх із розрахунковими.

*Петров Олександр Васильович* - к.т.н., доц., доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет

*Сухоруков Сергій Іванович* - к.т.н., доц., доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет

*Лозінський Дмитро Олександрович* - к.т.н., доц., доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет

УДК 621.3.038

## **СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ**

Шиліна О. П. к.т.н., доцент,

Колінчасті вали складні за конструкцією, важконавантажені та дороговартісні. Основними причинами втрати працездатності колінчастих валів є абразивне зношування шийок та втомні злами в області галтелей, а саме, у пригалтельних зонах шийок. В процесі експлуатації абразивне зношування шийок та вкладишів призводить до не співвідності опор, що в свою чергу, прискорює абразивне стирання та різко (на 25-30%) знижує опір втомленості валів.

Опір поверхонь абразивному зношуванню шийок колінчастого валу в значній мірі визначається їх твердістю. Тому для наплавлення використовують матеріали, в структурі яких міститься достатньо твердих, термодинамічно стійких складових, наприклад на основі карбідів. Найбільш розповсюджено при відновленні чавунних колінчастих валів отримати у поверхневому шарі тим або іншим способом вибілину зону зі структурою ледебуриту, яка володіє підвищеною зносостійкістю.

Нами для відновлення колінчастих валів випробувана порошкова проволочка діаметром 1,6 мм з терморегуючою суміш'ю.

Режими наплавлення колінчастих валів:  $I = 140 \dots 160$  А;  $U = 24 \dots 28$  В; швидкість подачі дроту 164 м/год; швидкість переміщення деталі  $3 \text{ м}^{-1}$ ; шаг наплавлення 5,6 м/об. Хімічний склад наплавленого порошковою проволочкою шару: вуглець 2,2...2,5%; хром 1,5...2,0%; кремній 0,9...1,0%, манган 1,4...1,6%; титан  $\leq 0,1\%$ ; бор  $\leq 0,1\%$ .

В наплавленому шарі отримана структура доєвтектичного білого чавуну з твердістю  $HRC_c 45 \dots 50$  од. Вміст хрому у наплавленому шарі знаходиться у межах 1,5...2,4%. В мікроструктурі досліджуються ділянки ледебуритного цементиту та перліту.

На рисунку 1 показані ділянки мікроструктури наплавленого у два шари. Товщина першого шару  $\approx 3$  мм; другого  $\approx 2,5$  мм. На мікроструктурі видно плавний перехід від основного до наплавленого металів. Перший наплавлений шар насичений вуглецем, вміст якого у ньому досягає 3,0... 3,3%. Це пояснюється змішуванням вуглецевого розплавленого сірого чавуну основи з металом дроту, вміст вуглецю у другому шарі нижче і складає  $\approx 2,7$  %. На рисунку 1а показана мікроструктура зони сплавлення порошкового дроту з основою.

На границі спостерігаються залишки неповністю розчинених графітних включень. У цій зоні нема дефектів, що пояснюється сильною дією розкислення кремнію, що містить чавун.

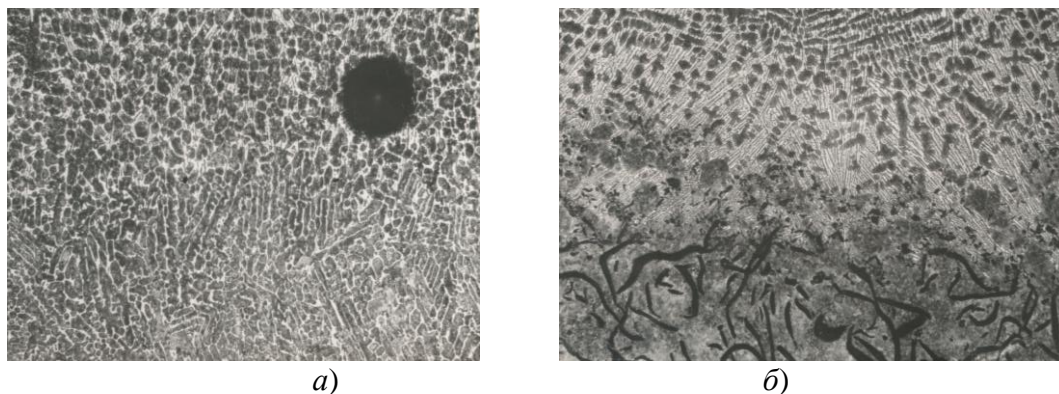


Рисунок 1 – Мікроструктура двошарового наплавлення порошковим дротом на сірий чавун: *a)* – зона сплавлення проволоки з основою; *б)* – зона сплавлення першого та другого шарів. (x100)

Друга зона сплавлення рис.1б ( між першим та другим шаром наплавлення) має невелику кількість макроскопічних дефектів (у вигляді дрібних газових пухирців); вірогідно, у цій зоні кремнію було недостатньо для попередження взаємодії з вуглецем окислів, які утворилися на поверхні металу після першого наплавлення. Структура наплавленого шару – ледебуритний цементит та перліт.



Рисунок 2 – Мікроструктура поверхневого шару при двошаровому наплавленні. (x500)

Рентгеноструктурний аналіз в  $Co - K_{\alpha}$  випромінюванні показав, що як перший наплавлений шар, так і другий складаються із двох фаз:  $\alpha$  – твердий розчин та цементит (майже повна відсутність залишкового аустеніту, що пояснюється сильним прогрівом та повільним охолодженням наплавлених шарів у випадку подвійного наплавлення).

Для виявлення аустеніту в наплавленому на сірий чавун шарі проводили електролітичне травлення зразків у електроліті Попової. Кількість залишкового аустеніту визначали за співвідношенням інтенсивності ліній  $\{200\}\gamma$  – фази та  $\{211\}\alpha$  – твердого розчину. Результати аналізу показали, що кількість залишкового аустеніту знаходиться на рівні фону, відсоткове співвідношення не можливо порахувати із-за малої інтенсивності ліній  $\gamma$  – фази.

Промислові випробування чавунних колінчатих валів , наплавлених порошковим дротом, показали збільшення строку служби валів на 25...30% у порівнянні з валами,

наплавленними порошковим дротом, в якому компонентами шихти є порошок заліза та високовуглецевий ферохром.

При наплавлення порошковим дротом з терморегуючою суміш'ю за рахунок теплоти хімічної реакції знижується енергоємність процесу, а відповідно менше перегрів основного металу вала, що суттєво впливає на якість наплавленого шару, відрізняється стабільними експлуатаційними властивостями та суттєво підвищує працездатність.

*Шиліна Олена Павлівна* – канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: epshilina.tpz@gmail.com

*Shilina Olena P.* – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of department of machine-building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: epshilina.tpz@gmail.com

УДК 621.762

## **ДОСЛІДЖЕННЯ АЛЮМОТЕРМІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ КУВАЛЬНО - ПРЕСОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

Рудь В.Д., д.т.н., проф., Савюк І.В. м.н.с.,  
Самчук Л.М., к.т.н., доцент

Алюмотермія як відновлення оксидів заліза алюмінієм, що є одним з різновидів металотермії, знайшла найбільше застосування у промисловості. Екзотермічні суміші досить широко застосовують для розплавлення тугоплавких присадок, отримання чавунів та литих деталей, зварювання і відновлення металів та інше. В якості основного компоненту екзотермічної шихти часто застосовують різноманітні відходи що містять велику кількість оксидів. Для дослідження параметрів процесу горіння екзотермічних сумішей в якості основного компоненту шихти використовували окалину сталі 18Х2Н4МА. Дана окалина є відходом кувално-штампувального виробництва ПАТ «Ковельсьільмаш». Хімічний склад окалини сталі 18Х2Н4МА: 41-33% FeO, 36-27% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і 23-40% Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> і 1,5-2,0% оксиди легуючих елементів. В якості відновника взято порошок алюмінію ПА за ГОСТ 6058-73. Оскільки відходи мають різноманітні оксиди, то використання алюмотермічних процесів у промисловості зумовлює детальне вивчення їх сутності, закономірності проходження реакції та всебічне вивчення властивостей матеріалу, що отриманий в результаті реакції. Через вміст в окалині трьох видів оксидів заліза теоретичний розрахунок складу шихти ускладнений, то він визначався експериментально виходячи з оптимальної температури горіння та виходу гідного металу.

В експериментах не проводилося розділення оксидів за хімічним складом а склад шихти варіювався згідно двох основних компонентів: окалина плюс порошок алюмінію. Варіація компонентів у процентному співвідношенні шихти змінювалася для десяти партій зразків наступним чином: окалина/алюміній від 81%/19% до 72%/28%. Встановлено, що від процентного співвідношення компонентів шихти залежать такі параметри процесу, як температура горіння, час проходження реакції та вихід металу. Сама висока температура горіння характерна для співвідношень окалина/Al – 81%/19% - 79%/21% і становила 3000 – 2900 С<sup>0</sup>. При цьому час горіння коливався в межах 3,5-2,8 секунди, вихід металу біля 44%. Сама низька температура горіння зафіксована для процентного співвідношення 74%/26% - 72%/28% а саме 2500 – 2400 С<sup>0</sup>, вихід металу становить біля 50%. Оптимальною за температурою горіння та виходом металу є суміш з пропорцією окалина/Al %, 77/23 та 76/24 %. При збільшенні вмісту окалини, імовірно через підвищення калорійності терміту та

виникнення надмірної теплоти, відбувається випаровування заліза. При збільшенні алюмінію, для проходження реакції не вистачає кисню, що призводить до нерівномірного поширення реакції та неповного згорання компонентів шихти.

Для визначення впливу на процес горіння терміту було проведено дослідження закономірності швидкості горіння від щільності суміші та дисперсності часток. Щільність варіювалась в межах від 0,47 до 8 г/см<sup>3</sup>. Щільність 0,47 г/см<sup>3</sup> – це щільність непресованої суміші. Встановлено, що при збільшенні щільності зразків швидкість горіння зменшується. Це пояснюється тим, що уповільнюються реакція відновлення заліза алюмінієм через послаблене надходження кисню в зону горіння. Дисперсність шихти має незначний вплив на зміну швидкості горіння, однак найбільш стабільне проходження реакції відбувається при розмірі порошку 400-500 мкм.

Металографічні дослідження проводилися за стандартною методикою, для растрової електронної мікроскопії використовували ESEM Philips XL30-FEG. З метою отримання чіткого зображення границь зерен шліфи протравлювали 4% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Аналіз мікроструктури показав, що даний метал більш схильний до евтектоїдної структури. Це обумовлюється тим, що температура реакції перевищує температуру евтектичного перетворення (P<sub>C</sub> → L(A<sub>E</sub>+Ц)). Згідно з правилом фаз – C=2-3+1=0 – це перетворення відбувається при постійній температурі. Середній хімічний склад матеріалу отриманого при спалюванні суміші в пропорції окалина/Al, %: C-0,43; Si-0,21; Cr-0,22; Mo-0,19; Fe-98,94%.

Висновки. Експериментально встановлено склад екзотермічної суміші з найбільш оптимальними параметрами горіння. Визначено, що дисперсність порошку шихти немає суттєвого впливу на швидкість горіння суміші, а при горінні пресованої шихти з щільністю більшою ніж щільність засипки відбувається зниження швидкості горіння. Доведено, що на вихід гідного металу суттєво впливає склад шихти, так як при збільшенні вмісту окалини, а відповідно і Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, зростає калорійність терміту що призводить до утворення надлишкових температур.

*Рудь Віктор Дмитрович* – д.т.н., професор кафедри прикладної механіки, Луцький національний технічний університет

*Савюк Ігор Віталійович* – м.н.с., кафедри прикладної механіки, Луцький національний технічний університет

*Самчук Людмила Михайлівна* – к.т.н., доцент кафедри прикладної механіки, Луцький національний технічний університет

УДК 004.42(07)

## **АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОМИСЛОВОГО ВІБРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОЦЕСУ СЕГРЕГАЦІЇ ПОРОШКОВИХ СУМІШЕЙ**

Рудь В.Д., д.т.н., проф., Христинець Н.А., асистент

Розділення сипкого середовища на фракції за допомогою вібраційної техніки лежить в основі багатьох технологічних процесів. Одним із методів розділення є процес віброsegрегації, який дозволяє отримати градієнтну структуру матеріалу з неоднорідними властивостями та експлуатаційними характеристиками по висоті зразка.

Більшість вібраційного технологічного обладнання реалізовано на інерційному приводі з використанням зарезонансних режимів роботи, що не може забезпечити умови

сегрегації порошків. Приведення в рух таких систем здійснюється, в основному, від асинхронних двигунів. Прикладом такого обладнання слугують промислові площадочні вібратори – електрообладнання загального призначення високого ресурсу, яке перетворює електричний струм на вібрацію. В основному, вібратори загального призначення підвищеної надійності використовуються як допоміжні механізми, які кріпляться до обладнання. Експериментальні дослідження по вібраційному формуванню проводились на дослідному вібростенді УВМ60/60 (рис. 1) експериментального цеху ПАТ «Електротермометрія» м. Луцьк.



Рисунок 1 – Загальний вигляд вібраційного стенду УВМ60/60

Вібростенд здійснює перетворення обертального руху вала електродвигуна в коливання робочого столу (у вертикальні, горизонтальні та комбіновані коливання). Значення амплітуди і частоти вібраційних коливань мають незалежне регулювання за допомогою пульта керування і змінюються в межах: амплітуда – 0 – 10 мм; частота – 0 – 80 Гц.

Розглянутий вібростенд становить практичний інтерес для подальшого дослідження формування матеріалу з урахуванням його технологічних параметрів. Для побудови моделі поведінки часток під дією вібрації у якості множини параметрів, що впливають на процес розділення часток, було вибрано множину  $X_{21}$ , оцінювальні параметри якої зазначені в таблиці 1:

Таблиця 1 – Деякі оцінювальні параметри системи в процесі вібросегрегації

| Множина факторів | Оцінювальні параметри системи |   |
|------------------|-------------------------------|---|
| X <sub>21</sub>  | Y <sub>21</sub>               | Амплітуда віброприскорень коливань, $A$ |
|                  | Y <sub>22</sub>               | частота коливань, $\omega$              |
|                  | y <sub>23</sub>               | загальна маса несучого тіла, $M$        |
|                  | y <sub>24</sub>               | Швидкість віброприскорення, $\nu$       |
|                  | y <sub>25</sub>               | Вібропереміщення, $l$                   |



Для того, щоб встановити залежності між режимами отримання прошкового матеріалу з двокомпонентної суміші металевих порошків і дослідити експлуатаційні характеристики цього матеріалу, з урахуванням вибраних параметрів було побудовано математичну модель.

*Рудь Віктор Дмитрович* – д.т.н., професор кафедри прикладної механіки, Луцький національний технічний університет

*Христинець Наталія Анатоліївна* – асистент кафедри комп'ютерної інженерії, Луцький національний технічний університет

УДК 621.791.753

## **ОДНОСТОРОННЄ ВИСОКОШВИДКІСНЕ ЗВАРЮВАННЯ ТРУБ ДЛЯ ГАЗО-І НАФТОПРОВІДНИХ МАГІСТРАЛЕЙ**

Щетинін С. В., д. т. н., проф., Щетиніна В. І., д. т. н., проф.,  
Никитенко П. В., аспірант, Коваль О. В., аспірант, Елсаєд Халед, аспірант

Інтенсифікація виробництва труб для газо- і нафтопровідних магістралей призводить до необхідності розробки нових процесів одностороннього високошвидкісного зварювання, які забезпечують підвищення продуктивності і ударної в'язкості зварних з'єднань. Підвищення продуктивності за рахунок збільшення швидкості автоматичного зварювання обмежено порушенням формування швів в результаті утворення підрізів, природа яких повністю не вивчена. Одностороннє високошвидкісне зварювання обмежено витіканням рідкого металу і порушенням формування зворотнього валику. Тому розробка процесів одностороннього високошвидкісного зварювання, що забезпечують підвищення якості і ударної в'язкості зварних з'єднань є важливою науково-технічною проблемою.

На основі проведених досліджень встановлена електромагнітна природа утворення підрізів під дією магнітного поля зварювальної дуги, згідно якої при підвищенні швидкості зварювання посилюється охолодження і зменшується діаметр дуги, підвищується індукція, магнітний тиск і посилюється пінч-ефект. Дуга концентрується, зменшується тепловкладення і електричний опір бічних кромки ванни. В результаті зростає струм через бокові кромки, і спрямована вниз електро-магнітна сила, під дією якої рідкий метал стікає з кромки ванни, що призводить до утворення підрізів.

На основі електромагнітної природи утворення підрізів розроблено спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом з дроту в середині U-подібної стрічки, прямолінійні ділянки якої розташовуються попереду дротів. Дуга, яка горить на прямолінійних ділянках стрічки, збільшує тепловкладення в бічні кромки ванни. В результаті електричний опір зростає, зменшується струм через бокові кромки і спрямована вниз електромагнітна сила, що забезпечує формування швів без підрізів.

Роль магнітного тиску в утворенні підрізів доведена при вимірюванні індукції в реальних умовах процесу зварювання перед дугою, позаду дуги і в зоні сплавлення. На основі проведених досліджень встановлено, що при збільшенні швидкості зварювання індукція в зоні сплавлення зростає внаслідок зменшення кількості теплоти, виділеної в бокових частинах ванни, зниження електричного опору і збільшення струму через кромки, що підтверджує електромагнітну природу утворення підрізів.

Розрахунково-експериментальним шляхом встановлено, що при односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом тиск дуги внаслідок збільшення площі активної плями знижується в 4 рази у порівнянні зі зварюванням дротом. Це забезпечує якісне формування зворотнього валика на флюсовій подушці зі стандартним

склоподібним флюсом. При підвищенні швидкості зварювання і відхиленні дуги назад тиск дуги знижується.

Розроблений спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом забезпечує заміну дводугового двостороннього зварювання на одностороннє одностороннє зварювання, підвищення швидкості зварювання, якості і ударної в'язкості зварних з'єднань.

*Щетинін Сергій Вікторович* - д.т.н., проф., кафедра "Металургія і технологія зварювального виробництва", Приазовський державний технічний університет

*Щетиніна Віра Іванівна* - д.т.н., проф., кафедра "Металургія і технологія зварювального виробництва", Приазовський державний технічний університет

*Никитенко Павло Володимирович* - аспірант кафедри "Металургія і технологія зварювального виробництва", Приазовський державний технічний університет

*Коваль Олександр Володимирович* - аспірант кафедри "Металургія і технологія зварювального виробництва", Приазовський державний технічний університет

*Елсаєд Халед* - аспірант кафедри "Металургія і технологія зварювального виробництва", Приазовський державний технічний університет

УДК 621.791.753

## **МЕХАНІЗМ ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ НАПЛАВЛЕННІ НА НИЗЬКІЙ ПОГОННІЙ ЕНЕРГІЇ**

Щетинін С. В., д. т. н., проф., Щетиніна В. І., д. т. н., проф.,  
Никитенко П. В., аспірант, Коваль О. В., аспірант, Елсаєд Халед, аспірант

Валки листопрокатних станів, які експлуатуються в умовах високих тисків, циклічно змінюючихся температур і корозійних середовищ внаслідок охолодження водою, виготовляються з високо вуглецевих сталей, схильних до утворення гарячих і холодних тріщин. Тому підвищення тріщиностійкості наплавленого металу є важливою науково-технічною проблемою.

Ефективним способом підвищення тріщиностійкості та корозійної стійкості є високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії.

При наплавленні в результаті тепловкладення метал піддається дії термодформаційного циклу, який визначає мікроспотворення кристалічної решітки  $\Delta a/a$  і мікронапруги  $\sigma = E\Delta a/a$ . Методом рентгеноструктурного аналізу на дифрактометрі ДРОН-3 доведено, що форма електрода і погонна енергія впливають на мікроспотворення кристалічної решітки, які є результатом виникнення вакансій під дією теплового збудження і максимальні при наплавленні перпендикулярною стрічкою, коли внаслідок максимального тепловкладення надлишкові вакансії пересичують метал, знижуються при наплавленні поздовжньою стрічкою, дротом і складовим електродом з мінімальним тепловкладенням.

Науково обґрунтовано, що зміна погонної енергії при наплавленні перпендикулярною і поздовжньою стрічкою не впливає на мікроспотворення кристалічної решітки внаслідок пересичення металу вакансіями. Підвищення швидкості і зниження погонної енергії при наплавленні дротом і складовим електродом призводять до зниження мікроспотворень кристалічної решітки, які мінімальні при швидкості 0,021 м/с, внаслідок зниження тепловкладення та виникнення вакансій.

Відповідно дії на мікроспотворення кристалічної решітки форма електрода і погонна енергія впливають на мікронапруги і щільність дислокацій, які максимальні при наплавленні

перпендикулярною і поздовжньою стрічками і мінімальні при наплавленні дротом і складовим електродом на низькій погонній енергії, так як при зменшенні тепловкладення та прискореному охолодженні знижується рівень пластичної деформації, що запобігає руйнуванню.

Мікронапруги призводять до утворення тріщин, механізм зародження яких пов'язаний з дислокаціями. По розширенню рентгенівських ліній встановлено, що при наплавленні дротяним і складовим електродом на низьких погонних енергіях щільність дислокацій знижується, що відповідає дії на мікроспотворення кристалічної решітки, оскільки джерелом дислокацій є вакансії і неметалеві включення.

Встановлено, що підвищення тріщиностійкості валків при високошвидкісному наплавленні є результатом низької погонної енергії, зменшення зварювальних деформацій і напруг. Розроблено спосіб високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, який забезпечує підвищення тріщиностійкості і корозійної стійкості валків.

*Щетинін Сергій Вікторович* - д.т.н., проф., кафедра “Металургія і технологія зварювального виробництва”, Приазовський державний технічний університет

*Щетиніна Віра Іванівна* - д.т.н., проф., кафедра “Металургія і технологія зварювального виробництва”, Приазовський державний технічний університет

*Никитенко Павло Володимирович* - аспірант кафедри “Металургія і технологія зварювального виробництва”, Приазовський державний технічний університет

*Коваль Олександр Володимирович* - аспірант кафедри “Металургія і технологія зварювального виробництва”, Приазовський державний технічний університет

*Елсаєд Халед* - аспірант кафедри “Металургія і технологія зварювального виробництва”, Приазовський державний технічний університет

УДК 621.791.011

## **РЕМОНТ И МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Зусин А.М., к.т.н., ст. преподаватель, Кисляк В.Г., инженер

Механизмом рулевого управления транспортного средства принято называть устройство позволяющее преобразовать вращение рулевого колеса в линейное перемещение и передать его посредством вспомогательных тяг на поворотные колеса транспортного средства.

Механизм рулевого управления являются одной из наиболее важных систем современного автомобиля. От качества работы механизма рулевого управления зависит не только комфорт водителя транспортного средства, но и безопасность всех участников дорожного движения, поэтому к вопросам обеспечения надежности работы механизмов управления выдвигаются высокие требования.

На современных легковых автомобилях в качестве механизма управления основное распространение получили так называемые рулевые рейки. Рулевые рейки принято делить на рейки с гидравлическим усилителем, рейки с электрическим усилителем и рейки без усилителей. Рейки с гидравлическим усилителем применяются в основном на автомобилях коммерческой группы и обладают высоким ресурсом. Рейки с электроусилителем и без усилителя ставятся на преобладающее число гражданских автомобилей, по причине простоты своей конструкции и дешевизны изготовления, а упрощения компоновки подкапотного пространства автомобиля. Однако, рулевые рейки без усилителя и с

электроусилителем обладают малым ресурсом. Эксплуатация автомобиля с изношенным рулевым механизмом небезопасна, а также вызывает дискомфорт у водителя.

Авторами были выполнены исследования возможности ремонта и повышения ресурса работы механизма рулевого управления. Конструктивно рулевая рейка без усилителя представляет собой входной вал, на конце которого нарезана шестерня. Входной вал рулевой рейки, обычно, вращается на двух подшипниках. Вал шестерней входит в зацепление с зубчатой рейкой, которая, обычно, представляет собой вал, вдоль которого нарезаны зубья. Зубчатая рейка с одной стороны опирается на рулевой вал и поджимается к нему специальным упором, с другой стороны скользит во втулке. Вал и зубчатая рейка пересекаются под углом, близким к  $90^\circ$ , как следствие, при вращении руля в ту или иную сторону вал перемещается влево, или вправо относительно продольно оси автомобиля. Конструкция рейки с электроусилителем аналогична. В теории наиболее нагруженной частью рулевой рейки является непосредственно сама зубчатая передача и по идее выход из строя рулевой рейки должен быть связан с износом вал-шестерни и зубчатой рейки. На практике зубчатая пара обладает высоким ресурсом, а также в конструкцию рулевого механизма введен узел, позволяющий компенсировать износ зубчатого сопряжения, поэтому первой из строя выходит опорная втулка. Выход из строя опорной втулки обычно связан с несвоевременным или некачественным обслуживанием рулевого механизма. Как таковые опорные втулки в запчасти не поставляются, потому как с точки зрения производителя такая рулевая рейка должна быть заменена на новую.

При анализе работы сопряжения опорная втулка-зубчатая рейка было выявлено, что ресурс данного узла крайне мал по причине расчета на эксплуатацию по качественному дорожному покрытию и своевременном обслуживании. Реалии эксплуатации автомобилей на территории Украины значительно жестче расчетных.

В ходе выполнения исследований были предложены и опробованы на практике методы позволяющие выполнить ремонт рулевой рейки в целом и значительно повысить ресурс сопряжения втулка-зубчатая рейка и тем самым общий ресурс эксплуатации рулевой рейки без усилителя или с электроусилителем приблизить к ресурсу зубчатой пары входной вал – зубчатая рейка. При износе зубчатой пары дальнейший ремонт с точки зрения ресурсозатрат нецелесообразен.

Были проведены работы по выбору материала и конструкции втулок рулевых механизмов на нескольких десятках автомобилей разных марок. После снятия и разборки рулевые рейки были изучены на предмет возможной модернизации и ремонта. В ходе работ были изменены конструкции используемых ранее штатных втулок. Так же проведены работы по подбору оптимальных материалов для работы в условиях трения металл-пластик. Для дальнейших работ был выбран материал ZELLAMID 202 MO, полиамид 6, модифицированный дисульфидом молибдена (MoS). По сравнению с ненаполненным полиамидом-6, у модифицированного дисульфидом молибдена характеристики скольжения улучшены при более высокой компрессионной прочности. Он также имеет более высокую износостойкость и меньший коэффициент поверхностного трения, поглощение влаги. Так же выбранный материал позволяет исключить влияние нагрева рулевого механизма двигателем, что часто приводит к закусыванию рулевого механизма и повышению аварийности. Проведенные работы позволили увеличить срок службы ремонтных реек в несколько раз в сравнении с использованием стандартного капролона. Рассмотренная технология позволяет получить значительную экономию в условиях дороговизны новых запчастей без снижения безопасности.

*Зусин Антон Михайлович* - к.т.н., старший преподаватель кафедры «Металлургия и технология сварочного производства», Приазовский государственный технический университет

*Кисляк Владимир Григорьевич* - инженер кафедры «Металлургия и технология сварочного производства», Приазовский государственный технический университет

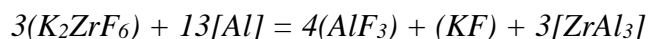
## ОПТИМИЗАЦИЯ ШИХТЫ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ НАПЛАВКИ ЖАРОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Зусин В.Я., д.т.н., проф., Бодягин В.С., студент

Для получения металла с высокими эксплуатационными характеристиками при наплавке жаропрочных алюминиевых сплавов порошковым электродом необходимо оптимизировать как химический, так и гранулометрический состав шихты порошковой проволоки. Для исследования изготавливалась серия порошковых проволок с шихтой различной грануляции. После наплавки производилась вырезка образцов для металлографического анализа и замера твердости наплавленного металла.

Наименьшее значение твердости наплавленного металла 90НВ имеет порошковая проволока, содержащая шихту с размером частиц мене 0,068 мм. Мелкая фракция шихты имеет развитую поверхность с внешней средой и повышенную термодинамическую активность, что способствует частичному окислению и испарению легирующих компонентов шихты. Это приводит к снижению твердости наплавленного металла. Увеличение грануляции частиц шихты до фракции 0,12 – 0,16 мм приводит к возрастанию нижнего предела твердости наплавленного металла до 100 НВ, что свидетельствует о снижении потерь легирующих компонентов шихты порошковой проволоки в процессе наплавки. При использовании шихты грануляцией 0,16 – 0,63 мм. Нижний предел твердости наплавленного металла изменяется незначительно. Разброс твердости наплавленного металла при диапазоне грануляции от пылевидной фракции до 0,63 мм незначителен.

Дальнейшее увеличение грануляции шихты порошковой проволоки 0,63 – 1,2 мм приводит к уменьшению нижнего предела и увеличению разброса твердости наплавленного металла. Исследования микроструктуры наплавленного металла показывает наличие включений нерасплавленных полностью частиц шихты порошковой проволоки. Таким образом, при наплавке алюминиевых сплавов порошковой проволокой применять шихту с грануляцией частиц более 0,63 мм нецелесообразно. Дальнейшее повышение качества наплавленного металла производилось за счет модифицирования наплавленного металла. При введении в состав шихты порошковой проволоки фторцирконата калия происходит взаимодействие между солью и расплавом с образованием избыточной фазы  $ZrAl_3$  согласно реакции



Возникающие при этом фториды алюминия и калия способствуют рафинированию сварочной ванны, а алюминид циркония, образующийся непосредственно в расплаве, не успевает вырасти до размеров, превышающих критические размеры зародышей. Таким образом, общее количество центров кристаллизации и эффективность модифицирования структуры повышаются, так как на начальном этапе роста кристаллами наследуются контуры дисперсных подложек, имеющих компактную форму, и в этих условиях кристаллы формируются равноосными. В связи с интенсивным перемешиванием основного и электродного металла в процессе импульсно-дуговой наплавки, наличием модификаторов и высокой скорости охлаждения наплавленный металл имеет мелкозернистую однородную структуру с высокими эксплуатационными характеристиками.

*Зусин Владимир Яковлевич* - д.т.н., профессор кафедры «Металлургия и технология сварочного производства», Приазовский государственный технический университет

*Бодягин Владислав Сергеевич* - студент кафедры «Металлургия и технология сварочного производства», Приазовский государственный технический университет

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ЭЛЕКТРОДНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Чигарев В.В., д.т.н., проф., Белик А.Г., к.т.н., доц.

Для повышения качества сварного шва и в целом сварного соединения используют электродные материалы, включающие в своем составе фторсодержащие компоненты. Их применение обусловлено активным взаимодействием фтора с водородом с образованием газообразного, не растворимого в расплавленном металле сварного шва или наплавленного металла фторида водорода. В качестве фторсодержащих компонентов в состав электродных материалов вводят плавиковый шпат (флюорит)  $\text{CaF}_2$ , кремнефторид натрия  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  и другие компоненты.

Также положительные результаты дает введение порошкообразного фторопласта в разделку кромок при сварке под флюсом, введение в состав сердечника порошковых электродных материалов.

При высоких температурах фторсодержащие компоненты выделяют фтор, который соединяется с водородом, образуя фтористый водород, который удаляется, тем самым производится дегазация металла шва или наплавленного металла.

Проведены исследования по использованию фторопластовых лент или порошка при производстве порошковых ленточных электродных материалов.

Введение порошкообразного фторопласта осуществляется путем его добавки в процессе приготовления смеси компонентов для сердечника порошковой ленты.

Добавка фторопластового порошка в состав порошкообразного сердечника требует особых технологических приемов.

При изготовлении порошковых ленточных электродных материалов, особенно для наплавки композиционных сплавов, положительные результаты обеспечиваются использованием фторопластовых лент, их размер и количество определяется конструкцией порошковой ленты. Физико-технические характеристики фторопласта 4 показаны в табл. 1.

Таблица 1 — Физико-технические характеристики фторопласта-4 (ГОСТ 10007-80).

| Показатель   | Значение                         |
|--|----------------------------------|
| Плотность  | От 2190 до 2210 г/м <sup>3</sup> |
| Разрушающее напряжение при разрыве стандартных образцов                      | От 2,5 до 25,5 МПа               |
| Относительное удлинение при разрыве стандартных образцов                     | Не менее 30 %                    |
| Удельное объемное электрическое сопротивление при постоянном напряжении      | Не менее $1 \times 10^{15}$ Ом/м |
| Тангенс угла диэлектрических потерь, измеренный при частоте 106 Гц           | Не более 0,00025                 |
| Диэлектрическая проницаемость, измеряемая при частоте $1,8 \times 10^7$ Гц   | 2,0                              |
| Электрическая прочность при толщине образца 0,1 мм при постоянном напряжении | Не менее 50 кВ/мм                |
| Теплопроводность   | 0,25 Вт/м*град                   |
| Удельная теплоемкость  | 1040 Дж/кг*град.                 |
| Водопоглощение за 24 часа  | 0,00                             |
| Твердость по Бринеллю  | 29,4-39,2 МПа                    |

Введение фторопластовой ленты в состав порошкового ленточного электрода является более технологичным, так как не предусматривает использование дополнительных устройств в станке по производству порошковой ленты.

*Чигарев Валерий Васильевич* – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Металлургия и технология сварочного производства» Государственного высшего учебного заведения «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь.

*Белик Александр Григорьевич* – к.т.н., доцент кафедры «Металлургия и технология сварочного производства» Государственного высшего учебного заведения «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь.

УДК 621.92

## **СБОРНЫЕ ШНЕКИ С ВСТАВНЫМИ ВИНТОВЫМИ КРОМКАМИ И ПЛАСТИНАМИ**

Севостьянов И.В., д.т.н., проф.

На данный момент шнековые транспортеры, питатели, конвейеры, прессы получили чрезвычайно широкое применение в машиностроительном производстве, в металлургии, энергетике, пищевой и перерабатывающей промышленности, в сельском хозяйстве и т. д. Данное оборудование в основном используется для перемешивания, транспортировки либо прессования сухих дисперсных смесей, а также для обезвоживания влажных дисперсных материалов. В частности, достаточно перспективным является применение шнековых прессов для предварительного удаления влаги с отходов пищевых производств, таких как спиртовая барда, пивная дробина, свекольный жом, кофейный и ячменный шлам), которые после обезвоживания до влажности 20 – 25% могут использоваться как ценные добавки к сельскохозяйственным кормам, либо в качестве топлива [1]. Преимуществами рассматриваемого оборудования являются сравнительно небольшие материало- и энергоемкость, высокие надежность и производительность. Однако имеются и недостатки: сложность и нетехнологичность в изготовлении исполнительного элемента – шнека, его низкая долговечность, особенно при обработке сухих смесей с твердыми абразивными частицами, высокая стоимость восстановления шнека.

Ремонт последнего осуществляется наплавкой либо газоплазменным напылением на изношенные участки шнека твердосплавных порошков, а также напайкой, навариванием, наклеиванием или механическим закреплением твердосплавных пластин на периферийные винтовые поверхности исполнительного элемента [2]. Можно утверждать, что перечисленные выше способы являются достаточно сложными и трудоемкими, при этом, учитывая существенное различие в размерах ремонтируемых шнеков, все они реализуются с помощью ручного переносного оборудования, с привлечением персонала высокой квалификации.

По нашему мнению, более рациональным представляется изначальное проектирование, изготовление и использование сборных шнеков с вставными, закрепляемыми механическим способом винтовыми кромками и планками, изготовленными из быстрорежущих сталей, твердых сплавов либо минералокерамических материалов. При этом с учетом назначения проектируемого оборудования, расположения и размеров наиболее изнашиваемых участков винтовой поверхности шнека, величины местного контактного давления на участки, скорости перемещения материала, размеров, твердости и влажности его частиц, съемные элементы могут иметь полный профиль (изготавливаться в виде витка с длиной кратной шагу и

діаметром, що відповідає внутрішньому діаметру циліндра), або представляють собою призматическіе ізогнутіе пластини, устанавлюваніе в середній или на периферійній часті кожного витка. Вибір матеріала вставок рекомендується також здійснювати на основі вищеназваних факторів і параметрів. Приймаючи во увагу невеликі габарити вставних витків і пластин, можливо і цілесообразно створити високоєфективне обладнання для їх виготовлення і відновлення. При використанні описаних вставок і обладнання процес ремонту шнеків може бути значно прискорено і удешевлено.

#### Список використаних джерел

1. Севостьянов И. В. Процессы и оборудование для виброударного разделения пищевых отходов. Монография/ И. В. Севостьянов. - Saarbrücken: LAB LAMBERT Academic Publishing, 2013. - 417 с.

2. Восстановление шнековых центрифуг [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://fluitech.com.ua/services/vosstanovlenie-shnekovyih-tsentrifug/>.

*Севостьянов Иван Вячеславович* - д.т.н., проф., профессор кафедры отраслевого машиностроения, Винницкий национальный технический университет

УДК 621.002.3:621.89

## СТРУКТУРА ТА ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ШЛІФУВАЛЬНИХ ВІДХОДІВ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ

Т. А. Роїк, д.т.н., проф., В. Г. Олійник, к.т.н., доц., Ю. Ю. Віщюк, к.т.н., доц.

Важливим завданням у поліграфічному машинобудуванні є підвищення довговічності деталей антифрикційного призначення, у фальцапаратах, ножових машинах та іншому постдрукарському обладнанні. Більшість відмов вузлів тертя такого обладнання (до 80 %) відбувається через зношування тертьових деталей на основі литих алюмінієвих сплавів, що спричинює зростання браку друкарської продукції. Авторами вперше розроблено антифрикційні композити на основі регенованих шліфувальних відходів алюмінієвого сплаву АМ4,5Кд з твердим мастилом MoS<sub>2</sub> для роботи у контактних парах постдрукарських машин.

Сплав АМ4,5Кд містить у своєму складі велику кількість цінних легуючих елементів, які окрім високолегованого  $\alpha$ -твердого розчину на основі Al формують ряд зміцнюючих фаз. Структура дослідженого композиту являє собою алюмінієвий легований  $\alpha$ -твердий розчин, в якому рівномірно розташовані частинки твердого мастила MoS<sub>2</sub> (рис. 1). Триботехнічні властивості дослідженого композиту наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Триботехнічні властивості досліджених композитів

| Склад, мас. %                   | Граничне P, МПа | Коефіцієнт тертя (f) та знос (I), мкм/км, при P, МПа |           |           |           | Гранична V, м/с |
|---------------------------------|-----------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------------|
|                                 |                 | 2,5  |           | 4,0       |           |                 |
|                                 |                 | f  | I         | f         | I         |                 |
| АМ4,5Кд+ (9-12)MoS <sub>2</sub> | 4,0             | 0,11-0,12  | 22,3-22,4 | 0,14-0,16 | 23,6-23,7 | 3,0             |
| АМ4,5Кд                         | 2,5             | 0,27-0,31  | 39,8      | 0,39-0,42 | 69,2      | 1,0             |



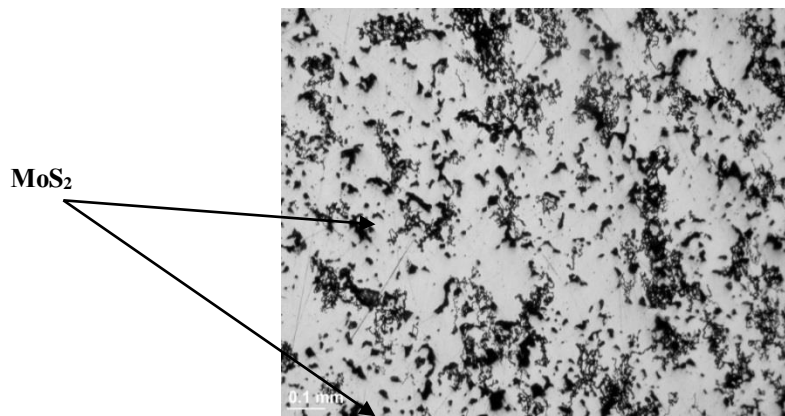


Рисунок 1. Структура композиту АМ4,5Кд + 10% MoS<sub>2</sub>, шліф не травлений

Дисульфід молібдену забезпечує ефект самозмащення контактної пари у процесі експлуатації, що обумовлює зниження коефіцієнту тертя і зносу порівняно з композитом без твердого мастила (табл. 1). Це обумовлює підвищення триботехнічних характеристик завдяки формуванню захисних антизадирих плівок тертя при роботі деталі постдрукерської машини.

*Роїк Тетяна Анатоліївна* - доктор технічних наук, професор, в.о. завідувача кафедри технології поліграфічного виробництва, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

*Олійник Володимир Григорович* - кандидат технічних наук, доцент кафедри технології поліграфічного виробництва, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

*Віцюк Юлія Юріївна* - кандидат технічних наук, доцент кафедри репрографії, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

УДК 621.81:539.4

## ОБОСНОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ПРИРАБОТКИ ТРИБОСИСТЕМ

Войтов В.А., д.т.н., проф., Бекиров А.Ш.,  
Войтов А.В., к.т.н.

Результаты исследований многих ученых позволяют утверждать, что завершение процесса приработки сводится не только к формированию оптимальной шероховатости сопряженных поверхностей в трибосистеме, а включает в себя физико-химические явления, такие как тепловые, диффузионные, деформационные, которые имеют место в зоне трения в присутствии смазочных сред и окружающей среды. Поэтому сокращение процесса приработки, с одновременным повышением эффективности, позволит значительно увеличить ресурс машин и механизмов, что обеспечит экономический эффект в процессе эксплуатации.

На основании анализа работ, посвященных режимам приработки, можно сделать вывод, что новизною данного исследования является методический подход в получение теоретических зависимостей изменения скорости изнашивания, коэффициента трения и времени приработки, которые позволят обосновать и разработать программу эффективной приработки различных конструкций трибосистем с экспериментальной проверкой ее эффективности.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать и обосновать структуру программы приработки трибосистем, которая состоит из

двух режимов. На первом режиме задается максимальная нагрузка, ниже нагрузки «заедания» при минимальной скорости скольжения. Такой режим позволяет за счет интенсивной деформации микровыступов сформировать равновесную шероховатость поверхностей трения и изменить структуру тонких поверхностных слоев. Первый режим можно назвать адаптацией трибосистемы к внешним условиям. На втором режиме задается минимальная нагрузка и максимальная скорость скольжения. Такой режим позволяет уменьшить время перестройки структуры материала поверхностных слоев и завершить образования вторичных структур и окисных пленок. Второй режим можно назвать обучаемостью и тренируемостью трибосистемы. Идея о обучаемости и тренируемости трибосистем впервые предложена Л.И.Бершадским.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили выводы полученные с помощью математического моделирования. Математическая модель, которая получена в виде дифференциальных уравнений, позволяет обосновать режимы приработки для каждой конкретной трибосистемы. Входными параметрами являются: геометрические размеры трибосистемы, которые учитываются коэффициентом формы; сочетание материалов подвижного и неподвижного трибоэлементов, которое учитывается внутренним трением структуры материалов; трибологические свойства смазочной среды; исходная шероховатость поверхностей трения; нагрузка; скорость скольжения. Следовательно, для каждой конструкции трибосистемы, путем моделирования, будет получена индивидуальная программа приработки, которая будет состоять из двух режимов.

*Войтов Виктор Анатольевич* - д.т.н., проф., заведующий кафедрой транспортных технологий и логистики, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им.П.Василенко

*Бекиров Аблятиф Шевкетович* - аспирант кафедры транспортных технологий и логистики, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им.П.Василенко

*Войтов Антон Викторович* - к.т.н., преподаватель кафедры технических систем и технологий животноводства, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им.П.Василенко

УДК 621.81:539.4

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ НАНОПЛЕНОК НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТРЕНИЯ ТРИБОСИСТЕМ**

Кравцов А.Г., к.т.н.

Моделирование механизма взаимодействия трибоактивных компонентов смазочной среды с поверхностью трения и внутреннего взаимодействия молекул смазочной среды между собой, является одной из сложных и актуальных задач трибологии. Сложность такой задачи состоит в том, что невозможно исследовать механизмы взаимодействия активных элементов смазочной среды, например, фуллеренов в процессе трения и их взаимодействие с поверхностью трения. При этом, поверхность трения в процессе работы трибосистемы под действием пластической и упругой деформации шероховатостей и материала поверхностного слоя выступает в качестве «генератора электростатического силового поля», что оказывает влияние на упорядочение структуры тонкой масляной пленки и определяет ее толщину.

Новые возможности в изучении процессов формирования структурированных нанопленок смазочных материалов, содержащих фуллерены, представляет компьютерное молекулярное моделирование, которое позволяет представить процесс взаимодействия

молекул, кластеров и мицелл, находящихся в смазочном материале с «энергетически заряженной» поверхностью трения.

Особые механические и электрофизические свойства таких наноматериалов во многом определяются способами их получения и в значительной степени зависят от их дисперсности, концентрации, а также химического взаимодействия входящих в их структуру компонентов. Сложность строения дисперсных систем на основе наноматериалов, а также наличие локальных неоднородностей определяют отсутствие сложившегося представления о механизме снижения износа и потерь на трение в трибосистемах, где в смазочных материалах используются фуллерены.

Исследование закономерностей образования структурных тонких масляных пленок на поверхности трения имеет большое практическое значение в связи с возможностью изучения их влияния на процессы трения и изнашивания различных трибосистем. Формирование масляной пленки зависит от ряда физических и химических процессов, которые протекают на поверхности трения.

Интенсивность изнашивания трибосистем является основным определяющим параметром их долговечности и зависит от ряда показателей, в том числе и от физико-механических свойств смазочного материала, который применяется при эксплуатации. Трибологические и эксплуатационные характеристики смазочного материала зависят от наличия в их составе пакетов функциональных присадок и добавок рациональной концентрации, при которой достигается минимум коэффициента трения и интенсивности изнашивания трибосистем. На сегодняшний день большой интерес вызывает применение нанокремниевых присадок и добавок (фуллеренов C<sub>60</sub>). Наличие в смазочном материале добавок фуллеренов C<sub>60</sub> и соответствующего количества растительного масла с высоким содержанием олеиновой кислоты приводит к формированию на поверхностях трения структурированных граничных пленок, которые имеют слоистое строение.

Движущей силой образования и формирования пленок является физическая и химическая абсорбция, которая зависит от наличия в смазочном материале поверхностно-активных и химически-активных веществ, которые являются соответствующими функциональными присадками, а также величины напряженности электростатического поля поверхности трения.

*Кравцов Андрей Григорьевич* - к.т.н., доц., в.о декана факультета технологических систем и логистики, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им.П.Василенко

УДК621.791

## **ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАЛИКІВ ПРИ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ ПІД ФЛЮСОМ В ПОПЕРЕЧНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ**

Размишляев О.Д., д.т.н., проф., Агеева М.В., к.т.н., доц.

Характер формування зварного шва (наплавленого валика) і його розмірів визначає ефективність використання легируючих елементів в наплавленому шарі і впливає на кількість виробничих відходів при механічній його обробці.

Дані про вплив поперечного магнітного поля (ПОМП) на проплавлення основного металу при дуговому зварюванні дротом під флюсом нечисленні.

В роботі показано, що при наплавленні з впливом поперечного магнітного поля (ПОМП) на проплавлення основного металу впливає тільки поперечна компонента

індукції, і всі спостережувані ефекти обумовлені впливом тільки цієї компоненти магнітного поля.

Експерименти по визначенню впливу ПОМП на геометричні характеристики валику виконувалися з використанням дроту та пластини з немагнітних матеріалів, що забезпечувало вплив на зварювальну дугу і рідкий метал ванни тільки поперечної компоненти індукції ПОМП. Немагнітні матеріали не викривляють будову ПОМП в зоні зварювальної дуги та рідкого металу ванни, тоді як феромагнітні вироби та дріт істотно впливають на будову ПОМП. Наплавлення виконували на зворотній полярності при дії постійного ПОМП, а також змінного ПОМП і розташування стрижнів пристрою введення (ПВ) ПОМП поперек і по осі валику.

Показано, що при поздовжньому розташуванні стержнів ПВ ПОМП по відношенню до осі валику постійне ПОМП призводить до бічного зсуву осі валику, тому при такому варіанті розміщення стрижнів ПВ ПОМП слід застосовувати тільки змінні ПОМП. Однак змінне ПОМП частотою до 1 Гц дає хвилясте поперечне переміщення осі валику за рахунок поперечного переміщення дуги, і для усунення цього недоліку необхідно використовувати ПОМП частотою від 2 Гц і вище, оскільки через інерційність рідкого металу ванни останній не міг переміщатися і впливати на геометричні параметри валику.

Встановлено, що дію постійного ПОМП, а також знакозмінного частотою 2, 6 і 50 Гц ПОМП дозволяє в широких межах регулювати глибину проплавлення і ширину валику, як при поздовжньому, так і поперечному розташуванні стрижнів ПВ ПОМП відносно осі валику.

*Размишляев Александр Денисович* – д.т.н., професор кафедри «Автоматизація та механізація зварювального виробництва», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

*Агеева Марина Володимирівна* – к.т.н., доцент кафедри «Обладнання і технології зварювального виробництва», Донбаська державна машинобудівна академія

УДК 621.96

## **ВПЛИВ ГЛИБИНИ РІЗАННЯ НА ОПТИМАЛЬНІ ЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ**

Дусанюк Ж.П. к.т.н., доц., Дерібо О.В., к.т.н., проф., Репінський С.В. к.т.н., доц.,  
Бойко М. Є., студент

Важливою задачею, що розв'язується під час проектування технологічних процесів механічної обробки, є призначення режимів різання для кожного переходу. Вибір саме оптимальних режимів різання забезпечує економію коштів на механічну обробку, і, відповідно, зменшує собівартість виробів. Прийнято вважати, що мінімальна собівартість виконання переходу буде забезпечена за максимально можливих для даних технологічних умов значень частоти обертання шпинделя  $n$  і подачі  $s$ . Таким чином, за критерій оптимальності (оцінювальну функцію) в задачі вибору режимів різання зазвичай вибирають функцію

$$C_{\min} = \frac{K}{ns}, \quad (1)$$

де  $K$  – постійний коефіцієнт.

Разом з тим, мінімальна собівартість обробки може бути забезпечена за умови раціонального вибору величини стійкості різального інструмента. Очевидно, що зі

збільшенням стійкості зменшуються витрати інструменту і затрати, пов'язані з його переточуванням, зменшується час простоювання верстата для заміни інструмента. Це забезпечує зменшення собівартості. Подальше збільшення стійкості (шляхом зменшення швидкості різання) призводить до збільшення собівартості через збільшення основного часу і, відповідно, зменшення продуктивності. З урахуванням цих факторів професор С. Н. Філоненко отримав формулу, за якою може бути визначено значення так званої економічної стійкості, тобто стійкості, що забезпечує найменшу собівартість виконання переходу

$$T_{\text{ек}} = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \left( t_{\text{зм}} + \frac{e}{C_{\text{пв}}} \right), \quad (2)$$

де  $m$  – показник відносної стійкості, величина якого залежить від умов обробки (наближені значення  $m$ : для твердосплавного різця – 0,2; для мінералокерамічного – 0,5);  $t_{\text{зм}}$  – час на заміну різця, що затупився, в  $хв$ ;  $e$  – витрати на експлуатацію різального інструмента за період його стійкості, в  $грн$ ;  $C_{\text{пв}}$  – проведені витрати на експлуатацію верстата, в  $грн/хв$ .

Для вибору оптимальних режимів різання використано метод лінійного програмування. Визначались оптимальні значення швидкості різання і подачі. Під час побудови допустимої області значень режимів різання враховувались такі технічні обмеження: за стійкістю різця; за максимальною потужністю привода головного руху верстата; за найменшою і найбільшою допустимою частотою обертання шпинделя; за найменшою і найбільшою допустимою подачею; за найбільшою допустимою силою, що діє на механізм привода подачі (складова  $P_x$  сили різання); за шорсткістю обробленої поверхні. Кількісне значення стійкості різця розраховувалось за формулою (2).

За результатами досліджень побудовані графіки залежностей оптимальних значень подачі, швидкості різання, складової  $P_z$  сили різання, потужності різання від глибини різання.

*Дусанюк Жанна Павлівна* – к. т. н., доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет.

*Дерібо Олександр Володимирович* – к. т. н., доцент, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет.

*Репінський Сергій Володимирович* – к. т. н., доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет.

*Бойко Максим Євгенович* – студент факультету машинобудування та транспорту.

УДК 621.892

## КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОНСИСТЕНТНІ МАСТИЛА З ПІДВИЩЕНИМИ ТРИБОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Ранський А. П., д.х.н., проф., Гордієнко О. А., к.т.н., доц., Худоярова О. С., ст. викл., Крикливий Р. Д., к.т.н., ст. викл., Іванівська В. М., інженер

На сьогодні при функціонуванні будь-яких механічних систем, пов'язаних з тертям, витрачається 20–25 % енергії, що виробляється у світі. Це, в свою чергу, формує перед трибологією важливі задачі підвищення економічної та екологічної ефективності, довговічності і надійності машин та механізмів, а також технологічного обладнання різного призначення. Крім цього, особливістю сьогодення є бурхливий розвиток нанотехнологій з отримання нових матеріалів з унікальними фізико-хімічними властивостями,

мікрооптоелектронних та мікроелектромеханічних систем, для яких характерні нові умови тертя і зношування в зоні контактуючих мікроповерхонь [1–3]. Це сформувало ще один напрямок розвитку трибології, а саме нанотрибологію (Г. Ньюбауер, 1990 р.), яка вивчає тертя тіл мікро- та нанорозмірів.

Виходячи із вище зазначеного, нами проведені дослідження з отримання складових потенційних композиційних матеріалів та консистентних мастил, що мають нанорозмірні характеристики та забезпечують підвищенні протизношувальні і антифрикційні властивості. На першій стадії проводилась робота з підвищення хемосорбційної здатності поверхні активованого вугілля промислових марок, що використовуються в харчовій та спиртовій промисловості Вінниччини. Сам процес одержання хімічних речовин, що мають нанорозміри, проводили на активованому вугіллі, як на матриці, послідовним додаванням у дві стадії субстрату, а потім реагенту. У виділених композитах встановлювали наявність складових активних реакційних центрів титриметричним методом та дослідженням їх поверхні з використанням рентгенофазового аналізу.

Консистентні мастила, до складу яких були введені отримані нові нанорозмірні добавки, досліджені у високонавантажених та високотемпературних (~ 500 – 700 °С) вузлах тертя трубопрокатних виробництв та показали підвищені триботехнічні характеристики у порівнянні з промисловими зразками.

#### Список використаної літератури

1. Нанотрибология : некоторые тенденции развития / [И. А. Буяновский, З. В. Игнатьева, М. М. Хрущев и др.] // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2008. – № 1. – С. 39–43.
2. Нанотрибология : некоторые тенденции развития. Продолжение / [И. А. Буяновский, З. В. Игнатьева, М. М. Хрущев и др.] // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2008. – № 2. – С. 31–40.
3. Ивасьшин Г. С. Научные открытия в микро- и нанотрибологии / Г. С. Ивасьшин // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2008. – № 4. – С. 24–27.

*Ранський Анатолій Петрович* - д.х.н., проф., завідувач кафедри хімії та хімічної технології, Вінницький національний технічний університет

*Гордієнко Ольга Анатоліївна* – к.т.н., доц., доцент кафедри хімії та хімічної технології, Вінницький національний технічний університет

*Худоярова Ольга Степанівна* – старший викладач кафедри хімії та методики навчання хімії, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського

*Крикливий Ростислав Дмитрович* – к.т.н., старший викладач кафедри хімії та методики навчання хімії, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського

*Іванівська Вікторія Миколаївна* – інженер кафедри хімії та хімічної технології, Вінницький національний технічний університет

УДК 62-192(075)

## УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ С ПОМОЩЬЮ ВЕРОЯТНОСТНО ОБОСНОВАННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗАПАСА

Алфёров А.И., к.т.н., доцент

Прогнозирование надежности элементов машин при проектировании имеет целью прежде всего избежать возникновения в условиях эксплуатации механических отказов, обусловленных влиянием силового механического взаимодействия элементов между собой и со средой. При этом особое внимание должно быть уделено внезапным механическим отказам в связи с тем, что их развитие, в отличие от постепенных отказов, как правило, не

поддается индивидуальному диагностированию и предупреждению. Кроме того, как показывает практика, внезапные отказы чаще могут происходить в начальный период эксплуатации техники, что отрицательно сказывается на ее конкурентоспособности при введении на рынок.

У большинства транспортных, сельскохозяйственных, дорожно-строительных и других мобильных машин условия эксплуатации, режимы использования, а следовательно, и режимы механического нагружения элементов имеют широкий диапазон варьирования. Основную часть времени обычно машина работает в нормальном (номинальном) нагрузочном режиме, при котором следует обеспечивать длительную работоспособность - долговечность. Однако в некоторых, сравнительно редко встречающихся случаях отдельные элементы машин испытывают кратковременные и неоднократно повторяющиеся воздействия экстремальных по величине нагрузок, которые близки к предельным разрушающим или неупруго деформирующим материал детали величинам. Понятие "экстремальности" условно и в дальнейшем изложении фактически означает выход за рамки нормального и длительно используемого нагрузочного режима. Степень такого выхода на практике должна дополнительно оцениваться в каждом конкретном случае. Элементы, подверженные риску внезапного отказа от многократно повторяющихся экстремальных перегрузок, следует при проектировании выделять в особую группу с целью гарантированного обеспечения их безотказности.

Рассмотренные модели прогнозирования вероятности безотказной работы элементов при многократном экстремальном нагружении предполагают, что случайные величины несущей способности каждого из элементов за период его эксплуатации не изменяются, сохраняя начальные значения, т.е. "фиксированы во времени". Такое предположение может быть оправдано, если режим использования элемента по назначению относительно стабилен, а температурный и другие сопутствующие факторы находятся в допустимых пределах и практически не влияют на несущую способность. При наличии случайного рассеивания фиксированной во времени несущей способности наибольшая вероятность внезапного отказа имеет место при первом экстремальном нагружении, а с каждым последующим нагружением условная вероятность отказа уменьшается. Учитывая это обстоятельство в качестве нормируемых и прогнозируемых показателей безотказности элементов по внезапным механическим отказам целесообразно использовать две величины:

$R_1$  - вероятность безотказной работы при первом экстремальном нагружении;

$R_m$  - вероятность безотказной работы при заданном числе  $m > 1$  экстремальных нагружений.

Каждый из этих показателей имеет самостоятельное значение, так как величиной  $R_1$  определяется уровень безотказности в начальный (гарантийный) период эксплуатации, что особенно важно с точки зрения обеспечения надежности техники сезонного использования. Показатель  $R_m$  характеризует безотказность объекта за длительный период эксплуатации (срок службы) и позволяет заранее прогнозировать возможные затраты, обусловленные внезапными отказами.

Если удовлетворяющие потребителя нормативные значения для каждого из показателей безотказности заданы:  $[R_1]$  и  $[R_m]$ , то при проектировании выбор коэффициента запаса  $K^*$  должен обеспечивать одновременное выполнение двух условий:

$$\begin{aligned} R_1(K^*) &\geq [R_1]; \\ R_m(K^*) &\geq [R_m]. \end{aligned}$$

Анализ данных о вероятностно обоснованных коэффициентах запаса свидетельствует о наличии зависимости величины необходимого запаса от вида предполагаемых законов распределения экстремальной нагрузки и несущей способности. Поэтому в условиях неопределенности относительно вида распределений нагрузки и несущей способности при

практических расчетах целесообразно использовать такие значения верхних границ для коэффициента запаса, которые в реальном диапазоне возможного изменения коэффициентов вариации несущей способности  $V_n$  и нагрузки  $V_H$  давали бы гарантии обеспечения заданной вероятности безотказной работы.

Приемлемое в практическом отношении решение вопроса рационального управления надежностью можно получить на основе анализа результатов расчетов коэффициентов запаса, проведенных с использованием перебора различных вариантов сочетаний унимодальных распределений для неограниченных сверху величин нагрузки и несущей способности: нормального, логарифмически нормального, Вейбулла, двойного экспоненциального, степенного, Седракяна, логистического, логарифмически логистического, Фреше, а также сочетаний обобщенного гамма-распределения с законами Вейбулла и Фреше. Ввиду того, что на практике в качестве используемых в инженерных расчетах характеристик рассеивания несущей способности и нагрузки обычно приходится ограничиваться только коэффициентами вариации, теряет практический смысл рассмотрение законов распределения с числом независимых параметров больше двух. При выборе вида подходящих законов распределения следует также учитывать реальные верхние границы диапазонов изменения коэффициентов вариации: несущей способности -  $V_n \leq 0,1$ ; нагрузки -  $V_H \leq 0,3$ .

Из совокупности рассмотренных сочетаний унимодальных двухпараметрических законов распределения для неограниченных сверху случайных величин выявлено, что наибольшие значения коэффициентов запаса по средним  $\bar{K}(\gamma)$ , соответствующие высокому уровню вероятности безотказной работы  $\gamma \geq 0,99$  получаются, если задавать случайную несущую способность элемента распределенной по закону Вейбулла, а случайную экстремальную нагрузку – имеющей распределение Фреше. Такое сочетание видов распределений несущей способности и нагрузки является неблагоприятным и в дальнейшем оно может быть рекомендовано для использования при оценке верхних границ вероятностно обоснованных коэффициентов запаса.

Следует заметить, что даже при наличии значительных объемов статистических данных об экстремальных нагрузках и несущей способности элементов известные статистические критерии согласия не дают однозначного ответа по поводу "истинного" вида теоретического распределения. Поэтому использование адекватных предшествующему опыту гипотез на этот счет в инженерной практике неизбежно.

*Алферов Алексей Игоревич* – к.т.н., доцент кафедры надежности, прочности и технического сервиса машин им. В.Я. Аниловича, проректор по научно-педагогической работе Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко.

УДК 621.791

## **ЗНОСОСТІЙКІ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВІ ПОКРИТТЯ З МАРТЕНСИТНО - АУСТЕНІТНОЮ СТРУКТУРОЮ**

Шенфельд В.Й., к.т.н., доц.

На параметри зносостійкості при абразивному зношуванні впливає початкова твердість та співвідношення структурних складових: мартенситу, аустеніту та кількості карбідної фази. Наплавлені матеріали, структура яких складається з перліту з невеликою кількістю карбідної фази, та матеріали з аустенітною або мартенситною структурами мають



невисоку зносостійкість при абразивному зношуванні. Високу зносостійкість мають матеріали в яких кількість мартенситу складає 70...80%, а аустеніту - 30...20% та присутня невелика кількість карбідної фази (цементит, ледебурит).

На структуру та фізико-механічні характеристики нанесеного високовуглецевого зносостійкого покриття значно впливає температурне поле, що формується під час наплавлення та безперервно змінюється у часі та просторі. Проте найбільш значні зміни структури покриття відбуваються на ділянках температурного поля, які розташовані в зоні плавлення та поблизу неї.

Високу зносостійкість в процесі сухого тертя показують залізовуглецеві сплави з мартенситно - аустенітною структурою. Великі потоки енергії в трибоконтакті сприяють протіканню структурних перетворень у отриманій метастабільній системі. Ці перетворення роблять трибосистему адаптивною до умов роботи, що позитивно впливає на поглинання та розсіювання енергії процесу тертя. Частка енергії, що йде на диспергування поверхні тертя, зменшується, а зносостійкість збільшується. Позитивний вплив чинять також нові утворені поверхневі структури та наклеп аустеніту.

В процесі наплавлення високовуглецевих покриттів структура покриття залежить від швидкості охолодження та величини теплового потоку, що вводиться в деталь через зварювальну дугу. Покриття з мартенситно - аустенітною структурою можна отримати шляхом зменшення швидкості охолодження зварювальної ванни та наплавленого металу. Такому режиму відповідає час знаходження зварювальної ванни в рідкому стані 5 сек. Швидкість кристалізації наплавленого валка складає при цьому 800...600 °C/c, а швидкість охолодження в інтервалі температур 1000...500 °C складає біля 350 °C/c, а інтервалі температур 500...50 °C складає 70 °C/c. За рахунок таких режимів отримуємо мартенситно-аустенітні структури покриття.

Накладемо криву охолодження на термокінетичну діаграму та прослідкуємо структурні перетворення отриманого покриття (див. рис.1).

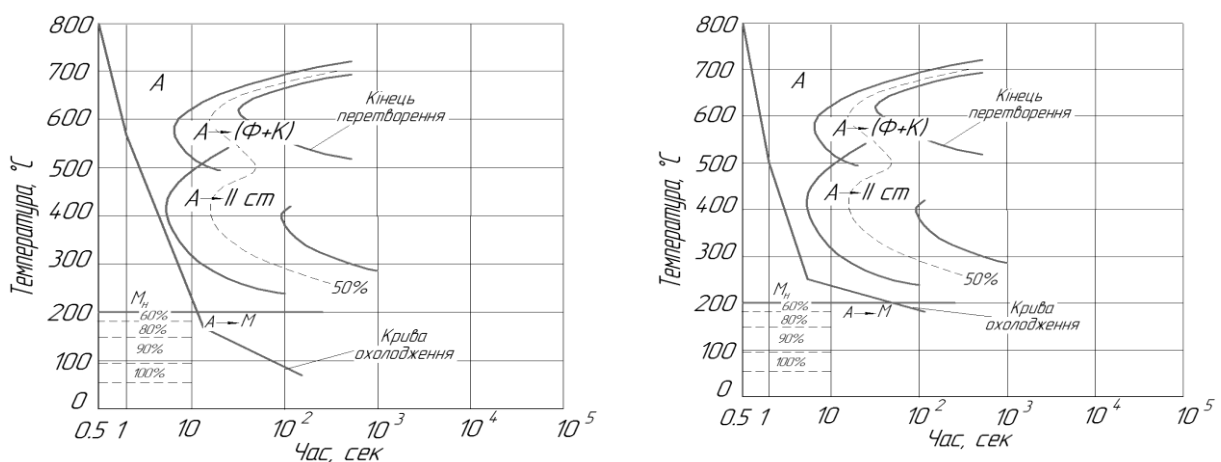


Рисунок 1 – Термокінетична діаграма та крива охолодження наплавленого покриття:  
а)  $t_p = 5$  с; б)  $t_p = 2$  с

За рахунок невеликої швидкості охолодження з температур кристалізації до 200 °C основною структурною складовою покриття є аустеніт. При температурі 200°C та нижче дифузійні процеси повністю подавляються і утворення структури, яка складається із фериту і цементиту, стає неможливою. У цьому випадку протікає бездифузійне перетворення аустеніту в структуру загартованої сталі, що називається мартенситом (Hц 960), а частина аустеніту залишається. Кількість мартенситу складає приблизно 80%.

Зменшення часу існування зварювальної ванни в рідкому стані до 3 секунд, швидкість кристалізації та швидкість охолодження наплавленого валка збільшуються. В інтервалі температур 1700-1000 °С швидкість кристалізації складе 1050...700 °С/с. Швидкість охолодження в інтервалі температур 1000-500 °С складає 400 °С/с, а в інтервалі температур 500-50 °С складає 90 °С/с. Структурні перетворення отриманого високовуглецевого покриття подібні до перетворень, що відбуваються при часі існування зварювальної ванни в рідкому стані 5 сек (див. рис. 1). Відмінність спостерігається в тому, що розміри пластини мартенситу збільшились. Такі покриття відповідають високовуглецевим сталям (кількість вуглецю від 1 до 2,14%).

Зменшення часу існування зварювальної ванни в рідкому стані до 2 секунд та за рахунок ще більш швидкого охолодження наплавленого валка утворюється градієнтне покриття, яке складається з двох шарів. Швидкість кристалізації в інтервалі температур 1700...1000 °С дорівнює 1400...1300 °С/с. Швидкість охолодження в інтервалі температур 1000...500 °С дорівнює 450 °С/с, а в інтервалі температур 500-50 °С дорівнює 95 °С/с. Розглянемо структурні перетворення отриманого високовуглецевого покриття, накривши криву охолодження на термодинамічну діаграму. За рахунок великої швидкості охолодження з температур кристалізації до 200 °С основною структурною складовою покриття є аустеніт. При температурі 200 °С та нижче відбувається утворення високовуглецевого пластинчастого мартенситу з переохолодженого аустеніту (Нц 960), а частина аустеніту залишається. За рахунок більш повільного охолодження у верхньому шарі покриття концентрація мартенситу буде складати біля 40 – 50%. Це корелює з даними, наведеними в роботі, що кількість залишкового аустеніту тим більша, чим нижчі температури початку та кінця мартенситного перетворення, а також чим більший вміст в аустеніті вуглецю та легувальних елементів. В нашому випадку кількість аустеніту складає 50-60%.

В нижньому шарі отриманого покриття, концентрація залишкового аустеніту значно менша. Це пояснюється збільшенням швидкості кристалізації та охолодження металу за рахунок відведення тепла в метал заготовки. Внаслідок цього аустеніт, при даних швидкостях охолодження, встигає перетворитися в мартенсит.

За рахунок контрольованого тепловідведення можливо керувати структуроутворенням наплавленого високовуглецевого покриття, його фізико-механічними властивостями, та зносостійкістю.

При регулюванні швидкості наплавлення від 26 до 11 м/год (рідка зварювальна ванна існує від 0,8 до 5 с.) спостерігаються зміни швидкості кристалізації та охолодження наплавленого металу. Швидкість кристалізації в інтервалі температур 1700...1500 °С – від 2000 °С/с до 800 °С/с, в інтервалі температур 1500...1000 °С – від 1800 °С/с до 600 °С/с. Швидкість охолодження в інтервалі температур 1000...500 °С змінюється від 730 °С/с до 350 °С/с, а в інтервалі температур 500...50 °С – від 120 °С/с до 70 °С/с.

В залежності від режимів наплавлення структури зразків, зносостійких високовуглецевих покриттів, змінюються в широких межах. При швидкості наплавлення 11 м/год (час існування рідкої зварювальної ванни 5 с) відбувається утворення високовуглецевого пластинчастого мартенситу та невеликої кількості залишкового аустеніту. Такі покриття добре працюють в умовах сухого тертя.

*Шенфельд Валерій Йосипович* — к.т.н., доцент кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет

## ВПЛИВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ЗАЛИШКОВИЙ РЕСУРС ЦИКЛІЧНО НАВАНТАЖЕНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

д.т.н., доц. Поліщук Л. К.

Подано дослідження деградації матеріалу тривало експлуатованої стрілової конструкції буртоукладника, сумісної дії змінних напружень і корозивного середовища на тріщиноутворення та залишковий ресурс.

Проаналізовано напружено-деформований стан стріли буртоукладника методом скінченних елементів із застосуванням обчислювального комплексу APM Structure 3D пакету APM Win Machine. Із виявлених найбільш та найменш навантажених елементів конструкції виготовляємо зразки для проведення експериментальних досліджень. Вивчали три стани металу: №1 – вихідний (з елемента рами, на який практично не діяли експлуатаційні навантаження); №2 і 3 – експлуатований за дії розтягальних та стискальних циклічних напружень. Встановлено, що міцність і пластичність металу змінилися неістотно, однак, спостерігали чітку тенденцію зниження пластичності. Найбільш чутливим до зміни стану металу виявилось відносне звуження  $\psi$ , ударна в'язкість  $KCV$  і температура крихко-в'язкого переходу.

Основною причиною руйнування в умовах контакту металу з корозивним середовищем є локальна корозія металу, що призводить до зменшення його робочого перетину і утворення тріщини. Випробуванням зразків матеріалу в умовах синтетичного дощу (його усереднений хімічний склад є таким:  $H_2SO_4$  – 3,19;  $Na_2SO_4$  – 3,2;  $HNO_3$  – 1,58;  $NaNO_3$  – 2,12;  $NaCl$  – 8,48) зі швидкістю деформації  $v_{\text{деф}} = 10^{-5} \text{ с}^{-1}$  та  $v_{\text{деф}} = 10^{-6} \text{ с}^{-1}$  встановлено утворення сітки поверхневих тріщин різного розміру та орієнтації, що підтверджує окрихчення матеріалу і зниження тріщиностійкості.

Експлуатаційна деградація металу негативно впливає на опір втомному руйнуванню. Тому досліджено вплив модельного корозивного середовища типу кислого дощу на циклічну тріщиностійкість сталі стрілової конструкції. Висока пластичність досліджуваної сталі, мала товщина  $t$  зразків, що відповідає практично товщині кутника, та висока асиметрія  $R$  зміни напружень значно обмежили діапазон розмаху коефіцієнту інтенсивності напружень (КІН)  $\Delta K$ , для якого можливо будувати кінетичні діаграми  $\Delta K - da/dN$ .

Відмінності в кінетиці втомного руйнування досліджуваної сталі для різної асиметрії  $R$  циклу навантаження відповідають загальним закономірностям і пояснюються в першу чергу зменшенням ефекту закриття втомних тріщин з підвищенням значень  $R$ .

Корозивне середовище, в основному, негативно вплинуло на ріст тріщини в експлуатаційно окрихченій сталі. Кінетичній діаграмі для  $R = 0,75$  властиве типове для високоміцних сталей пришвидшення росту тріщини у всьому діапазоні розмаху КІН  $\Delta K$ . Таким чином, експлуатаційна деградація металу, незважаючи на збереження низької міцності, формує закономірності корозійно-втомного руйнування, притаманні неексплуатованому металу лише у високоміцному стані. Ознаки стрімкого росту  $da/dN$  за  $\Delta K \sim 6$  і 8 МПа для  $R = 0,75$  і 0,6 відповідно, вважаємо як прояв схильності високоміцних сталей до корозійного розтріскування. Значення  $\Delta K$ , що відповідає  $K_{\text{max}} - 22$  МПа, практично визначає пороговий КІН  $K_{\text{ISCC}}$ , нижче якого не слід очікувати корозійно-статичного росту тріщини.

Для оцінювання довговічності елемента конструкції використано аналітичні вирази КІН  $K_I$  та швидкостей їх зміни  $dK_I/da$  біля вершин тріщин характерним розміром  $a$  у прямокутному паралелепіпеді, яким моделювали досліджуваний фрагмент елемента конструкції. Розглянуто шість випадків потенційно можливих тріщиноподібних дефектів: центральна поздовжня тріщина; зовнішня крайова тріщина; дві зовнішні крайові тріщини;

півеліптична крайова тріщина; чвертьеліптична кутова тріщина; внутрішня еліптична центральна тріщина. Для них побудована аналітична база, що дає змогу оцінювання довговічності стрижнів за показником «опірності елемента конструкції росту тріщини», який є характеристикою швидкості зміни КІН біля вершини тріщини.

Для розглянутих тріщиноподібних дефектів на основі аналітичних співвідношень побудовано безрозмірні залежності виду  $(\sqrt{t}/\sigma) \cdot (dK_1/da) = F(a/t)$ , де  $a$ ,  $t$  – розміри тріщини та зразка. При визначенні характеристикних значень довжин тріщин у досліджуваних елементах конструкцій використовували експериментальну базу, наведену вище, та аналітичне співвідношення Періса.

Отримані значення  $\Delta K_{th}$  та  $\Delta K_{fc}$  покладені в основу визначення характеристикних значень тріщин  $a_{th}$  та  $a_{fc}$  відповідно. Оцінку довговічності елемента конструкції з потенційно можливими тріщиноподібними дефектами виконано на основі співвідношення, яке передбачає досягнення умови спонтанного руйнування елемента конструкції.

Для досліджуваних випадків за подібною залежністю розраховано число циклів навантаження  $N^*$ , за якого тріщиноподібний дефект досягає характеристикного розміру  $a^*$ , починаючи з якого різко зростає швидкість зміни КІН  $K_I$ . Для кожного випадку були знайдені характеристикні значення  $(a/t)^*$ , за якими визначали розрахункову глибину тріщини  $a^*$ , яку з великою ймовірністю можна вважати такою, що передує руйнуванню конструкції. Тому, поряд зі значенням  $a_{fc}$ , значення  $a^*$  може бути використане як критеріальна глибина тріщини під час планованого чи позачергового моніторингу експлуатованої конструкції.

*Поліщук Леонід Клавдійович* – д.т.н., доц., завідувач кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет

УДК 621.983.7

## **ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДСИЛЕННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ, ОТРИМАНИХ ГНУТТЯМ**

Савуляк В.В.

Металоконструкції машин, механізмів і споруд в залежності від призначення і умов експлуатації сприймають різноманітні навантаження статичними та динамічними зусиллями, моментами сил, а також впливи середовищ їх функціонування. Середовище використання, робочі навантаження та вхідні потоки енергії різноманітної природи визначають їх довговічність. В переважній кількості випадків вартість каркасів значно перевищує затрати на ремонт, який виявляється доцільним, особливо за умови застосування технологій та засобів, що дозволяють відновити та підвищити несучу здатність, жорсткість та довговічність конструкції з урахуванням результатів експлуатації. Враховуючи вище сказане проблема підвищення жорсткості та довговічності місцевих перерізів несучих металоконструкцій для існуючих базових профілів деталей рами є актуальною.

Довговічність елементів конструкцій, що несуть силове навантаження, в першу чергу, залежить від величини внутрішніх напружень, що виникають під дією зовнішніх факторів. В загальному випадку на металоконструкцію можна діяти довільне навантаження, яке розкладається на 3 сили вздовж відповідних осей та 3 круглих моменти. Водночас, для більшості рамних конструкцій характерними є навантаження, що діє в одній або двох площинах. У випадку пошкодження ділянки рами (наявності макротріщини) її несуча здатність різко зменшується, а внутрішні напруження стрибкоподібно зростають. Для підсилення такої ділянки та відновлення її експлуатаційної придатності встановлюють

елементи підсилення. Для несучих профілів типу швелер доцільно використовувати гнуті профілі (рисунок 1), які працюють як пружні елементи розвантажуючи пошкоджену ділянку (рисунок 2).

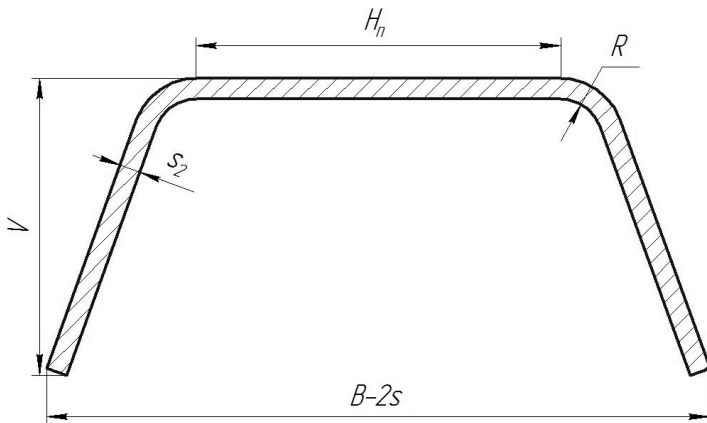


Рисунок 1 – Запропонований профіль елемента підсилення

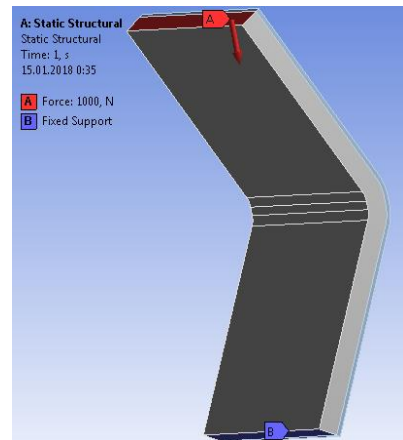


Рисунок 2 – Схема навантаження гнутого елемента підсилення

Використання захисних та інших видів покриття на таких елементах дозволяє змінити внутрішні напруження в елементі під час гнуття та керувати його експлуатаційною довговічністю та жорсткістю.

В якості змінних параметрів приймали наступні величини: висота елемента підсилення (від 5 до 45 мм); ширина горизонтальної полки елемента підсилення (від 0 до 90 мм); радіус заокруглення при вершині (від 5 до 25 мм); товщина покриття (від 0,1 до 5 мм). Діапазони зміни величин встановлені попередніми дослідженнями і залежать від умовного профілю, який потрібно підсилити. Товщина листа основи (5 мм) і ширина елемента (100 мм) приймалися постійними. Схема навантаження елемента підсилення показана на рисунку 2.

В результаті розрахунків виявилось, що радіус заокруглення біля полки елемента підсилення жодним чином не впливає на його жорсткість, збільшення товщини листа призводить до зростання жорсткості елемента підсилення, а збільшення ширини плоскої частини – зменшує жорсткість.

Аналогічні розрахунки були проведені для елемента підсилення з покриттям. Під час моделювання в якості покриття вибирався мідний сплав, що дозволяє в процесі нанесення та експлуатації такого елемента, за рахунок активності міді, самовідновлювати ресурс елемента підсилення. З отриманих даних слідує, що збільшення товщини елемента підсилення підвищує його загальну жорсткість, але для елемента з покриттям жорсткість вища, хоча характер залежності зберігається.

Наступним аспектом, який потрібно аналізуватися під час вибору профілю підсилення є можливість його отримання. Класичним способом виготовлення коритних профілів у серійному і одиничному виробництві є гнуття. Для оцінки можливості отримання виробу пластичним деформуванням використовують критеріальний підхід, зокрема критерій Деля-Огороднікова, суть якого зводиться до твердження, що матеріал зруйнується в момент вичерпання його ресурсу пластичності. Такий підхід використовувався також в даній роботі з якої слідує, що збільшення товщини листа та зменшення радіусів його згину пришвидшує використання ресурсу пластичності, тобто процес накопичення пошкоджень в матеріалі, що зменшує його втомну міцність і довговічність.

На основі міркувань, наведених в попередніх роботах, визначали вплив параметрів кривої зміцнення матеріалу основи і покриття на величину напружень та використання ресурсу пластичності (пошкодженість) елемента підсилення. Встановлено, що зменшення

відношення величини швидкості зміцнення матеріалів основи і покриття призводить до зменшення інтенсивності деформацій, а отже і напружень на зовнішній поверхні. Такий самий ефект досягається при збільшенні співвідношення меж текучості та зменшення товщини покриття відносно товщини основи.

Таким чином можна сформулювати вимоги до елемента підсилення з покриттям, які забезпечуватимуть максимальну експлуатаційну довговічність:

1) Радіус згину елемента підсилення повинен бути максимально можливим для зменшення інтенсивності накопичення пошкоджень в процесі виготовлення;

2) Збільшення товщини основи і покриття практично прямо пропорційно підвищує жорсткість елемента, але підвищує ступінь пошкоженості в процесі виготовлення експоненційно, що дозволяє рекомендувати товщини елемента підсилення з покриттям в межах товщини базового елемента.

3) Збільшення висоти елемента підсилення зменшує його жорсткість, в той же час, як зміна ширини полки слабо впливає на жорсткість елемента підсилення. Висота та ширина полки елемента підсилення не впливають на можливість його виготовлення, тобто не є обмежуючим фактором.

4) Збільшення міцності покриття підвищує жорсткість елемента підсилення.

5) В якості покриття доцільно вибирати матеріали, інтенсивність зміцнення яких, близька за величиною, а напруження текучості суттєво перевищує відповідний параметр основи – це дозволяє зменшити інтенсивність деформацій в тріщинонебезпечних ділянках елемента підсилення. Водночас пластичність таких матеріалів має бути не меншою за пластичність матеріалу основи.

*Савуляк Віктор Валерійович* - к.т.н., доц., доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет

## **СФЕРИЧНІ НАНОРОЗМІРНІ КАРБОНОВІ КЛАСТЕРИ – НОВІТНІ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНІ ПРИСАДКИ ДО СУЧАСНИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ**

Є.В.Полункін, О.О. Гайдай, Я.О. Березницький  
Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України, Київ, Україна; [polunkin@i.ua](mailto:polunkin@i.ua)

Надійність та працездатність машин і механізмів в значній мірі залежить від стабільності, а також від протизносних і антифрикційних властивостей паливно-мастильних матеріалів, які використовуються. При дослідженні екзомодифікованих фулеренів в якості присадок до моторних палив була встановлена симбатність у зміні антиокиснювальної здатності, трибо-логічних та інших макрофізичних характеристик в залежності від концентрації присадки. Нами була запропанована фізико-хімічна модель, в якій симбатність в зміні цих властивостей з'ясовується за рахунок утворення супрамолекулярних сольватованих кластерів (доменів).

В літературі відсутні дані про вплив різних нановуглецевих присадок на мастильні властивості моторних палив. Вочевидь, широке практичне застосування обмежене слабкою розчинністю нанорозмірних частинок в малов'язких рідинах, а також високими цінами на фулерени та їх похідні.

Нами були синтезовані і відібрані полішаруваті нанорозмірні карбонові кластери з підвищеною розчинністю в вуглеводневих паливах та перспективному моторному паливі на основі етанолу. Шляхом хімічної модифікації наночастинок була розроблена присадка -

сольватозоль, створена з полішаруватих нанорозмірних карбонових кластерів - оніонів (CNOs), сольватованих молекулами розчинника.

Протизносні властивості були досліджені для трьох типів палив: I - високооктановий нафтовий бензин Аі-95, II - біопаливо Е-85, III - біопаливо Е-85 з додаванням присадки на основі нанорозмірних сферичних кластерів CNOs.

Оцінку швидкості зносу паливних насосів визначали по зміні робочого тиску на виході з паливного насосу в залежності від тривалості випробувань. Було встановлено, що при роботі з біопаливом з додаванням присадки знос паливного насоса менший, ніж знос наносу на високооктановому якісному нафтовому бензині Аі-95, а також на біопаливі без додавання присадки (мал.1). Випробування паливних насосів проводили протягом 80 годин у спеціально створеному термостаті. Визначення протизносних властивостей палив проводили в Науково-дослідній лабораторії нанотриботехнологій Національного авіаційного університету (м.Київ).

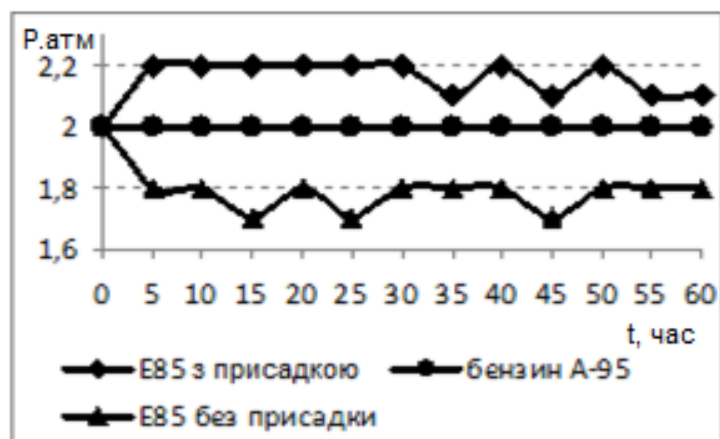


Рис.1. Графік динаміки робочого тиску на виході паливного насосу в залежності від тривалості випробувань

Результати порівняльних триботехнічних випробувань зразків палив наведені в табл.1. Перший етап тертя початкового зносу характеризує обкатувальні властивості випробуваного палива, а 4-й тривалий етап, характеризує знос в часі.

Таблиця 1. Результат випробувань протизносних властивостей дослідних зразків палива

| Назва зразка | Результати зміни зносу (I, мкм) |                  |                  |                   |
|--------------|---------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
|              | 1етап тертя-320м                | 2етап тертя-320м | 3етап тертя-320м | 4етап тертя-1900м |
| А-95         | 1,14                            | 1,52             | 1,80             | 5,66              |
| Е-85         | 0,61                            | 0,60             | 0,39             | 0,85              |
| Е-85+пр      | 0,20                            | 0,53             | 0,31             | 0,55              |

Випробування проводилися на машині тертя АСК-01. Осьове навантаження - 80Н. Температура навколишнього середовища - 18°С.  $\omega = 300 \text{ хв}^{-1}$ .

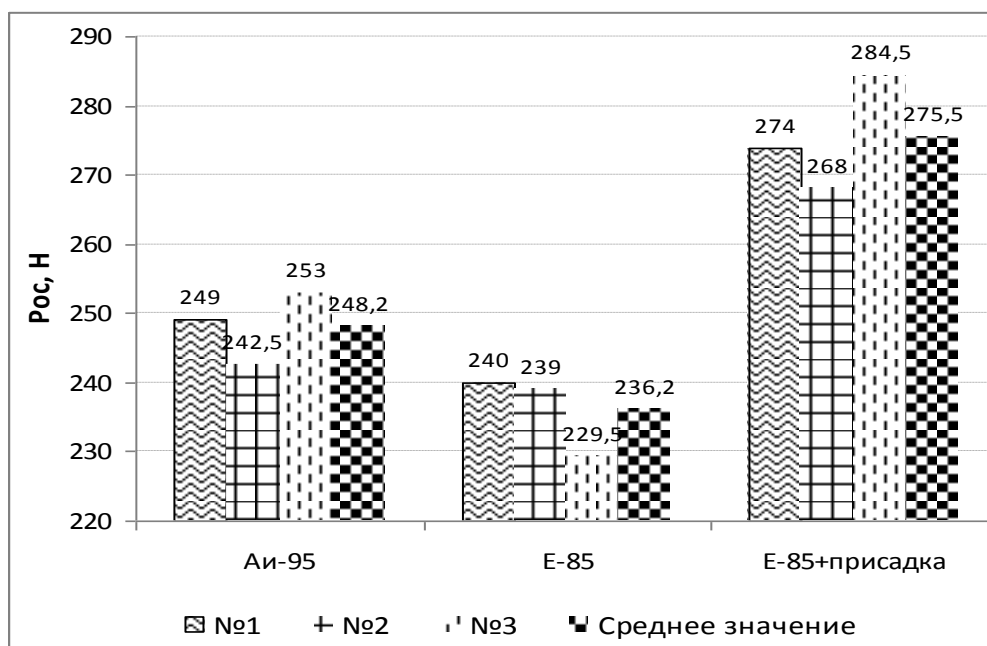


Рис.2. Результати випробувань зразків палива на критичне навантаження до задиру.

Таким чином, створена присадка на основі сферичних карбонових нанокластерів дозволила значно поліпшити стабільність та трибологічні характеристики моторних палив і в значній мірі зменшити знос паливної апаратури

УДК 621.9

## ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН РІЗЦЯ ДЛЯ ДОЛІТ ТИПУ PDC

Роп'як Л.Я., к.т.н., доц., с.н.с., Пригоровська Т.О., здобувач

Конструкція долота є агрегатом взаємозв'язаних вузлів, деталей, елементів і матеріалів, що функціонують у складних умовах експлуатації. Основними породоруйнівними елементами долота є різці з алмазно-твердосплавними пластинами (різці PDC), що встановлюються в отворах, виконаних на лопатях, які виступають над поверхнею корпусу з боку вибої і з боку стінки свердловини. Призначення різців – руйнування гірської породи на вибої, а також – захист діаметра долота від зношення. Власне, забезпечення належного діаметру долота є першочерговою задачею, оскільки зношення найбільш віддалених різців викликає необхідність зупинення буріння та заміну долота [4].

Проте лише частина бічної поверхні різця контактує із корпусом долота, що викликано розміщенням різця, при цьому спостерігається нерівномірний характер розподілу напружень різних типів, які, в свою чергу, викликані нерівномірністю контакту з припоєм по бічній поверхні різця, а також нерівномірністю прикладеного силового та температурного навантаження, яке виникає в зоні контакту різця із породою. Ці відмінності в розмірах зони контакту можуть чинити помітний вплив на напружено-деформований стан з'єднання (НДС).

Метою роботи є дослідження впливу технологічних параметрів виготовлення з'єднання «різець-долото» на НДС різця для забезпечення урівноваження напружень.

Рішення поставленої задачі досягається наступним чином: пропонується оснастити бічну поверхню різця, яка контактує із гірською породою, додатковою алмазно-



твердосплавною пластиною, розміри якої визначаються найбільш ймовірною областю зносу різця по бічній та передній поверхнях.

Порівнювали розподіл напружень у таких випадках: традиційний різець, тобто розміщено алмазно-твердосплавну пластину на передній поверхні різця (дослідження 1) та запропонований різець (розміщено алмазно-твердосплавну пластину на передній поверхні та на бічній поверхні різця- дослідження 2).

Розглядалося силове (стиснення 40 МПа), температурне (нагрівання до 250 ° С), коли напружено-деформований стан створюється за рахунок того, що матеріали із різними коефіцієнтами температурного розширення створюють спільне температурно-силове навантаженням вузла (після утворення з'єднання). Такий стан є характерним для реальних умов роботи різця. Вузли вибираються однакового типу жорсткості. Визначали величину еквівалентних напружень і деформацій на поверхні різця, як на бічній, так і на передній.

При цьому має значення характер прикладання навантаження. Оскільки з метою наближення моделі до реальних умов, для досліджень прикладали температурне і силове навантаження до частини пластини на передній поверхні (дослідження 1 і 2) та для частини поверхні на бічній поверхні (дослідження 2), як це показано на схемах дослідження (рисунок 1).

Аналізували поля і епюри всіх складових напружень і пластичних деформацій вузлів. Як показав аналіз результатів моделі, картина напружень та деформацій відповідала загальним принципам механіки і закономірностям, встановленим раніше [2-4].

Розглядаючи сумісну дію температурних і силових факторів за умов прикладання навантаження під кутом для дослідження 2 (рисунок 1) бачимо, що найбільш навантаженою і, відповідно, найбільш деформованою, є ділянка різця, що ближче розташована до центру долота, тобто така, знос якої не є вирішальним фактором для заміни долота. Поряд із тим, за умов силового і температурного навантаження має місце рівномірний розподіл напружень по поверхні різця (рисунок 1), що свідчить про доцільність зміни конструкції різця шляхом додаткового введення на його бічній поверхні іншої алмазно—твердосплавної пластини.

При цьому, можна зробити висновок, і щодо технології здійснення пайки корпусу долота і різця. Дотичні і еквівалентні напруження в зоні стику (на поверхні розділу між пайкою та різцем), що визначають утворення фізичного контакту і активацію процесу утворення з'єднання при дифузійній зварюванні, при спільному навантаженні вузлів з м'яким прошарком помітно збільшуються в матеріалі з великим температурним коефіцієнтом лінійного розширення (ТКЛР) при охолодженні і матеріалі з меншим ТКЛР при нагріванні.

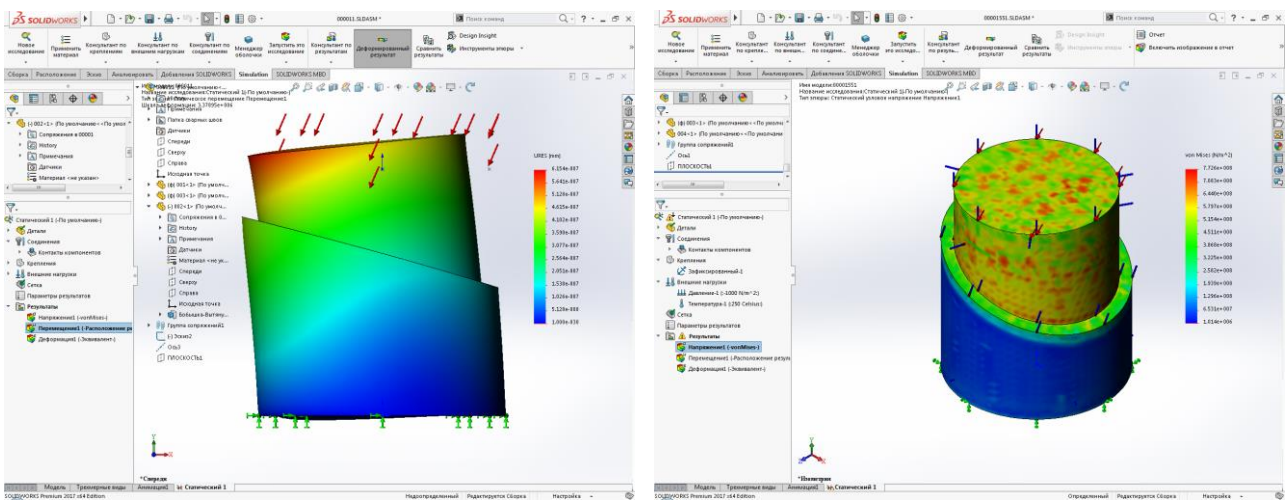


Рисунок 1- Результати моделювання (прикладання силового і температурного навантаження)

При цьому розподіл еквівалентних напружень близький до рівномірного. Пластичні деформації в матеріалі пайки на межі з матеріалом з меншим ТКЛР при спільному навантаженні стисканням і нагріванні розподілені більш рівномірно, але рівень їх нижче, ніж при чисто температурному навантаженні. При спільному стисненні і нагріванні аналогічні явища відбуваються на межі з матеріалом з великим ТКЛР, тобто зварювання під тиском в вузлах з м'яким прошарком забезпечує більш рівномірний розподіл пластичних деформацій в прошарку.

#### Список використаної літератури

1. Патент України на корисну модель UA 128078 U, G01B 5/14. Пристрій для контролю биття бурового долота / Т.О.Пригоровська, Л.Я.Роп'як, О.В.Рогаль, М.В.Шовкопляс. – № u201804522; заявл. 24.04.2018; опубл. 27.08.2018. – Бюл. № 16. Квасницький В. В., Ермолаєв Г. В., Матвиєнко М. В. Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния при диффузионной сварке разнородных материалов применительно к узлам цилиндр-цилиндр и втулка-втулка // Зб. наук. праць НУК. – 2007. – № 5. – С. 57–65.
2. Махненко В. И., Квасницький В. В. Напряженно-деформированное состояние узлов цилиндрической формы при диффузионной сварке // Автомат. сварка. – 2009. – № 2. – С. 5–10.
3. Квасницький В. В., Ермолаєв Г. В., Колесар І. А. Напряжено-деформований стан зварних та спаяних з'єднань різнорідних матеріалів однакової жорсткості з проміжними прошарками // Зб. наук. праць НУК. – 2011. – № 5. – С. 36–43.
- 4.

*Роп'як Любомир Ярославович* - к.т.н., с.н.с., доцент кафедри технології комп'ютеризованого машинобудування, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

*Пригоровська Тетяна Олексіївна* - асистент кафедри інженерної і комп'ютерної графіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

УДК 621.791.92

## **ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПІД ЧАС МОКРОГО НАПЛАВЛЕННЯ**

Бакалець Д.В., Щербаков О.В.  
Вінницький національний технічний університет

Однією з найбільш поширеніших технологій відновлення діаметральних розмірів валів є їх наплавлення в середовищі захисних газів. Однак при такому ремонті валів малого діаметру та великої довжини виникають неприпустимі деформації, та ливарні укорочення пов'язані з надмірним нагріванням в процесі наплавлення. В роботі запропоновано технологію мокрого наплавлення, яке дозволяє мінімізувати нагрівання під час зварювання, і відповідно всі негативні наслідки з цим пов'язані.

Нерівномірне місцеве нагрівання металу при наплавленні, зміна його об'єму, внаслідок температурного розширення й структурних перетворень, обумовлюють появу зварювальних напружень і деформацій, які в ряді випадків викликають зміну форми і розмірів виробу, і роблять його непридатним для подальшого використання. Особливо це відноситься до процесу наплавлення валів малого діаметру яке часто проходить з їх нагріванням до температур вище 600 °С. Як відомо, границя текучості сталі з підвищенням температури

вище 500 °С різко падає. В зв'язку з цим вали закріплені у центрах отримують осьову усадку а деталі з одностороннім закріпленням можуть деформуватись за рахунок власної ваги.

Одним із методів запобігання підвищенню температури є використання різних способів охолодження, в тому числі водяного. Мета дослідження встановити можливість мокрого наплавлення валів та його вплив на формування геометрії.

Проведення експериментальних досліджень виконували з використанням установки для наплавлення УД-209М, зварювального низьковуглецевого дроту марки Св-08Г2С, циліндричних заготовок довжиною 420 мм діаметром 28 мм, магнітної стійки з індикатором годинникового типу та відеофіксуючих засобів. Вимірювання температури проводили з використанням пірометра. Наплавку проводили в звичайних умовах та з використанням водяної ванни у яку занурювали деталь (рис. 1). Вимірювання проводили до та після експерименту і фіксували покази індикатора в процесі наплавлення на відеокамеру. Після чого дані оцифровували та будували графіки залежності, температури, часу та деформацій.

Встановлено, що в процесі наплавлення без охолодження температура в зоні термічного впливу, яку вдалось зафіксувати пірометром, досягала 670 °С. У випадку зварювання з охолодженням вона не перевищувала 140 °С. Найбільші поточні деформації 0,26 мм зафіксовані на початковому етапі наплавлення, коли температура досить швидко зростала до свого максимального значення, однак коли температурний режим стабілізувався значення деформацій зменшились вдвічі, і по завершенню наплавлення становили 0,12 мм.



Рис.1. Установка для мокрого наплавлення.

При мокрому наплавленні деформації не перевищували 0,07 мм, і по завершенню і повному охолодженню склали 0,04 мм.

В процесі проведення досліджень відпрацьовано технологію мокрого наплавлення, яка дозволяє відновлювати деталі без їх перегріву, і як наслідок, зменшити поточні деформації на 60-70%, а залишкові майже вдвічі.

Отримані покриття мають високу якість, що дозволяє робити висновок про придатність запропонованої технології до використання у промисловості.

*Бакалець Дмитро Віталійович* – доцент, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [BacaletsDima@gmail.com](mailto:BacaletsDima@gmail.com).

*Щербаков Олександр Вікторович* – студент групи 13В-13б, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [olexsandrscherbakov@gmail.com](mailto:olexsandrscherbakov@gmail.com)

УДК 62-82:62-503.507

## **ПРО МОЖЛИВОСТІ ЗМЕНШЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ГІДРОПРИВОДІ МАНІПУЛЯТОРА МОБІЛЬНОЇ МАШИНИ**

Козлов Л.Г., д.т.н., доцент

В промисловості, сільському господарстві, будівництві та на транспорті широко застосовуються мобільні машини з маніпуляторами. Такі машини комплектуються широкою номенклатурою змінних робочих органів різного призначення. Маніпулятори призначені для виконання широкого спектру операцій з вантажами великої маси та габаритів.

Робочі процеси в гідроприводах характеризуються постійною зміною напрямків руху робочих органів, частими пусками та зупинками. З урахуванням великої маси вантажу та значних габаритів маніпуляторів, а також наявності, як правило, декількох одночасно працюючих регуляторів динамічні процеси в гідроприводах маніпуляторів характеризуються значною коливальністю. Коливання величини тиску в перехідних процесах приводять до значного перевантаження елементів конструкцій маніпуляторів та машин, зносу елементів гідроприводів, що в цілому значно зменшує ресурс машини з маніпулятором. Розробка ефективних засобів зменшення коливань в гідроприводах маніпуляторів мобільних машин на сьогоднішній день є актуальною задачею.

У Вінницькому національному технічному університеті розроблена схема гідропривода маніпулятора мобільної машини з регульованими насосами, пропорційними розподільниками та з адаптивним регулятором на основі програмованого контролера. Гідропривод забезпечує роботу гідроприводів маніпулятора при можливості пропорційного керування, стабілізації швидкості руху робочих органів та суміщення роботи двох приводів при високих показниках економічності роботи. Використання адаптивного регулятора забезпечує зниження динамічних навантажень в гідроприводі за рахунок використання коригуючих сигналів зворотного зв'язку.

Адаптивний регулятор включає блок комутації, блок зворотного зв'язку та блок корегування зворотного зв'язку. Блок комутації забезпечує підключення до регульованих насосів двох одночасно працюючих гідродвигунів таким чином, що в залежності від вибраного гідродвигуна забезпечується його індивідуальний привод від окремого насоса. Блок зворотного зв'язку забезпечує передачу сигналів від підключених в даний момент гідродвигунів до регуляторів регульованих насосів. Блок корегування сигналу зворотного зв'язку забезпечує гасіння коливань в гідроприводі в перехідних процесах. Корегування сигналу зворотного зв'язку забезпечується шляхом додавання до нього складової

$\Delta p_c = -k_p \frac{di_p}{dt}$ . Тут позначено:  $k_p$  – коефіцієнт корегувальної складової сигналу адаптивного регулятора;  $\frac{di_p}{dt}$  – похідна від сигналу зворотного зв'язку. Величина коефіцієнта  $k_p$  в значній мірі впливає на якість перехідних процесів в гідроприводі. Робота адаптивного регулятора при оптимальному значенні  $k_p$  суттєво зменшує величину перерегулювання та час регулювання за рахунок інтенсивного гасіння коливань привода в перехідних процесах. Виявлено, що величина коефіцієнта  $k_p$  суттєво залежить від режимів роботи гідропривода, а саме від величини подачі робочої рідини до гідродвигуна та величини тиску в гідроприводі. Проведено моделювання роботи гідропривода з адаптивним регулятором. Встановлено, що коливальність гідропривода суттєво зменшується з 8-10 коливань до 2-4 коливань в перехідному процесі в залежності від режимів його роботи. При цьому величина перерегулювання зменшується на величину до 40 % і не перевищує 30 %, при роботі маніпулятора вантажопідйомністю 7000 Н.

*Козлов Леонід Геннадійович* – д.т.н., доцент, завідувач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет.

УДК 629.114.4

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СХЕМИ ФОРМУВАННЯ СИЛИ ТЕРТЯ ЕЛАСТИЧНИМ ЕЛЕМЕНТОМ ПІД ВПЛИВОМ ТИСКУ РІДИНИ**

Савуляк В.І., д.т.н., проф., Пурдик В. П., к.т.н., доц.

В системах гідроприводу різноманітних технологічних машин для ущільнення, в конструкціях як виконавчих органів так і в напрямній та регулювальній апаратурі широко використовуються еластомери, переважно гумові. Гума, як матеріал, стосовно своїх фізико-механічних характеристик має ряд особливостей, а саме - в'язко-пружний характер деформації при навантаженні, що підпорядковується реологічній залежності Кельвіна-Фогта, релаксація внутрішніх напружень та інш.[1].

Вважається, що тиск рідини передається гумою згідно закону Паскаля (наближено) з коефіцієнтом приблизно 0,9 [2], але досконально невідомо швидкість такої передачі. Такі відомості необхідні при проектуванні нових конструкцій гідроапаратури з еластичними керуючими елементами [3].

Метою роботи є проведення експериментальних досліджень для визначення впливу тиску рідини на характер формування сили тертя, яку створює еластичний елемент ущільнення.

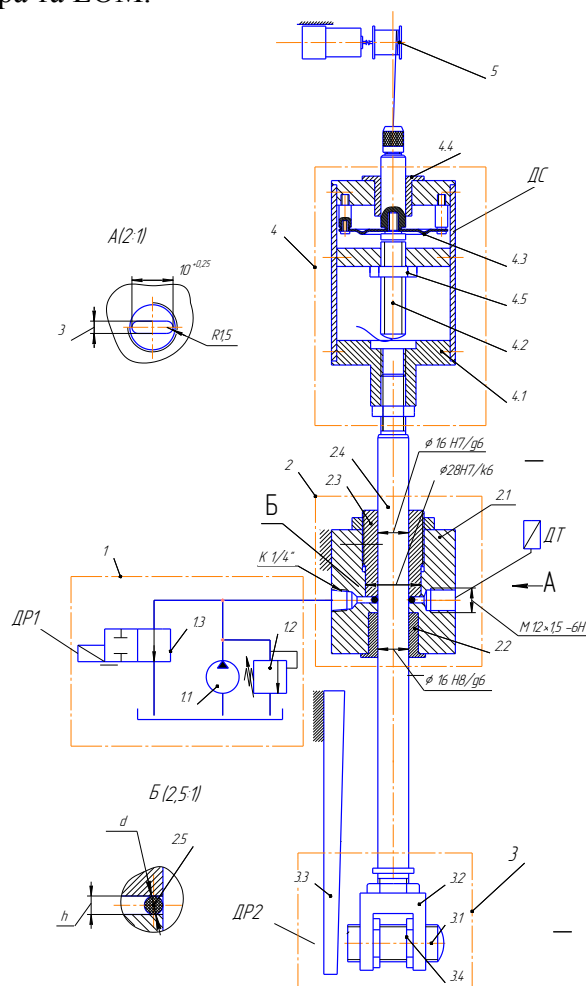
Експериментальні дослідження проводились на спеціальному стенді, гідромеханічна схема якого представлена на рис.1. Стенд складається з п'яти основних блоків: гідравлічної частини 1, випробувального блоку 2, механізм протягування 5 та вимірювальної апаратури – датчика сили 4, датчиків руху ДР1, ДР2 датчика тиску ДТ.

Запропонована методика проведення експерименту полягає в наступному: в випробувальний блок 2 встановлюється еластичне ущільнення 2.5 (кільце круглого перетину) з попереднім невеликим натягом по валу 2.4 і вмикається насосна станція 1.1, яка спочатку розвантажена (електромагнітний затвор відкритий), далі подається команда на механізм протягування 5, який приводить в рух вал 2.4.

Після початку руху вала 2.4 подається сигнал на закриття електромагнітного затвору 1.3, що приводить до миттєвого підвищення тиску (величина встановлюється запобіжним

клапаном 1.2) в напірній магістралі насосної станції. Так як напірна магістраль з'єднана з порожниною, де встановлено еластичне ущільнення 2.5, то на останнє теж діє створений високий тиск, який передається на вал 2.4 та створює силу тертя, що перешкоджає його руху.

Весь процес створення сили тертя на вал за допомогою датчиків осцилографується в динамічному режимі за допомогою спеціальної реєстраційно-вимірювальної системи на основі цифрового адаптера та ЕОМ.



В результаті проведення попередніх досліджень встановлено, що швидкість передачі тиску через еластичний елемент ущільнення менший, ніж через рідину, що є досить важливим фактором, яким можна пояснити запізнення у формуванні сили тертя на валу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бартенев Г.М. и др.. Исследование влияния времени предварительного контакта на начальную силу трения пары резина-металл. – В кн.: Резина – конструкционный материал современного машиностроения. – М.: Химия, 1977, с. 271-275.
2. Кондаков Л.А. Уплотнения гидравлических систем. – М.: Машиностроение, 1982. - 186 с.
3. Пурдик В.П. Еластомірні керуючі елементи в апаратурі систем гідроавтоматики. XVIII міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гідравліка та пневматика»: матеріали конференції. – Вінниця: ГЛОБУС ПРЕС, 2017. -19-20.

*Савуляк Валерій Іванович* – доктор техн. наук, професор. Вінницький національний технічний університет, Вінниця

*Пурдик Віктор Петрович* – канд. техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

## ПОКРАЩЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАСТИЛ З ДОДАВАННЯМ НАНОПОРОШКІВ

Савуляк В.І., д.т.н., професор, Пушкар М.В.

При роботі двигуна та пар тертя інших деталей машин мастило відграє важливу роль для зменшення сил тертя та підвищення зносостійкості. Використання мастила як «третього тіла» дає можливість значно підвищити довговічність роботи та зменшити енергетичні втрати. Фізичні і хімічні властивості масла можна змінювати шляхом додавання присадок. У маслі можуть накопичуватися нейтральні сполуки у вигляді смол, карбонів і інших продуктів глибокого окиснення, а також кислі речовини – органічні кислоти. Продукти окиснення сприяють утворенню лаку і нагару на деталях поршневої групи, що може призвести до закоксовування поршневих кілець та збільшують втрати на тертя.

Метою роботи є дослідження впливу домішок нанопорошків на покращення властивостей мастила. За базове використане мастило марки І20.

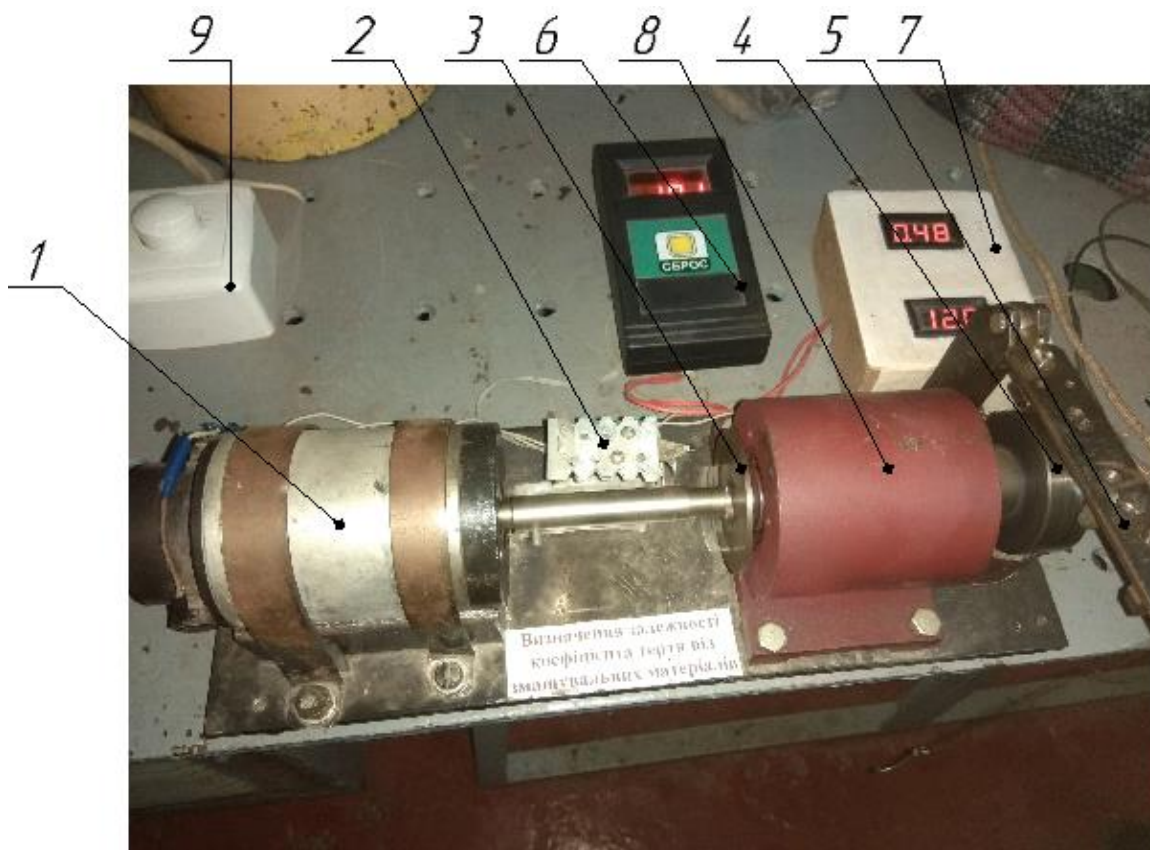


Рисунок 1 – Прилад для визначення впливу змащувальних матеріалів на коефіцієнти тертя та знос:

- 1 – електродвигун, 2 – датчик частоти обертання, 3 – диск частоти обертання, 4 – пара тертя, 5 – навантажувач, 6 – індикатор чисел обертів (шляху тертя), 7 – індикатор струму та напруги, 8 – опора з підшипниками кочення, 9 – регулятор обертів.

Для проведення експерименту необхідно запустити електродвигун установки і з допомогою регулятора встановити частоту обертання. Використовуючи кнопку «скинути» встановимо значення вимірювальних приладів на нуль. Сила навантаження залежить від ваги вантажу. За допомогою датчиків швидкості, струму і напруги визначаємо споживану потужність електродвигуна. Віднімаючи від отриманих значень потужності в умовах тертя потужність, що споживає двигун на холостому ході, отримуємо потужність роботи сил тертя та можемо обрахувати необхідні коефіцієнти.

Досліджувальний матеріал - мастило І 20 та те ж мастило з різними добавками подається в зону дії пари тертя за допомогою дозатора. Порівнюючи отримані результати з мастилом без додавання присадок визначимо їх ефективність впливу на процес.

*Пушкар Максим Володимирович* — студент групи ІЗВ-ІЗБ, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [puskmax@gmail.com](mailto:puskmax@gmail.com)

*Савуляк Валерій Іванович* — д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [korsar84@gmail.com](mailto:korsar84@gmail.com)

## **СФЕРИЧНІ ПОЛІШАРУВАТІ НАНОРОЗМІРНІ КАРБОНОВІ КЛАСТЕРИ –НОВІТНІ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНІ ПРИСАДКИ ДО ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Є. В. Полункін, О.О. Гайдай, Я.О. Березницький, В. С. Пилявский, Є.В. Шелудько,  
Т. М. Каменєва *Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України, Київ, Україна*  
E-mail: [polunkin@i.ua](mailto:polunkin@i.ua)

Надійність та працездатність машин і механізмів в значній мірі залежить від стабільності, а також від протизносних і антифрикційних властивостей паливно-мастильних матеріалів, які використовуються. Антифрикційні, протизношувальні та антизадирні присадки, що використовуються нині для поліпшення властивостей паливно-мастильних матеріалів, є непридатними для введення їх у склад сучасних моторних палив, оскільки поверхнево-активні й хімічно агресивні молекули збільшують утворення лаків і нагару на поверхнях деталей двигунів і призводять до передчасного виведення їх з експлуатації. При дослідженні екзомодифікованих фулеренів в якості присадок до моторних палив нами була встановлена [1] симбатність у зміні антиокиснювальної здібності, трибологічних та інших макрофізичних характеристик в залежності від концентрації присадки. Нами була запропонована фізико-хімічна модель, в якій симбатність в зміні цих властивостей пояснюється за рахунок утворення супрамолекулярних сольватованих кластерів (доменів).

Втім, висока вартість фулеренів, складність їх синтезу, виділення і очищення не дозволяє говорити про економічну доцільність використання даних речовин в якості присадок до паливно-мастильних матеріалів. Більш перспективною в практичному відношенні, ніж фулерени, є нова алотропна форма карбону, вперше синтезована Д. Угарте в 1992 р. [2]. Це багатосферичні структури, які являють собою нанометрові полішаруваті концентричні графеноподібні оболонки, які, крім шестичленних циклів, містять також п'яти- та семичленні карбонові цикли, що зумовлює сферичну форму цих нанооб'єктів. В ідеальному варіанті такі наночастинки складаються з декількох десятків концентричних карбонових оболонок з відстанню між ними приблизно 0,34 нм, які концентруються навколо внутрішнього ядра фулерену C<sub>60</sub>. Однак реальна будова таких матеріалів не збігається з ідеальною моделлю, так як в процесах їх синтезу можуть утворюватися не тільки окремі частинки, але і агломерати карбонових нанокластерів (рис. 1).



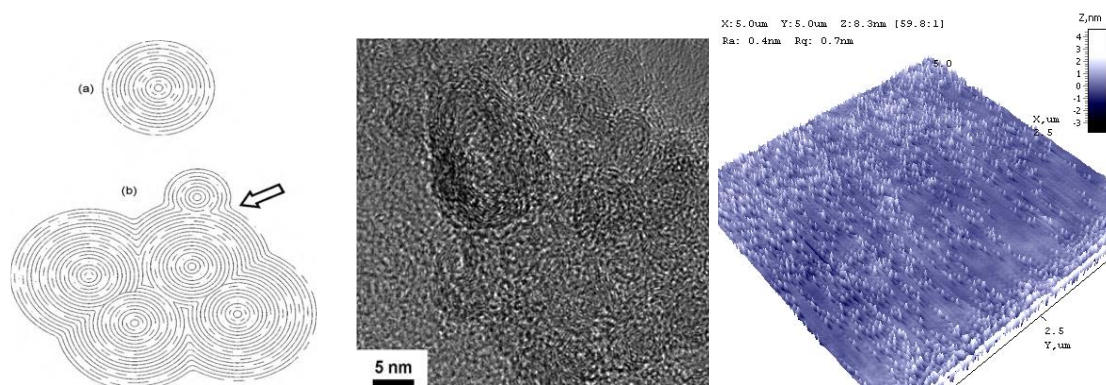


Рис. 1. Агломерация сферических полшаруватих нанорозмірних карбонових кластерів (діаметри наночастинок 2 - 4 нм)

У даній роботі синтез сфероїдальних карбонових наночастинок проводили методом електродугового розряду в середовищі пропан-бутану [3]. Недоліком отриманих нанокарбонових структур, як і фулеренів, є погана розчинність в органічних розчинниках, зокрема, в етанольному паливі. Враховуючи позитивні результати дослідження галогенованих фулеренів як присадок, для подальших досліджень на основі отриманого вихідного матеріалу було синтезовано бромовані нанокарбонові структури, які були випробувані в подальшому в якості присадок.

Топографію поверхні та особливості асоціації окремих наночастинок в агрегати різних розмірів досліджено методами скануючої, трансмісійної електронної мікроскопії, та атомно силовою мікроскопією. Виявлено, що середні розміри нанокластерів в початковому стані знаходяться в діапазоні 5-40 нм.

Розчинення бромованих нанокарбонових частинок в органічному субстраті супроводжується утворенням навколо них сольватної оболонки, розмір якої істотно залежить від хімічної природи розчинника. Експериментально було визначено область когерентного розсіювання, яка відповідає розміру структурних угруповань у різних розчинниках. Як свідчать наведені в табл. 1 дані, розмір доменів, що утворюються при сольватації наночастинок  $CNO_s-Br_n$ , в досліджуваних розчинниках змінюється від 21 до 1000 нм. Для етанолу він становить  $\sim 400$  нм, що значно перевищує розмір індивідуальних частинок присадки ( $< 40$  нм).

Таблиця 1

Розміри доменів, утворених з сольватованих нанокарбонових кластерів  $CNO_s-Br_n$  в різних середовищах, оцінені методом динамічного когерентного розсіювання лазерного світла

| Розчинник            | Середній розмір наночастинок разом з сольватної "шубою" з молекул розчинника, нм |
|----------------------|--|
| Бензиловий спирт     | 28   |
| 1,4-Діоксан          | 28   |
| N,N-Диметилформамід  | 220  |
| N-метил-2-пірролідон | 950  |
| Етанол               | 100–1000   |

Волюмометричним методом досліджено вплив мікродоз синтезованих полшаруватих нанорозмірних карбонових кластерів на кінетику вільно-радикального окислення ряду рідких субстратів молекулярним киснем (рис. 2).

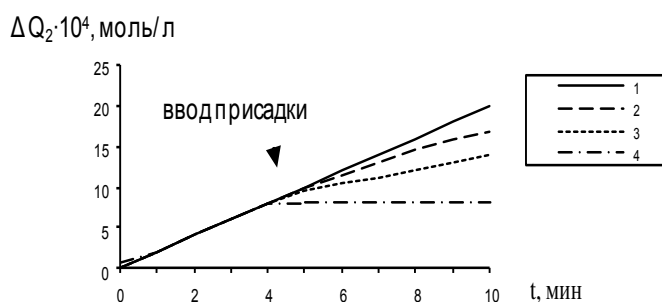


Рис. 2. Інгібування процесу автоокислення бензилового спирту ( $70^\circ C$ ) карбоновими нанокластерами при різних концентраціях присадки: 1 – 0 г/л; 2 –  $1,26 \cdot 10^{-3}$  г/л; 3 –  $1,26 \cdot 10^{-2}$  г/л; 4 –  $1,26 \cdot 10^{-1}$  г/л

Однією з проблем використання етанольного палива, що ставить його у невигідні умови в порівнянні з вуглеводневим паливом, є корозійна активність, пов'язана з наявністю кисню в молекулярному складі основного компонента - етанолу. В табл. 2 подано експериментальні результати дослідження корозійної активності базового етанольного палива Е-85, і цього ж палива з додаванням нанокарбонової присадки Е-85\* у порівнянні з ізооктаном як моделлю вуглеводневого палива, та з типовою антикорозійною присадкою ТЕТА (тетраетилентетрамін).

Таблиця 2

Корозійні властивості паливних композицій

| № п/п | Склад паливної композиції                 | Ступінь корозії у часі, діб |    |    |    |
|-------|---|-----------------------------|----|----|----|
|       |   | 0,125                       | 1  | 2  | 3  |
| 1     | Ізооктан                                  | 0                           | 0  | 0  | 0  |
| 2     | Е-85                                      | 2а                          | 2  | 2  | 3  |
| 3     | Е-85* (Е-85 + 0,01 %, мас. $CNO_s-Br_n$ ) | 1а                          | 1а | 1а | 1а |
| 4     | Е-85* + 0,01 %, мас., ТЕТА                | 1а                          |    |    |    |
| 5     | Е-85 + 0,01 %, мас., ТЕТА                 | 1а                          |    |    |    |

З наведених даних видно, що додавання до складу базового сумішевого палива Е-85 сфероїдальних карбонових наночастинок  $CNO_s-Br_n$  знижує його ступінь корозії на 1. За ефективністю антикорозійної дії запропонована присадка співставляється з таким типовим інгібітором корозії, як ТЕТА і не потребує додаткового введення інгібіторів в паливо.

Протизносні властивості запропонованої присадки  $CNO_s-Br_n$  у складі палива Е-85 оцінювали в стендових випробуваннях по впливу її на ресурс паливних насосів марки WEBER FP 464-038 з електричним приводом занурювального типу. Оцінку швидкості зносу паливних насосів визначали за зміною робочого тиску на виході паливного насосу в залежності від часу випробувань (рис. 3).

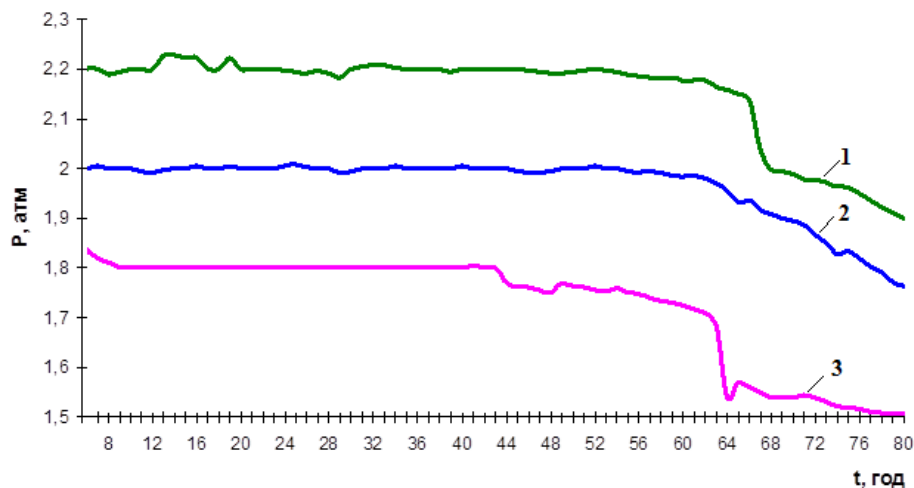


Рис.3. - Зміна робочого тиску на виході паливного насосу при роботі на різних паливах: 1 – Е-85\* (Е-85 +  $CNO_s-Br_n$ ); 2 – А-95; 3 – Е-85

Стеновими випробуваннями встановлено, що при роботі з сумішевим етанольним паливом з додаванням нанокарбонової присадки (рис.3, крива 1) зношення паливного насоса менше, ніж з використанням високооктанового нафтового бензину А-95 (рис. 3, крива 2), та сумішевого палива без додавання присадки (рис.3, крива 3).

Також визначення протизносних властивостей палив проводили в Науково-дослідній лабораторії нанотриботехнологій Національного авіаційного університету (м.Київ). Результати порівняльних триботехнічних випробувань зразків палив наведено в табл.3. Перший етап тертя початкового зносу характеризує обкатувальні властивості випробуваного

палива, а 4-й тривалий етап, характеризує знос в часі. Випробування проводилися на машині тертя АСК-01. Осьове навантаження - 80Н. Температура навколишнього середовища - 18°C.  $\omega = 300 \text{ хв}^{-1}$

Таблиця 3

Результати випробувань протизносних властивостей дослідних зразків палива

| Назва зразка | Результати зміни зносу (I, мкм) |                  |                  |                   |
|--------------|---------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
|              | 1етап тертя-320м                | 2етап тертя-320м | 3етап тертя-320м | 4етап тертя-1900м |
| А-95         | 1,14                            | 1,52             | 1,80             | 5,66              |
| Е-85         | 0,61                            | 0,60             | 0,39             | 0,85              |
| Е-85+пр      | 0,20                            | 0,53             | 0,31             | 0,55              |

Результати випробувань властивостей дослідних зразків палив на критичне навантаження до задиру наведено на рис. 4. Виявлено, що додавання 0,01 %, мас. присадки СКН до етанолу дозволяє збільшити його несучу здатність в 1,5 рази.

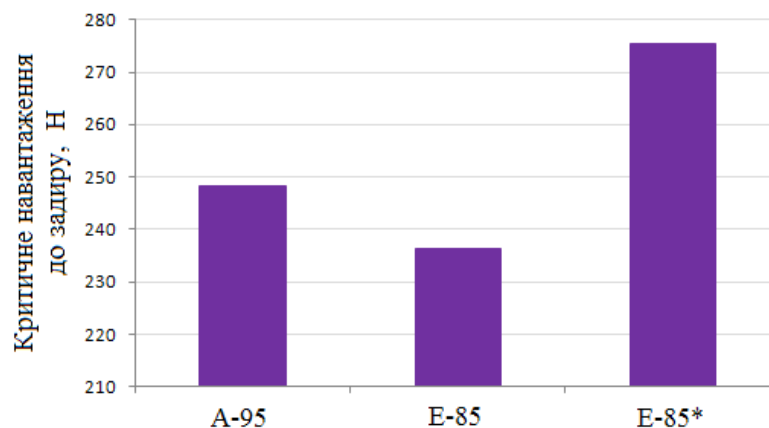


Рис. 4 – Значення критичного навантаження до задиру дослідних зразків палив.

Таким чином, створена присадка на основі сферичних полішаруватих нанорозмірних карбонових кластерів дозволила значно поліпшити стабільність та трибологічні характеристики моторних палив і в значній мірі зменшити знос паливної апаратури.

Виявлений вплив мікродоз нанокластерів на хімотологічні властивості рідких субстратів пояснено з позицій явища локального орієнтаційного упорядкування молекул дисперсійного середовища навколо поляризованих сфероїдальних нанокластерів з утворенням доменної структури рідини. Така упорядкована структура доменів істотно змінює фізико-хімічні та хімотологічні властивості рідких середовищ.

#### Список використаної літератури

1. V.S. Piljavsky, G.A. Kovtun, E.V. Polunkin, T.M. Kameneva, P.A. Troshin. The tribological properties of modified fullerenes in different disperses mediums // In: XI International Conference “Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials” (ICHMS'2009). ANEU, Kiev, (2009). P. 478.
2. D. Ugarte. Curling and closure of graphitic networks under electron-beam irradiation // Nature 359, 707 (1992).
3. А.Д. Рудь, Н.И. Кускова, В.Ю. Бакларь, Л.И. Иващук, Л.З. Богуславский, И.М. Кирьян. Электроразрядные методы синтеза УНМ и особенности их структурного состояния // Изв. РАН. Сер. физ. 75. 1526 (2011).

## ПОРІВНЯННЯ СПОСОБІВ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПІДКЛАДОК

Фуштей М. В., студент; Савуляк В. І., д.т.н., проф.

Експериментально доведено позитивний вплив використання вуглецевмісних підкладок при наплавленні сталей. Встановлено, що використання таких підкладок при відновленні деталей шляхом наплавлення додаткового шару покриття суттєво впливає на фізико-механічні та експлуатаційні характеристики деталі. Такі методи інженерії поверхні доцільно застосовувати як під час виготовлення деталей із чорних металів для зміцнення їх робочих поверхонь та для відновлення зношених. Питання вибору технології відновлення може бути розглянуте в площині економічної або техніко-економічної доцільності. Критеріями можуть бути також витрати матеріалів, енергії, екологічні чинники тощо.

В роботі аналізуються переваги та недоліки використання вуглецевмісних підкладок у вигляді тканин для відновлення зношених деталей з одночасним насиченням покриття вуглецем порівнянні з нанесенням покриття за допомогою ручного дугового наплавлення покритим електродом та напівавтоматичного наплавлення в середовищі захисних газів.

Для дослідження обрано зразки із сталі 40Х розміром 10x10x10. Дані зразки наплавлялися різними методами: електродуговим з покритим електродом, напівавтоматичним в середовищі захисних газів та автоматичним в середовищі захисних газів з використанням підкладки з високовуглецевої тканини. Як джерела вуглецю для дослідів використані підкладки з лляної та бавовняної тканин, а також графітний порошок. Дані дослідження показали, що при наплавленні покритим електродом покриття не вдалося одержати рівномірним, наявні газові пори та шлакові включення, відповідно і фізико-механічні властивості покриття не відповідають нормам. При наплавленні напівавтоматичним способом недоліків зі сторони якості нанесення покриття не виявлено, але властивості покриття не відповідають необхідній зносостійкості. При наплавленні автоматичним методом в середовищі захисних газів з використанням вуглецевмісних підкладок (Рис.1) наплавлений шар (Рис.1.1) показав гарні результати за фізико-механічними властивостями внаслідок введення в наплавлений шар певної кількості вуглецю та присадок, які позитивно впливають на характеристики покриття.



Рисунок 1. –Високовуглецева тканина  
(підкладка)



Рисунок 1.1–наплавлений зразок,  
Сталь 40Х

До недоліків даного методу можна віднести: дещо вища вартість процесу за рахунок використання підкладок та з'єднуючих матеріалів і використання більшої сили струму для проплавлення підкладки. Перевага даного методу полягає в отриманні покриття, яке має значно кращі властивості, ніж у попередніх методів наплавлення.

#### Висновки

Встановлено що використання вуглецево-вмісних підкладок при наплавленні зношеного шару є ефективним з точки зору властивостей покриття, але в той же час недоліком даного способу є збільшення витрат на встановлення підкладки, збільшення витрат на електроенергію.

*Фуштей Михайло Васильович* — студент групи ЗВ–17м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: fushteymisha@gmail.com;

*Савуляк Валерій Іванович* — д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: korsav84@gmail.com

УДК 621.793.74

## **ВИКОРИСТАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТІВ ДЛЯ ПРЕС-ФОРМ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ВІДХОДІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

Луцик В.Л., аспірант

Сучасна наука і техніка переходять у сферу надточних високоінтелектуальних технологій. У повсякденне використання запроваджуються нові матеріали, які потребують спеціальних умов виготовлення та обробки. Водночас удосконалюються існуючі технології. Тому останнім часом почали більш широко застосовуватися відомі фізичні і хімічні явища й ефекти, які дозволяють суттєво зекономити на дорогих матеріалах без втрати міцності та зносостійкості.

Головними проблемами на даний час для конструкторів машин та механізмів є:

- забезпечення достатньої міцності при малій витраті матеріалів;
- забезпечення високих антивібраційних властивостей;
- зменшення собівартості виробу.

Метою даного дослідження є визначення найбільш придатних матеріалів покриття для прес-форм, в яких здійснюється віброударне зневоднення відходів харчових виробництв і які працюють в умовах інтенсивного тертя з боку пуансона та частинок оброблюваного матеріалу, піддаються значним динамічним навантаженням. Ще більш важливими вказані покриття є для фільтрувальних сіток прес-форм, що є найінтенсивніше зношуваним елементом.

Одним з найбільш придатних за техніко-економічними показниками методом одержання зносостійкого покриття можна вважати газотермічне напилювання. Загалом термін «газотермічне напилювання» (ГТН) охоплює такі методи:

- газополум'яне напилювання – газотермічне напилювання, під час якого використовується струмінь продуктів згорання суміші газів, які, в свою чергу, спалюються за допомогою палика;

- високошвидкісне (надзвукове) газополум'яне напилювання (HVOF – англ. High velocity oxygen fuel – високошвидкісний киснево-паливний метод) – одна з технологій газотермічного напилювання захисних покриттів, при якій порошковий матеріал наноситься на підкладку на високій (зазвичай до трьох швидкостей звуку) швидкості;

- детонаційне напилювання – газотермічне напилювання, під час якого використовується струмінь продуктів детонації;

- плазмове напилювання – газотермічне напилювання, під час якого використовується струмінь електронів, іонів та нейтральних атомів газу.

Різновидами останнього методу є:

- плазмово-дугове напилювання – технологія, при реалізації якої плазмовий струмінь створюється за допомогою електричної дуги;

- надзвукове плазмове напилювання – плазмово-дугова обробка, під час якої плазмовий струмінь витікає з надзвуковою швидкістю;

- напилювання з оплавленням – метод газотермічного напилювання, що дозволяє отримати щільні зносостійкі корозійностійкі покриття з високою адгезією;

- електродугове напилювання – газотермічна обробка, під час якої нагрівання та плавлення напилюваного металу у вигляді дроту, стрижня або стрічки здійснюється електричною дугою, а диспергування – струменем стисненого газу (як правило повітря);

- активована електродугова металізація – метод електродугового напилювання, що базується на плавленні дротів електричною дугою і розпилюванні розплавленого металу високошвидкісним струменем продуктів згорання пропано-повітряної суміші.

Особливостями останньої технології є:

- можливість нанесення покриттів з різних матеріалів (практично будь-який плавкий матеріал, що можна подати у вигляді порошку або дроту);

- відсутність перемішування матеріалу основи і матеріалу покриття;

- незначне (не більше ніж на 150 °С) нагрівання поверхні при нанесенні покриття;

- можливість нанесення декількох шарів, кожен з яких виконує свою функцію.

*Луцик Владислав Леонідович* – аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет.

УДК 517.3/621.74

## **НЕПЕРЕРВНО-ДИСКРЕТНІ ГРАНИЧНІ ЗАДАЧІ В КОНЦЕПЦІЯХ ПОБУДОВИ ЛИВАРНИХ РОТОРНО-КОНВЕЄРНИХ ЛІНІЙ**

Дорошенко В.С., к.т.н., с.н.с., Кравченко В.П., к.ф.-м.н., с.н.с.,  
Янченко О. Б., к.т.н., ст. викладач

З точки зору концепцій конструювання ливарних роторно-конвеєрних ліній (РКЛ) розглянуто задачу математичної побудови процесу управління керованими кристалізацією та охолодженням металевих виливків у ливарній формі, оточеного шаром піщаної суміші, який являє собою пористе дисперсне середовище, що проводить тепло. Задача опису інтервальної моделі служить алгоритмом руху конвеєрної лінії з виробництва металевих виливків, в якій неперервні процеси транспортно-технологічного руху оброблюваних матеріалів та кінцевого випуску продукції поєднуються з неминучими зупинками цієї неперервності, що призводять до дискретності та сполученням з низкою супутніх неперервних, дискретних чи зворотно-поступальних процесів. Досліджено адекватність моделі для заданих технологічних

параметрів. Розглянуто математичний опис та узгодження величин технологічних параметрів для регулювання та знаходження оптимальної швидкості руху конвеєрної лінії під час взаємодії її складових ротаційних систем, а також математичні моделі для програмного керування та дистанційного моніторингу технологічних режимів з метою отримання виливків заданої якості. В математичному плані це приводить до дослідження крайових задач, де крім самого диференційного рівняння та граничних умов розв'язок задачі повинен задовольняти ще додатковій системі умов спряжень, накладених на цей розв'язок, що, зокрема, враховує перехід теплового потоку з одного фізичного середовища до середовища з іншими фізичними параметрами, тобто до вивчення класу неперервно-дискретних крайових задач.

При розгляді задачі розробки інтервальної моделі для визначення швидкості руху конвеєрної лінії показано можливість підбору корегуючих параметрів для зміни швидкості руху РКЛ. Застосування технологій комп'ютерного інжинірингу дозволяє створення аналітичних моделей високого ступеня відповідності реальним процесам та конструкціям замість дорогих натурних моделей, що істотно знижує виробничі витрати. Регулювання теплових процесів у таких структурно-неоднорідних системах потребує вивчення взаємодії цієї системи з газовими та тепловими потоками у піщаній формі під час неперервному відборі теплової енергії з охолоджуваного вилівка. В математичному плані це потребує дослідження крайових задач, де, крім самого диференційного рівняння та граничних умов, розв'язок задачі повинен задовольняти ще додатковій системі умов спряжень, накладених на цей розв'язок, що враховує перехід теплового потоку з одного фізичного середовища до середовища з іншими фізичними параметрами, тобто до вивчення класу неперервно-дискретних крайових задач. В ході таких досліджень, у Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України науковою школою проф. Шинського О. І. розроблено ряд конструкцій конвеєрних ліній для лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ) продуктивністю 500...5000 тонн литва на рік. На відміну від конвеєрів, витягнутих у лінію, роторна лінія ЛГМ у вигляді каруселі вимагає в кілька разів меншої виробничої площі та компонується за принципом синхронності, високого ступеня концентрації технологічних операцій, а також однакової продуктивності різних за характером та тривалості технологічних процесів, що виконуються на РКЛ.

*Дорошенко Володимир Степанович* – к.т.н., с.н.с. – с.н.с. відділу фізико-хімії ливарних процесів, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

*Кравченко Володимир Павлович* – к.ф.-м.н., с.н.с. – с.н.с. відділу фізико-хімії ливарних процесів, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

*Янченко Олександр Борисович* – к.т.н., ст. викладач кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет

УДК 669.157

## **ПРО СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ ДЛЯ НЕВЕЛИКИХ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ**

Дорошенко В.С., к.т.н., с.н.с., Янченко О. Б., к.т.н., ст. викладач

Найбільше поширення під час лиття високоміцного чавуну (ВЧ) з кулястим графітом за даними Бубликова В. Б. отримали Mg-Si-Fe (ФСМг) лігатури з 5...7 мас. % Mg. А сендвіч-процес є найбільш використовуваним під час виробництва ВЧ та має той недолік, що

модифікатор на дні ковша, як правило, привантажують сталевим або чавунним скрапом, чавунною стружкою, металевою плиткою з отворами тощо. Для розплавлення цього вантажу перегрівають розплав вихідного чавуну, контакт якого з модифікатором знижує ступінь засвоєння магнію через збільшення швидкості його пароутворення та швидке видалення з металу, а також ростуть енерговитрати та тривалість виплавки вихідного чавуну.

За даними Волощенко С. М. ступінь засвоєння Mg під час введення Mg-Si-Fe модифікатора з 6 % Mg на дно ковша без привантаження складає 27 %, а з привантаженням чавунною стружкою – 34 %. До різновиду сендвіч–процесу відносять спосіб випуску з печі розплав вихідного чавуну у ківш з порожниною (кишенею) у днищі для магнієвмісного модифікатора, зверху засипаного скрапом, що збільшує спосіб засвоєння Mg. Для невеликих цехів з виготовленням виливків з різних сплавів, що не мають регулярні замовлення на лиття ВЧ, відведення для ВЧ спеціального ковша є суттєвими витратами. Крім того, різні привантажувачі дають різний вплив на хімічний склад кінцевого металу; товщина скрапу, його розміри (особливо для малих ковшів) та розташування у ковші, рівень окислення чи іржі, втрата температури на його розплавлення тощо є факторами, що ведуть до нестабільності процесу, неоднорідної структури та браку виливків. Це є однією з причин, що в Україні доля виливків з ВЧ серед загального випуску литва у кілька раз нижча ніж така доля у світовому виробництві литва.

З метою спрощення обладнання для подавання модифікатора типу ФСМг у придонний шар розплав чавуну у ковші розроблено три варіанти способу витискання поршнем зі штоком подрібненого модифікатора з труби шляхом руху поршня відносно труби, після чого трубу з поршнем та штоком видаляють з ковша.

За 1-м варіантом трубу з модифікатором та закріпленим до неї штоком поршня після опускання у ківш підвішують вертикально на коромислі ковша, розкріплюють шток поршня від труби та видаляють модифікатор у розплав чавуну рухом поршня під вагою поршня зі штоком, чи з додаванням ваги гака (гакоблока) підйимального крана, яким опускають трубу у ківш, та на який можуть додатково навішувати вантажі для руху поршня вниз.

За 2-м варіантом трубу з модифікатором та закріпленим до неї поршнем зі штоком після опускання у ківш ставлять вертикально на дно ковша, шток поршня закріплюють на коромислі ковша, або на коромислі та транспортній скобі коромисла, розкріплюють поршень від труби та видаляють модифікатор у розплав чавуну рухом труби вгору відносно непорушного поршня.

За 3-м варіантом трубу з модифікатором та закріпленим до неї штоком поршня опускають у порожній ківш, а рух поршня та труби, відносно один одного, з попередніми операціями закріплення-розкріплення згідно двох попередніх випадків виконують після заповнення розплавом чавуну, що підлягає модифікуванню.

Спрощення обладнання для подавання легкового модифікатора типу ФСМг в придонний шар розплав у ковші досягають застосуванням типового поворотного ковша з коромислом, крана чи кран-балки, типових для цеху, та нескладного пристрою труби з поршнем для виштовхування модифікатора у розплав. Частину труби зі сталі, що контактує з металом, покривають вогнетривкою фарбою, чи футеровкою, або трубу виготовляють з графіту чи шамоту. До труби хомутом чи зварюванням кріплять два гачки для навішування на коромисло ковша та поворотні гачки для скріплення до штоку під час видаленні порожньої труби з ковша. Також труба (з модифікатором) та шток мають співвісні отвори (проушини) для кріплення їх між собою за допомогою горизонтального штира. Також труба та шток мають скоби чи проушини для транспортування краном порожньої від модифікатора труби, та також шток має упори об верхній торець труби, щоб поршень закривав нижній отвір та не випадав з труби під час транспортування. Шток у випадку видалення модифікатора під час підйому труби має упори об коромисло проти руху вгору. Коромисло ковша являє собою дві вертикальні тяги, з'єднані горизонтальною балкою з транспортною скобою по середині балки зверху. До цих балки коромисла та скоби можна



кріпити трубу чи шток пристрою для витискання модифікатора у розплав під час руха труби та поршня відносно один одного.

При реалізації способу подроблений модифікатор поміщують у трубу, з вихідного отвору яку закривають фольгою чи жестю в один чи більше шарів, або іншими немасивними кришками. Поршень може виконуватись як рухомий контейнер з нижньою та верхньою полицями, між якими кладуть модифікатор, у варіанті видалення його підйомом труби по непорушному поршні. Модифікатор у трубі підпирають поршнем зі штоком, який фіксують на трубі (в її підвішеному стані вертикально на крані) горизонтальним штирем через співвісні отвори провущин для кріплення труби і штоку між собою. У варіанті № 1 трубу з модифікатором перевозять за скобу на штоці та підвішують її на коромислі на двох гачках з відстанню до дна ковша 40...60 мм. в залежності від ємності ковша. Потім виймають горизонтальний штир, розкріплюючи шток від труби, та з нерухомої труби рухом крана опускають шток поки поршень не видавить весь модифікатор у розплав та упори штока не упруться об торець труби. На ці упори накидають поворотні гачки від труби та видаляють краном трубу з поршнем з розплав. Якщо ваги поршня зі штоком недостатньо, то їх привантажують гаком, на якому можуть навішувати додаткові вантажі, що зменшить вагу та вартість труби з поршнем та штоком, попереджуючи їх спливання у металі.

У варіанті № 2 трубу з модифікатором перевозять за скобу на трубі і ставлять на дно ковша з розплавом, два упори штока заводять під коромисло і під верхню дужку транспортної скоби коромисла для обмеження його руху вгору (можлива додаткова фіксація штоку довгим гачком вручну ливарником), та піднімають краном трубу вздовж нерухомого штока, а поршень у зазор між ним і дном ковша видавлює модифікатор. Рух поршня чи труби регулюють краном без бурхливої реакції модифікатора з пристосуванням витяжної вентиляції до видалення утворених газів. За варіантом № 3 трубу з модифікатором та закріпленим до неї штоком поршня опускають у порожній ківш, а рух поршня відносно труби, чи труби відносно поршня, з операціями закріплення – розкріплення згідно вар. 1, 2 виконують після заповнення ковша розплавом вихідного чавуну. При цьому для варіанту типу № 2 шток без упорів може кріпитись до коромисла тонким дротом, за міцністю достатнім, щоб рухати краном вгору трубу, та щоб порватись після видалення у розплав модифікатора без зупинки руху труби вгору та видаленні з ковша пристрою «труба – поршень».

Труба розширюється під час нагріванні розплавом чавуну та спрощує рух поршня, зменшуючи сили тертя його та модифікатора об стінки. Для ущільнення поршня брали мулітокремнеземне волокно, кілька шарів якого затискали на штоку. Для вогнетривкого покриття труби часто достатнє кількаразове покриття фарбою з додаванням порошкових муліту, шамоту чи дистен-силіманіту. Короткочасний контакт труби з розплавом практично не потребує його перегріву, економить час виробництва ВЧ та енерговитрати. Не перегрітий метал сприяє кращому засвоєнню магнію та зменшує піроефект під час модифікування.

Простота обладнання для подавання модифікатора у придонний шар чавуну у ковші з застосуванням типових поворотних ковшів та руху крану для транспортування та витискання модифікатора з труби у ківш під час відпрацьованих нескладних операціях, що керуються машиністом крану чи ливарником з підлоги за допомогою підвішеного кнопкового пульта чи з іншого пульта не чинять ускладнень з огляду техніки безпеки для плавильників чи заливальників металу. Привід крану чи талі може бути електричним, гідравлічним, пневматичним, механічним, ручним тощо; а для зачеплення вказаних пристроїв гаків, упорів тощо до коромисла чи його скоби зручно вживати переносний гачок на довгій ручці.

*Дорошенко Володимир Степанович.* – к.т.н., с.н.с., – відділу фізико-хімії ливарних процесів, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, м. Київ

*Янченко Олександр Борисович* – к.т.н., ст. викладач кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет

## ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ІЗОТЕРМІЧНО ЗАГАРТОВАНОГО ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Дорошенко В.С., к.т.н., с.н.с., Янченко О. Б., к.т.н., ст. викладач

Звертаючись до теми виробництва чавунних виливків оболонкової конструкції, зокрема, корпусів боєприпасів, відмітимо, що важливість такого виробництва, зокрема артилерійських мін для збройних сил України, доречно аргументувати прикладом з історії колишнього СРСР про те, що на заключному етапі війни (1944 – 45 р.р.) він мав триразову перевагу над Німеччиною у мінометному озброєнні власного виробництва, що складало більше половини всієї наявної в армії артилерії (А. В. Минаев).

Лиття боєприпасів за моделями, що газифікуються (ЛГМ-процес), розглянуто у пат. UA 42318 (2009). ЛГМ-процес у ливарній формі з сипкого піску є вигідним відпрацьованим способом, в т.ч. завдяки роботам наукової школи проф. О. Й. Шинського (ФТІМС НАН України). Вимоги до металу мін та снарядів, аналогічні, а оболонку міни виготовляють, як правило, цільнокорпусною з високовуглецевої сталі (О-832с) або сталистого чавуну (О-832Д, 1О-832ДУ). Товщина стінок корпусу у циліндричній частині міни та снаряду приблизно однакова, бо вони сприймають тиск порохових газів та потребують високу міцність, хоча тиск у каналі ствола міномету у три та більше разів менше тиску ніж у стволі гармати. Тому їх метал має високі механічні властивості та проходить термообробку. Але сталистий чавун (ОСТ В84-2216-85) є перлітним чавуном з пластичним графітом та його властивості не задовольняють сучасним вимогам. У ФТІМС НАНУ під керівництвом д.т.н. Бубликова В. Б. відпрацьовано лиття таких виливків з високоміцного чавуну (ВЧ). Але серед умов отримання з ВЧ зі сприятливими для оболонок співвідношенням міцності та пластичності, є висока якість шихтових матеріалів. Дослідні плавки на високочистій шихті (50 % армкозаліза, 45 % електротехнічної сталі та 5 % графітової стружки) без легування та термообробки давали ВЧ з  $\sigma_B = 580 \dots 630$  МПа та  $\delta = 15 \dots 18$  %, ця шихта є дефіцитною, дорогою для крупносерійного лиття з ВЧ. Проте останнім часом досягнуто помітних успіхів у підвищенні  $\sigma_B$  для виливків з ВЧ, зокрема, за дисертаціями д.т.н. Макаренка К. В. та Волощенка С. М., та пат. UA 123731 (2018).

Відомий інтерес до унікальних властивостей аустенітної сталі після загартування, оболонки зі сталі 110Г13Л з такої структурою (у порівнянні зі сталлю С60 – основною штатною снарядною сталлю для СРСР та країн СНД), згідно експериментів, дають найбільш сприятливе для використання число фрагментів після вибуху та їх кількість з масами більше 1 г., а збільшення швидкості розльоту забезпечує висока в'язкість аустеніту та його здатність до зміцнення під час пластичній деформації (Балаганский И. А., Мержиевский Л. А.). Проте такі сталі важко обробляти, та собівартість оболонок з них значно вища ніж литва з ВЧ.

Відомі роботи проф. Малінова Л. С. з використання внутрішнього ресурсу сталей та чавунів шляхом отримання багатофазних структур, складовою яких є метастабільний аустеніт, що виконує важливу роль у підвищенні властивостей сталей та чавунів після ізотермічного загартування. Таке підвищення поряд з бейнітом дає метастабільний аустеніт, що перетворюється при випробуванні властивостей чи експлуатації в мартенсит деформації.

В аналогічних роботах Волощенк С. М. термообробкою (аустемперінгом) отримав ВЧ з бейнітними структурами та використав їх переваги під час експлуатації виробів. Проте ці недавні роботи не стосуються лиття оболонок боєприпасів з поліпшеними властивостями. А процес лиття ВЧ з ізотермічним гартуванням є складнішим, ніж традиційне лиття ВЧ.

Абревіатура «ТРИП» відома передусім для описання сталі, TRIP – transformation induced plasticity або ПНП означає пластичність, наведена перетворенням, зокрема, мартенситним. Цей ефект також описаний (Лободюк В.А., Эстрин Э. И.) та полягає у тому, що деформація

викликає мартенситне перетворення залишкового аустеніту, при якому утворюється мартенсит деформації. Це супроводжується підвищенням міцності та пластичності сплаву.

Процес виготовлення виливків з бейнітного чи аусферитного ВЧ (аусферит – це різновид бейніту, ще має назву – безкарбідний бейніт) розробили на основі способу (пат. UA 123731), що включає кристалізацію розплаву ВЧ у піщаній формі з сипкого піску, попереднє охолодження виливка (гартування виливка шляхом швидкого охолодження), що виключає перлітне перетворення у ньому, до температури початку утворення бейнітних структур та витримку у інтервалі бейнітного перетворення у сипкому піску. Тобто, під час процесу лиття включили операції аустемперінгу як ізотермічне гартування з литого стану виливків з ВЧ. Цим реалізували такі переваги форм з сипкого піску, як можливості швидкого видалення виливка в аустенітному стані з форми, швидкого охолодження виливка у контейнерній опоці (гартування до температури бейнітного перетворення зануренням у воду, спресрне чи у псевдозрідженому шарі піску) та ізотермічної витримки у інтервалі бейнітного перетворення. Керовану плинність сухого піску, що змінює властивості під впливом зовнішніх факторів, використано як у ливарних процесах (для формовки та вибивки виливка у гарячому стані), так і у процесі термообробки, як сипкого технологічного нагрітого матеріалу для підтримки ізотерми бейнітного перетворення у металі. Це дозволило виготовляти виливки з бейнітного ВЧ у ливарному цеху за ливарним процесом з вбудованою в нього термообробкою, що, у цілому, в багатьох випадках (особливо для виливків з товщиною стінки до 20...25 мм.) дозволило скоротити ливарний процес. Відпала необхідність додаткової термообробки у термічних цехах як традиційної для виготовлення виробів з бейнітного ВЧ.

Але просто отримати бейнітний ВЧ недостатньо, для оптимальних умов імпульсного руйнування боєприпасу доцільне використання внутрішнього ресурсу металу завдяки оптимізації режимів отримання бейнітної структури ВЧ з залишковим аустенітом, який під час навантаженні зазнає динамічне деформаційне мартенситне перетворення та призводить до тріп-ефекту. Згідно робіт Волощенко С. М. витримку у бейнітному інтервалі слід проводити при 350 °С, а оптимальні показники міцності та пластичності виливка досягати створенням у виливку бейнітної структури з залишковим аустенітом у кількості не нижче 27 %.

Роль тріп-ефекту ілюструє приклад випробування стандартного зразка під час розтягання та визначення  $\delta$  (%) тріп-сталей, або ВЧ з залишковим аустенітом, здатним за цих умов до мартенситного перетворення. Під час розтягання у зразка спостерігається звуження – зародження шийки, де локалізується пластична деформація, в ній утворюється мартенсит деформації, різко зміцнює матеріал в області шийки, та розвиток цієї шийки припиняється, але вона зароджується в іншому місці зразка, і все повторюється: утворюється мартенсит деформації, зміцнює матеріал шийки, та вона не розвивається. У тріп-сталей рівномірна деформація – результат гальмування розвитку шийки за рахунок виділення у матеріалі шийки міцної фази – мартенситу. Те ж має місце у вершині тріщини – утворюється мартенсит деформації, зміцнює об'єм матеріалу перед вершиною тріщини, та відбувається релаксація напружень, що рухають тріщину.

У відомих тріп-сталях зміна вмісту залишкового аустеніту від 10 % до 8 % веде до майже трикратного зміцнення у діапазоні деформації 0...10 %. Мартенситне перетворення має зсувний механізм - іде зі швидкістю, близькою до швидкості звуку. Тріп-ефект дає одночасне підвищення міцності і пластичності матеріалу, для чого умовою тріп-ефекту є оптимальна стійкість аустеніту, оптимальна інтенсивність його перетворення при деформації, що досягали за даними Волощенко С. М., який при ізотермічній витримці зразків бейнітного ВЧ при 350 °С протягом 1, 2 і 3 годин виявив у структурі виливків 35; 31 та 27 % залишкового аустеніту, а пластична деформація викликала розпад близько п'ятої частини від початкової кількості залишкового аустеніту з формуванням мартенситу. Такі умови виникнення тріп-ефекту встановлені як оптимальні з огляду стійкості залишкового аустеніту та інтенсивності його перетворення при деформації. Зниження кількості дрібних фрагментів (дрібні фрагменти і пил не несуть бажаного рівня впливу), збільшення швидкості їх

розлітання – результат таких властивостей аустенітовмісних сплавів, як висока в'язкість та зміцнення під час пластичній деформації. Механічні властивості зразків бейнітного чавуну під час видаленні виливків з сухого піску форми при температурі 880...900 °С, наступному ізотермічному гартуванні і охолодженні на повітрі до кімнатної температури досягали  $\sigma_v = 1100$  МПа, та  $\delta = 8,5$  %, як результат застосування комбінованого ливарно-термообробного процесу.

*Дорошенко Володимир Степанович.* – к.т.н., с.н.с., – с.н.с. відділу фізико-хімії ливарних процесів, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, м. Київ

*Янченко Олександр Борисович* – к.т.н., ст. викладач кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет

УДК 621.78: 669.13

## **РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ БРОНЬОВОЇ ПЕРЕШКОДИ ДЛЯ ЛИТТЯ З БЕЙНІТНОГО ЧАВУНУ У ЛИВАРНИХ ФОРМАХ З СИПКОГО ПІСКУ**

Дорошенко В.С., к.т.н., с.н.с., Янченко О. Б., к.т.н., ст. викладач

Сучасні технології виготовлення виливків з бейнітних чавунів мають перспективи застосування для виробництва озброєння, зокрема броньових конструкцій, а саме, броньових перешкод (БП) для захисту закритих об'ємів на транспортних засобах або в будинках, сховищах тощо, для кулестійкості, вогнестійкості та стійкості до злому таких об'ємів. Також БП може застосовуватись як протикумулятивний екран для захисту танків чи бронемашин від кумулятивних боєприпасів при встановленні БП на деякій відстані від основної броні.

Для виготовлення захисних конструкцій проф. Маліновим Л. С. використані сталі з утворенням у них багатофазної структури з метастабільним залишковим аустенітом, що під час навантаженні зазнає динамічного деформаційного мартенситного перетворення, яке є механізмом зміцнення та адаптації матеріалу до зовнішнього впливу. Таке утворення у залізвуглецевих виробках аустеніту, що перетворюється у мартенсит деформації під час деформаційному впливі, суттєво підвищує зносостійкість у порівнянні з її рівнем за традиційної термообробки, незважаючи на зниження твердості, а така металева структура з метастабільним аустенітом, отримана у поверхневому шарі сталі 09Г2С після цементації, загартування з 920 °С та низького відпуску, забезпечує захист від пробивання кулею з АК74 калібру 5,45 (за Маліновим Л. С.). Проте ґратчасті перешкоди дешевше за собівартістю виготовляти литтям з високомісних чавунів (ВЧ) за новітніми способами виробництва виливків з бейнітного ВЧ з показниками міцності, що співмірні таким показникам для сталі. Виливки з ВЧ на  $\approx 10$  % легші від сталевих, рідкотекучість ВЧ значно вища сталі під час литті у піщані форми, що дозволяє значно краще заповнювати металом ливарну форму та вилити складнофасонні вироби, які для сталевого лиття можуть вважатись нетехнологічними.

Найбільш технологічний спосіб ливарного виробництва металевих ґратчастих конструкцій за разовими пінопластовими моделями – ЛГМ-процес в формах з сипкого піску. Зокрема, розроблено таку модель (пат. 82028 UA) з поверхнею, яка відноситься до відомих у математиці періодичних мінімальних поверхонь (МП) та є поверхнею гіроїда. Особливість МП гіроїда полягає у тому, що достатньо серійно виготовляти одну деталь (шестикутну пластинку фігурної форми), та приєднанням таких однакових пластинок між собою можна збирати (монтувати) ливарну модель з МП гіроїда практично необмежених розмірів.

Ця технологічна унікальність для пінопластових моделей з поверхню періодичної МП досягається складанням (періодичним повторенням) з одного або кількох фундаментальних

елементів, причому навіть ці елементи можуть бути зібрані з повторюваних частин. Причому, всі МП аналітичні та можуть бути задані рівнянням типу  $z = f(x, y)$ , а для побудови ливарних моделей з різними МП розроблені та вільно поширюються для застосування комп'ютерні програми, наприклад, програма Surface Evolver. Досі відомі лише приклади гіроїдних конструкцій передусім для декоративних цілей (біжутерія, скульптура, гірки дитячих майданчиків). Очевидно, поєднання нових матеріалів, які набувають зміцнення у момент деформування, з новітніми способами лиття ВЧ, як другим після сірого чавуну з найбільш поширених у світі ливарних сплавів, та комбінування з термообробкою дасть техніко-економічні вигоди під час виготовленні та застосуванні БП з МП типу гіроїда.

У світовому ливарному виробництві та вітчизняними вченими досягнуто помітного удосконалення виробництва заготовок з ВЧ зі значно вищими міцністю та пластичністю ніж за ДСТУ 3925-99, і застосування яких дасть суттєве зміцнення виробів з ВЧ та зменшення ваги нових литих конструкцій. Нові розробки направлені на використання внутрішнього ресурсу сталей та чавунів під час отриманні багатофазних структур з метастабільним аустенітом, що грає важливу роль у підвищенні властивостей сталей та чавунів, підданих ізотермічному загартуванню, з огляду стійкості їх проти зовнішніх деформацій. Ця роль полягає у тому, що метастабільний аустеніт перетворюється під час експлуатації у протиударних конструкціях у мартенсит деформації, що супроводжується підвищенням міцності та пластичності сплаву і називається тріп-ефектом.

Виготовлення БП проектували на основі ЛГМ-процесу у формах з сипкого піску, що дозволяє видалити гарячий вилівок з ВЧ з такого піску, піддати його гартуванню швидким охолодженням, виключаючи перлітне перетворення у ньому (гартування з застосуванням води чи псевдозрідженого піску), до температури початку утворення бейнітних структур та виконати наступну ізотермічну витримку у інтервалі бейнітного перетворення у сипкому піску. Плинність сухого піску прислужилась як у ливарних, так і у термообробних процесах. В цілому, проектування БП з бейнітного ВЧ ґрунтувалось на пат. 123731 UA, а хімічний склад ВЧ, режими ізотермічного гартування на бейнітну структуру металу з заданою кількістю залишкового аустеніту уточнювали згідно робіт Волощенко С. М.

Щодо переваг моделі з МП, то під час виготовленні ливарної форми, то вона взаємодіє з сипким піском з мінімальною енергією тертя, яка пропорційна площі її поверхні, що дає чіткий відбиток моделі на добре ущільненому навколо неї піску. При литті БП мала поверхня (за рахунок МП) контакту металу, що заливається, з формою значно покращує заповнюваність форми металом, що сприяє отриманню довгомірних тонкостінних виробів. А кривизна МП литої БП сприяє зміні орієнтації бронебійного боєприпасу (у разі контакту) у просторі та відхилення траєкторії його польоту. При цьому забезпечується ефективно поглинення енергії вражаючого боєприпасу не лише зміцненням матеріалу при його деформації за тріп-ефектом, а і мінімальній наявності місць поверхні БП перпендикулярних до напряму руху цього боєприпасу завдяки кривизні поверхні. При конструюванні БП за допомогою комп'ютерної програми можлива оптимізація не лише поверхні моделей з мінімальною сумарною енергією поверхневого натягу, але і у комбінації цієї енергії з гравітаційною енергією та / або з енергією згинальної чи ударної деформації.

На рис. 1 (зліва) показано приклад збирання пінопластової моделі БП гіроїдної конструкції методом з'єднання елементів світлого і темного кольору для демонстрації їх розмірів і границь стику. На торцях елементів позначені місця для монтажних штирків чи інших засобів з'єднання елементів. На рис. 1 (справа) показано модель з кольорового пінопласту плоскої БП з гіроїдною поверхнею.

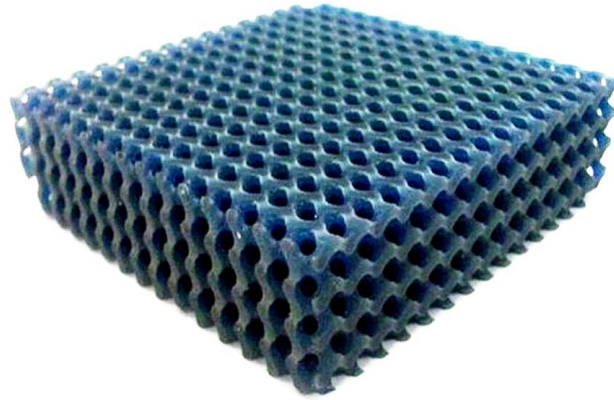


Рисунок 1 – Збирання пінопластової моделі з гіроїдною поверхнею методом з'єднання елементів світлого і темного кольору та модель комірчастої плоскої БП з такою поверхнею

Виготовлені за розробленим способом виливки БП (блоки, пластини чи фігурні вироби) можуть служити в якості декоративних елементів металевих конструкцій, оскільки мають привабливий вигляд та ряд зображень з Інтернету прикладів виробів біжутерії, плафонів світильників чи скульптури. Плавне охоплення захисного об'єкту завдяки конструюванню за комп'ютерними програмами також сприяє цьому. Така БП залежно від товщини може пропускати світло, що дозволяє нею захищати вікна. А також така БП пропускає повітря, що дозволяє нею захищати вентиляційні отвори.

*Дорошенко Володимир Степанович.* - к.т.н., с.н.с., - с.н.с. відділу фізико-хімії ливарних процесів, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, м. Київ

*Янченко Олександр Борисович* - к.т.н., ст. викладач кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет

УДК 69.691.624.01

## **ОЦІНКА МІЦНОСТІ ДВОШАРОВОЇ КОЛОНИ: БЕТОН – БЕТОН З ПОЛІМЕРНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ З УРАХУВАННЯМ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ МІЖ ШАРАМИ**

Малишевська О. С., к.т.н., доц., Величкович А. С., к.т.н., доц.

З метою покращення гігієно-екологічної обстановки, що склалася в місцях складування та накопичення побутових полімерних відходів нами запропоновано додавати, попередньо підготовані, полімерні відходи як наповнювачі в цементно-піщані суміші з наступним виготовленням продукції. Тому, в якості підготовчого етапу, було проведено математичне моделювання можливості та на його основі проведено оцінку доцільності введення в склад цементно-піщаних композицій такого виду наповнювача.

У попередніх роботах показано доцільність введення полімерних відходів у бетонні суміші з метою покращення їх фізико-механічних властивостей і розроблена технологія утилізації полімерних побутових відходів шляхом їх механічного рециклінгу. Встановлено розміри полімерного наповнювача, їх кількість, час перемішування та віброущільнення суміші.

У даній роботі розглянули двошарову бетонну колону, що складається з бетонного ядра та оболонки з легкого ПЕТФ-бетону. Колону представили кусково-однорідною розрахунковою моделлю. Розглянули циліндричне тіло з наскрізним отвором гладко вперте в жорстку перепону

(оболонка з легкого ПЕТФ-бетону), порожнина отвору щільно заповнена пружним деформівним циліндром (бетонне ядро колони). Між зовнішньою поверхнею циліндра і внутрішньою поверхнею отвору тіла встановлено двосторонні зв'язки. Матеріал оболонки з легкого ПЕТФ-бетону моделювали суцільним ізотропним середовищем з усередненими константами пружності та міцності. Зовнішнє навантаження вважали прикладеним до верхнього торця колони через жорсткий штамп. Геометричні та фізико-механічні параметри колони вважали такими, що за замовчуванням її гнучкість є малою, тому ефектами поздовжнього згину знехтували. Напружено-деформований стан описаної системи досліджували у циліндричних координатах, а остаточну оцінку міцності здійснювали за енергетичним критерієм.

Побудована механіко-математична модель двошарової бетонної колони дозволила врахувати вплив на поведінку об'єкта дослідження усіх суттєвих параметрів пружності та міцності, і при цьому сформулювати крайову контактну задачу у придатному для аналітичного розв'язування вигляді. Розроблено методику розв'язування такої задачі для визначення усіх компонент напружено-деформованого стану і оцінки міцності досліджуваної системи.

Результати досліджень апробували на конкретному прикладі. Розглянули двошарову колону, бетонне ядро якої виконане з бетону марки М 300 (клас В 22.5). Для оболонки з легкого ПЕТФ-бетону обрали три варіанти, які відрізнялись між собою кількістю полімерного наповнювача – поліетилентерфталата (4 %, 10 %, 15 % від маси піску). Визначили осьові, контактні, кільцеві та еквівалентні напруження в матеріалі такої колони. Здійснили оцінку її несучої здатності та подали рекомендації щодо конструювання шаруватої композиції.

Адекватність результатів отриманих шляхом механіко-математичного моделювання було підтверджено низькою лабораторно-експериментальних досліджень. Отже, введення в цементно-піщані суміші наповнювача з полімерних відходів є прийнятним способом вирішення проблеми підвищеного екологічного ризику об'єктів відведених для захоронення полімерних побутових відходів та оптимізації санітарно-гігієнічної, медичної та екологічної обстановок на прилеглих до місця захоронення територіях.

*Малишевська Ольга Степанівна* - к.т.н., доц., кафедри гігієни та екології, ДВНЗ Івано-Франківський національний медичний університет.

*Величкович Андрій Семенович* - к.т.н., доц., кафедри будівництва, ДВНЗ Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

УДК 621.979.1

## **ВПЛИВ ЦИКЛІЧНОГО ІМПУЛЬСНОГО СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА КРИСТАЛІЗАЦІЮ, СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ЛИТИХ ЗАГОТОВОК**

Янченко О.Б., Коц І.В.

В результаті вивчення та аналізу сучасних гіпотез щодо характеру впливу вібраційної силової дії на кристалізацію металевих сплавів встановлено, що вона відіграє досить суттєву роль при формуванні кристалічної структури сплавів, а особливо впливає на показники її дисперсності [1]. Як показали окремі дослідження найкращі результати з подрібнення кристалічних структур отримані при застосуванні низькочастотної вібрації в процесі

затвердіння металевих заготовок. Багатьма дослідниками також було з'ясовано, що накладені механічні коливання, що введені в рідкий метал, зумовлюють подрібнення неметалевих включень, їх рівномірний розподіл по об'єму розплаву, а також збільшують їх поверхневу активність як зародків гетерогенної кристалізації [2-6].

В цих роботах зазначається і експериментально підтверджується, що вібрація розплаву призводить до подрібнення кристалів, однорідності структури, певної орієнтації кристалів та суттєвого зменшення пористості.

Виробничі задачі з отримання якісного литва, зокрема, кольорових металів пов'язані зі спеціальними умовами формування дендритної кристалічної структури і розробкою надійних методів керування нею. Завдяки отриманню дрібнозернистої первинної кристалічної структури досягається підвищення межі міцності, ударної в'язкості, підвищеної схильності до пластичної деформації і меншої схильності до тріщино-утворення виготовлюваних литих виробів. При цьому також досягається поліпшення якості сплавів і сприяє отриманню металевих заготовок з високою фізичною і хімічною однорідністю, дисперсною кристалічною структурою і стабільно високим рівнем фізико-механічних і експлуатаційних властивостей.

Метою виконуваної авторами роботи є створення науково обґрунтованих технологічних засобів управління формуванням литої структури металевих заготовок в умовах накладання зовнішніх теплосилових дій на рідкий метал і метал, що кристалізується.

Згідно поставленої мети нами були сформульовані і вирішені наступні основні задачі дослідження:

- розроблені фізичні і математичні моделі процесів зародження і росту кристалів, динаміки переміщення ліквуючих фаз в міждендритному просторі, вироблені гіпотези щодо кінетики просування фронту тверднення і формування структурних зон зливка;

- обґрунтовано механізм впливу вібрації на зародження і ріст кристалів при процесах кристалізації і формування структури металу;

- проведено дослідження та детальний аналіз макро-, мікроструктури і механічних властивостей зразків контрольного і дослідного металу за відомими стандартними методиками;

- запропоновані рекомендації щодо вибору раціональних параметрів зовнішніх силових дій для отримання якісних металевих заготовок;

- розроблене необхідне технологічне устаткування та відповідні технології для практичної реалізації прийнятих рішень за результатами проведених наукових досліджень.

Авторами розроблено ливарне устаткування, яке включає робочу підружину платформу для встановлення на ній об'єкта вібраційної силової дії, вібробудувачі механічних коливань – силові пневмоциліндри з дистанційним регульованим приводом, які чинять комбіноване силове періодичне навантаження в вертикальній та горизонтальній площинах. Завдяки дистанційному автоматичному керуванню пневматичним силовим приводом досягається необхідна зміна амплітуди, частоти коливань вібробудувача, яка сприяє вибору оптимальних параметрів циклічного силового навантаження на об'єкт навантаження. Розроблений авторами дослідний зразок проходить випробування виробничому підприємстві.

#### Список використаної літератури

1. Пастухова Е.А. Вплив низькочастотних пружних коливань в кавітаційному режимі на розплав алюмінію в литому стані [Текст] / Е.А.Пастухова, Е.А. Попова, Л.Є. Бодрова // Зб. наук. тр. IV семінару "Оптимізація складу, структури і властивостей металів, оксидів, композиційних, нано-та аморфних матеріалів". 2002 р. – С.144-162.

2. Ефимов В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов [Текст] / В.А.Ефимов, А.С. Эльдорханов– М.: Металлургия, 1995. –272с.



3. Термодинамический анализ условий зарождения и роста кристаллов при виброобработке // Черная металлургия. – 1989. – №9. – С.27.
4. Эльдорхамов А.С. Исследование условий роста кристаллов в поле упругих волн // Процессы лития [Текст] / А.С. Эльдорхамов. – 1995. – №4. – С.49.
5. Крижанівський Є.І. Вплив вібрації на кристалічну структуру долатної сталі [Текст] / Є.І.Крижанівський, Л.Д. Пітулей, Д.І.Феденчук. – С.2-3.
6. Морин С.В. Комплексное исследование вибрационного воздействия на кристаллизацию и свойства отливок из алюминиевых сплавов [Текст] / С.В. Морин. – 2005. – 168с.

УДК 620.178:620.22-419.8

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВУГЛЕЦЬ-АЛЮМІНІЄВИХ КОМПОЗИТІВ АДАПТАЦІЙНОГО ТИПУ**

Скачков В.О., д.т.н., проф., Іванов В.І., ст. викл., Нестеренко Т.М., к.т.н., доц.,  
Карпенко Г.В., к.т.н., зав. аспірантурою

Головною частиною вузлів тертя є фрикційні елементи, які забезпечують створення необхідних сил тертя. У зоні гальмування витрачається значна кількість механічної енергії на руйнування поверхонь тертя та їх нагрівання. Зазначені умови накладають на фрикційні елементи вимоги забезпечення високих показників теплопровідності, міцності, зносостійкості, а також стабільності коефіцієнтів тертя. Переліченим умовам цілком задовольняють вуглець-алюмінієві композити (ВАК).

Одержання таких матеріалів є можливим як у разі рідкофазового поєднання алюмінієвої матриці та волокнистого вуглецевого наповнювача, так і гарячого пресування вуглецевих волокон разом з алюмінієвим порошком.

Під час рідкофазового поєднання розплавлюючи алюмінію та вуглецевих волокон відбувається хімічна взаємодія, яка за температури вище ніж 600 °С призводить до створення карбіду алюмінію, та, як наслідок, до зниження рівня механічних характеристик вуглецевих волокон.

Твердофазове формування ВАК методом гарячого пресування ставить вимогу забезпечення достатнього адгезійного зв'язку на межі «вуглець-алюміній». Тому на поверхню вуглецевого матеріалу наносять покриття на основі міді, нікелю та хрому. Одержаний композит є багатокомпонентним, триботехнічні характеристики якого визначаються всіма його компонентами. Особливістю зазначених матеріалів є наявність достатньої структурної неоднорідності. Під час заповнення пористої структури вуглецю твердою або рідкою фазою з'являється можливість регулювання значення коефіцієнтів тертя та зносу ВАК.

Нанесення адгезійних металевих покриттів на поверхню вуглецевих волокон типу ВКН-5000 здійснювали методом електролітичного осадження солей металів із водних розчинів. Результатами експериментів встановлено, що найповніше вимогам щодо захисту вуглецевих волокон задовольняють нікелеві покриття, які одержано за значенням щільності катодного струму 0,25 А/дм<sup>2</sup>, напруги електролізу 10 В та тривалості процесу 120 с.

Оцінку впливу захисних покриттів виконували шляхом дослідження розривного навантаження вуглецевих волокон з покриттям і без нього. Розривне навантаження вуглецевих волокон визначали на машині МР-30 за їх базової довжини 130 мм і швидкості навантаження 30 мм/хв.

Встановлено, що оцінка математичного очікування розподілу розривного навантаження для волокон без покриття складає 35,3 Н, волокон з покриттям - 44,7 Н, а значення дисперсії розподілу становить відповідно 35,3 і 16,6. Наявність нікелевого покриття на поверхні вуглецевих волокон забезпечує підвищення середнього значення розривного навантаження волокон практично у два рази.

Спрощуючи вирішення, одержане у роботі [1] для прогнозування коефіцієнтів тертя багатокомпонентних композиційних матеріалів, можна з інженерною точністю визначати коефіцієнт тертя багатокомпонентних композитів за формулою:

$$k = \sum_{i=1}^n k_i \cdot g_i \cdot \frac{E_i}{E_k},$$

де  $k$  - коефіцієнт тертя багатокомпонентного композиційного матеріалу;  $k_i$ ,  $g_i$  - відповідно коефіцієнт тертя й об'ємний вміст компоненту з номером  $i$ ;  $E_i$ ,  $E_k$  - відповідно модуль пружності компоненту з номером / та композиційного матеріалу в цілому.

З рівняння виходить, що компоненти, які входять до складу певного композиту та мають вищу жорсткість, надають більшого внеску до значення коефіцієнта тертя зазначеного композиту.

Під час гарячого пресування ВАК на основі алюмінієвого порошку ПА-0 та алюмінієвої пудри ПАП використовували вуглецеве волокно з нікелевим покриттям, яке має найбільшу однорідність та хорошу проникність. Пресування ВАК здійснювали за класичною технологією порошкової металургії (у закритій прес-формі за температури 450 °С та питомого тиску 60 МПа).

Щільність пресованих ВАК визначали методом гідростатичного зважування за стандартною технологією, а твердість (щодо Брюнелю) - на твердомірі типу ТШ-2М з використанням сталеві кульки діаметром 6 мм за величини навантаження 1840 Н та тривалості її застосування 30 с.

На твердість пресованих ВАК суттєво впливає вміст вуглецевих волокон. Встановлено, що зі збільшенням вмісту вуглецевих волокон до 40...50 % твердість зазначених композитів знижується на 55 %. Під час подальшого зростання вмісту вуглецевих волокон (до 70 %) зафіксовано збільшення твердості композитів на 16 % щодо її максимального значення.

Коефіцієнти тертя визначали на машині тертя СМТ-1 з використанням системи «диск-колодка» за питомим тиском 1,6 Па та швидкості відносного ковзання 3,0 м/с. Диск діаметром 60 мм виконували із сірого чавуну, зразок ВАК - у вигляді колодки розмірами 16 x 11 x 10 мм. Сторону зразка з розмірами 16 x 10 мм заздалегідь притирали щодо робочої поверхні диска. Температура у процесі дослідження складала  $100 \pm 10$  °С.

Експериментами встановлено, що значення коефіцієнтів тертя ВАК змінюються у широких межах. Залежно від вмісту вуглецевих волокон такі композити можна застосовувати як фрикційні, так і антифрикційні матеріали.

Для ВАК, одержаних методом гарячого пресування, характерною є пориста структура, яка, в основному, має транспортний характер. Заповнюючи пористу структуру змащуючим компонентом, одержують композит з антифрикційними характеристиками.

Під час роботи такого композиту в зоні тертя реалізуються процеси винесення змащуючого компоненту. Як наслідок, знижуються його концентрація в зоні тертя та з'являється градієнт концентрації щодо напрямку, перпендикулярного до поверхні тертя.

Висновки. Визначено раціональні режими модифікації поверхні вуглецевих волокон електролітичним нікелем, одержано зразки ВАК із вмістом вуглецевих волокон від 10 до 60 %. Встановлено межі змінювання твердості від 230 до 570 Н/мм<sup>2</sup> і коефіцієнтів тертя від 0,15 до 0,82.

#### Список використаної літератури

1. Скачков В. О. Метод прогнозування коефіцієнтів тертя багатокомпонентних композитів / В. О. Скачков, В. І. Іванов, Г. В. Карпенко // Матеріали У-ой межд. научно-практич. конф. «Альянс наук: ученый ученому». - Дніпропетровськ: Видавець Біла К.О. 2011. - Том 3. С.35-37

*Скачков Віктор Олексійович* - д.т.н., доц., професор кафедри металургії, Запорізька державна інженерна академія

*Іванов Віктор Ілліч* - старший викладач кафедри металургії, Запорізька державна інженерна академія

*Нестеренко Тетяна Миколаївна* - к.т.н., доц., доцент кафедри металургії, Запорізька державна інженерна академія

*Карпенко Ганна Володимирівна* – к.т.н., завідувач аспірантурою, Запорізька державна інженерна академія

УДК 620.179.131

## **ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ НАВУГЛЕЦЮВАННЯ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ**

В.І. Савуляк, А.А. Осадчук

Відомо, що одним з кращих матеріалів, які працюють в умовах абразивного тертя, є білий чавун, який має низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість. Тому деталь з білого чавуну, що працює в умовах такого тертя, має не тільки підвищену зносостійкість, а й ефективний вид зношування. Такі властивості білого чавуну зумовлені високою твердістю ледебуритної евтектики, а також наявністю карбідів (цементиту) в структурі білого чавуну.

У Вінницькому національному університеті розробляються технології, які дозволяють отримувати композиційні матеріали типу сталь – білий чавун [1, 2]. Такі композиції мають високі триботехнічні характеристики. Технології отримання зносостійких шарів у цих композиціях базуються в основному на використанні явища контактного плавлення між залізом та карбоном [3]. Суть цього явища полягає у виникненні рідкої фази в точці контакту між вуглецевим матеріалом та залізо-вуглецевим сплавом при температурі, яка нижча температур плавлення цих речовин. В результаті отримуємо високовуглецевий шар, найчастіше білий чавун.

Ці технології різнилися способами нагрівання контакту між вуглецевим матеріалом, а саме: пічне нагрівання, нагрівання СВЧ, електричною дугою та ін. Об'єднує усі ці розробки використання як джерела вуглецю волокнистих вуглецевих матеріалів (ВВМ).

У даній роботі пропонується електроконтактний метод, який використовує контактне нагрівання не між електродами машини точкового зварювання, а між електродом у вигляді графітового диску та сталеву поверхню з нанесеним на неї ВВМ.

Суть методу полягає в наступному: на поверхню сталеві заготовки наносять вуглецевий матеріал, після чого притискають його ролик-електродом і пропускають електричний струм від силового трансформатора. Електричні параметри контролюються за допомогою трансформатора струму з амперметром та вольтметром. Для щільного контакту ролика з поверхню передбачено розміщення шини струмопідводу на осі опори, а регулювання силу притиску ролика до поверхні заготовки здійснюється змінним вантажем, що кріпиться на шині струмопідводу. Заготовка кріпиться до шини, яка може здійснювати поступальний рух. При пропусканні електричного струму через контакт *ролик – ВВМ – заготовка* в місці контакту виділяється тепло, що активує процес контактного плавлення, а пересування заготовки відносно ролика дозволяє автоматизувати процес отримання смуги науглецьованого шару на відміну від електроконтактного способу [3], що дозволяє отримувати лише точки науглецьованої поверхні.

Структуру наплавленого шару та перехідної зони вивчали при збільшенні 100 – 200 раз після травлення 4% розчином  $\text{HNO}_3$  в етиловому спирті.

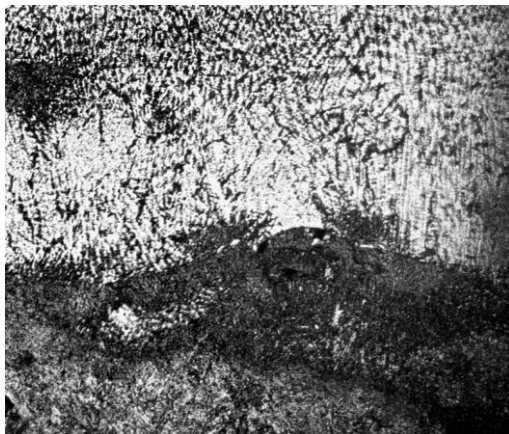


Рисунок 1 – Мікроструктура перехідної зони наплавленого шару- основа, x100

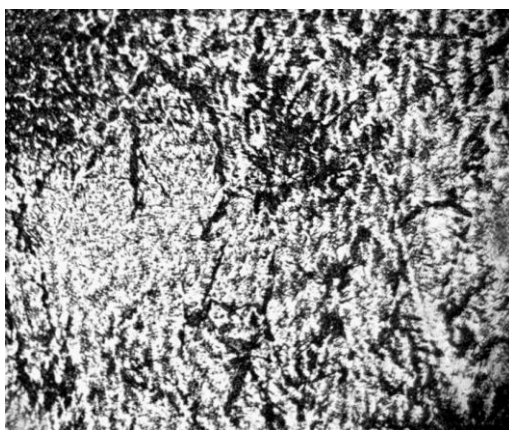


Рисунок 2 – Мікроструктура наплавленого шару, x200

Отже, даний метод відрізняється простотою, надійністю та дозволить формувати зносостійкі високовуглецеві шари, що мають гарне зчеплення з основним металом.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zhukov A. A., Bondarenko A. V., Ossadchuk A. Yu. New Methods of Joining Carbonaceous Materials to the Surface of Steel.// Joining sciences. vol.1, № 4, 1993 p. 188 - 193.
2. Савуляк В. І., Осадчук А. Ю. Нанесение композиционных покрытий на рабочие поверхности инструмента из углеродистых сталей. // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2003, №5. С. 8-12.
3. Сывынюк В. Г., Жуков А. А., Заречный А. М. Электроконтактное легирование поверхностей стальных деталей волокнистым углеродным материалом. // Сварочное производство, 1987. № 4 - С. 11 - 14.

*Савуляк Валерій Іванович* - професор д.т.н., Вінницький національний технічний університет, e-mail:korsav84@gmail.com,тел. +380963507247, Україна, 21018, м. Вінниця, вул. В. Інтернаціоналістів 3.

*Осадчук Андрій Андрійович* – аспірант кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [os.andrey2@gmail.com](mailto:os.andrey2@gmail.com) , тел. +380682110022, Україна, 21021, м. Вінниця, вул.Монастирська 35 .