



Всеукраїнська громадська організація  
Асоціація технологів-машинобудівників України  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля  
НАН України  
Академія технологічних наук України  
ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»  
Суспільство інженерів-механіків НТУ України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Український державний університет залізничного транспорту  
ПАТ «Ільницький завод МЗО»  
Інститут прикладної фізики НАН Білорусі  
Білоруський національний технічний університет  
Машинобудівний факультет Белградського університету

# **ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ**

**Присвячено 60-річчю Інститута надтвердих матеріалів  
ім. В.М. Бакуля НАН України**

**Матеріали 21-ї Міжнародної  
науково-технічної конференції**

*07–11 червня 2021 р., м. Свалява*

Київ – 2021

**Інженерія поверхні та реновація виробів:** Матеріали 21-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 07–11 червня 2021 р., м. Свалява. – Київ: АТМ України, 2021. – 172 с.

### **Наукові напрямки конференції**

- Наукові основи інженерії поверхні:
  - матеріалознавство
  - фізико-хімічна механіка матеріалів
  - фізико-хімія контактної взаємодії
  - зносо- та корозійна стійкість, міцність поверхневого шару
  - функціональні покриття поверхні
  - технологічне управління якістю деталей машин
  - питання трибології в машинобудуванні
- Технологія ремонту машин, відновлення і зміцнення деталей
- Впровадження стандартів ДСТУ ISO 9001 у промисловості, вищих навчальних закладах, медичних установах і органах державної влади
- Метрологічне забезпечення ремонтного виробництва
- Екологія ремонтно-відновлювальних робіт

**Матеріали представлені в авторській редакції**

© АТМ України,  
2021 р.

## ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ЧАВУННИХ ДЕТАЛЯХ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Чавун містить у своєму окладі значну кількість вуглецю, який може знаходитись у вигляді цементиту або графіту кулястої чи пластинчастої форми. Маючи хімічну активність, він повинен брати участь в формуванні поверхневого шару або взаємодіяти з його елементами.

Розглянемо чавуни, в яких більша частина вуглецю знаходиться в графіті пластинчастої форми, і сталі, в яких увесь вуглець знаходиться в цементиті.

Для простоти розуміння припустимо, що графітні включення в матриці чавуну мають форму неправильного циліндра, в якому є западини і опуклості. Довжина включення  $l$  і діаметр  $2a$  зв'язані умовно співвідношенням  $l/2a > 1$ . Пластинчаста форма включення нерівноважна і при нагріванні тою чи іншою мірою намагається перейти в кулясту. Причина, яка зумовлює перенесення маси вуглецю, що відбувається в цьому випадку, полягає ось в чому. Припустимо, що в одному місці включення графіту звуженим за рахунок стискуючої сили матриці. В такому випадку виникає градієнт хімічного потенціалу, який зумовлює спрямоване перенесення вуглецю від ділянки, де має місце звуження, до опуклих і навіть циліндричних ділянок. Процес, який супроводжується зменшенням товщини включення, завершується його ~~фрагментацією в дрібніші~~ сфероїдизації графітного включення означає, що поява звуження супроводжується зменшенням питомої площі поверхні.

Цей вуглець намагається випалати в об'ємі покриття або виходити на зовнішню поверхню шару. Характерно при цьому також формування не пластинок графіту, а кульок.

Для цього було розглянуто кінетику виходу вуглецю на зовнішню поверхню. Потік вуглецю визначається різницею граничних концентрацій в залізі і фазі, яка утворюється:

$$y = D\Delta n/\delta,$$

де  $D$  – коефіцієнт дифузії вуглецю в межах фази;  $\Delta n = n_c^{Fe} - n_c^{\Phi}, n_{\gamma}^{Fe}$ ,

$n_c^{Fe}$  – граничні концентрації вуглецю в залізі і відповідно у фазі, що утворюється,  $\delta$  – товщина шару.

Вважаємо, що концентрація вуглецю на зовнішній поверхні  $n_c^\Phi$ , а на межі шар – основний метал  $n_c^{Fe}$ .

Число  $d/N$  атомів вуглецю, які виходять за час  $d\tau$  на одиницю поверхні, можна визначити як  $d/N = yd\tau = D\Delta n d\tau/\delta_\tau$ , де  $\delta_\tau$  знаходимо із рівняння 1. За час  $\tau$  на поверхню вийде таке число атомів вуглецю:

$$N = \int_0^\tau D \frac{\Delta n d\tau}{k \tau^{1/2}} = 2 D \frac{\Delta n}{k} \tau^{1/2}$$

Ці атоми вуглецю і утворюють зародок в вигляді кульок, які збільшуються у часі.

Середня концентрація вуглецю, яка вимірюється на поверхні, може бути визначена, якщо відняти число атомів вуглецю в новій фазі від числа  $N$  його атомів, які знаходяться в при поверхневому шарі.

$$N = l/v,$$

де  $l$  – глибина зондування при визначенні концентрації вуглецю,  $v$  – об'єм, який випадає на 1 атом вуглецю.

Коефіцієнт вуглецю повинен збільшуватися за параболічним законом, тому коефіцієнт дифузії вуглецю можна знайти, якщо перетворити вираз 2 так:

$$D = \frac{k}{2\Delta n} \frac{N}{\tau^{1/2}}$$

Коефіцієнт дифузії вуглецю в об'ємі шару можна оцінити також по кінетиці розпаду в перлі пластичних включень цементиту на кульки графіту. Припустимо, що цей процес проходить за двома дифузійними механізмами: через матрицю і по межі поділу матриця – виділенню. Характерний час розпаду за порядком величина може бути описаний таким виразом:

$$\tau = \frac{kTR^3}{\gamma v D_v C_o}$$

де  $T$  – температура;  $R$  – радіус сфери закруглення графітного включення;  $\gamma$  – поверхневий натяг на межі поділу;  $D_v$  – коефіцієнт об'ємної дифузії;  $C_o$  – концентрація вуглецю на твердому розчині матриці.

Із виразу виходить, що

$$D_v C_o = kTR^3 / (\gamma v \tau)$$

У випадку хіміко-термічної обробки залізобуглецевих сплавів перегрітого водяного розчину солей при підстановці робочих зна-

чень в формулу коефіцієнт дифузії вуглецю при розпаді пластичної структури цементиту в фазі складає  $10^{-9}-10^{-8}$  см<sup>2</sup>/с. Це співпадає з оцінкою коефіцієнта дифузії при накопиченні вуглецю на поверхні.

Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок, що при формуванні поверхневого шару в парогазовому середовищі маж місце висхідна дифузія вуглецю за рахунок розпаду пластинчатої структури.

*Тимофеева Л.А., Тимофеев С.С., Колесник М.А.*  
Український державний університет залізничного  
транспорту, Харків, Україна

## **СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ**

Статичний аналіз показує, що більшість пар, які труться виходять з ладу у зв'язку зі зносом. На відновлення та ремонт деталей та обладнання в Україні витрачається щорічно значні суми державних та приватних коштів. Серед них домінуючу роль займають деталі цинлідро-поршневої групи дизельних двигунів. Підвищення їх надійності та довговічності є дуже важливою задачею залізничної промисловості. Відмови в роботі двигунів, які зв'язані зі зносом його деталей, викликають довгий простій, значні витрати запасних частин, підвищуються витрати на обслуговування та експлуатацію поршнева група, а зокрема, поршень, кільця та гільзи циліндрів, працюють під дією високих тисків, сил інерції та температури, піддаючись інтенсивному зносу. Зворотньо-поступальні рухи поршня, зі змінною швидкістю при змінюючись температурі, тиску та шару змазки, утворюють складні режими тертя поршня та кілець по дзеркалу циліндрів. У верхній зоні зупинки поршневого кільця біля камери згорання температура середовища досягає 350С, знижуючись у нижній частині гільзи до 70-90С. У першій час використовуються декілька марок дизелей. Із них у V-образних дизельних двигунах гільзи працюють в найбільш тяжких умовах. Гільза практично по всій довжині схильна до тиску. У зв'язку з цим заходом по підвищенню стійкості гільз цих дизелей, безумовно, можуть бути повністю перенесені на інші типи ди-

|   |     |
|---|-----|
| <i>Сахнюк І.О., Битков М.Х., Рудак Н.П., Поліщук Р.Ю.</i><br>ОРГАНІЗАЦІЙНІ АСПЕКТИ РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ<br>ЯКІСТЮ В НАУКОВИХ УСТАНОВАХ  | 108 |
| <i>Севальнєва Т.Г., Колмаков А.Г., Севальнєв Г.С., Клименко С.А.,<br/>Копейкина М.Ю., Хейфец М.Л.</i><br>ТРИБОНАГРУЖЕНИЕ СТАЛИ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОГО<br>КЛАССА ВНС9-Ш                                    | 111 |
| <i>Севидова О.К., Гуцаленко Ю.Г., Степанова І.І.</i><br>ОСОБЛИВОСТІ КОРОЗІЙНО-ЗАХІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ<br>ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ПОКРИВІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ У<br>ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ПРОЦЕСІВ ШЛІФУВАННЯ  | 113 |
| <i>Севидова О.К., Пупань Л.І., Гуцаленко Ю.Г.</i><br>МОРФОЛОГІЯ ТА КОРОЗІЙНО-ЗАХІСНІ ВЛАСТИВОСТІ<br>ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ПОКРИВІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ У<br>ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ПРОЦЕСІВ ШЛІФУВАННЯ     | 116 |
| <i>Сергеев Н.Н., Сергеев А.Н., Кутепов С.Н., Гвоздев А.Е., Колмаков А.Г.,<br/>Просвирнин Д.В., Хейфец М.Л.</i><br>ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ОПЛАВЛЕНИЯ НА КОГЕЗИОННУЮ<br>ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ | 119 |
| <i>Соловых Е.К., Катеринич С.Е., Соловых А.Е., Маговец С.А., Дубовик В.А.</i><br>ПРИЧИНЫ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО<br>МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ   | 122 |
| <i>Сохань С.В., Сороченко В.Г., Сороченко Т.А.</i><br>УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ<br>ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ШАРИКОВ ПОДШИПНИКОВОГО<br>НАЗНАЧЕНИЯ                                       | 124 |
| <i>Тамаргазін О.А., Довгаль А.Г., Варюхно В.В., Кабика С.М.</i><br>СТРУКТУРА ТА ФАЗОВИЙ СКЛАД ТЕПЛОЗАХІСНИХ ПОКРИТТІВ<br>У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РЕЖИМІВ ЇХ НАНЕСЕННЯ  | 127 |
| <i>Тверитникова О.Є., Мельник Т.В.</i><br>ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКОСТІ НА ОСНОВІ<br>СТАНДАРТУ ДСТУ 9001:2015 НА ПІДПРИЄМСТВАХ ІЗ<br>ПЕРЕРОБЛЕННЯ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТУ ТА НАФТИ                      | 132 |
| <i>Тимофєєва Л.А., Колесник М.А.</i><br>ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ЧАВУННИХ ДЕТАЛЯХ<br>ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ   | 135 |