

УДК 539.3

М. О. Кузін

*Львівська філія Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*

**ВАРІАЦІЙНЕ ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ДОВГОТРИВАЛОЇ РІВНОМІЦНОСТІ ПРИПОВЕРХНЕВИХ
ШАРІВ МЕТАЛІЧНИХ СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ УМОВ
ФРИКЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

Проаналізовано сучасний стан проблеми управління довговічністю тіл, що знаходяться в умовах експлуатаційних навантажень. Запропоновано варіант варіаційного формулювання задачі технологічного забезпечення параметризації роботи елементів конструкцій.

Довготривале знеміцнення, фрикційні навантаження, критерії проектування приповерхневих шарів

Забезпечення вимог практики щодо підвищення параметрів довговічності деталей, які працюють в умовах контактної взаємодії, суттєво залежить як від зовнішніх (умов навантажень), так і внутрішніх (параметрів будови приповерхневих шарів деталей) впливів [9]. Структура поверхневих шарів в значній мірі забезпечує рівномірність деталей.

Розв'язання цієї важливої науково-технічної проблеми на даний час обмежується відсутністю до кінця окреслених і сформованих підходів з математичного моделювання як явищ довготривалої міцності [13], так і критеріїв оптимальності, які можна використати для опису поведінки тіл у різних умовах експлуатації [1, 8].

Можливість появи руйнування матеріалу елементів конструкцій при навантаженнях, які набагато менші за граничні, пов'язують з утворенням у матеріалі розсіяних мікрodefектів, що значно послаблює можливість деталям протидіяти зовнішнім впливам [4, 13]. Фізично мікрodefекти трактуються як результат знеміцнення матеріалу, що одночасно відбувається на різних ієрархічних рівнях [3].

Математичні моделі механіки, які описують явище пошкодженості матеріалу, можна розділити на три напрямки [13]. Перший з них пов'язує знеміцнення матеріалу з утворенням системи мікротріщин і мікропор. Основні співвідношення будуються на базі виокремлення тих чи інших механізмів руйнування окремих складових елементів. Другий напрямок ґрунтується на введенні формального параметра пошкодженості, конкретний зміст якого не завжди вказується; для нього постулюються еволюційні рівняння, що пов'язують

швидкість утворення пошкоджень і діючі навантаження. Згідно з третім напрямком, вважається, що міра пошкодженості описується деякими термодинамічними параметрами, які задовольняють разом з деформаціями й основним співвідношенням термодинаміки. Це дає можливість з використанням формалізму термодинаміки записати співвідношення між екстенсивними й інтенсивними параметрами.

І хоч у роботі [13] зазначається, що перший напрямок є найбільш адекватним явищам, які відбуваються в матеріалах при дії навантажень, слід відмітити, що другий і третій напрямки врахування пошкодженості теж мають право на існування та чисельну реалізацію, особливо з позицій експериментальної механіки й вимог інженерної практики. Це підтверджується і підходами, що розвиваються під керівництвом академіка НАН України А. О. Лебедєва [7], в яких поняття пошкодженості розглядають не тільки як багаторівневе ієрархічне утворення дефектів, але й як структурну перебудову системи під дією зовнішніх навантажень [5, 14].

Тому в роботах [1, 5, 6] було запропоновано підходи, що базуються на принципах термодинаміки до побудови математичних моделей механіки середовищ з можливістю появи в них структурних змін деградаційного характеру. Перевагою отриманих залежностей є можливість показати якісні шляхи управління довговічністю металічних систем. Разом з тим кількісні залежності та критерії оптимальності, які можна використовувати при проектуванні приповерхневих шарів тіл, що працюють в умовах тертя, не були визначені.

Як відмічається в роботі [11], питання довговічності матеріалів в умовах змінного неоднорідного складного термосилового впливу є відкритим. Залежно від структури й хімічного складу матеріали (особливо метали) в умовах змінних силових і термічних навантажень ведуть себе по-різному, і виокремити особливості поведінки, характерні для всіх досліджуваних систем, доволі важко. Крім того, у цій роботі запропоновано підхід до опису металічних систем, заснований на використанні механічних і термічних інваріантів, які є сталими для цілих груп матеріалів.

З літератури відомі дві групи критеріїв, які характеризують здатність деталей опиратися дії циклічних навантажень, — деформаційні та енергетичні [12]. У багатьох випадках їх використання дозволяє досить надійно прогнозувати довговічність тіл, але при цьому, як зазначається в роботі [11], необхідна точна вихідна інформація про початковий стан матеріалу та його еволюцію в процесі навантажень, що не завжди просто. Для умов складного термосилового впливу роботи металічних конструкцій у даній роботі пропонується використання енергетичних критеріїв на основі приростів пошкоджуваності (аналогічно теорії малих пружно-пластичних деформацій), оскільки це дозволяє враховувати як процеси знеміцнення, так і зміцнення матеріалу, що має місце особливо в умовах контактної взаємодії [2].

При введенні змінної пошкоджуваності потрібно визначитися з природою цієї величини. З позицій експериментальної механіки та інженерної прак-

тики пошкоджуваність прийнята як скалярна величина ω і є питомою (віднесеною до одиниці об'єму) величиною.

При цьому формулювання першого закону термодинаміки в питомих величинах матиме вигляд

$$de = du + dk, \quad (1)$$

де de — повна енергія; du — внутрішня енергія; dk — кінетична енергія.

Величину du подамо таким чином [11]:

$$du = \delta a + \delta q + \delta z, \quad (2)$$

для «класичних робіт» з локально рівноважної термодинаміки, в яких вивчається вплив на тіло полів різної природи, або у вигляді [3]

$$du = \delta a + \delta q + \delta z + \delta u_*, \quad (3)$$

для підходів, де враховується також можливість зміни внутрішньої будови — структури матеріалу.

У співвідношеннях (2) і (3): δa — приріст механічної енергії; δq — приріст теплової енергії; δz — приріст хімічної енергії; δu_* — приріст енергії, що йде на структурні перетворення. При цьому, з урахуванням припущення про адитивність складових енергій, приріст δu_* подамо як

$$\delta u_* = \delta u_*^1 + \delta u_*^2, \quad (4)$$

де δu_*^1 — частина енергії, що витрачається на деградаційні структурні перетворення; δu_*^2 — частина енергії, затрачена на «регенераційну» структурну перебудову (у літературі це явище іменується заліковуванням дефектів).

Зауважимо, що залежно від характеристик структури, виду напружено-деформованого стану, температури у матеріалі можуть переважати одні чи інші типи процесів. Тому приріст пошкоджуваності в елементі середовища подамо у вигляді

$$\dot{\omega}(t) = F_1(\omega, \hat{\sigma}, T, \rho, t) - F_2(\omega, \hat{\sigma}, T, \rho, t), \quad (5)$$

де $F_1(\omega, \hat{\sigma}, T, \rho, t)$ — функція, що описує знеміцнення матеріалу; $F_2(\omega, \hat{\sigma}, T, \rho, t)$ — функція, яка описує заліковування дефектів. При цьому при переході до енергетичного опису

$$\delta u_*^1 = G_1(F_1(\omega, \hat{\sigma}, T, \rho, t)), \quad (6)$$

$$\delta u_*^2 = G_2(F_2(\omega, \hat{\sigma}, T, \rho, t)), \quad (7)$$

де G_1 і G_2 — енергетичні еквіваленти відповідних структурних перетворень.

У результаті зміну пошкодженості в тілі на інтервалі $(0; t_*)$ можна подати таким чином:

$$\omega(t_*) = \int_0^{t_*} (F_1 - F_2) d\tau. \quad (8)$$

При виборі методик передексплуатаційних технологічних обробок деталей важливо вибрати критерій доцільності використання даного виду обробок і час, упродовж якого деталі піддаватимуться технологічній операції. Якщо ра-

ніше від деталей вимагалось максимального подовження строку їх експлуатації, то сьогодні з розвитком масового виробництва ставляться вимоги щодо найбільшого здешевлення вартості та надійної експлуатації протягом встановленого періоду; це називається параметризацією виробів, де під параметром розуміється чітко визначений строк безвідмовної експлуатації виробів.

У зв'язку з тим автором з урахуванням новітніх економічних реалій запропоновано критерій, згідно з яким початкова пошкоджувальність і утворення її в часі, структурні параметри приповерхневих шарів мають бути такими, щоб забезпечити заданий час роботи елемента конструкції:

$$\lim_{t \rightarrow t^*} \omega(t) = \omega^* \pm \delta, \quad (9)$$

де t^* — заданий час роботи тіла; ω^* — граничний рівень пошкоженості; δ — запас «довготривалої міцності» конструкції.

Для встановлення відповідності знеміцнення в тілі заданому рівню розглянемо інтеграл

$$\Pi = \int_V |\omega^* - \omega(t^*)| dV, \quad (10)$$

який назвемо мірою знеміцнення тіла в момент часу t^* , V — об'єм тіла. Відповідно до теоретичних припущень, наведених вище, Π має «в ідеалі» дорівнювати нулеві, або $\Pi \rightarrow 0$. Поданий інтеграл (10) можна вважати «довговічністним аналогом» критерієві рівномірності Черепанова [10]. З огляду на це виникає можливість варіаційного формулювання задачі: необхідно задати такі умови передексплуатаційних обробок, щоби з урахуванням залежностей (5)–(7) інтегральна міра знеміцнення прямувала до нуля: $\Pi \rightarrow 0$.

Отже, з вищевикладеного випливає:

автором проаналізовано сучасний стан термодинамічного опису явища знеміцнення тіл;

з використанням уявлень про можливість появи в тілі як процесів регенераційних, так і деградаційної спрямованості запропоновано критерій вибору технологічних рішень при здійсненні передексплуатаційної обробки виробів;

рекомендований критерій дозволив подати варіаційне формулювання задачі встановлення оптимальної вихідної структури деталей, які працюють в умовах термосилових навантажень.

1. Бурак Я.Й. Використання варіаційних підходів механіки для управління контактною довговічністю функціонально-градієнтних металічних систем: тези доп. конф. молодих учених із сучасних проблем механіки і математики імені академіка Я.С. Підстригача / Я.Й. Бурак, М.О. Кузін — Львів, 2011. — С. 135–136. 2. Волков И.А. Уравнения состояния вязкоупруго-пластических сред с повреждениями/ И.А. Волков, Ю.Г. Коротких. — М.: Физматлит, 2008. — 424 с. 3. Карзов Г.П. Физико-механическое моделирование процессов разрушения/ Карзов Г.П., Марголин Б.З., Швецова В.А. — СПб.: Политехника, 1993. — 391 с. 4. Кузін М.О. Використання підходів термодинаміки для континуального опису зміни довговічності металічних систем в умовах зовнішніх навантажень / М.О. Кузін // Поліграфія і видавнича справа. — Львів: Укр. акад. друкарства. — 2010. — № 2(52). — С. 123–130. 5. Кузин Н.О. Использование математического моделирования при управлении долговечностью узлов трения железнодорожных транспортных

систем: тези 3-ї щорічної міжвуз. наук.-техн. конф. «Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування» / Н.О. Кузін, Т.Н. Мещерякова, О.А. Кузін// — Донецьк, 2011. — С. 91–92. 6. Кузін М.О. Математичне моделювання параметрів втомної міцності структурно-неоднорідних металічних систем/ М.О. Кузін, Т.М.Мещерякова// Вісник ДНУЗТу. — 2011. — № 38. — С. 213–220. 7. Лебедев А.А. Оценка повреждаемости конструкционных сталей по параметрам рассеяния характеристик твердости материалов в нагруженном и рагруженном состояниях/ А.А. Лебедев, В.П. Швец // Проблемы прочности. — 2008. — № 3. — С. 29–37. 8. Новиков Н.В. Методы упрочнения поверхности машиностроительных деталей/ Новиков Н.В., Бидный А.А., Ляшенко Б.А. — К.: Ин-т сверхтвердых материалов АН УССР, 1989. — 112 с. 9. Оптимизация технологии нанесения покрытий по критериям прочности и износостойкости/ [Ляшенко Б.А., Соловых Е.К., Мирненко В.И. и др.]; под ред. В.В. Харченко. — К.: Ин-т проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, 2010. — 193 с. 10. Острейковский В.А. Теория надежности/ В.А. Острейковский. — М.: Высш. шк., 2003. — 463 с. 11. Третьяченко Г.Н. Прочность и долговечность материалов при циклических тепловых воздействиях/ Г.Н. Третьяченко, Б.С. Карпинос. — К.: Наук. думка, 1990. — 256 с. 12. Трошенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоциклового нагружении/ В.Т. Трошенко. — К.: Наук. думка, 1981. — 344 с. 13. Хорошун Л.П. Основы микромеханики повреждаемости материала. 2. Длительная прочность/ Л.П. Хорошун //Прикладная механика. — 2007. — Т. 43. — № 2. — С. 108 — 121. 14. Shiratiri M., Application of infrared thermography to detection of cracks/ M. Shiratiri, Y. Takahashi, Y. Qiang// JSME International journal. — 1994. — v.37. — № 3. — P. 296–302.

ВАРИАЦИОННАЯ ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ РАВНОПРОЧНОСТИ ПРИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ФРИКЦИОННЫХ НАГРУЗОК

Проанализировано современное состояние проблемы управления долговечностью тел, находящихся в условиях эксплуатационных нагрузок. Предложен вариант вариационной формулировки задачи технологического обеспечения параметризации работы элементов конструкций.

A VARIATIONAL FORMULATION OF THE PROBLEM TO ENSURE THE LONG-TERM EQUAL STRENGTH OF THE SURFACE LAYERS OF METALLIC SYSTEMS SUBJECT TO THE CONDITIONS OF FRICTIONAL LOADS

The present state of the problem of durability of bodies that are under operational loads. The proposed version of the variational formulation of the problem of parameterization process of structural elements.

Стаття надійшла 28.11.2011

УДК 371.69:001.83

О. М. Кавин, Я. М. Кавин

Українська академія друкарства

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МІЖНАРОДНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА ВИЩИМИ НАВЧАЛЬНИМИ ЗАКЛАДАМИ УКРАЇНИ

Представлено модель комплексного розвитку міжнародного співробітництва навчальних закладів України у форматі світового освітньо-наукового простору.

Освітньо-науковий простір, фандрайзинг, екстешн, моніторинг, навчально-консультаційний центр, навчально-науково-виробничий комплекс, регіональне представництво

Міжнародне співробітництво в галузі освіти є одним з ключових елементів інтеграції України в світове співтовариство. Це стратегічний напрямок розвитку як освітньо-наукової політики України, так і сучасних вітчизняних вищих навчальних закладів (ВНЗ) зокрема, що сприяє встановленню стратегічних партнерських зв'язків із закордонними навчальними й науковими закладами, виробничими та іншими структурами.

Основна мета в розширенні міжнародного співробітництва полягає:

у поширенні впливу України на світовому ринку підготовки фахівців на основі запровадження єдиної інтегрованої системи підготовки висококваліфікованих кадрів на рівні світових стандартів;

у зміцненні позицій України в світових інтеграційних процесах на основі розвитку перспективних наукових напрямків у світовому просторі науки та реального впровадження новітніх технологій.

Міжнародне співробітництво в освітньо-науковому просторі повинно здійснюватися за допомогою тривекторної системи розвитку, тобто на основі тісної інтеграції освіти, науки та виробництва. Основними факторами даної системи є:

моніторинг — головним завданням якого є проведення маркетингового та моніторингового аналізу на ринку відповідних галузей у фарватері освітнянських вимог;

фандрайзинг — покликаний здійснити комплекс заходів, які забезпечують пошук фінансових і матеріальних засобів, необхідних для реалізації освітнянських та наукових проектів;

екстешн — призначений для пошуку шляхів удосконалення системи освітнього та наукового забезпечення.

Якісну та кількісну характеристики вищеокреслених факторів визначають такі показники:

1. Створення розширеної сітки офіційних представництв українських ВНЗ за кордоном, у тому числі як відокремлених, так і невідокремлених їхніх структурних підрозділів.