

**УДК 519.246**

**Юрій Гац, Ярослав Литвиненко, к.т.н., доцент**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК РЕЛЬЄФНИХ  
УТВОРЕНЬ НА ПОВЕРХНІ НАНОТИТАНУ СФОРМОВАНИХ ВНАСЛІДОК  
ЛАЗЕРНОЇ УДАРНО-ХВИЛЬОВОЇ ОБРОБКИ**

**Yurii Hats, Iaroslav Lytvynenko, Ph.D, Assoc. Prof**

**SUBSTANTIATION OF DIAGNOSTIC PROPERTIES CHOICE OF RELIEF  
FORMATIONS ON THE SURFACE OF NANOTITAN FORMED AS A RESULT OF  
LASER SHOCK WAVE PROCESSING**

На сьогоднішній день дослідження, діагностика та прогноз стану сучасних матеріалів є актуальною задачею. Відомі підходи математичного моделювання дозволяють визначати впорядкованість тріщиноподібних виявлених дефектів та оцінити стан об'єкту з урахуванням впливу параметрів навантажування. Кількісний аналіз таких поверхневих процесів розтріскування та фрагментації визначається можливістю аналітичного опису цього процесу з урахуванням його фізичної природи.

Взаємозв'язок між структурними особливостями матеріалів і конструкцій та їх фізико-механічними властивостями може бути встановлений на основі застосування концепції структурних рівнів деформування, яка є одним із напрямків фізичної мезомеханіки [1].

Метою даної роботи є обґрунтування необхідної мінімальної сукупності діагностичних ознак, які є чутливими до процесу рельєфоутворення і можуть бути використані як інформативні ознаки в автоматизованих системах діагностики стану поверхні матеріалу.

В даній роботі поверхню розглянуто як складну, ієрархічну систему, яка за умов навантажування (накопичення мікропошкоджень) еволюціонує та адаптується до силового впливу [2,3]. Одним з наслідків такої самоорганізації є утворення деформаційного рельєфу, який є інформативною ознакою стану системи. Відомі спроби математичного опису рельєфоутворення, які дозволяють встановити взаємозв'язок деформацій на макро, мезо- та мікрорівнях [4-6]. Існує низка праць присвячених експериментальному аналізу стану поверхонь ряду матеріалів за умов статичного, циклічного та ударно-хвильового навантажування. Проте, загалом математична обробка таких результатів із розробленням процедур їх чисельного автоматизованого аналізу потребує розвитку. Створення сучасних систем обробки та імітації циклічних сигналів рельєфоутворення дає змогу автоматизувати та суттєво інтенсифікувати процедуру їх аналізу, діагностики та прогнозу, відкриває можливість проведення комп'ютерних імітаційних експериментів по їх моделюванню.

Відомо, що деформаційні процеси в матеріалі з твердим покриттям та пластичною основою мають циклічну (хвильову) природу. Пластичне течіння матеріалу основи супроводжується виникненням просторово-впорядкованої системи тріщин, яка має циклічний характер в межах аналізованої довжини. На основі цього, множинне розтріскування покриття розглянуто у вигляді циклічного випадкового процесу, що дозволило створити комплексний підхід технічного діагностування пошкоженості нанопокриття на основі положень теорії пластичності, фізичної мезомеханіки та статистичної обробки циклічних процесів множинного розтріскування.

Слід зазначити, що «циклічні сегменти рельєфу» утворені на поверхні матеріалу після обробки, не є однаковими, що обумовлено локальною неоднорідністю процесів плавлення - кристалізації і випаровування металу на поверхні матеріалу під час

обробки. Розвиток цих процесів значною мірою залежить від ударного імпульсу, і тиску в зоні модифікації, які є визначальними при утворенні упорядкованого рельєфу. Зазначені вище особливості обробки аналізованого циклічного сигналу дозволяють охопити всі режими модифікування нанотитану, розглядаючи їх як окремий випадок в рамках єдиного теоретико - методологічного підходу і врахувати широкий спектр можливих атрибутів циклічності (для відображення повторюваності в структурі сигналів) і значну структурну розманітність мінливості рельєфоутворення.

В результаті отриманих розкладів оцінок математичного сподівання процесу рельєфоутворення і їх аналізу на рисунок 1 подана структурна схема в якій приведені відсотки енергетичного вкладу двох коефіцієнтів рядів досліджуваних ортогональних поліномів, які пропонуються в якості діагностичних ознак. Найбільший вклад вносять два коефіцієнта ряду Чебишева 99,45% та коефіцієнти ряду тригонометричних функцій 99,56%, але у випадку розкладу у ряд тригонометричних функцій ми маємо чотири коефіцієнти  $(A_1, A_2, B_1, B_2)$ . З метою мінімізації кількості діагностичних ознак пропонується використовувати два коефіцієнти ряду Чебишева.

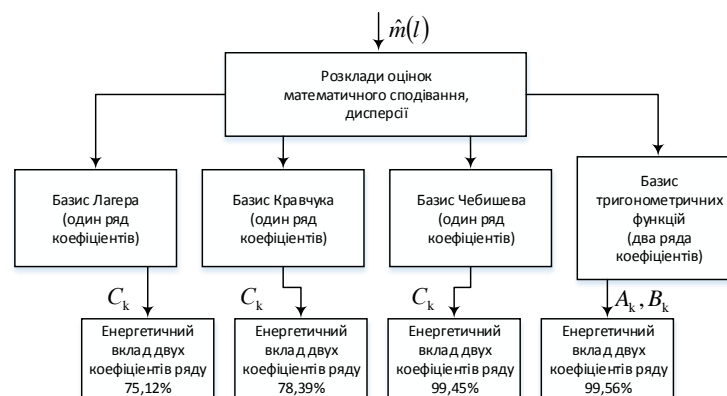


Рис. 1. Структурна схема дослідження розкладів оцінок математичного сподівання процесу рельєфоутворення у ряди по ортогональних базисах

Розроблений в роботі математичний підхід може бути використаний при створенні спеціального програмного забезпечення для потреб технічної діагностики поверхні нанотитанових імплантатів після високоенергетичної обробки. Використання такого підходу дозволяє забезпечити розробку не тільки експрес-методу діагностування, але і спрогнозувати стан поверхні модифікованих матеріалів. Звичайно, вказані задачі вимагають подальших наукових досліджень.

#### Список використаних джерел

1. Panin V.E., Egorushkin V.E., Panin A.V. The plastic shear channeling effect and the nonlinear waves of localized plastic deformation and fracture // Physical Mesomechanics, (2010) 13 (5-6) , pp. 215-232.
2. Varvara Romanova , Ruslan Balokhonov, Olga Zinovieva A micromechanical analysis of deformation-induced surface roughening in surface-modified polycrystalline materials // Meccanica, 2016, Volume 51, Issue 2, pp 359-370.
3. A.V. Panin, M.S. Kazachenok, A.I. Kozelskaya, R.R. Hairullina, E.A. Sinyakova Mechanisms of surface roughening of commercial purity titanium during ultrasonic impact treatment // Materials Science and Engineering: A, Volume 647, 28 October 2015, Pages 43–50.
4. I. V. Lytvynenko, P. O. Maruschak, S.A. Lupenko Processing and modeling of ordered relief at the surface of heat-resistant steels after laser irradiation as a cyclic random process // Automatic Control and Computer Sciences 48 (1), 1-9.
5. I. V. Lytvynenko, P. O. Maruschak Analysis of the state of the modified nanotitanium surface with the use of the mathematical model of a cyclic random process // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 2015, Volume 51, Issue 3, pp 254-263.
6. I. Lytvynenko, P. Maruschak, and A. Menou, "Using Mathematical Model of Cyclic Random Process for Diagnostics of Nanotitanium Surface Condition after High-Energy Treatment," in Proc. of the Intern. Symp. on Operational Research and Applications, Marrakech, Morocco, May 8–10, 2013, pp. 678–684.