

**П. Марущак, канд. техн. наук; І. Коноваленко, канд. техн. наук;  
Р. Біщак**

*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **АНАЛІЗ РОЗТРІСКУВАННЯ ПОВЕРХНІ І МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТЕРМОВОТОМИ МАТЕРІАЛІВ**

*В статті розроблено методику оцінки закономірностей термічного розтріскування поверхні ролика МБЛЗ. Досліджено вплив вхідних параметрів алгоритму аналізу геометрії сітки втомних тріщин на результати аналізу граничного розтріскування. Розроблено метод та стенд для випробувань термічної стійкості лабораторних зразків, який дозволяє автоматизувати процес одержання, запису та накопичення експериментальних даних.*

**P. Maruschak, I. Konovalenko, R. Bishchak**

## **ANALYSIS OF SURFACE CRACKING AND METHOD OF ESTIMATION OF THERMAL FATIGUE OF MATERIALS**

*In article the technique of an estimation of laws thermal cracking of a surface of a CCM roller is proposed. The influence of entrance parameters of algorithm of the analysis of geometry of a grid of the fatigue cracks on results of an estimation crack pattern is determined. The method and stand for an estimation thermal resistance of laboratory specimens is developed. Method allows to automate process of tests, record and accumulation of experimental data.*

Відомо, що значна частина важливих конструкцій металургійного обладнання експлуатується в умовах, що приводять до утворення сітки тріщин термічної втоми на їх робочій поверхні. Типовим випадком є ролики машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), для яких тріщини термічної втоми є одним з найбільш небезпечних видів пошкоджень [1].

Відомі методи контролю кінетики розтріскування поверхні роликів за допомогою оптичних систем, проте відсутні достовірні підходи до інтерпретації накопичених даних та алгоритми їх оперативної обробки [2].

Важливим аспектом підвищення довговічності роликів МБЛЗ є не лише накопичення інформації про деградацію їх матеріалів, але й розробка нових методів підвищення довговічності, зокрема шляхом модифікації поверхневих шарів високоенергетичним опроміненням, наплавлення порошковими дротами та ін [3].

Проте розвиток даних підходів вимагає розробки інженерних методик порівняльної оцінки термічної стійкості матеріалів роликів МБЛЗ. Важливим аспектом створення таких стендів є створення комплексу апаратно-програмних засобів, що дозволять автоматизувати процес випробувань, запису одержаних даних та обробку результатів.

Метою даної роботи є розробка методики кількісної оцінки розтріскування поверхні ролика МБЛЗ, забезпечення контролю якості одержаних показників, а також створення стенду для порівняльної (інженерної) оцінки термічної стійкості матеріалів.

### **Методика аналізу поверхні із тріщинами термічної втоми**

Запропоновано метод оцінки пошкоджуваності поверхні ролика МБЛЗ, який ґрунтується на обробці зображення його поверхні [4]. Для автоматизації аналізу поверхні ролика створено програмне забезпечення, яке на основі фотографій дозволяє діагностувати його технічний стан. При цьому обчислюються геометричні характеристики прямолінійних фрагментів тріщин, їх площу і кількість об'єднаних тріщин.

Аналіз поверхні ролика проводиться протягом кількох етапів. Спочатку над вхідним кольоровим зображенням здійснюється бінарне перетворення (рис. 1, а), й отримане бінарне зображення фільтрується. Після цього на основі багатоградієнтного зображення поверхні формується остаточна картина, яка описує положення та межі тріщин. Саме вона аналізується на предмет виявлення тріщин і обчислення їх параметрів (рис. 1, б).

Алгоритм аналізу зображення має ряд параметрів, які впливають на результат його роботи, тому важливо оцінити їх вплив на отримані показники пошкоджуваності поверхні. Розглянемо головні з них.

### **Границя фону**

Вихід границі фону за оптимальний діапазон дуже швидко приводить до значних похибок у пошуку тріщин. Коли вона замала, то до тріщин зарахується частина фону, внаслідок чого буде виявлено фантомні об'єкти. Якщо ж це значення завищене, частина зображення тріщини вважатиметься фоном, що приведе до випадання з поля пошуку частини об'єктів з малими геометричними розмірами.

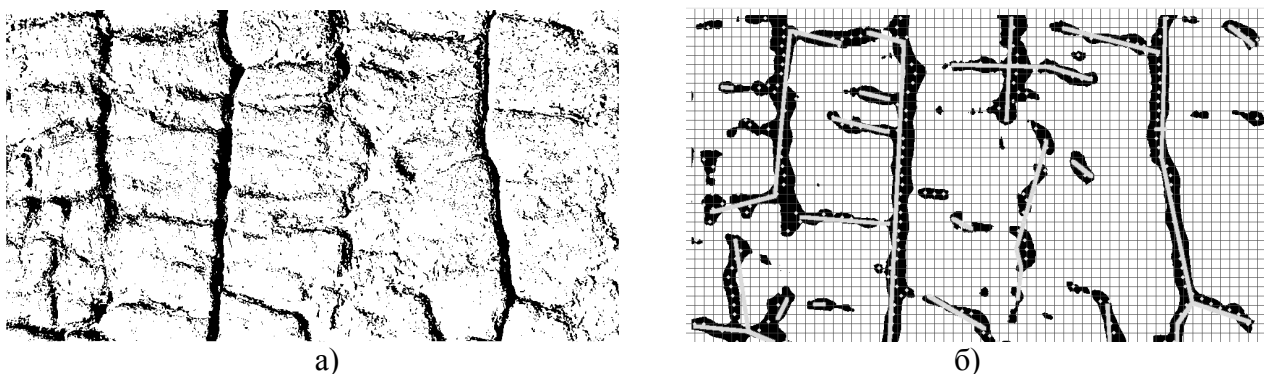


Рисунок 1 - Аналізоване зображення поверхні ролика (а) та результат аналізу за допомогою розробленого методу (б)

### **Розмір ядра фільтра**

Найбільше розмір ядра фільтра впливає на кількість знайдених прямолінійних фрагментів тріщин – при збільшенні ядра їх кількість зменшується. Це впливає із самої природи фільтрування: збільшення рівня згладження приводить до зростання розмірів фрагментів тріщин, внаслідок чого вони об'єднуються.

Зміна розміру ядра дуже незначно впливає на кількість ідентифікованих об'єднаних тріщин та загальну площу тріщин, проте можна помітити стійке спадання кількості прямолінійних фрагментів з ростом  $L_G$ , табл. 1.

Таблиця 1 - Залежність параметрів пошкоджуваності поверхні від зміни розміру ядра фільтра  $L_G$

Параметри	Розмір ядра										
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Площа тріщин, %	28	29	29	29	29	30	30	31	32	32	32
Прямол. фрагм., шт.	57	57	63	51	51	50	48	50	43	37	38
Об'єдн. тріщин, шт.	17	17	10	12	14	17	17	17	16	18	15
Не знайдено тріщин, шт.	2	1	2	2	2	1	1	0	0	0	0
Довж. пропущених фрагментів, в кроках сітки, шт.	20	10	15	15	15	10	10	5	5	10	15

### **Крок каркасної сітки**

Зростання кроку сітки каркасу в дослідженому діапазоні значень приводить до росту похибки обчислення геометричних характеристик тріщин. Так як локалізація тріщин здійснюється шляхом апроксимації груп точок методом найменших квадратів,

то збільшення кроку сітки обернено пропорційно впливає на кількість знайдених прямолінійних фрагментів тріщин, табл. 2.

Таблиця 2 - Залежність параметрів пошкоджуваності поверхні від кроку каркасної сітки  $L_S$

Параметри	Крок сітки каркасу, $L_S$								
	10	12	14	15	16	18	20	22	24
Площа тріщин, %	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Прямол. фрагм., шт.	79	63	59	55	53	45	39	34	33
Об'єдн. тріщин, шт.	20	17	13	12	12	12	11	11	10
Не знайдено тріщин, шт.	1	1	1	2	0	3	4	2	3
Довж. пропущених фрагментів, в кроках сітки, шт.	5	15	5	10	10	25	25	10	10

### Метод лабораторних випробувань матеріалів на термічну втому

Внаслідок періодичного контакту зі слябом ролика машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) працюють за умов циклічної зміни температур. Це приводить до виникнення термічних напружень в поверхневих шарах конструкції, зародження сітки термічної втоми, активізації процесів корозії та зношування [5].

В якості прототипу вибрано установки, запропоновані в працях [6,7], проте було вдосконалено систему переміщення зразка, використано автоматизоване управління та запис даних експерименту на ПК.

Принципову схему випробувань термостійкості сталей ролика МБЛЗ наведено на рис. 2. Зразок 8 нагрівали в термокамері 6, (рис. 2), яка забезпечує для даних зразків зону рівномірного нагрівання довжиною 40 мм вздовж більшої осі та 25 мм вздовж поперечної осі зразка.

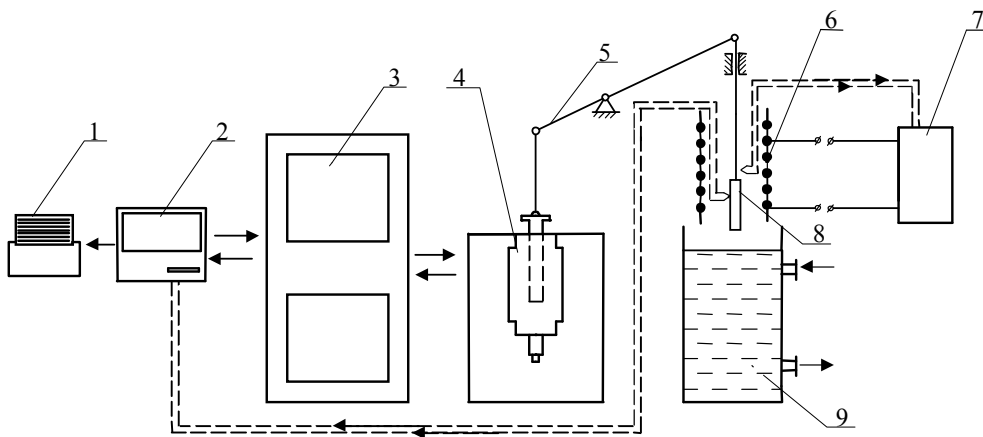


Рисунок 2 - Принципова схема досліджень термічної стійкості зразків

1 – принтер; 2 – керуючий ПК; 3 – стійка управління; 4 – гідроциліндр; 5 – важільний механізм; 6 – термокамера; 7 - високоточний регулятор температури ВРТ-2; 8 – зразок; 9 – ємкість з водою

Корпус термокамери 6 для високотемпературних випробувань виготовлено роз'ємним, з нержавіючої сталі. Для зменшення втрат тепла в якості термоізоляційного матеріалу кришки та днища використано листовий азбест. Товщина азбестової стінки становить 10 мм. Нагрівний елемент, розміщений біля стінок термокамери, виготовлено з нержавіючої сталі поперечним перерізом  $2 \times 10$  мм. На передній стінці термокамери виконано оглядове вікно з кварцового скла розміром  $20 \times 40$  мм.

Циклічне “нагрівання-охолодження” реалізовували переміщенням зразка, привід виконувався від гідроциліндра 4. Задання сигналу переміщення виконували з ПК 2, при цьому час переміщення та період нагрівання задавались програмно. Цифровий сигнал

ПК передавався на стійку управління 3, внаслідок чого відпрацьовувалась програма управління гідростанцією та задавався необхідний тиск в гідроциліндрі 4. Коли шток знаходився в нижньому положенні, зразок 8 нагрівався в термокамері. Опускання зразка відбувалось за заданий період, в нижньому положенні він занурювався у ванну з проточною водою 9. Передача переміщення від штока до зразка здійснювалась за допомогою гнучкої ланки та важільного механізму 5. Вертикальний рух забезпечувався направляючою, закріпленою до днища ємкості з водою 9. За допомогою регулювання швидкості переміщення поршня гідроциліндра можна максимально зменшити динамічні похибки термічного циклу.

Температура в термокамері задавалась і підтримувалась за допомогою високоточного регулятора температури (ВРТ-2) і хромель-алюмелевої термопари, закріпленої в середині термокамери. Крім того, паралельно проводили запис сигналу (термічного циклу) з термопари, закріпленої на поверхні зразка. Запис даних проводили на ПК, записували цикли переміщення зразка та зміну температури на поверхні зразка.

Для запису інформації, отриманої під час випробувань, використовували систему, призначену для проведення вимірювань за вимірювальним каналом, накопичення інформації в текстовій формі, візуалізації вимірюваних даних в режимі реального часу, візуалізації показів раніше проведених експериментів, оформлення та друкування результатів досліджень.

Реєстрація результатів експерименту здійснювалась в координатах час-напряга. Вікно програми, яка використовувалась для задання початкових параметрів та запису результатів експерименту, зображено на рисунку 2. З графіка видно, що нагрівання зразка відбувалося протягом 75 с, а охолодження за 1 с.

Основна програма пакету дозволяє в режимі реального часу вивести результати експерименту на екран монітора (режим осцилографа), а також у вигляді протоколу та роздрукувати поточні значення вимірюваних величин.

Здійснюється запис у файл номера кожної точки циклу із дискретністю 10 точ./с, що полегшує обробку даних експерименту, оскільки дані текстового файлу реєстрації можуть бути легко експортовані у EXCEL, ORIGIN або інший пакет.

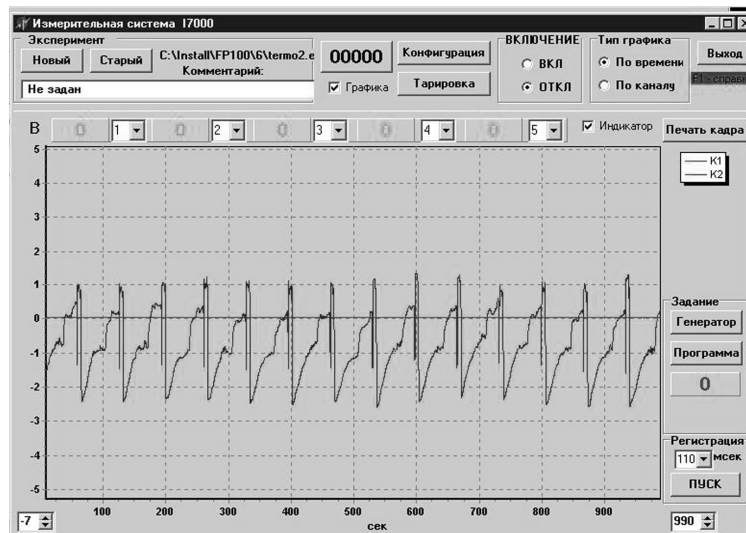


Рисунок 3 - Фрагмент запису термічного циклу від +13 до +220 °С

Облік кількості термоциклів відбувався на лічильнику механічних переміщень штока та програмно. Лічильник циклів виставляється в нуль при конфігуруванні кожного нового експерименту, забезпечує скидання даних проміжних точок та прив'язку даних до кожного конкретного файлу.

Критерієм опору термічній втомі є кількість циклів до появи перших тріщин, які зароджуються на зразках, а також площа розтріскування за однакової кількості термоциклів.

Спроектовано та реалізовано автоматизовану систему реалізації та запису термоциклу лабораторних зразків за умов низькочастотного термічного навантаження.

### **Висновки**

Оцінено вплив вхідних параметрів алгоритму розпізнавання геометричних характеристик сітки тріщин термічної втоми, проведено його дослідження на ряді зображень фрагменту ролика МБЛЗ після експлуатації. Описано і проаналізовано похибки, що виникають на кожному з етапів обробки даних та виявлено основні фактори, що впливають на точність вимірювань.

Запропоновано метод інженерної оцінки термічної стійкості матеріалу ролика МБЛЗ на основі розробленої лабораторної установки, що дозволяє автоматизувати процес випробувань, візуалізацію, запис та накопичення даних експерименту.

*Робота виконана за рахунок бюджетних коштів Державного фонду фундаментальних досліджень, реєстраційний номер 0107U004213.*

### **Література**

1. Estimation of in-service cracking of the surface of a continuous casting machine roller / P. Yasniy, Yu. Lapusta, P. Maruschak, D. Baran // Proc. of XIII International Colloquium "Mechanical Fatigue of Metals" (September 25-28, 2006, Ternopil, Ukraine). - 2006. - P. 303-308.
2. Tanaka M., Kato R., Kayama A. Size distribution of surface cracks and crack pattern in austenitic SUS316 steel plates fatigued by cyclic bending // J. of Mater. Sc. - 2002. - Vol. 37. - № 18. - P. 3945-3951.
3. Thermal fatigue test of laser surface treated rollers / P. Fulop, Z. Csepeli, O. Szabados, B. Vero // Materials Science Forum.-2003. - Vols. 414-415. - P. 207-212.
4. Зародження і ріст поверхневих тріщин термовтоми в сталі 25X1M1Ф / П.В. Ясній, П.О. Марущак, І.В. Коноваленко та ін. // Матеріали 7-й міжнародної науково-технічної конференції "Інженерія поверхності і реновація изделий" (29-31 мая 2007 г., Ялта). Киев: АТМ України.- 2007. - С. 240-242.
5. Satoh Y., Yamamura T., Takimoto T. Techniques for long life materials applied to continuous caster roll // Kawasaki Steel Technical Report. - №45. - 2001. - P. 42-49.
6. Межецкий Г.Д. Методика исследования термостойкости материалов // Вестник машиностроения.- 1980. - №8. - С. 38-39.
7. Павлюк С.К., Кузьменко И.М. Стойкость аустенитных наплавов, подвергающихся периодическому поверхностному нагреву, к термической усталости и формоизменению // Сварочное производство. – 1980. - №1. - С. 24-26.

*Одержано 06.02.2008 р.*