

УДК 536.5+004.42

СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ СКРИТИХ ДЕФЕКТІВ В ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДА НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮС. В. Прохоронеко,^{1,2} Я. М. Кавин³, Р. І. Петрів³¹ Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79000, Україна² Uniwersytet Rzeszowski
Aleja Rejtana 16c, 35-959 Rzeszow, Polska³ Українська академія друкарства
Вул. Під Голоском, 19, 79020, Україна

Представлено метод контролю прихованих дефектів за допомогою енергетичного потоку, зокрема теплового, шляхом визначення відповідних фізичних величин, які характеризують даний тепловий енергопотік, що дозволяє виявляти дефекти шляхом встановлення значень відповідних параметрів: 1. енергетична щільність тригерного потоку (температура і тиск, /в даному випадку використовується розігріте повітря/, інтенсивність електромагнітного випромінювання при миттєвій дії), така, щоб досліджуваний зразок не пошкодивсь; 2. Оптимізований кут дії на поверхню досліджуваного зразка. Досліджуваний зразок являє собою модель сітки з керамічним покриттям, яка визначає поширення теплового потоку (розігріте повітря) і, використовується як шаблон прихованих дефектів, зокрема було використано банкноти з прихованими дефектами у вигляді захисту від підробки видимих в діапазоні інфрачервоного випромінювання.

Ключові слова: термічна візуалізація, тепла девіація, градієнт тепла, теплове бар'єрне покриття (ТБП), інфрачервоний неруйнівний контроль (IR-НК), топологічна оцінка, стереографічна проекція, термічна дифузія, керамічне напилення.

Постановка проблеми. Проведений аналіз стану поверхні відбувається відповідно за оцінкою зміни параметрів досліджуваної поверхні від процесу реєстрації їх в кореляції із змінами енергетичного потоку (тепла) підведеної до неї. Ця зміна енергії є можлива у варіанті тимчасової-змінної, а також монотонної по поверхні або шляхом приведення її градієнтів до досліджуваної поверхні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ці виміри були продовженням попередніх досліджень, згаданих у відповідних патентних заявках Уральського технологічного університету - «металева візуалізаційна сітка», [1] Національного університету «Львівська Політехніка» - «керамічна сітка» [2] та Жешувського університету - «система підведення контрольованого потоку повітря», [3] які стосуються пояснення поширення температури в потоці газоподібного теплоносія. Сутність полягала в практичному аналізі, необхідного для усунення реєстраційних помилок, що можуть виникнути у зв'язку з відсутністю досвіду оператора закону діагностики або відхиленням параметрів контролю потоку теплоносія.

Мета роботи. Вдосконалення метода термічної візуалізації оцінки дефектів в поверхневому шарі досліджуваної поверхні, яка здійснюється шляхом теплової девіації кількісної характеристики теплової енергії, яка випромінюється з досліджуваного шару поверхні. Дана тепла енергія була накопичена в поверхневому шарі досліджуваної поверхні внаслідок підведення до поверхні енергетичного теплового потоку з фіксованими (контрольованими) параметрами.

Виклад основного матеріалу досліджень. Основна увага в дослідженнях була акцентована на використанні тепловізійного методу аналізу прихованих дефектів (як дослідний елемент використано непровідне покриття, зокрема теплове бар'єрне покриття (ТБП) з дефектами, на основі якого фіксується зміна теплопровідності), що здійснюється на основі використання індукованого теплового потоку газу з контрольованими параметрами (контролю підлягають температура викиду в повітря, переріз потоку газового теплоносія і кут контакту його з досліджуваною поверхнею). [1]

В даному випадку елементи захисту цінних паперів розглядаються в якості дефектів внутрішньої структури поверхневого шару досліджуваного зразка. (в якості дослідного зразка використано державну банкноту).

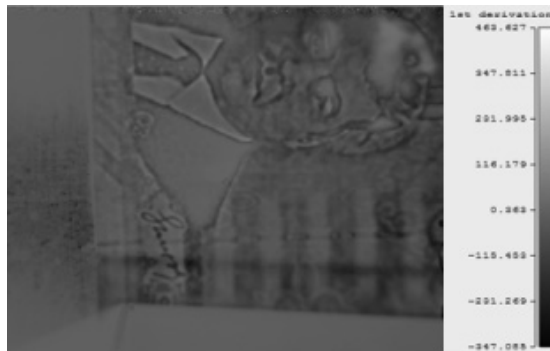


Рис. 1. Термограма банкноти з елементами захисту (використана спалахова методика)

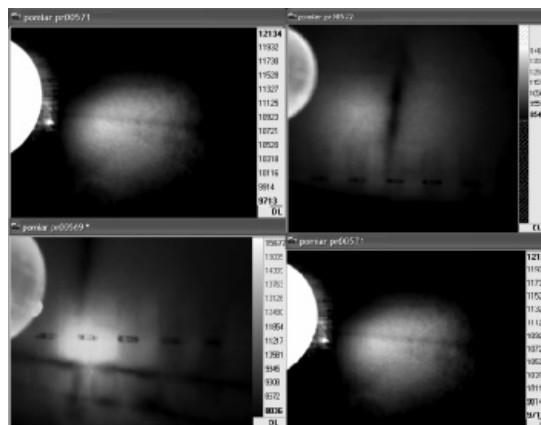


Рис. 2. Термограма банкноти з елементами захисту (використано термічну методику)

Наявність аналізованих дефектів (у формі девіації теплопровідності) реєструється методом інфрачервоного термографічно-спалахового неруйнівного контролю (IR-NDT), який оснований на застосуванні двох методик – термографічна і спалахова. Їх принцип оснований на збудженні теплового енергопотуку (незалежно чи обмін енергією конвективний – за рахунок теплового потоку газу, чи радіаційний /променевиї/ - за рахунок спалаху світла галогенної лампи), який дозволяє дослідження дефектів однаково, як на поверхні досліджуваного зразка так і в поверхневому шарі досліджуваного зразка. Це дозволяє аналізувати розподіл значень температур по площі поверхні досліджуваного зразка, за допомогою підведеного до неї енергетичного теплового потоку і здійснювати оцінку девіації (відхилення) зміни теплового потоку, який випромінюється з досліджуваної поверхні (термічна дифузія).

Модуляційна термографія показує нагрівання гармонійним тепловим потоком досліджуваної поверхні матеріалу. Таке нагрівання виробляє в випробувальному матеріалі поширення теплових хвиль, які сильно подавляються. Модель одновимірної моделі нагрітої поверхні з хвильовим джерелом певної частоти, глибини та температурної залежності показано формулою

$$T(z, t) = T_0 e^{-\frac{z}{\mu}} \cos\left(\frac{2\pi z}{\lambda} - \omega t\right) - T_0 e^{-\frac{z}{\mu}} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi z}{\lambda}\right),$$

де μ – термічна шлях дифузії

Теплова хвиля може бути відтворена (змодельована) з урахуванням чотирьох теплових пунктів для конкретної точки поверхні зразка для визначення одного циклу модуляції в режимі, який відповідає одному періоду індукованої хвилі. Фіксація термографічною системою коливань значень температурного поля є важливою, коли в певному стані виконана з більш низьким значенням частоти. Таким чином, амплітуда хвилі визначається за формулою

$$A(x_n) = \sqrt{[T_1(x_n) - T_3(x_n)]^2 + [T_2(x_n) - T_4(x_n)]^2},$$

А фаза хвилі можна розрахувати за формулою

$$\phi(z) = \frac{2\pi z}{k} = \frac{z}{\mu},$$

Розповсюдження теплової хвилі всередині тіла сприяє тому, що амплітуда зменшиться. Високоамплітудні хвилі проникають у матеріал менш, ніж низькочастотні хвилі. Тому використання цього методу для виявлення і відповідно вивчення дефекту під поверхнею матеріалу можливе шляхом визначення відповідного значення частоти. Основна перевага даного методу полягає в тому, що хвильова фаза є менш сприятливою до неоднорідності досліджуваного зразка та його температурної неоднорідності в процесі нагрівання.

Метод контролю дефектів дозволяє виявити дефекти, знаходячи області з іншою термічною дифузією ніж термічна дифузія решти частини поверхні досліджуваного зразка. Виявлення на поверхні області з термічною дифузією більшою ніж терміч-

на дифузію основної частини поверхні досліджуваного зразка є результат того, що процес охолодження даної області поверхні був нерівномірний. Отже температура поверхні дефекту буде іншою ніж температура поверхні досліджуваного зразка.

Основним впливом на ідентифікацію дефектів є розподіл температур, за допомогою якого можна визначити довжину та величину дефектів.

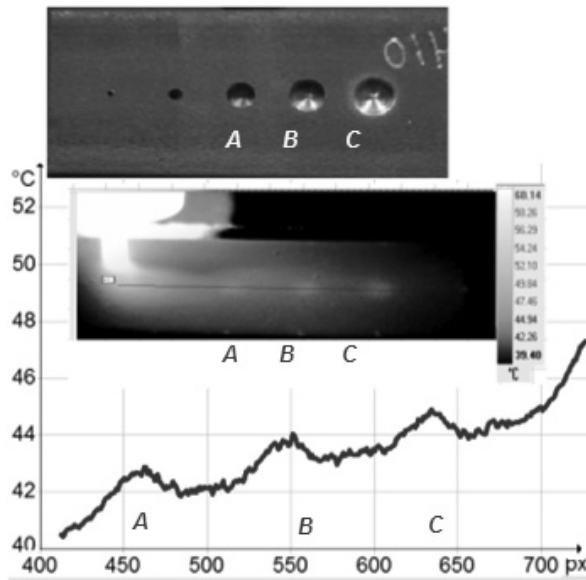


Рис. 3. Розподіл температур по поверхні із скритими дефектами

Сутність методу контролю прихованих дефектів полягає у визначенні відповідних фізичних величин використаного енергетичного потоку-теплоти, що дозволяє виявити дефекти шляхом встановлення значень відповідних параметрів: густини /щільності/ тригерного потоку (температура і тиск у випадку потоку газу), така, щоб досліджуваний зразок не був пошкоджений; важливою складовою в методі оцінки тимчасової нестабільності випромінювальної з поверхні досліджуваного об'єкта теплової енергії, накопиченої в результаті теплообміну з газовим носієм, є правильне встановлення і визначення кута і зони контакту теплового потоку з поверхнею досліджуваного об'єкта.

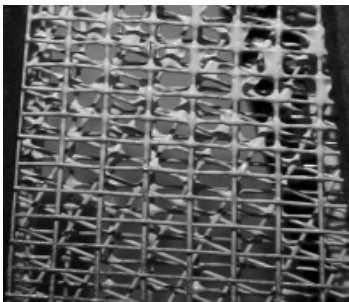


Рис. 4. Тришарова сітка з керамічним покриттям

У випадку коли досліджуються дефекти необхідно створити образ взаємодії об'єкта. Для цього потрібні енергетичні та топологічні параметри потоку теплоносія. «Сітка» це шаблон поширення теплового потоку. В якості теплоносія використано нагріте повітря, а якості сітки для поширення теплового повітря в просторі використано 3D багат шарова сітка з керамічним покриттям. Керамічне покриття відіграє роль теплових маркерів.

Висновки. При використанні системи приведенного градієнта енергії, в даному випадку температури теплоносія, відмінної від температури досліджуваної поверхні об'єкта, для вирішення задач методом неруйнівного контролю, пов'язаних з виявленням прихованих дефектів, доцільним є розробка методу топологічної оцінки (у формі 2D - моделі), а краще стереографічної проекції (у формі 3D - моделі), а також енергетичного (в формі теплообміну) розподілу параметрів енергоносія.

Показано ефективність використання в якості датчика, сітку (у формі 1D, 2D, 3D - моделі) для оцінки енергетичних (у формі теплообміну) і стереографічних (визначення напрямку потоку носія енергії, а також кута контакту з досліджуваною поверхнею) параметрів теплового потоку енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прохоренко С., Кашпор К., Микитин І., Мац К., Возний М., Панас А-Я. Оцінювання рівня неоднорідності матеріалу шляхом аналізу теплового відгуку на вузькозонне теплове збудження. Вимірювальна техніка та метрологія. (*Technika Pomiarowa oraz Metrologia*), -2012, №73, р.41-44
2. Жилкин Б.П., Ларионов И.Д., Шуба А.Н. Устройство для измерения температурного поля газового потока. *pat.RU.2230300*. (Дата начала отсчета срока действия патента: 10.04.2002, Опубликовано: 10.06.2004)
3. Прохоренко С., Шналь Т., Данкевич І., Возний М. Спосіб Створення Оптичного Контрасту для Тепловізійних Приладів. *pat.UA 89421U* Пат. UA 89421 U, МПК G 01 J 5/60 – № U 2013 105932; заявл. 02.09.2013; опубл. 25.04.2014, Бюл. №8.
4. Maś K., Woźny M., Prokhorenko S., Kashpor K., Szeregij E. Sposób bezdotykowej kontroli jednorodności ochronnych powłok powierzchniowych. *pat.PL P.403346* Declaration Pat.(PL) P.403346. Podano: 2013.03.28. Opub. Biuletyn UP, 20,2014.

REFERENCES

1. Prokhorenko S., Kashpor K., Mykytyn I., Mats K., Voznyy M., Panas A-Ya. (2012). Otsinyuvannya rivnya neodnorodnosti materialu shlyakhom analizu teplovoho vidhuku na vuz'kozonne teplove zbudzhennya. Vymiryuval'na tekhnika ta metrolohiya. (*Technika Pomiarowa oraz Metrologia*), -№73, p.41-44. (in Ukrainian)
2. Zhilkin B.P., Larionov I.D., Shuba A.N. (2004). Ustrojstvo dlja izmerenija temperaturnogo polja gazovogo potoka. *pat.RU.2230300*. (Data nachala otscheta sroka dejstvija patenta: 10.04.2002, Opublikovano: 10.06.2004) (in Russian)
3. Prokhorenko S., Shnal' T., Dankevych I., Voznyy M. (2014). Sposib Stvorennya Optychnoho Kontrastu dlya Teplovizyinykh Pryladiv. *pat.UA 89421U* Pat. UA 89421 U, МПК G 01 J 5/60 – # U 2013 105932; zayavl. 02.09.2013; opubl. 25.04.2014, Byul. #8. (in Ukrainian)
4. Maś K., Woźny M., Prokhorenko S., Kashpor K., Szeregij E. (2014). Sposób bezdotykowej kontroli jednorodności ochronnych powłok powierzchniowych. *pat.PL P.403346* Declaration Pat.(PL) P.403346. Podano: 2013.03.28. Opub. Biuletyn UP, 20,2014. (in Polish)

UDC 536.5+004.42

**SYSTEM OF DETECTION OF HIDDEN DEFECTS IN SURFACE LAYERS
USING THE METHOD OF NON-MECHANICAL CONTROL**Serhiy Prokhorenko ^{1,2}, Yaroslav Kavyn ³, Roman Petriv ³¹ Lviv Polytechnic National University,
12, S. Bandera St., Lviv, 79013, Ukraine² University of Rzeszow, Center for Microelectronics and Nanotechnology
Aleja Rejtana 16c, 35-959 Rzeszow, Poland³ Ukrainian Academy of Printing,
19, Pidholosko St., Lviv, 79020, Ukraine

The method of control of hidden defects with the help of an energy stream has been suggested, in particular thermal, by means of determining the corresponding physical quantities that characterize this thermal energy flow, and it allows defects to be detected by establishing the values of the corresponding parameters: 1. energy density of the flux (temperature and pressure, / in this case we use heated air /, intensity of electromagnetic radiation at instant action), such that the sample to be examined is not damaged; 2. optimized action angle on the surface of the test sample. The studied sample is a model of a grid with ceramic coating, which determines the distribution of heat flow (heated air) and is used as a template of hidden defects, in particular, banknotes with hidden defects in the form of protection against fake visible in the range of infrared radiation were used.

Keywords: *thermal imaging, thermal deviation, heat gradient, thermal barrier coating, infrared non-destructive controlling (IR-HK), topological evaluation, stereographic projection, thermal diffusion, ceramic spray.*

Стаття надійшла до редакції 25.05.2017

Received 25.05.2017