

УДК 620.179:621.373.5

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО НЕРУЙНІВНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ

І.П.Кондратенко<sup>1</sup>, докт. техн. наук, А.В.Жильцов<sup>2</sup>, докт. техн. наук, В.В.Васюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги 56, м. Київ, 03057, Україна

<sup>2</sup> – Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
вул. Героїв оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна, E-mail: azhilt@mail.ru

Розроблено математичну модель розряду зарядженого конденсатора на електродну систему, що використовується в системах оперативного неруйнівного визначення залишкових напружень. Вона дозволяє визначити розподіл струму розтікання в системі, силову дію електрода на поверхню зразка, що досліджується, розподіл джерел тепла в системі, що викликано струмом. Бібл. 3, рис. 1.

**Ключеві слова:** спекл-інтерферометрія, неруйнівний контроль, електродні системи, математична модель.

**Вступ.** Один з найпоширеніших методів обробки металів для надання їм потрібної форми є пластична деформація, яка здійснюється шляхом прокату, волочіння, пресування, кування та ін. Існують також спеціальні методи пластичної деформації, сутність яких полягає в додатковій дії на зону пластичної деформації імпульсів струму певної густини (сотні А/мм<sup>2</sup>). Протікання електричного струму само по собі не викликає деформації [1], однак в умовах активної пластичної деформації воно приводить до суттєвого полегшення обробки. Такий метод обробки був названий методом електропластичної деформації і сьогодні достатньо широко використовується для обробки металів. Оскільки при електропластичній деформації відбувається пружне розвантаження залишкових напружень в металі, це явище вочевидь служить основою способу неруйнуючого визначення залишкових напружень методом електронної спекл-інтерферометрії [2] – пружного розвантаження локальної поверхневої ділянки механічно навантаженого металевго вузла конструкції. Протікання імпульсного струму в металевій конструкції супроводжується електромагнітними явищами – силового і термічного характеру.

У зв'язку з цим **метою дослідження** є розробка математичної моделі електромагнітного процесу в системах оперативного неруйнівного визначення залишкових напружень та визначення параметрів струмових імпульсів, за яких досягається місцева релаксація залишкових напружень в металевому зразку.

**Матеріал і результати дослідження.** Нехай ємність  $C$ , заряджена до напруги  $U_0$ , замикається на систему з послідовно з'єднаних котушки індуктивності  $L$  й  $(N-1)$ -го масивного провідника, що займають об'

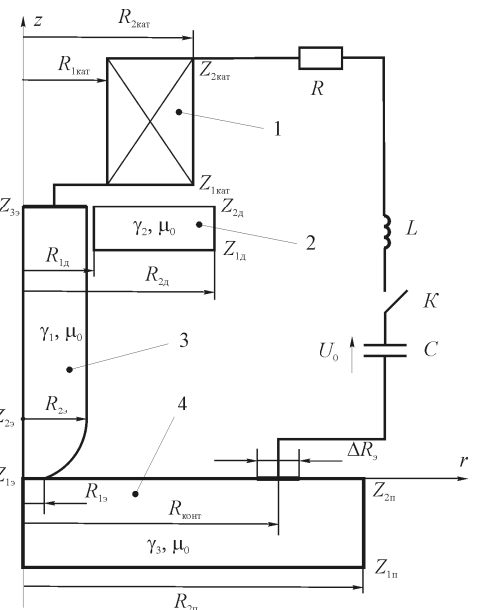
єм  $D = \bigcup_{q=1}^{N-1} D_q$ , обмежені гладкою поверхнею  $S = \bigcup_{q=1}^{N-1} S_q$  (рисунок). Питома провідність матеріалів провідників

постійна за об'ємом кожного провідника й дорівнює відповідно  $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{N-1}$ . Будемо вважати, що в колі протікають струми, при яких струмами зсуву в діелектрику, що оточує провідники, можна знехтувати.

Кінцеве завдання полягає в тому, щоб по заданій геометрії системи, електрофізичним характеристикам матеріалів, з яких виготовлені конструктивні елементи, електричному з'єднанню елементів, заданій напрузі на ємності знайти струм  $i(t)$  у колі розряду конденсатора, розподіл густини струму  $\delta(Q, t)$  в масивних провідниках, електромагнітну силу  $F(t)$ , що діє на електрод 3 та механічно зв'язаний з ним диск 2 при протіканні розрядного струму через котушку індуктивності  $L$ . У загальному випадку це вимагає розв'язання тривимірних крайових задач для системи рівнянь Максвелла в необмеженій області.

Зробимо низку припущень. Електрод 3 і пластина 4 являють собою циліндричні масивні тіла, що мають сполучену вісь обертання, з якої надалі сполучається вісь  $z$  циліндричної системи координат  $r, \alpha, z$ . При зазначених припущеннях електромагнітне поле в системі плоскомеридіане і його достатньо знати в одній меридіанній площині, у якості якої надалі виберемо площину  $\alpha = 0$ .

Сформульована крайова задача для визначення векторного магнітного потенціалу й скалярного електричного потенціалу за допомогою теорії потенціалу та концепції вторинних джерел [3] зведена до системи інтегро-диференціальних рівнянь. Розв'язком цієї системи рівнянь є



розподіл густини струму в меридіанному перерізі масивних провідників електродної системи. На підставі отриманого розподілу струмів розраховуються електродинамічні зусилля та розподіл густини джерел теплоти і температури в елементах електродної системи.

**Висновок.** Розроблено математичну модель для моделювання електродинамічних зусиль та розподілу струму і джерел тепла в дослідному зразку поблизу місця контакту.

1. Лобанов Л.М., Пащин Н.А., Черкашин А.В., Миходуй О.Л., Кондратенко И.П. Эффективность электродинамической обработки алюминиевого сплава АМг6 и его сварных соединений // Автоматическая сварка. – 2012. – № 1. – С. 3–7.
2. Лобанов Л.М., Пивторак В.А., Кувшинский Н.Г. Диагностика конструкций из металлических и композиционных материалов с применением голографии, электронной спекл-интерферометрии и широгрaфии // Автоматическая сварка. – 2000. – №9-10. – С. 74 – 76.
3. Тозони О. В., Маергойз И. Д. Расчет трехмерных электромагнитных полей. – К.: Техніка, 1974. – 352 с.

УДК 620.179:621.373.5

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

**И.П.Кондратенко<sup>1</sup>, докт.техн.наук, А.В.Жильцов<sup>2</sup>, докт.техн.наук, В.В.Васюк<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup> – **Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы 56, г. Киев, 03057, Украина,**

<sup>2</sup> – **Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,  
ул. Героев обороны, 12, г. Киев, 03041, Украина, E-mail: azhilt@mail.ru**

*Разработана математическая модель разряда заряженного конденсатора на электродную систему, которая используется в системах оперативного неразрушающего определения остаточных напряжений в металлических конструкциях. Она позволяет определить распределение тока растекания в системе, силовое действие электрода на поверхность исследуемого образца, распределение источников тепла в системе, обусловленных током. Библ. 3, рис. 1.*

**Ключевые слова:** спекл-интерферометрия, неразрушающий контроль, электродные системы, математическая модель.

**MATHEMATICAL MODELING OF ELECTROPHYSICAL PROCESSES IN SYSTEMS OF OPERATIVE NONDESTRUCTIVE TESTING OF LOCKED-UP STRESSES**

**I.Kondratenko<sup>1</sup>, A.Zhiltsov<sup>2</sup>, V.Vasuk<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup> – **Institute of electrodynamics of NAS of Ukraine,  
Peremogy av., 56, Kyiv, 03057, Ukraine,**

<sup>2</sup> – **National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Geroev Oborony str., 12, Kyiv, 03041, Ukraine, E-mail: azhilt@mail.ru**

*The mathematical model of discharging the charged condenser on the electrode system that is used in the systems of operative nondestructive testing of locked-up stresses in metallic constructions is worked out. It allows to define distribution of spreading current in the system, force operating of electrode on the surface of the investigated standard, distribution of the sources of heat in the system, which is conditioned by a current. References 3, figures 1.*

**Key words:** speckle interferometry, nondestructive check, electrode systems, mathematical model.

1. Lobanov L.M., Pashchin N.A., Cherkashin A.V., Mikhodui O.L., Kondratenko I.P. Influence of regime on the effectiveness of the electrodynamic of the working of the aluminum alloy АМг6 and its welded joints // Automatic welding. – 2012. – No 1. – Pp. 3–7. (Rus)

2. Lobanov L.M., Pivtorak V.A, Kuvshinskiy n.g. Diagnostics of constructions from metallic and composition materials with the use of holography, electronic spekl-interferometrii and shirografii // Automatic welding. – 2000. – №9–10. – Pp. 74–76. (Rus)

3. Tozoni of O. of V., Maergoyz I. D. Calculating of the three-dimensional electromagnetic fields. – Kyiv: Tekhnika, 1974. – 352 p. (Rus)

Надійшла 03.01.2012

Received 03.01.2012