

Рис. 9. Фото реалізацій з сигналами, отриманими з алюмінієвого зразка на частоті 2,5 МГц при збудженні ЄП та прийомі ПЕП

Виконані дослідження стали основою для розробки елементів пристрою для ефективного збудження ультразвукових імпульсів мегагерцового діапазону, який широко використовується для дефектоскопії і товщинометрії.

Для вирішення визначених задач необхідно розробити блоки і вузли дефектоскопів, товщиномірів і приладів для визначення фізико-механічних характеристик матеріалів. Перша з них – розробка джерела живлення ЄП поляризованими імпульсами з послідовною зміною їх поляризації (див. рис. 3). Дослідження показали, що її слід вирішувати в два етапи. Перший – розробка формувача необхідних для роботи приладу імпульсів: синхронізуючого, поляризованих і високочастотних. Такий формувач розроблено на базі мікропроцесора ATMEGA 32 [4], рис. 8.

Для забезпечення високої напруги поляризованих імпульсів розроблено макет на базі польових транзисторів типу IRF 540 які дозволили отримати регульовану величину напруги на рівні 1000 В. Використання пристрою дало можливість експериментально підтвердити, що ємнісний метод за своїми характеристиками, в першу чергу за чутливістю при збудженні, може бути використаний при створенні

приладів для ультразвукового контролю, рис. 9 (зразок з алюмінію, частота ультразвукових коливань – 2,5 МГц). Як впливає з приведених реалізацій, відношення амплітуд збудження імпульсу і завад різного характеру є достатнім для використання для неруйнівного контролю.

**Висновки:** 1. Розроблені концептуальні положення створення нового класу ефективних приладів для ультразвукового контролю виробів з використанням конденсаторного способу збудження акустичних сигналів. Суть положень полягає у формуванні поляризованої напруги в вигляді імпульсів заданої часової протяжності зі зміною їх поляризації. 2. Порівняльний аналіз характеристик ємнісного датчика з п'єзоелектричним приймачем дозволяють стверджувати, що ємнісний перетворювач є унікальним датчиком, для якого є своя ніша в об'ємі робіт з неруйнівного контролю металовиробів.

3. Досліджено фактори, які визначають ефективність конденсаторних приладів неруйнівного контролю при збудженні акустичних імпульсів. Показано необхідність витримувати стабільну товщину прошарку між ЄП і виробом, величину поляризованої напруги і відносної діелектричної проникності захисної (підсилюючої) плівки перетворювача.

**Список літератури:** 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. 864 с. 2. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1981. 240 с. 3. Сучков Г.М., Глоба С.Н., Глебова Л.В. Возможность приема ультразвуковых импульсов преобразователями емкостного типа. – Вісник Нац. техн. ун-ту «Харківський політехнічний інститут». - Харків: НТУ «ХПІ», 2007, № 35, – С. 29–32. 4. Анотації доповідей XVI міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія освіти, здоров'я"-Ч1- Харків: НТУ "ХПІ". - 2008. – С.433. УДК 620.179.14

**ГЛОБА С.Н.**, канд. техн. наук, доцент, НТУ "ХПІ" (г. Харків);  
**ДРОБИТЬКО А.И.**, магістр, НТУ "ХПІ" (г. Харків)

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ КВАЗИСТАТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ СЛАБОМАГНИТНОГО ПЛОСКОГО ОБРАЗЦА

У роботі розглянуто методику і проведено відновлення квазістатичної кривої намагнічення слабомагнітного плоского зразка для загального випадку ( $k \neq \text{const}$ ). Отримані основні співвідношення для розрахунку магнітного потоку, його фази, експериментальної та квазістатичної намагніченостей, методичної похибки.

The method of renewal in the quasistatistical curve of magnetizing of weak-magnetic flat sample in work considered and conducted for a general case ( $k \neq \text{const}$ ). Basic correlations are got for the calculation of magnetic stream, his phase, experimental and quasistatistical of magnetizing, methodical error.

В качестве материалов применяемых при изготовлении элементов и узлов промышленных объектов широко используются наряду с ферромагнитными и слабомагнитные материалы (нержавеющая сталь, латунь и др.), которые представляет практический интерес в различных отраслях промышленности.

Известно, что магнитный контроль шихтованных и сплошных изделий и образцов рекомендуется проводить на постоянном токе [1, 2], но при этом требуется коммутация намагничивающего тока в питающей цепи преобразователя при контроле каждой точки кривой намагничивания либо петли гистерезиса, все это достаточно трудоемко, неудобно в эксплуатации, а, следовательно, затруднено в автоматизации процесса контроля магнитных характеристик и параметров. Контроль ферро- и слабомагнитных изделий и образцов целесообразно проводить в переменных магнитных полях, что позволяет автоматизировать процесс контроля. Исследуемые материалы используются в цепях переменного тока (в частности, в устройствах энергетического оборудования: трансформаторах, электродвигателях, реле, электромагнитах и др.), поэтому необходим контроль динамических магнитных характеристик и параметров. Но переменное магнитное поле затухает в сечении образца и приводит к неоднородному распределению напряженности и индукции внутри изделия, а также нелинейности магнитных характеристик.

Таким образом, если установить критерий слабого затухания магнитного поля в сечении образца и использовать методику восстановления квазістатических магнитных характеристик плоских слабомагнитных образцов по результатам контроля динамических характеристик тех же образцов, то можно связать контроль

магнитных характеристик и параметров в постоянных и переменных магнитных полях, что важно для теории и практики контроля. При этом возникает возможность рационального выбора толщин пластин энергетического оборудования и частот переменного магнитного поля.

Поскольку значения  $\mu_r$  слабомагнитных материалов мало отличается от  $\mu_r$  воздуха (или вакуума), то определяют не кривую индукции, а кривую намагниченности слабомагнитного образца.

Идея восстановления квазистатической кривой намагниченности слабомагнитного плоского образца состоит в том, что по результатам экспериментально полученной кривой намагниченности  $J_s = f(H_0)$  на переменном токе конкретного слабомагнитного образца путем учета методической погрешности  $\gamma_{mn}$  можно перейти к квазистатической зависимости  $J_k = f(H_0)$ , т.е. к зависимости, которую можно было бы получить на постоянном токе. Методическая погрешность  $\gamma_{mn}$  (поправка) учитывает неоднородность магнитного поля внутри изделия и нелинейность кривой намагниченности.

Рассмотрим общий случай восстановления квазистатической кривой намагниченности слабомагнитного плоского образца ( $k \neq const$ ), т.е. для всех участков кривой намагниченности. В работе [3] был рассмотрен частный случай ( $k = const$ ), который соответствует начальному участку кривой намагниченности слабомагнитной пластины – слабое магнитное поле.

Следует отметить, что для испытаний использовался электромагнитный преобразователь с помещенным внутри его плоским образцом ( $h/d \gg 1$  – плоский образец шириной  $h$ , толщиной  $d$  и длиной  $l$ ). Преобразователь состоит из тонкого диэлектрического каркаса с нанесенными на него измерительной  $W_2$  и намагничивающей  $W_1$  обмотками. Чтобы магнитное поле было достаточно однородным внутри намагничивающей обмотки, необходимо выполнить условие  $l_k \gg h_k$  (где  $l_k$  и  $h_k$  – длина намагничивающей обмотки и ширина каркаса преобразователя соответственно). С целью уменьшения воздействия размагничивающего фактора на результаты измерений выбирались размеры плоских слабомагнитных образцов такими, чтобы  $l/h \geq 10$ .

Формула для расчета намагниченности  $J$  материала [1, 2] имеет вид:

$$J = k \cdot H, \quad (1)$$

где  $k$  – относительная магнитная восприимчивость материала образца;

$H$  – напряженность магнитного поля.

Намагниченность  $J$  характеризует магнитную индукцию  $B_{вещ}$  вещества, т.е. ту индукцию, которую создают магнитные моменты всех заряженных частиц атомов вещества (материала). Магнитная индукция  $B_{вещ}$  вещества определяется как:

$$B_{вещ} = \mu_0 \cdot J = \mu_0 \cdot kH, \quad (2)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

Вносимый магнитный поток  $\Phi_{вн}$  вычисляется как:

$$\Phi_{вн} = \int_S B_{вещ} dS = \int_S \mu_0 kH dS. \quad (3)$$

где  $dS$  – дифференциал площади поперечного сечения изделия (для плоского образца шириной  $h$  и толщиной  $d$  площадь  $S = h \cdot d$ ).

Иначе выражение для вносимого магнитного потока можно записать [3]:

$$\dot{\Phi}_{вн} = \dot{\Phi}_0 - \dot{\Phi}_\Sigma = \dot{\Phi}_{20} + \dot{\Phi}_1 - \dot{\Phi} - \dot{\Phi}_1 = \dot{\Phi}_{20} - \dot{\Phi}, \quad (4)$$

где  $\dot{\Phi}_\Sigma$  и  $\dot{\Phi}_0$  – магнитные потоки в преобразователе при наличии образца и в его отсутствии;  $\dot{\Phi}_1$  – магнитный поток в воздушном зазоре между изделием и измерительной обмоткой;  $\dot{\Phi}_{20}$  – магнитный поток, пронизывающий сечение воздуха толщиной  $d$ ;  $\dot{\Phi}$  – магнитный поток непосредственно в изделии

Если использовать символический метод с учетом выражения (4), тогда формулу для  $\dot{\Phi}_{вн}$  запишем в виде:

$$\Phi_{вн} e^{j\omega t} e^{j\varphi_{вн}} = \Phi_{20} e^{j\omega t} - \Phi e^{j\omega t} e^{j\varphi}. \quad (5)$$

Причем магнитный поток в преобразователе без изделия  $\Phi_{20}$  можно определить по формуле:

$$\Phi_{20} = 2\mu_0 H_0 h d. \quad (6)$$

Если в (5) воспользоваться формулой Эйлера, тогда модуль  $\Phi_{вн}$  примет вид:

$$\Phi_{вн} = \sqrt{(\Phi_{20} - \Phi \cos \varphi)^2 + \Phi^2 \sin^2 \varphi}; \quad (7)$$

или после простых преобразований:

$$\Phi_{вн} = \sqrt{\Phi^2 + \Phi_{20}^2 - 2\Phi\Phi_{20} \cos \varphi}. \quad (8)$$

Исходя из соотношений (5) и (7), величина фазового угла  $\varphi_{вн}$  сдвига между  $\Phi_{вн}$  и  $\Phi_{20}$  определяется как:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{вн}} = -\frac{\Phi \sin \varphi}{\Phi_{20} - \Phi \cos \varphi}. \quad (9)$$

Считая угол  $\varphi$  достаточно малым, представим функции  $\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$  в виде разложения в ряды Тейлора:

$$\cos \varphi = 1 - \frac{\varphi^2}{2!} + \dots; \quad (10)$$

$$\sin \varphi = \varphi - \frac{\varphi^3}{3!} + \dots. \quad (11)$$

Используя формулы (6), (8), (10) и результаты работ [3, 4] при условии  $|\operatorname{tg} \varphi| \approx \varphi \approx \frac{1}{2} \frac{\mu_{\partial}}{\mu_r} X_d$  (причем обобщенный параметр  $X_d = d/\delta$  был введен в [3, 4] для облегчения расчетов, где  $\delta$  – глубина проникновения магнитного поля в образец), получим в общем случае выражение для амплитуды вносимого магнитного потока:

$$\Phi_{\text{вн}} = 2\mu_0 H_0 h d \sqrt{\left[ \mu_r \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{\mu_{\partial}}{\mu_r} X_d \right) - 1 \right]^2}. \quad (12)$$

Полученное выражение (12) после расчетов можно представить как:

$$\Phi_{\text{вн}} = 2\mu_0 H_0 h d (\mu_r - 1) \sqrt{1 - \left( \frac{\mu_{\partial}}{\mu_r - 1} X_d - \frac{1}{4} \frac{\mu_{\partial}^2}{(\mu_r - 1)^2} X_d^2 \right)}. \quad (13)$$

Выражение (13) с учетом малости второго слагаемого в круглых скобках под корнем по сравнению с единицей, представим в виде степенного ряда, ограничившись слагаемыми первого порядка, а именно:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{вн}} &= 2\mu_0 H_0 h d (\mu_r - 1) \left[ 1 - \left( \frac{\mu_{\partial}}{\mu_r - 1} X_d - \frac{1}{4} \frac{\mu_{\partial}^2}{(\mu_r - 1)^2} X_d^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &= 2\mu_0 H_0 h d (\mu_r - 1) \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{\mu_{\partial}}{\mu_r - 1} X_d - \frac{1}{4} \frac{\mu_{\partial}^2}{(\mu_r - 1)^2} X_d^2 \right) \right] = \\ &= 2\mu_0 H_0 h d (\mu_r - 1) \left[ 1 - \left( \frac{1}{2} \frac{\mu_{\partial}}{\mu_r - 1} X_d - \frac{1}{8} \frac{\mu_{\partial}^2}{(\mu_r - 1)^2} X_d^2 \right) \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Если учесть связь [1] между относительной магнитной восприимчивостью  $k$  и относительной магнитной проницаемостью  $\mu_r$ :

$$k = \mu_r - 1, \quad (15)$$

тогда намагниченность  $J$  материала образца рассчитывается как:

$$J = k H_0 = (\mu_r - 1) H_0, \quad (16)$$

Выражение для вычисления амплитуды вносимого магнитного потока  $\Phi_{\text{вн}}$  с учетом (15) и (16) через магнитные восприимчивости имеет вид:

$$\Phi_{\text{вн}} = 2\mu_0 J h d \left[ 1 - \left( \frac{1}{2} \frac{(k_{\partial} + 1)}{k} X_d - \frac{1}{8} \frac{(k_{\partial} + 1)^2}{k^2} X_d^2 \right) \right], \quad (17)$$

где  $k_{\partial}$  – дифференциальная магнитная восприимчивость материала образца;  $k_{\partial} = \mu_{\partial} - 1$ .

Учитывая результаты работ [3, 4] и ограничиваясь слагаемыми порядка  $X_d^2$ , т.к.  $X_d = d/\delta \ll 1$  и  $X_d^3 \ll 1$ , запишем формулу для вычисления фазы  $\varphi_{\text{вн}}$  магнитного потока в виде:

$$\varphi_{\text{вн}} = -\operatorname{arctg} \left( \frac{1}{2} \mu_{\partial} X_d + \frac{1}{2} \mu_r \mu_{\partial} X_d - \frac{1}{4} \frac{\mu_{\partial}^2}{\mu_r} X_d^2 - \frac{1}{16} \mu_{\partial}^2 X_d^2 \right) \quad (18)$$

или через относительную и дифференциальную магнитные восприимчивости:

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{вн}} &= -\operatorname{arctg} \left( \frac{1}{2} (k_{\partial} + 1) X_d + \frac{1}{2} (k + 1) (k_{\partial} + 1) X_d - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{4} \frac{(k_{\partial} + 1)^2}{(k + 1)} X_d^2 - \frac{1}{16} (k_{\partial} + 1)^2 X_d^2 \right). \end{aligned} \quad (19)$$

Используя выражение (14) с учетом

$$\Psi_{\text{вн}} = W_2 \Phi_{\text{вн}}, \quad (20)$$

где  $\Psi_{вн}$  – вносимое потокосцепление,

найдем выражение для интегральной (экспериментально полученной) намагниченности  $J_3$  в виде:

$$J_3 = \frac{\Psi_{вн}}{2W_2\mu_0hd} = J_\kappa \left[ 1 - \left( \frac{1}{2} \frac{\mu_\partial}{(\mu_r - 1)} X_d - \frac{1}{8} \frac{\mu_\partial^2}{(\mu_r - 1)^2} X_d^2 \right) \right] \quad (21)$$

или через магнитные восприимчивости как:

$$J_3 = J_\kappa \left[ 1 - \left( \frac{1}{2} \frac{(k_\partial + 1)}{k} X_d - \frac{1}{8} \frac{(k_\partial + 1)^2}{k^2} X_d^2 \right) \right]. \quad (22)$$

С учетом малости второго слагаемого в квадратных скобках формулы (21) по сравнению с 1, получим выражение для вычисления квазистатической намагниченности:

$$J_\kappa = J_3 \left[ 1 + \left( \frac{1}{2} \frac{(k_\partial + 1)}{k} X_d - \frac{1}{8} \frac{(k_\partial + 1)^2}{k^2} X_d^2 \right) \right], \quad (23)$$

отсюда методическая погрешность  $\gamma_{мн}$  определяется как:

$$\gamma_{мн} = \frac{1}{2} \frac{(k_\partial + 1)}{k} X_d - \frac{1}{8} \frac{(k_\partial + 1)^2}{k^2} X_d^2. \quad (24)$$

В общем случае, если задаться величиной допустимой погрешности  $\gamma_{м\partial}$ , тогда значение обобщенного параметра находят из условия (критерия) слабого затухания магнитного поля в слабомагнитном изделии

$$\gamma_{мн} = \frac{1}{2} \frac{(k_\partial + 1)}{k} X_d - \frac{1}{8} \frac{(k_\partial + 1)^2}{k^2} X_d^2 \leq \gamma_{м\partial}. \quad (25)$$

Отсюда, если ввести  $\gamma_{м\partial}$ , получим следующее квадратное уравнение

$$\frac{1}{8} \frac{(k_\partial + 1)^2}{k^2} X_d^2 - \frac{1}{2} \frac{(k_\partial + 1)}{k} X_d + \gamma_{м\partial} = 0, \quad (26)$$

решая которое, рассчитывается необходимый обобщенный параметр  $X_d$ .

Для упрощения расчета методической погрешности введем параметр  $\Delta'$ , который определяется следующим образом:

$$\Delta' = \frac{1}{2} \frac{(k_\partial + 1)}{k}. \quad (27)$$

Используя экспериментальную зависимость  $J_3 = f(H_0)$ , на практике вычисляют значение относительной магнитной восприимчивости  $k(H_0)$  как:

$$k(H_0) = \frac{J_3}{H_0}, \quad (28)$$

где  $J_3$  – экспериментальные значения намагниченности, взятые для фиксированных рабочих точек  $H_0$  кривой  $J_3 = f(H_0)$ .

А значение дифференциальной магнитной восприимчивости  $k_\partial(H_0)$  рассчитывают в виде:

$$k_\partial(H_0) = \frac{dJ_3}{dH_0} \approx \frac{J_{3i+1} - J_{3i}}{H_{0i+1} - H_{0i}}, \quad (29)$$

где  $J_{3i+1}$  и  $J_{3i}$  – последующее и предыдущее экспериментальные значения намагниченностей, соответствующие каждому шагу изменения напряженности магнитного поля от  $H_{0i}$  до  $H_{0i+1}$ ;

$H_{0i+1}$  и  $H_{0i}$  – последующее и предыдущее значение напряженности поля.

Таким образом, методика восстановления квазистатической кривой намагниченности слабомагнитного плоского образца для общего случая ( $k \neq const$ ) состоит в следующем:

1. По измеренной зависимости  $J_3 = f(H_0)$  рассчитывают значения  $k(H_0)$  и  $k_\partial(H_0)$  с помощью соотношений (28) и (29).

$J_s,$   
кА/м

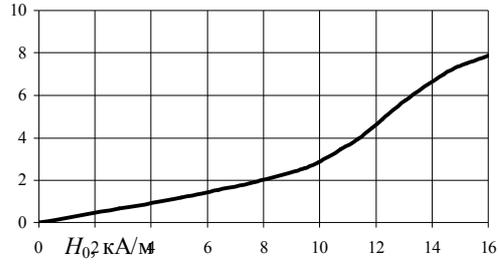


Рис. 1.

$k, k_d$

$k_d$

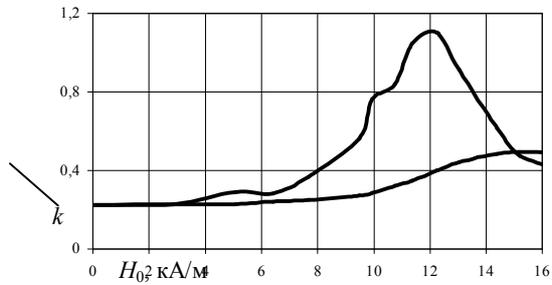


Рис. 2.

$\Delta'$

$H_0^*$

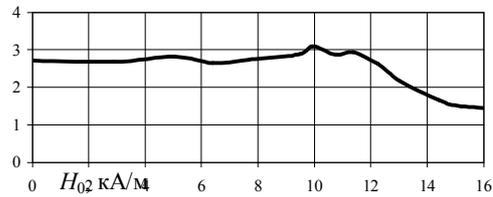


Рис. 3.

$J_s, J_k$   
кА/м

$J_k$

$J_s$

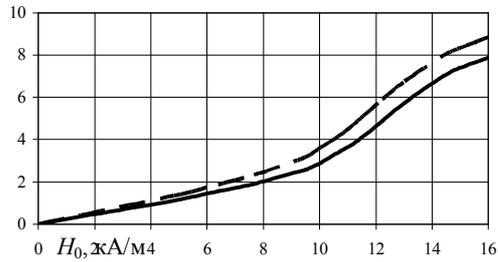


Рис. 4.

2. По формуле (24) находят методическую погрешность  $\gamma_{ми}$  для каждой рабочей точки кривой намагниченности  $J_s = f(H_0)$  при выбранном фиксированном значении обобщенного параметра  $X_d$  с заданной допустимой методической погрешностью  $\gamma_{мд}$  согласно критерия (25). Обобщенный параметр  $X_d$  определяют из решения уравнения (26).

3. Используя (23) проводят восстановление квазистатической кривой намагниченности  $J_k = f(H_0)$  на основании экспериментально полученной динамической кривой  $J_s = f(H_0)$  для слабомагнитного плоского образца.

На рис. 1 показана экспериментальная кривая намагниченности  $J_s = f(H_0)$  слабомагнитного плоского образца № 1, полученная на феррометрической установке с использованием рабочего и компенсационного преобразователей. Рис. 2 демонстрирует поведение относительной  $k$  и дифференциальной  $k_d$  восприимчивостей в зависимости от  $H_0$ . На рис. 3 представлен график зависимости  $\Delta' = f(H_0)$ , здесь же показано максимальное значение  $\Delta'_{max} = 3,09$  при  $H_0^* = 9,95$  кА/м. На рис. 4 приведены экспериментальная кривая намагниченности и восстановленная по методике квазистатическая зависимость  $J_k = f(H_0)$  при допустимой методической погрешности  $\gamma_{мд} = 0,25$ .

Параметры слабомагнитного образца № 1: материал – нержавеющая сталь типа X18H10T;  $d = 0,35 \cdot 10^{-3}$  м;  $h = 7 \cdot 10^{-3}$  м;  $l = 160 \cdot 10^{-3}$  м;  $\sigma = 0,135 \cdot 10^7$  См/м;  $k(H_0^*) = 0,285$ ;  $k_d(H_0^*) = 0,763$ . Испытания проводились при частоте  $f = 1000$  Гц. Напряженность  $H_0^*$  соответствует значению  $\Delta' = \Delta'_{max}$ .

Таким образом, в работе проведено теоретическое и практическое восстановление квазистатической кривой

намагниченности слабомагнитного плоского образца, выполненного из материала – нержавеющей сталь типа Х18Н10Т, на основании магнитных испытаний в переменном магнитном поле.

**Список литературы:** 1. Кифер И.И. Испытания ферромагнитных материалов. – М.: Энергия, 1969. – 360 с. 2. Испытание магнитных материалов и систем / Под ред. А.Я. Шихина. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 376 с. 3. Себко В.П., Игнатъева С.Н. Определение квазистатической кривой намагничивания слабомагнитных материалов // Сборник научных трудов ХГПУ "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье". – Вып. 6. – Ч. 2. – Харьков: ХГПУ. – 1998. – С. 292-294. 4. Себко В.П., Игнатъева С.Н. Восстановление квазистатических кривых намагничивания // Український метрологічний журнал. – Харків: ДНВО "Метрологія". – 1998. – Вип. 3. – С. 28-31.

УДК 620.179.111

**ГЛОБА С.Н.**, канд. техн. наук, доцент, НТУ "ХПИ" (г. Харьков);  
**ХОМЯК Ю.В.**, аспирант, НТУ "ХПИ" (г. Харьков);  
**ЗУБЕНКО С.П.**, магистр, НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

### **КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ДЕТАЛЕЙ КАПИЛЛЯРНЫМ ЦВЕТНЫМ МЕТОДОМ**

Описано особливості використання капілярного неруйнівного контролю, методи капілярного неруйнівного контролю, дефектоскопічні матеріали. Проаналізовано послідовність технологічних етапів проведення капілярного контролю. Проведено капілярний контроль кольоровим методом за допомогою дефектоскопічного набору NORD-TEST (HELLING GMBH) на зразку.

The features of leadthrough of nondestructive liquid penetrant method are described. Materials for fault detection are considered. The sequence of the technological stages of leadthrough of liquid penetrant method is analyzed. NORD-TEST (HELLING GMBH) was used. Object from steel was tested by a liquid penetrant method. There were natural and artificial surface cracks on this object.

Неразрушающий контроль позволяет своевременно найти и устранить причину возможных разрушений, диагностировать предаварийное состояние объектов контроля (ОК), а также гарантировать безопасную для человека и окружающей среды эксплуатацию технического объекта [1].

Капиллярный неразрушающий контроль (КНК) предназначен для обнаружения невидимых или слабовидимых невооруженным глазом поверхностных и сквозных дефектов в ОК, определения их расположения, протяженности (для дефектов типа трещин) и ориентации по поверхности. Этот вид контроля позволяет диагностировать объекты любых размеров и форм, которые изготовлены из черных и цветных металлов, сплавов, пластмасс, стекла, керамики, а также других твердых неферромагнитных материалов [1-5]. Например, изделия из ферромагнитных материалов обычно контролируют магнитопорошковым методом, который более чувствителен, но когда по условиям эксплуатации не допускается применять магнитопорошковый метод, тогда применяют КНК. Контроль капиллярным методом проводят до ультразвукового или магнитопорошкового.

КНК позволяет находить трещины в лопатках турбин двигателей самолета, в сварном шве газо- и нефтепровода. Обладая высокой чувствительностью (в пределе он может обнаружить трещины с раскрытием 0,1 мкм), капиллярный контроль не требует сложных и дорогостоящих технических средств, технология его сравнительно проста и дефектоскопические материалы вполне доступны.

Методы КНК подразделяются на два вида [1]:

1. Основные методы КНК, которые используют капиллярные явления.
2. Комбинированные методы КНК.

В зависимости от типа проникающего вещества существуют такие основные методы КНК [1-3]:

- 1) метод проникающих растворов – жидкостный метод КНК, основанный на использовании в качестве проникающего вещества жидкого индикаторного раствора;
- 2) метод фильтрующихся суспензий – жидкостный метод КНК, основанный на использовании в качестве жидкого проникающего вещества индикаторной суспензии.

В зависимости от способа выявления индикаторного рисунка основные методы КНК [1] делят на следующие:

- 1) люминесцентный – основан на регистрации контраста люминесцирующего видимого индикаторного рисунка на фоне поверхности ОК в длинноволновом УФ-излучении (в КНК люминесценцию используют как один из способов усиления контраста для визуального обнаружения индикаторных пенетрантов после проявления);
- 2) цветной – основан на регистрации контраста цветного индикаторного рисунка на фоне поверхности ОК в видимом излучении (является наиболее распространенным среди капиллярных методов НК);
- 3) люминесцентно-цветной – основан на регистрации контраста цветного или люминесцентного индикаторного рисунка на фоне поверхности ОК в видимом или длинноволновом УФ-излучении;
- 4) яркостный (ахроматический) – основан на регистрации контраста в видимом излучении ахроматического рисунка на фоне поверхности ОК.

При КНК применяют и используют капиллярные дефектоскопические материалы для пропитки, нейтрализации или удаления избытка проникающего вещества с поверхности и проявления его остатков с целью получения первичной информации о наличии несплошности в ОК. Основные дефектоскопические материалы – индикаторный пенетрант, проявитель, очиститель и гаситель [2]. Дефектоскопические материалы выбирают в зависимости от требований, которые предъявляются к ОК, состояния ОК, условий контроля и укомплектовывают в целевые наборы