Науковий журнал 5.2008

ВІСНИК

Хмельницького національного університету

Технічні науки

Хмельницький 2008

ВІСНИК

Хмельницького національного університету

Затверджений як фахове видання
Постановою президії ВАК України
від 19.01.2006 № 2-05/1 (бюл. ВАК № 2’2006 р.)

Засновано в липні 1997р. ***Виходить 6 разів на рік***

Хмельницький, 2008, №5 (117)

Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)

Головний редактор	**Скиба М. Є.,** заслужений працівник народної освіти України, д. т. н., професор, академік МАІ, УТА, ректор Хмельницького національного університету
Голова редакційної колегії	**Сілін Р. І.,** заслужений працівник народної освіти України, д. т. н., професор, академік МАІ, АІН, УТА України
Заступник головного редактора	**Каплун В. Г.**, д. т. н., професор**,** академік МАІ, УТА, проректор Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	**Гуляєва В. О.,** завідувач відділом інтелектуальної власності Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

д.т.н. Кіницький Я.Т., к.т.н. Баннова І.М., д.т.н. Гладкий Я.М., к.т.н. Домбровський А.Б., к.т.н. Драпак Г.М., д.т.н. Калда Г.С., д.т.н. Камбург В.Г., д.т.н. Ковтун В.В., д.т.н. Костогриз С.Г., д.т.н. Кузьменко А.Г., д.т.н. Локазюк В.М., д.т.н. Мазур М.П., к.т.н. Мандзюк І.А., д.т.н. Мичко А.А., д.т.н. Мясищев О.А., д.т.н. Параска Г.Б., д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Семенюк М.Ф., д.т.н. Славинська А.Л., д.т.н. Стечишин М.С., к.т.н. Троцишин І.В., д.т.н. Шевеля В.В., д.т.н. Либа В.П., д.ф-м.н. Качурик І.І.

Відповідальний редактор серії “Технічні науки” **Кіницький Я.Т.**, заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор, Хмельницький національний університет

Технічний редактор к. т. н. Горященко К. Л.
Редактор-коректор Броженко В. О.

Адреса редакції: **Україна, 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11, Хмельницький національний університет редакція журналу “Вісник Хмельницького національного університету”**

☎ **(8-03822) 2-51-08**

e-mail: **patent_1@beta.tup.km.ua**

web: **http://visniktup.narod.ru** **http://vestnik.ho.com.ua** **http://library.tup.km.ua/visnyk_tup.htm**

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року (перереєстровано)
Бюлетень ВАК №2, 2006

© Хмельницький національний університет, 2007
© Редакція журналу “Вісник Хмельницького національного університету”, 2007

2.4. Reduced allowable amplitude of the stress changes at the substitute temperature

A corrected allowable amplitude of the stress changes $\Delta\sigma^*$ for a considered element depends on the working environment conditions. This dependency is taken into account by f_3 coefficient. The particular value of f_3 depends on the minimum yield strength at the substitute temperature. In the considered case, the f_3 is set to a value of $f_3 = 1{,}0$. The corrected allowable amplitude of the stress changes is evaluated to $\Delta\sigma^* = 585{,}5$ [MPa]**.** It was calculated from the formula $\Delta\sigma^* = 2\sigma_a/f_3$ [MPa]. If the corrected allowable range of the stress changes at the substitute temperature $\Delta\sigma^*$ is greater or equal to doubled minimum yield strength $\sigma_{0,2\vartheta*}$, then the reduced allowable amplitude of the stress changes is evaluated from the formula $\Delta\sigma_{i1} = \sqrt{2\cdot\sigma_{0.2\vartheta^*}\cdot\Delta\sigma^*}$ [MPa]. In the considered case, the allowable amplitude is evaluated to $\Delta\sigma_{i1} = 509{,}6$ [MPa].

2.5. Stress in element descended from the working pressure

An element stress descended from the working pressure σ_{ip} is evaluated from the sequence of formulas:

$$\sigma_{ip} = \alpha_m(p)\cdot p\cdot\frac{d_m}{2\cdot s_b}\,[\text{MPa}]$$

$$\alpha_m(p) = \alpha_{m0}\cdot \mathrm{f}_4 + 2\cdot \mathrm{f}_u(p)$$

$$\mathrm{f}_u(p) = 1{,}5\cdot\frac{\frac{d_m}{s_b}}{1+0{,}455\cdot\left(\frac{p}{E_\vartheta}\right)\cdot\left(\frac{d_m}{s_b}\right)^3}\cdot\frac{U}{100}$$

Due to the ovality $U = 0$, the coefficient is set to $f_u\,(p) = 0$. Next, $f_4 = 1$ and $\alpha_{mo} = 3{,}2$ and this leads to $\alpha_m\,(p) = 3{,}2$. Thus, the stress in the element descended from the working pressure is evaluated to $\sigma_{ip} = 133{,}6$ MPa. The same procedure was utilised to calculate the stress descended from the maximum pressure. The evaluated stress is $\sigma_{ip\,max} = 133{,}6$ [MPa]. Obviously, the stress descended from the minimum pressure equals to $\sigma_{ip\,min} = 0$ [MPa].

2.6. Minimum and maximum stresses in the heating-cooling cycle

The steam flows through the considered gate valve. At the same time, the absolute quotient of the cooling rate at the beginning of the stopping phase to the heating rate at the beginning of the starting phase is assigned to $\gamma = 1{,}0$. Taking these facts into account, it is possible to evaluate the minimum stress in a cycle $\sigma_{i\,min} = -188{,}0$ [MPa] and the maximum stress in a cycle $\sigma_{i\,max} = 321{,}6$ [MPa]. These values are calculated from the following formulas:

$$\sigma_{i\min} = \sigma_{ip\min} + \frac{\sigma_{ip\max} - \sigma_{ip\min} - \Delta\sigma_i}{1-\gamma}\,[\text{MPa}]$$

$$\sigma_{i\max} = \Delta\sigma_i + \sigma_{i\min}\,[\text{MPa}]$$

2.7. Allowable difference of a temperature Δ_ϑ

The allowable difference of a temperature Δ_ϑ denotes a difference between the element's internal surface temperature and the element's wall average temperature. This allowable difference is evaluated according to four typical cases: the beginning of the starting, the end of the starting, the beginning of the stopping, the end of the stopping. For better simplicity of the formulas, the following coefficient W is introduced:

$$W = \frac{0{,}35}{\beta_{L\vartheta^*}\cdot E_{\vartheta^*}}\ [\text{K/MPa}].$$

where: $E_{\vartheta*}$ – Young's modulus at the substitute temperature, $\beta_{L\vartheta*}$ – thermal expansion ratio at the substitute temperature. The value of W equals to W = 0,125 [K/MPa].

In the beginning of the starting, the allowable difference of a temperature equals to $\Delta_{\vartheta 1} = -23{,}5$ [K]. This value is calculated from the following formula:

$$\Delta_{\vartheta 1} = W\cdot(\sigma_{i\min} - \sigma_{ip\min})\ [\text{K}].$$

where $\sigma_{i\,min}$ – minimum stress in a cycle, $\sigma_{ip\,min}$ – stress in the element descended from the minimum pressure.

At the end of the starting, the allowable difference of a temperature equals to $\Delta_{\vartheta 1'} = -40{,}2$ [K]. This value is calculated from the following formula:

$$\Delta_{\vartheta 1'} = W\cdot(\sigma_{i\min} - \sigma_{ip\max})\ [\text{K}].$$

where $\sigma_{ip\,max}$ – stress in the element descended from the maximum pressure.

In the beginning of the stopping, the allowable difference of a temperature equals to $\Delta_{\vartheta 2} = 23{,}5$ [K]. This value is calculated from the following formula:

$$\Delta_{\vartheta 2} = W\cdot(\sigma_{i\max} - \sigma_{ip\max})\ [\text{K}].$$

where $\sigma_{i\,max}$ – maximum stress in a cycle.

At the end of the stopping, the allowable difference of a temperature equals to $\Delta_{\vartheta 2'} = 40{,}2$ [K]. This value is calculated from the following formula:

$$\Delta_{\vartheta 2'} = W\cdot(\sigma_{i\max} - \sigma_{ip\min})\ [\text{K}].$$

УДК 621.382

В.С. ОСАДЧУК, Л.В. КРИЛИК, М.В.ЄВСЄЄВА, О.С. ЗВЯГІН
Вінницький національний технічний університет

ЄМНІСНИЙ СЕНСОР ВОЛОГОСТІ

Розроблено математичну модель ємнісного сенсора вологості, яка описує зміну ємності від кількості адсорбованої водяної пари для газового середовища. Вологомір являє собою систему V-подібних та трапецієподібних електродів, яка закріплена між двома діелектричними кільцями. На основі геометрії ємнісного сенсора вологості та природи солі $BaCl_2$ захищеної вологопоглинаючою плівкою поліметилметакрилату, отримано аналітичні залежності ємності структури від дії вологи.

Вступ

На даний час вимірювальна техніка постійно удосконалюється. Це насамперед пояснюється ускладненням проблем та задач, що вирішуються в різноманітних сферах наукових досліджень. Сучасні напрямки технології мікроелектроніки дають змогу випускати широкий клас первинних перетворювачів для виміру параметрів навколишнього середовища, значну групу яких складають перетворювачі вологості. Оскільки рівень вологості істотно впливає на хід технологічних процесів в технології мікроелектроніки та в різноманітних галузях індустрії, тому створення даного класу перетворювачів вологості є актуальною технічною задачею. Широке використання перетворювачів вологості ємнісного типу на основі гігроскопічних солей пояснюється їх простотою у використанні та низькою собівартістю [1, 2].

Раніше нами досліджено ємнісний сенсор вологості гребінцевої структури на основі полімерних матеріалів [3]. З метою збільшення відносної вологості газового середовища та активної поверхні сенсора за об'єкт дослідження обрано вологочутливий елемент, схема якого показана на рис. 1. Така структура сенсора вологості використовувалася авторами [4] для визначення вмісту води в нафтопродуктах.

Ємнісний сенсор вологості (рис. 1) являє собою систему V-подібних та трапецієподібних електродів, яка закріплена між двома діелектричними кільцями, причому пластини трапецієподібної форми з'єднані парами таким чином, щоб у місці прилягання пластин кожної пари зазор між пластинами був відсутній. Використання пластин трапецієподібної форми дозволяє створити жорстку конструкцію системи електродів з великою площею перерізу, що в свою чергу підвищує чутливість пристрою [4].

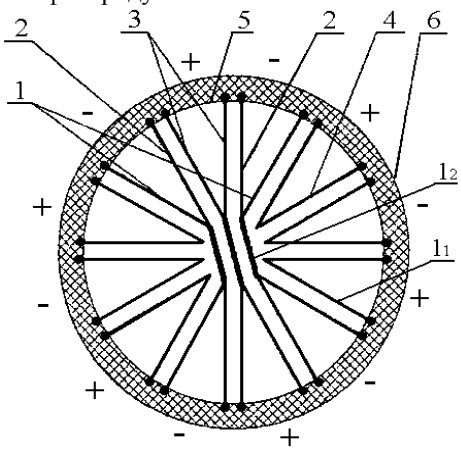

Рис. 1. Переріз ємнісного сенсора вологості [4]

Ємнісний сенсор вологості складається з системи електродів 1, 2, 3, 4. Система електродів жорстко закріплена між двома діелектричними кільцями 5,6. Довжина системи електродів ємнісного сенсора складає 800 мм. Діаметр зовнішнього кільця складає 100 мм, а внутрішнього – 85 мм. Простір між кільцями заповнений компаундом. Електроди вкриті вологочутливою плівкою, яка має двошарову структуру, нижнім шаром, якої є гігроскопічна сіль, а верхнім – полімер. Для створення вологочутливої плівки використовувався розбавлений розчин солі $BaCl_2$, яка наносились на поверхню конденсатора пульверизатором на відстані 20 – 30 см в три покриття. На отримане вологочутливе покриття наносився захисний шар поліметилметакрилату.

Пристрій працює наступним чином. Під час руху газового потоку через ємнісний вимірювальний перетворювач газ заповнює простір між електродами позитивної та негативної полярності. Це викликає зміну діелектричної проникності, що призводить до зміни ємності сенсора вологості.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Якщо матеріал складається із суміші компонентів з різним ε, то загальну поляризацію матеріалу можна знайти як суму поляризацій компонентів [3]. У нашому випадку вологочутливий шар відноситься до структурованих сумішей. Його першим шаром є суміш проміжного типу, тобто зволожена сіль лужно-земельного металу, властивості якої задовільно описуються емпіричним рівнянням [5]

$$\lg \varepsilon_{СПТ} = V_1^a \lg \varepsilon_1 + \left(1 - V_1^a\right) \lg \varepsilon_2, \qquad (1)$$

де $a = 0,5 \div 1$, V_1 – об'ємна доля сухого компоненту (солі), ε_1 – діелектрична стала сухого компоненту, $(1 - V_1^a)$ – об'ємна доля води, ε_2 – діелектрична стала води.

Завдяки зміні коефіцієнта *a* дане рівняння охоплює усі типи неупорядкованих сумішей.

Знайдемо об'ємні долі компонентів, тобто $V_{доля\ \text{солі}}$, а також $V_{доля\ H_2O}$, для цього визначимо загальний об'єм, який займають ці речовини, тобто

$$V_{H_2O} + V_{солі} = V_{заг}, \tag{2}$$

$$V_{долясолі} = \frac{V_{солі}}{V_{заг}}, \tag{3}$$

$$V_{доляH_2O} = \left(1 - V^{a}_{долясолі}\right), \tag{4}$$

$$V_{солі} = S \cdot \sigma_{солі}, \tag{5}$$

$$S = (12l_1 + 2l_2) \cdot h, \tag{6}$$

де S – площа активної поверхні ємнісного сенсора, мм^2, $\sigma_{солі}$ – товщина сольового покриття, мкм, h, l_1, l_2 – величини, які враховують геометрію електродів, мм.

Визначимо об'єм води V_{H_2O}

$$V_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}, \tag{7}$$

де m_{H_2O} – маса води, г, ρ_{H_2O} – густина води, г·см$^{-3}$.

$$m_{H_2O} = \chi G, \tag{8}$$

$$\chi = \delta \frac{p_v}{P - p_v}, \tag{9}$$

$$G = \frac{273{,}2 \cdot PM_{П} V}{101{,}325 \cdot 22{,}4 \cdot (273{,}2 + T)} = \frac{0{,}1204 \cdot PM_{П} V}{273{,}2 + T}, \tag{10}$$

де χ – величина, яка враховує зв'язок між масовим відношенням вологи і тиском пари [6], G – маса сухого повітря, г [7], $\delta = \frac{M_{H_2O}}{M_{П}}$ – відносна маса водяної пари по відношенню до сухого повітря при однакових тисках і температурах, $M_{H_2O} = 18{,}015$, $M_{П} = 29$ – молярні маси водяної пари та сухого повітря, г/моль, p_v – парціальний тиск пари при температурі T, Па, P – тиск повітря 101,325 кПа (760 мм рт.ст.).

Температура вологого термометра і тиск пари пов'язані таким виразом [5]

$$p_v = p_s - AP(T - T_w), \tag{11}$$

$$A = \frac{c_{pП}}{\delta L_{T_w}} \cdot \frac{P - p_s}{P}, \tag{12}$$

де p_s – тиск насиченої пари при температурі T, Па, A – психрометрична стала, яка при T_w=20^{0}C становить 0,00064, T – температура навколишнього середовища, ^{0}C, T_w – температура вологого термометра, ^{0}C, $c_{pП}$ – питома теплоємність сухого повітря (1,006 кДж/кг при T=20 ^{0}C), L_{T_w} – прихована теплота пароутворення при температурі вологого термометра T_w, кДж/кг, V – об'єм, який займає дана маса газу, дм^3.

Вираз (11) підставимо в (9) і отримаємо співвідношення [6]

$$\chi = \delta \cdot \left(\frac{p_s - AP(T - T_w)}{P - (p_s - AP(T - T_w))} \right). \tag{13}$$

З врахуванням (8) та значення ρ_{H_2O} визначимо об'єм води

$$V_{H_2O} = \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}. \tag{14}$$

Тоді $V_{заг}$ визначиться як

$$V_{заг} = S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}. \tag{15}$$

У цьому випадку вираз (3) з врахуванням (5) та (15) набуде вигляду

$$V_{доля\ солі} = \frac{S \cdot \sigma_{солі}}{S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}}. \tag{16}$$

Загальний вираз для визначення діелектричної сталої суміші проміжного $\varepsilon_{СПТ}$ типу має вигляд

$$\lg \varepsilon_{СПТ} = V^{a}_{долясолі} \lg \varepsilon_{солі} + k\left(1 - V^{b}_{долясолі}\right)\chi \lg \varepsilon_{H_2O}, \tag{17}$$

де $a = 0,5 \div 1$, $b = 0,5 \div 1$ при умові, що $a < b$, $k = 1 \div 5$.

З врахуванням (4), (9), (13) та (16) вираз (17) набуває вигляду

$$\lg \varepsilon_{СПТ} = \left(\frac{S \cdot \sigma_{солі}}{S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}}\right)^{a} \cdot \lg \varepsilon_{солі} + k \cdot \left(1 - \left(\frac{S \cdot \sigma_{солі}}{S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}}\right)^{b}\right) \times$$
$$\times \delta \cdot \left(\frac{p_S - AP(T - T_w)}{P - (p_S - AP(T - T_w))}\right) \cdot \lg \varepsilon_{H_2O} \tag{18}$$

Другий шар – шар поліметилметакрилату, що є сумішшю матричного типу з дискретно розподіленими мікрочастинками вологи.

Для матричних сумішей часто застосовується формула Одєлєвського [3, 5]

$$\varepsilon_{матр} = \varepsilon_{пол} \cdot \left(1 + \frac{V_{доляH_2O}}{\frac{1 - V_{доляH_2O}}{3} + \frac{\varepsilon_{пол}}{\varepsilon_{H_2O} - \varepsilon_{пол}}}\right), \tag{19}$$

де $\varepsilon_{пол}$ – діелектрична стала поліметилметакрилату, ε_{H_2O} – діелектрична стала води, $V_{доляH_2O}$ – об'ємна доля води.

Тепер перейдемо до визначення об'ємних долей компонентів, тобто $V_{доля\ H_2O}$, для цього визначимо загальний об'єм $V_{заг}$, який займають ці речовини, тобто

$$V_{пол} + V_{H_2O} = V_{заг}, \tag{20}$$

$$V_{доляпол} = \frac{V_{пол}}{V_{заг}}, \tag{21}$$

$$V_{пол} = S_{пол} d_{пол}, \tag{22}$$

де $S_{пол}$ – площа поліметилметакрилату, $d_{пол}$ – товщина шару поліметилметакрилату,

$$V_{доляH_2O} = (1 - V_{доляпол}). \tag{23}$$

З врахуванням (20), (21), (22) і (23) вираз (19) набуває вигляду

$$\varepsilon_{матр} = \varepsilon_{пол} \cdot \left(1 + \frac{\left(1 - \frac{S_{пол} d_{пол}}{S_{пол} d_{пол} + V_{H_2O}}\right)}{1 - \frac{\left(1 - \frac{S_{пол} d_{пол}}{S_{пол} d_{пол} + V_{H_2O}}\right)}{3} + \frac{\varepsilon_{пол}}{\varepsilon_{H_2O} - \varepsilon_{пол}}}\right). \tag{24}$$

Для розрахунку ємності даної структури, яка являє собою систему плоских конденсаторів, враховуючи діелектричну сталу суміші проміжного типу та суші матричного типу скористаємось формулою

$$C = \frac{(\varepsilon_{СПТ} + \varepsilon_{матр}) \cdot (12 l_1 + 2 l_2) \cdot \varepsilon_0 \cdot h}{d}, \tag{25}$$

де ε_0 – діелектрична стала вакууму, Ф/м, l_1, l_2, h – величини, які враховують геометрію конденсатора, мм, d – відстань між обкладками конденсатора, мм.

З врахуванням виразів (18) і (24) вираз (25) набуває вигляду

$$C = \left[\left(\frac{S \cdot \sigma_{солі}}{S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}} \right)^a \cdot \lg \varepsilon_{солі} + \varepsilon_{пол} \cdot \left(1 + \frac{\left(1 - \frac{S_{пол} d_{пол}}{S_{пол} d_{пол} + V_{H_2O}} \right)}{1 - \frac{\left(1 - \frac{S_{пол} d_{пол}}{S_{пол} d_{пол} + V_{H_2O}} \right)}{3} + \frac{\varepsilon_{пол}}{\varepsilon_{H_2O} - \varepsilon_{пол}}} \right) + \right. \times$$

$$\left. + \delta \cdot k \cdot \left(\frac{p_S - AP(T - T_w)}{P - (p_S - AP(T - T_w))} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{S \cdot \sigma_{солі}}{S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}} \right)^b \right) \cdot \lg \varepsilon_{H_2O} \right] \times \frac{\varepsilon_0 h \cdot (12 l_1 + 2 l_2)}{d}. \quad (26)$$

Згідно з виразом (26) була розрахована ємність вологочутливого ємнісного елементу на основі гігроскопічної солі $BaCl_2$, та для двошарової структури $BaCl_2$ -поліметилметакрилат за допомогою пакету прикладних програм "Matlab 5.2". На рис. 2. показані теоретична та експериментальна залежності ємності вологочутливого елементу на основі гігроскопічної солі та двошарової структури від зміни відносної вологості повітря в діапазоні від 30 до 100 %.

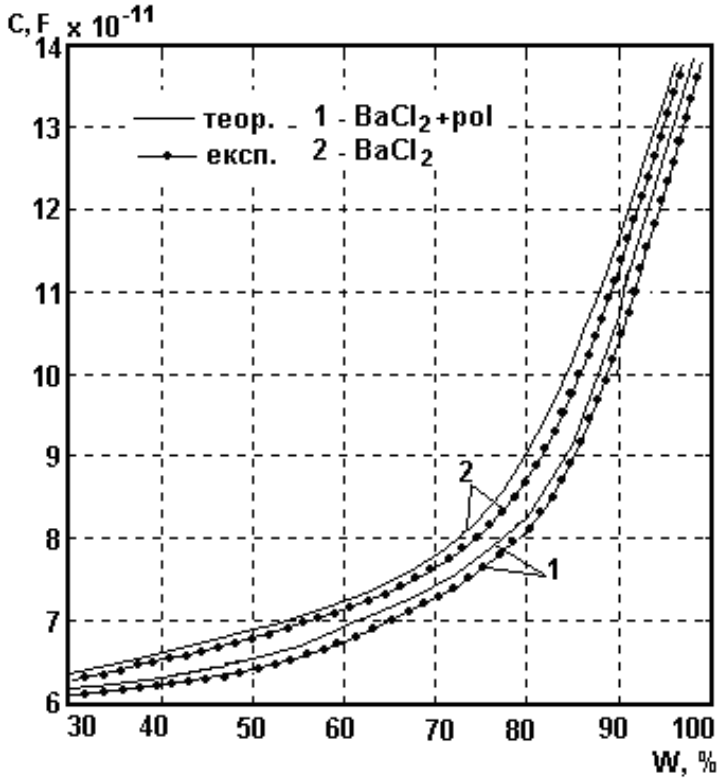

Рис. 2. Експериментальна та теоретична залежності зміни ємності від відносної вологості навколишнього середовища ємнісного сенсора вологості на основі $BaCl_2$ та двошарової структури

Як видно із графіка, теоретичні та експериментальні залежності мають добрий збіг. Адекватність математичної моделі можна оцінити за допомогою відносної похибки, яка складає ±5 %.

Висновки

Розроблено математичну модель ємнісного сенсора вологості, що описує зміну ємності від кількості адсорбованої водяної пари для газового середовища. Вологомір являє собою систему V-подібних та трапецієподібних електродів з гідрофільним покриттям, яка закріплена між двома діелектричними кільцями. На основі геометрії ємнісного сенсора вологості та природи солі $BaCl_2$ захищеної вологопоглинаючою плівкою поліметилметакрилату, отримано аналітичні залежності ємності структури від дії вологи. Експериментальні дослідження показали, що створення захисного шару, в якості полімерного покриття з метою запобігання випадіння точки роси, зменшує діапазон зміни ємності. Розбіжність теоретичних та експериментальних

досліджень складає ±5 %.

Література

1. Подлепецкий Б.И., Симаков А.Б. Микроэлектронные датчики влажности // Научно – технический сборник. Зарубежная электронная техника. – 1987. – № 2 (309). – С. 64 – 97.

2. Виглеб Т. Датчики: Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 196 с.

3. Ємнісний сенсор вологості гребінцевої структури на основі полімерних матеріалів / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Крилик Л. В., Євсєєва М. В. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 2 (12). – С. 229-234.

4. Пат. 51222 Україна, МКІ G 01 N 27/22. Ємнісний датчик вологості / О. В. Заболотний,

5. В. А. Заболотний, М. Д. Кошовий (Україна). – № 2001107200; Заяв. 04. 02. 2002. Опубл. 15. 10. 2004. Бюл. № 10.

6. Бугров А.В. Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества. – М.: Машиностроение, 1982. – 94 с.

7. Аш Ж. Датчики измерительных систем. В 2-х книгах. – М.: Мир, 1992. – 424с.

8. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. Краткий справочник по Химии. – К.: Наукова думка, 1974. – 992 с.

Надійшла 15.9.2008 р.

УДК 621.78/ (66.088+537.52+66.046)

І.М. ПАСТУХ, О.С. ЗДИБЕЛЬ
Хмельницький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ АЗОТУВАННЯ ХРОМИСТИХ СТАЛЕЙ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Проаналізовані результати експериментальних досліджень азотування сталей з високим вмістом хрому в тліючому розряді. Проведено співставлення аналізу з розробленою енергетичною моделлю процесу.

Постановка задачі. Вакуумно-дифузійна газорозрядна технологія модифікації металевих поверхонь азотуванням в тліючому розряді серед більш ніж сотні відомих типів процесів аналогічного призначення цілком виправдано відноситься до технологій універсального застосування, оскільки вона може використовуватись як для деталей машин – пар тертя, так і для оброблювального інструменту, штампів, ливарних та пресформ, оснащення тощо. При цьому окрім підвищення зносостійкості, поверхневої міцності, покращення інших показників працездатності забезпечується в певній мірі корозійна стійкість та інші позитивні результати. Практика азотування в тліючому розряді (АТР) показала, що цей вид обробки може застосовуватись практично для всіх видів конструкційних та інструментальних сталей, чавунів і навіть – твердого сплаву. Проте існує група матеріалів, котрі умовно назвемо азотоактивними, для яких найбільш часто використовувані параметри технологічного режиму АТР малопридатні, бо не забезпечують прийнятних кінцевих результатів. До них відносяться, напиклад, титанові та алюмінієві сплави, а також сталі з високим вмістом хрому. Причому складність азотування в тліючому розряді таких сталей спостерігається не тільки при традиційній полярності, коли деталь є катодом, але й при зворотній – деталь є анодом. Подібні експерименти проводились з метою дослідження і уточнення моделі АТР [1, 2], оскільки в деяких відомих роботах [3] в категоричній формі стверджується, що АТР при зворотній полярності принципово неможливе.

У згаданих вище експериментах зразки з різних сталей оброблялися за технологічними режимами, опис яких наведено в табл. 1, структурний аналіз поверхневих шарів – в табл. 2. В усіх експериментах застосовувалося газове середовище, в якому об'ємний вміст азоту становить 75 %, аргону – 25 %.

Таблиця 1

Технологічні режими азотування зі зворотною полярністю

№	Характеристика режиму
1	Очищення катодним бомбардуванням при тиску 0,01 тора й напрузі 1100 В, тиск газу 0,4 тора, температура деталі 560˚С, час азотування 360 хвилин, густина струму 11,7 А/м^2, міжелектродний потенціал 335 В
2	Аналогічно режиму 1, але очищення катодним бомбардуванням деталі, попередньо нагрітої до температури 400˚С
3	Аналогічно режиму 1, але робочий тиск 0,9 тора, густина струму 31,9 А/м^2
4	Аналогічно режиму 1, але очищення катодним бомбардуванням деталі, попередньо нагрітої до температури 500˚С, робочий тиск 0,9 тора, густина струму 31,9 А/м^2
5	Аналогічно режиму 1, тиск 2 тора, міжелектродний потенціал 340-350 В, густина струму 46,8 А/м^2
6	Аналогічно режиму 1, тиск 0,9 тора, міжелектродний потенціал 330-360 В, густина струму 37,2-42,6 А/м^2
7	Аналогічно режиму 1, тиск 0,4 тора, міжелектродний потенціал 330-380 В, густина струму 31,9-37,2 А/м^2