



UNIVERSITATEA DE STAT „ALECU RUSSO” DIN BĂLȚI

ISSN 1857-0437

FIZICĂ ȘI TEHNICĂ: **procese, modele, experimente**

**Revistă științifică a profilului de cercetare
„Fizica și tehnologia mediilor materiale”**

1
2013

Bălți

Fondatorul: Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți

Anul fondării: 2006

Colegiul de redacție:

Pavel Topală, dr. hab., prof., **redactor-șef**, Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, Republica Moldova

Ion Tighineanu, academician, Academia de Științe a Moldovei

Valeriu Canțer, academician, Academia de Științe a Moldovei

Leonid Culiuc, academician, Academia de Științe a Moldovei

Alexandr Dikusar, membru corespondent, Academia de Științe a Moldovei

Petru Stoicev, dr. hab., prof., Universitatea Tehnică a Moldovei

Alexandr Mihailov, dr. hab., prof., Universitatea Tehnică din Donețk, Ucraina

Nicolai Zaicenco, dr. hab., prof., Academia Națională de construcție și arhitectură din Donbas, Ucraina

Dumitru Nedelcu, dr. ing., prof., Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi”, Iași, România

Makio Naito, dr. ing., prof., Universitatea din Osaka, Japonia

Alexandar Makedonski, dr. ing., prof., Universitatea Tehnică din Sofia, Bulgaria

Andrzej Wrobel, dr. ing., Universitatea Tehnologică din Silezia, Gliwice, Polonia

Valeriu Ureadov, dr. hab., Institutul de Radiofizică, Nijnii Novgorod, Rusia

Laurențiu Slătineanu, dr. ing., prof., Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi”, Iași, România

Gheorghe Popa, dr., prof., Universitatea „Alexandru Ioan Cuza”, Iași, România

Vasile Șaragov, dr. hab., conf., Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, Republica Moldova

Valeriu Dulgheru, dr. hab., prof., Universitatea Tehnică a Moldovei

Alexandru Balanici, dr., conf., Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, Republica Moldova

Valeriu Guțan, dr., conf., Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, Republica Moldova

Alexandr Ojegov, dr., lect., **secretar științific**, Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, Republica Moldova

Tehnoredactare:

Alexandr Ojegov, dr., lect., Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți

Design și aspectul paginii de titlu:

Alexandr Ojegov, dr., lect., Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți

Redactori:

Ala Sainenco, dr., conf., Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți

Elena Sirota, dr., conf., Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți

Iulia Ignatiuc, dr., conf., Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți

Adresa redacției: Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți,

str. Pușkin 38, 3100, Bălți, Republica Moldova

Tel.: (231)52368, fax: (231)52439

E-mail: libruniv.usarb.md/publicatie/fizteh.htm

Tiparul:

Tipografia Indigou Color

© Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți

Presa universitară bălțeană, 2013

ISSN 1857-0437

CUPRINS

Mozgovi A.V. Determinarea parametrilor de dispersarea energiei mecanice cu tijă de trei straturi prin problemele directă și inversă.....	5
Nedybaliuc A.F., Atamaniuc V.V., Mozgovi A.V., Biliuc A.I. Influența revenirii asupra descompunerii austenitei reziduale în oțeluri după călire.....	10
Titov V.A., Zlochevskaya N.C., Lamashevskii V.P. Unele regularități de formare ale structurii și proprietăților mecanice a aliajelor multifazice în condiții de deformare plastică intensivă.....	14
Șaragov V.A., Duca Gh.Gh., Burcovschi I.A., Lîsenco G.A. Analiza termodinamică a posibilității de dezalcalinizare ale sticlelor industriale cu dioxid de carbon.....	20
Băncilă S.N. Studiul conductivității electrice a metalelor lichide.....	24
Băncilă S.N. Studiul proprietăților termice ale metalelor prin metoda undelor radiale de temperatură.....	27
Pereteatcu P., Cračan C. Influența proprietăților magnetice ale electrozilor de prelucrare asupra procesului alierii prin scînteii electrice în câmp magnetic.....	30
Beșliu V., Topala P. Noi aplicații ale descărcărilor electrice în impuls cu utilizarea electrozilor – sculă din grafit.....	34
Topala P., Rusnac V., Guzman D., Pleșco I., Ojegov A. Cercetări experimentale privind extragerea meniscurilor conice de pe suprafețele metalice și oxidarea acestora cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls.....	40
Korobko I.V., Pisarets A.V. Studiul erorii a traductorilor de debit cu turbină.....	44
Exigențe privind prezentarea lucrărilor științifice pentru revista „Fizică și tehnică: procese, modele, experimente”.....	49
Exigencies concerning the presentation of scientific works for the journal „Physics and engineering: processes, models, experiments”.....	52

CONTENTS

Mozgovoi A.V. Determination of the parameters of a three-layer rod dissipation of mechanical energy through direct and inverse problems.....	5
Nedybaliuc A.F., Atamaniuc V.V., Mozgovoi A.V., Biliuc A.I. The influence of releasing on the decay of retained austenite in steels after tempering.....	10
Titov V.A., Zlochevskaya N.C., Lamashevskii V.P. Some regularities of the formation of structure and mechanical properties of multiphase alloys in conditions of intensive plastic deformation.....	14
Sharagov V.A., Duca Gh.Gh., Burcovschi I.A., Lysenko G.A. Thermodynamic analysis of possibility of dealkalization of industrial glasses by carbon dioxide.....	20
Bancila S.N. Study of electrical conductivity of liquid metals.....	24
Bancila S.N. Study of thermal properties of metals by the method of radial temperature waves.....	27
Pereteatcu P., Cracan C. The influence of magnetic properties of the work electrodes on the electro-spark alloying process in the magnetic field.....	30
Beșliu V., Topala P. New applications of electrical discharges in impulse using graphite tool-electrodes.....	34
Topala P., Rusnac V., Guzman D., Pleșco I., Ojegov A. Experimental investigations aimed at the extraction of conical meniscuses from the metal surfaces and their oxidation by applying electrical discharges in impulse.....	40
Korobko I.V., Pisarets A.V. The study of the error of turbine flow transducers.....	44
Exigențe privind prezentarea lucrărilor științifice pentru revista „Fizică și tehnică: procese, modele, experimente”.....	49
Exigencies concerning the presentation of scientific works for the journal „Physics and engineering: processes, models, experiments”.....	52

УДК 539.374:539.67:534.282

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАССЕЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ТРЕХЛОЙНЫМ СТЕРЖНЕМ ПОСРЕДСТВОМ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧ

Мозговой А.В.

Винницкий государственный педагогический университет имени Михаила Коцюбинского,
21100, Острожского, 32, Винница, Украина
e-mail: mozgovyj@yandex.ua

Sunt examinate problema directă și inversă de determinare a parametrilor de disipare a energiei mecanice cu ajutorul barei cu trei straturi, precum și parametrii inițiali ai barei utilizate. Metoda propusă permite determinarea randamentului procesului tehnologic de confecționare a organelor de mașini.

Cuvinte-cheie: problemă directă, problemă inversă, bară cu trei straturi, disipare, organe de mașini.

The direct and inverse problems of determining the parameters of a three-layer rod dissipation of mechanical energy and rod's input characteristics are examined. The proposed method allows to determine the efficiency of technological processes of manufacturing of machine parts.

Keywords: direct problem, inverse problem, three-layer rod, dissipation, machine parts.

ВВЕДЕНИЕ

Использование современных технологий значительно улучшило эксплуатационные свойства конструкционных материалов. Особую роль при этом играют физико-химические процессы, происходящие в материале и его поверхностных слоях. Значительная часть научных исследований посвящена изучению этих процессов, происходящих при изготовления деталей и их эксплуатации. При этом используются различные методы, методики, разработан ряд теорий. Обеспечить надежную работу деталей и механизмов возможно при наличии реального прогноза поведения материала или детали в условиях, соответствующих режимам их эксплуатации.

Одним из структурно-чувствительных экспериментальных методов исследований является метод, в основу которого положено рассеяние механической энергии при свободных механических колебаниях. Теоретическая методика оценки эффективности технологических процессов, физико-механических характеристик используемых материалов возможна при наличии адекватной математической модели.

В работе исследованы свободные затухающие колебания трехслойных

стержней в зависимости от модулей упругости, декрементов колебания каждого слоя, форм колебаний и конструктивных размеров.

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одной из ответственных деталей в авиационных газотурбинных двигателях (ГТД) является пустотелый вал вентилятора. В технологическом процессе изготовления в современных условиях используется финишная обработка – поверхностное пластическое деформирование алмазным наконечником. В работах [1-4] рассмотрены общие закономерности формирования физико-механических и структурных свойств поверхностного слоя валов ГТД.

После обработки выглаживанием металл стенки вала имеет три зоны. Их можно рассматривать как условные слои с разными механическими свойствами. Два внешних слоя упрочнены поверхностным деформированием, средний слой имеет большую пластичность и меньший модуль упругости по сравнению с поверхностными слоями.

В работах [5-7] представлены исследования влияния режимов алмазного выглаживания на рассеяние энергии механических колебаний инфра- и звуковой частоты стали 07X12H2МБФ. Показано, что при изменении температуры

и амплитуды деформации свободные крутильные затухающие колебания чувствительны к структурным изменениям в материале, в том числе, при разных усилиях прижима алмазного наконечника к поверхности детали.

На температурных зависимостях внутреннего трения наблюдаются небольшие пики и перегибы как в низкотемпературной, так и в высокотемпературной областях.

Увеличение и уменьшение амплитуды деформации в процессе измерения амплитудной зависимости внутреннего трения приводит к появлению гистерезиса хода кривых, появление и площадь которого зависит от амплитуды деформации и предварительной термомеханической обработки.

В работе [8] исследовано влияние режимов алмазного выглаживания на характер затухающих колебаний стержней, временные зависимости величины амплитуды, частоты и декремента колебаний.

Теория рассеяния механической энергии в материалах рассмотрена в работах Я.Г. Пановка, Г.С. Писаренка, Е.С. Сорокина, В.В. Хильчского, В.Г. Дубенца. Методы нелинейной механики используют при анализе колебаний, учитывая рассеяние энергии. Аналитические методы разработаны в работах Г.С. Писаренка, М.В. Василенка, В.В. Матвеева и других.

Сложное влияние технологических факторов на эксплуатационные свойства материалов и деталей механизмов возможно исследовать с помощью математической модели, разработанной для трехслойного стержня.

Стенки вала ГТД рассматриваются как трехслойные, со слоями, имеющими близкие модули упругости. Модель базируется на гипотезе плоских сечений. Использованы модели слоистых стержней, рассмотренные в работе В.В. Хильчского и В.Г. Дубенца [9].

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОНСОЛЬНОГО СТЕРЖНЯ С ТРЕМЯ СЛОЯМИ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ

Рассмотрим трехслойный стержень со слоями разной толщины и разными механическими свойствами. Примером может служить стержень, вырезанный из вала ГТД вдоль оси вала, который прошел полный технологический цикл изготовления.

Материал вала не идеально упругий. Модуль упругости для каждого слоя представляется комплексной величиной. Комплексную часть определим по формуле для декрементов затухания каждого слоя: $\delta = \pi \frac{E_k}{E_d}$. Отсюда модуль

Юнга будет определяться по формуле $E = E_d + E_k \cdot i$.

Для определения собственных форм и частот на выбранных формах трехслойного стержня примем: $i = \sqrt{-1}$, $A_1 = 10^{-2}$, $J = 10^{-5}$, $\nu = 0,25$, плотность материала - $\rho = 7,8 \cdot 10^3$. Значение декрементов для среднего и внешних слоев, соответственно, равны: $\delta_1 = 0,002568$ и $\delta_2 = 0,000494$. Модули упругости тогда будут иметь значения: $E_1 = 2,08 \cdot 10^{11} + 0,17 \cdot 10^{09} \cdot i$ для среднего и $E_2 = 3,18 \cdot 10^{11} + 0,05 \cdot 10^{09} \cdot i$ для внешних слоев. Тогда $G_1 = \frac{E_1}{(1+\nu) \cdot 2}$, $G_2 = \frac{E_2}{(1+\nu) \cdot 2}$,

$$\lambda_1 = 2\nu \frac{G_1}{(1-2\nu)}, \lambda_2 = 2\nu \frac{G_2}{(1-2\nu)}.$$

Количество элементов примем 15. Размеры конечного элемента стержня будут: $a = 0,18 \cdot 10^{-3}$, $b = 0,23 \cdot 10^{-3}$, длина рабочей части стержня - $L = 0,03$.

Коэффициенты аппроксимации определяются формулами: $\beta_1 = \frac{4}{3L}$;

$$\beta_2 = \frac{8}{7L}; \beta_3 = \frac{8}{7L}; \alpha_1 = 8 \frac{L}{15}; \alpha_2 = 104 \frac{L}{405};$$

$$\alpha_3 = 104 \frac{L}{405}; \quad \alpha_4 = 104 \frac{L}{405}; \quad \gamma_1 = \frac{-2}{9};$$

$$\gamma_2 = \frac{-7}{9}; \quad \gamma_3 = \frac{-7}{9}; \quad \gamma_4 = \frac{-2}{9}; \quad m_p = \rho A_1.$$

Зададим распределение модулей материалов, элементов:

$$E - (E2 \ E2 \ E2 \ E2 \ E1 \ E1 \ E1 \ E1 \ E1 \ E1 \ E1 \ E2 \ E2 \ E2 \ E2)^T;$$

$$G - (G2 \ G2 \ G2 \ G2 \ G1 \ G1 \ G1 \ G1 \ G1 \ G1 \ G1 \ G2 \ G2 \ G2 \ G2)^T;$$

$$\lambda - (\lambda 2 \ \lambda 2 \ \lambda 2 \ \lambda 2 \ \lambda 1 \ \lambda 1 \ \lambda 1 \ \lambda 1 \ \lambda 1 \ \lambda 1 \ \lambda 1 \ \lambda 2 \ \lambda 2 \ \lambda 2 \ \lambda 2)^T.$$

Толщину слоев можно регулировать, изменяя режим технологического процесса. Параметры матрицы комплексных модулей материалов слоев будут (при этом учитываются все компоненты тензора напряжений):

$$c11_{ie} = 2G_{ie} + \lambda_{ie}; \quad c12_{ie} = \lambda_{ie}; \quad c21_{ie} = \lambda_{ie};$$

$$c44_{ie} = G_{ie};$$

$$c22_{ie} = c11_{ie}; \quad c13_{ie} = \lambda_{ie}; \quad c31_{ie} = \lambda_{ie};$$

$$c55_{ie} = G_{ie};$$

$$c33_{ie} = c11_{ie}; \quad c23_{ie} = \lambda_{ie}; \quad c32_{ie} = \lambda_{ie};$$

$$c66_{ie} = G_{ie}.$$

Коэффициенты перемещений в сечении будут определяться так:

$$\alpha = \begin{pmatrix} 49 \cdot a \cdot b & -7 \cdot a \cdot b & a \cdot b & -7 \cdot a \cdot b \\ -7 \cdot a \cdot b & 49 \cdot a \cdot b & -7 \cdot a \cdot b & a \cdot b \\ a \cdot b & -7 \cdot a \cdot b & 49 \cdot a \cdot b & -7 \cdot a \cdot b \\ -7 \cdot a \cdot b & a \cdot b & -7 \cdot a \cdot b & 49 \cdot a \cdot b \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{36}$$

$$\theta = \begin{pmatrix} -7 \cdot b & 7 \cdot b & -b & b \\ -7 \cdot b & 7 \cdot b & -b & b \\ b & -b & 7 \cdot b & -7 \cdot b \\ b & -b & 7 \cdot b & -7 \cdot b \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{6}$$

$$\delta = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\sigma = \begin{pmatrix} -7 \cdot a & a & -a & 7 \cdot a \\ a & -7 \cdot a & 7 \cdot a & -a \\ a & -7 \cdot a & 7 \cdot a & -a \\ -7 \cdot a & a & -a & 7 \cdot a \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{6}$$

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} 7 \cdot \frac{a}{3 \cdot b} & -\frac{a}{3 \cdot b} & \frac{a}{3 \cdot b} & -7 \cdot \frac{a}{3 \cdot b} \\ -\frac{a}{3 \cdot b} & 7 \cdot \frac{a}{3 \cdot b} & -7 \cdot \frac{a}{3 \cdot b} & \frac{a}{3 \cdot b} \\ \frac{a}{3 \cdot b} & -7 \cdot \frac{a}{3 \cdot b} & 7 \cdot \frac{a}{3 \cdot b} & -\frac{a}{3 \cdot b} \\ -7 \cdot \frac{a}{3 \cdot b} & \frac{a}{3 \cdot b} & -\frac{a}{3 \cdot b} & 7 \cdot \frac{a}{3 \cdot b} \end{pmatrix}$$

$$\beta = \begin{pmatrix} 7 \cdot \frac{b}{3 \cdot a} & -7 \cdot \frac{b}{3 \cdot a} & \frac{b}{3 \cdot a} & -\frac{b}{3 \cdot a} \\ -7 \cdot \frac{b}{3 \cdot a} & 7 \cdot \frac{b}{3 \cdot a} & -\frac{b}{3 \cdot a} & \frac{b}{3 \cdot a} \\ \frac{b}{3 \cdot a} & -\frac{b}{3 \cdot a} & 7 \cdot \frac{b}{3 \cdot a} & -7 \cdot \frac{b}{3 \cdot a} \\ -\frac{b}{3 \cdot a} & \frac{b}{3 \cdot a} & -7 \cdot \frac{b}{3 \cdot a} & 7 \cdot \frac{b}{3 \cdot a} \end{pmatrix}$$

Построим матрицу жесткости и масс элемента. Получив матрицу индексов, сформируем динамическую матрицу жесткости. Определим собственные числа и частоту колебаний.

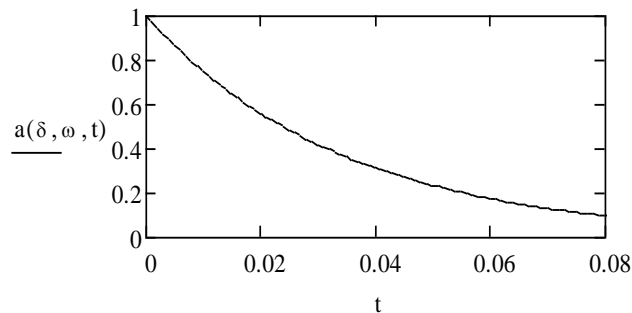


Рис. 1. Временная зависимость амплитуды свободных колебаний трехслойного стержня, полученная теоретическим методом

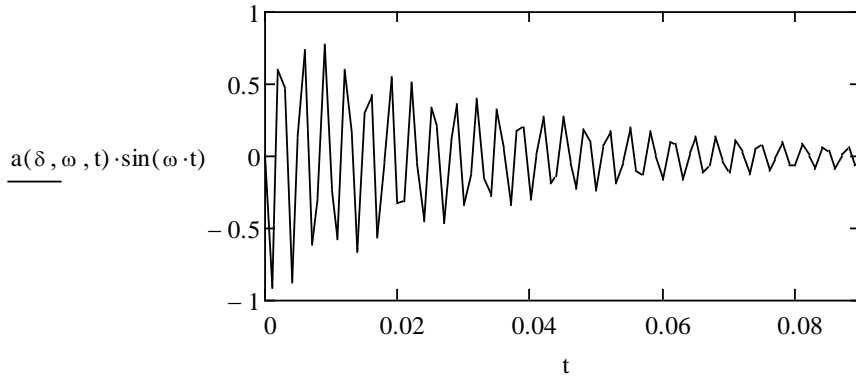


Рис. 2. Осциллограмма свободных колебаний трехслойного стержня, полученная теоретическим методом

Используя зависимость [10,11] между амплитудой колебаний, декрементом и частотой $\frac{d}{dt}a + \delta \cdot \omega \cdot a = 0$, где $\omega = 2\pi f$, получим выражение для определения амплитуды $a(\delta, \omega, t) = e^{-\delta \cdot \omega \cdot t}$. Минимальное значение собственных частот и соответствующие им значение логарифмического декремента, дают возможность построить временные зависимости амплитуды свободных затуханий и их осциллограмму.

На рис. 1 представлена кривая временной зависимости амплитуды свободных колебаний консольного трехслойного стержня, полученная на основании работы представленной модели.

Полученные зависимости позволяют построить осциллограмму колебаний, представленную на рис. 2.

Эти кривые представляют результаты работы математической модели и есть прямое решение задачи определения колебаний трехслойного стержня с

известными модулями упругости и декрементов материалов слоев, а также их конструктивных размеров и форм колебаний.

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА

Изготовление деталей происходит по специальным технологическим схемам, которые обеспечивают выходные эксплуатационные параметры готового изделия. Возможность получить исходные показатели физико-механических характеристик материалов, из которых изготавливают детали, их структуры, при заданных выходных показателях является одной из важных конструкторских задач. В своей постановке такая задача относится к обратным задачам. Решение таких задач потребует создания теоретической модели, алгоритм работы которой описан выше.

В таблице приведены расчеты входных значений модуля упругости верхних упрочненных слоев.

Результаты работы теоретической модели расчета свободных колебаний трехслойного стержня из вала ГТД

E_1 , Па	E_2 , Па	E_1/E_2	t, с	δ	f, Гц
$2,08 \cdot 10^{11}$	$4,01 \cdot 10^{11}$	0,5	0,2	0,001076	3990
$2,08 \cdot 10^{11}$	$3,18 \cdot 10^{11}$	0,65	0,15	0,001244	3695
$2,08 \cdot 10^{11}$	$2,99 \cdot 10^{11}$	0,7	0,13	0,001617	3624

Из таблицы видно, что увеличение модуля упругости поверхностного слоя уменьшает логарифмический декремент затухающих колебаний консольного

стержня. При этом время полного затухания и частота колебаний увеличиваются. Задавая необходимые параметры рассеяния механической

энергии образом, можно определить входные физико-механические свойства материалов, внося при необходимости изменения в режимы технологического цикла изготовления детали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве метода решения прямой задачи в работе использован метод конечных элементов. Предлагаемая модель рассеивания внутренней энергии консольного трехслойного стержня позволяет решить обратную задачу определения модулей упругости, логарифмического декремента каждого слоя, их зависимость от режимов технологического цикла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богуслаев В. А., Яценко В. К., Притченко В. Ф. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД. Киев: Манускрипт, 1993. 333 с.
2. Торбило В. М. Алмазное выглаживание. Москва: Машиностроение, 1972. 105 с.
3. Мозговой В. Ф., Титов В. А., Качан А. Я. Особенности комплексной оценки деформационных параметров поверхностного слоя при изготовлении тонкостенных валов ГТД. Технологические системы, 2000, №2(4), с. 56-66.
4. Богуслаев В. А., Титов В. А., Качан А. Я. и др. Формирование поверхностного слоя деталей выглаживанием с ультразвуковым нагружением. Запорожье: АО Мотор Сич, 2012. 236 с.
5. Мозговой А. В. Оценка эффективности обработки поверхности

стали при помощи механической спектроскопии. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2012, № 5, с. 51-55.

6. Мозговой О. В., Мозговой В. Ф., Качан О. Я., Титов В. А. Вплив обробки поверхні пластичним деформуванням на параметри внутрішнього тертя в сталях. *Вестник двигателестроения*, 2003, №1, с. 96-99.

7. Мозговой О. В., Титов А. В. Вплив поверхневого пластичного деформування на температурний спектр внутрішнього тертя сталі 07X12НМБФ. *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов*. Краматорск: ДГМА, 2010, №3(24), с. 122-125.

8. Титов В. А., Мозговой О. В. Вплив алмазного вигладжування поверхні сталей на розсіяння механічної енергії. *Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»*. Машиностроение. Киев: НТУУ «КПИ», 2008, №54, с. 131-140.

9. Хильчевский В. В., Дубенець В. Г. Рассеяние энергии при колебаниях тонкостенных элементов конструкций. Киев: Вища школа, 1977. 250 с.

10. Мозговой О. В. Експериментальне і теоретичне оцінювання ефективності механічної обробки поверхні алмазним вигладжуванням. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Серія Машинобудування. Киев: НТУУ «КПИ», 2011, №62, с. 81-84.

11. Мозговой А. В. Использование рассеяния механической энергии при оценке эффективности обработки поверхности стали алмазным выглаживанием. *Fizica și Tehnica: procese, modele, experimente*, 2011, №2. с. 12-17.

Prezentat la redacție la 26 noiembrie 2013

ВЛИЯНИЕ ОТПУСКА НА РАСПАД ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА В СТАЛЯХ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ

Недыбалюк А.Ф., Атаманюк В.В., Мозговой А.В.*, Билюк А.И.

Винницкий государственный педагогический университет имени Михаила Коцюбинского,
21100, Острожского, 32, Винница, Украина

*e-mail: mozgovyj@yandex.ua

În acest articol se analizează influența revenirii asupra descompunerii austenitei remanente în oțeluri de construcție călite. S-a stabilit că în oțeluri investigate apar două intervale de temperaturi cu descompunerea austenitei reziduale, cinetica căroră este afectată semnificativ de elementele de aliere.

Cuvinte-cheie: revenire, călire, oțel de construcție, austenită remanentă.

This paper analyzes the impact of releasing on the decay of remanent austenite in tempered construction steels. It is shown that in the investigated steels there are two temperature decay intervals of residual austenite, the kinetics of which is significantly affected by alloying elements.

Keywords: releasing, tempering, construction steel, remanent austenite.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск новых технологий для создания материалов с заданными физико-механическими свойствами требует использования неразрушающих методов контроля фазовых и структурных превращений, происходящих в конструкционных и инструментальных сталях в результате действия различных силовых полей.

Как известно, отпуск является одной из важных технологических операций термической обработки сталей и других сплавов на основе железа. Совершенствование технологий отпуска, а также выбор режимов обработки для сталей новых марок должны базироваться на четком представлении о природе процессов, которые происходят в сплавах при нагреве после закалки.

В связи с этим исследования преобразований при отпуске сталей является одной из самых актуальных задач современного физического металловедения.

Разработка комбинированных способов упрочнения сталей, связанных с целенаправленными изменениями структурного состояния сплавов, кроме операций термической обработки, требует создания полной теории фазовых и структурных превращений при отпуске, учитывающая роль всех факторов,

определяющих физико-механические свойства материала.

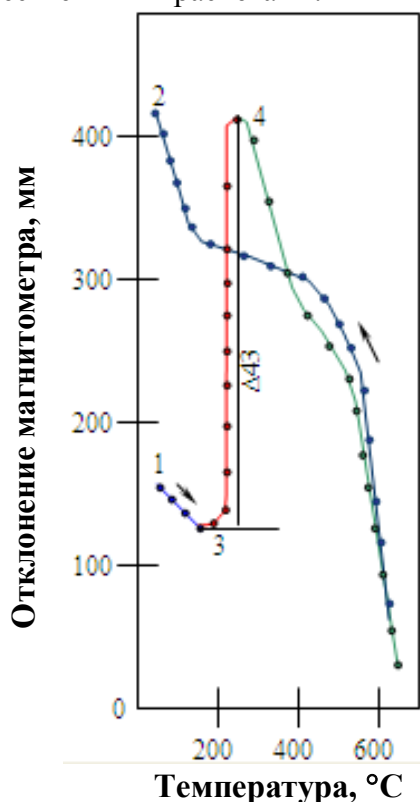
Наряду с другими методами неразрушающего контроля (механической спектроскопии, электрического сопротивления) метод магнитного анализа [1,2] дает возможность следить за процессами распада метастабильных фаз, контролировать структурные превращения при отпуске сталей, оценивать содержание углерода на различных этапах обработки, изучать структурные преобразования на атомном уровне.

Анализ литературных источников и экспериментальных данных свидетельствует о большом диапазоне использования методов магнитного контроля, основанных на существовании определенных зависимостей магнитных свойств от фазового состава и структуры ферромагнитных материалов.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данной работе проведен количественный анализ магнитных эффектов при отпуске закаленных конструкционных сталей 15X2МФА, 15X3НМФА, 12ХГНМФ, 5ХНМ, 40Х, которые связаны с распадом остаточного аустенита. На рисунке приведена характерная для данного класса сталей термомагнитная кривая.

На основе полученных экспериментальных результатов можно предположить, что в закаленных исследуемых сталях наблюдаются два температурных интервала распада остаточного аустенита, которые разделены интервалом повышенной нестабильности. Проверку данного предположения подтвердим соответствующими количественными расчетами.



Термомагнитная кривая нагрева и охлаждения закаленной стали

Для получения решения магнитного эффекта рассматриваемого преобразования при отпуске закаленных сталей рассмотрим магнитный момент образца в состоянии "1" (рисунок) и обозначим его через $(I_0V_0)_1$, I_0 — интенсивность намагничивания образца; V_0 — объем образца. Понятно, что выполняется равенство:

$$(I_0V_0)_1 = (\delta_0P_0)_1, \quad (1)$$

где δ_0 — удельная намагниченность образца; P_0 — масса образца.

По данным рентгеноструктурного анализа для исследуемого материала, закаленного из области гомогенного аустенита, фазовыми составляющими являются мартенсит и остаточный

аустенит, поэтому выражение (1) можно записать в виде:

$$(I_0V_0)_1 = (\delta_0P_0)_1 = \delta_M P_M + \delta_A P_A, \quad (2)$$

где δ_M , δ_A и P_M , P_A — плотность и масса мартенсита и аустенита соответственно. Поскольку масса аустенита по сравнению с мартенситом мала, то в первом приближении выражение (2) можно записать в виде:

$$(I_0V_0)_1 = \delta_\phi(1 - C \cdot 10^{-2}). \quad (3)$$

Во всех исследованиях, в которых с помощью количественного магнитного анализа изучались процессы отпуска железоуглеродистого мартенсита, использовалась зависимость

$$\delta_M = \delta_\phi(1 - C \cdot 10^{-2}), \quad (4)$$

где δ_M — намагниченность мартенсита; $C\%$ — содержание углерода (массовая доля, %); δ_ϕ — намагниченность α — модификации железа (феррита). В исследуемых сталях значение C мало, поэтому можно записать, что $\delta_\phi = \delta_M$.

Представим массу образца (P_0), как сумму масс мартенсита (P_M) и аустенита (P_A), тогда:

$$P_M = P_0 - P_A = P_0(1 - A \cdot 10^{-2}). \quad (5)$$

С учетом (1-5) получаем

$$(I_0V_0)_1 = \delta_\phi(1 - A \cdot 10^{-2}), \quad (6)$$

где A — содержание аустенита (массовая доля, %).

Магнитный момент образца в состоянии "2" можно представить в виде:

$$(I_0V_0)_2 = \delta_\phi P_\phi + \delta_u P_u, \quad (7)$$

где δ_u и P_u — удельная намагниченность и масса цементита. Поскольку масса цементита по сравнению с массой феррита мала, тогда можно записать

$$(I_0V_0)_2 = \delta_\phi P_\phi. \quad (8)$$

Масса образца в этом состоянии состоит из суммы масс феррита (P_ϕ) и цементита (P_u), то есть $P_0 = P_\phi + P_u$ или

$$P_\phi = P_0 - P_u. \quad (9)$$

В связи с тем, что $P_u = 15C \cdot 10^{-2} P_0$ [1],

$$P_\phi = P_0(1 - 15C \cdot 10^{-2}) P_0. \quad (10)$$

Выражая магнитный эффект как разность магнитных моментов в состояниях "1" и "2", получим

$$(I_0V_0)_2 - (I_0V_0)_1 = k\Delta_{21}, \quad (11)$$

$$k\Delta_{21} = [\delta_\phi(1 - 15C \cdot 10^{-2}) - \delta_\phi(1 - A \cdot 10^{-2})]P_0, \quad (12)$$

где k – постоянная прибора.

Постоянную прибора k можно определить расчетным путем или по соответствующей градуировке. Удобно вести расчет, используя в качестве градуированной кривой термомагнитную кривую охлаждения такого образца, после нагрева которого до 823-873 К весь углерод становится связанным в цементите, магнитные свойства которого хорошо известны.

В качестве такого образца был выбран образец из закаленной стали У8А. Нетрудно убедиться, используя вышеизложенные приемы расчета, что постоянная k для нашего прибора определяется соотношением

$$k = \frac{\delta_y \cdot 15C^* \cdot 10^{-2} P_0}{\Delta_y^*}, \quad (13)$$

где содержание величины Δ_y^* понятно из рисунка; C^* – процентное содержание углерода в стали У8А. Превращая (12) с учетом (13) и решая полученное выражение относительно A , получаем

$$A = 15C + \frac{\delta_y}{\delta_\phi} \cdot 15C^* \cdot \frac{\Delta_{21}}{\Delta_y^*}. \quad (14)$$

Эта формула дает возможность рассчитать количество остаточного аустенита, что останется после закалки в исследуемом материале.

Анализ полученных результатов показывает, что в исследуемых закаленных сталях наблюдаются две области распада остаточного аустенита, поскольку магнитные моменты в состояниях "1" и "2" (обусловленные распадом всего остаточного аустенита, что сохраняется в сталях после закалки) и "4-3" (обусловлены распадом остаточного аустенита в первом температурном

интервале), за исключением стали 5ХНМ, сильно отличаются по величине. Поэтому рассмотрим магнитные моменты образцов в состояниях "3" и "4", с целью получения выражения для определения неустойчивого остаточного аустенита, который распадается в первом температурном интервале.

Для состояний "3" и "4" можно записать:

$$(I_0V_0)_3 = \delta_\phi P_\phi^{(3)} \text{ и } (I_0V_0)_4 = \delta_\phi P_\phi^{(4)}. \quad (15)$$

Массу образца в состоянии "3" можно записать как $P_0^{(3)} = P_\phi^{(3)} - P_A - P_k^{(3)}$ при этом $P_A = P_A^* - P_A^{**}$, де P_A^* – масса неустойчивого остаточного аустенита; P_A^{**} – масса устойчивого остаточного аустенита; $P_k^{(3)}$ – масса образованных карбидов. Тогда

$$P_0^{(3)} = P_\phi^{(3)} + P_A^* + P_A^{**} + P_k^{(3)}. \quad (16)$$

Аналогично

$$P_0^{(4)} = P_A^{**} + P_k^{(4)}. \quad (17)$$

Определим разницу магнитных моментов образца в состояниях "4-3".

$$k\Delta_{43} = \delta_\phi A^* P_0 \cdot 10^{-2}. \quad (18)$$

Тогда с учетом выражения (13) получим

$$A^* = \frac{\Delta_{y3}}{\Delta_y^*} \frac{\delta_y}{\delta_\phi} \cdot 15C^*. \quad (19)$$

Полученное выражение (19) дает возможность определить количество остаточного аустенита (неустойчивого), который распадается в первом температурном интервале. Разница между выражениями (14) и (13) дает возможность определить количество устойчивого остаточного аустенита, который распадается во втором температурном интервале.

$$A_2 = A - A^* \quad (20)$$

Результаты расчетов по формулам (14), (19) и (20) представлены в таблице.

Результаты расчетов по формулам (14), (19) и (20)

Марка стали	C, %	C*, %	Δ_y , мм	Δ_{21} , мм	Δ_{43} , мм	A*, %	A ₂ , %	A, %
15X2МФА	0,17	0,8	200	244	84	2,8	8,4	11,2
15X3НМФА	0,15			260	54	2,0	9,0	11,4
12ХГНМФ	0,10			154	82	3,0	3,0	6,0
5ХНМ	0,55			276	264	12,0	6,0	18,0
40Х	0,42			162	116	8,0	4,0	12,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные подтверждают предположение о том, что в исследуемых сталях наблюдаются две области распада остаточного аустенита. Причем в более сложно легированных сталях (15X2МФА, 15X3НМФА) распад остаточного аустенита в основном проходит во втором температурном интервале, что свидетельствует о значительном влиянии легирующих элементов на кинетику распада остаточного аустенита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоус М. В., Черепин В. Т., Васильев М. А. Превращения при отпуске стали. Москва: Металлургия, 1973. 232 с.
2. Недибалюк А. Ф. Вплив відпуску на мікропластичність та відпускну крихкість сталі 15X2МФА. Наукові записки НПУ ім.М.П. Драгоманова. Фізико-математичні науки. Київ, 2002, том В.3, с. 88-95.

Prezentat la redacție la 26 noiembrie 2013

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОФАЗНЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Титов В.А.*, Злочевская Н.К., Ламашевский В.П.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
03056, пр-т Победы, 37, Соломенский район, г. Киев, Украина
*e-mail: v.a.titov@list.ru

Au fost determinate unele regularități de formare a proprietăților structurale și mecanice ale aliajelor cu două faze cu aplicarea tratamentului izotermic de extrudare elicoidală. Pentru evaluarea parametrilor structurali ai aliajelor АК7ч, 1420, Ti-TiB_n a fost utilizată metoda LM-duritate. A fost demonstrat că scăderea defectelor de turnare în aliaje investigate are loc la prima etapă. La deformarea ulterioară crește gradul de dispersie a proprietăților mecanice. S-a stabilit că, la toate etapele de deformare, are loc creșterea proprietăților mecanice.

Cuvinte-cheie: tratament izotermic, extrudare elicoidală, duritatea, defecte de turnare.

Some regularities of the formation of structural and mechanical properties of two-phase alloys under isothermal treatment by the helical extrusion were determined. For estimation of structural parameters of АК7ч, 1420, Ti-TiB_n alloys the method of LM-hardness was used. It was shown that the decreasing of defects for molding alloys occurs at the first stage. At the further deformation the level of dispersion of hardness properties increases. It was determined that at the all stages of deformation the increasing of the mechanical properties of hardness occurs.

Keywords: isothermal treatment, helical extrusion, hardness, molding defects.

ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Повышение эксплуатационной надежности изделий машиностроения обеспечивается применением конструкционных материалов с высоким уровнем механических и технологических свойств. Одним из перспективных направлений обеспечения этих свойств в последнее время рассматривают формирование в металлах мелкодисперсной и равноосной структуры за счет обработки их в условиях больших (интенсивных) пластических деформаций сдвига [1-5]. В результате больших пластических деформаций уменьшаются размеры структурных элементов металлов (зерен, структурных компонент и других). Они достигают значений, характерных для нано- и субмикроструктурных структур материалов. Вследствие этого, металлы приобретают качественно новые свойства. В частности, они имеют более высокий предел прочности (на 20-40% больше) в сочетании с высокой пластичностью.

Наиболее распространенными методами обработки металлов, которые

обеспечивают большие деформации сдвига в очаге деформаций и при этом сохраняют поперечное сечение заготовки, является равноканальное угловое прессование (РКУ) [2], винтовая экструзия [3], другие. Исследования процессов, которые реализуют эти методы прессования, проводились для широкого круга сплавов, в том числе для материалов Ti-6Al-4V, Nb-Ti, ВТ1 - 0, ВТ3 - 1, Cu, 6061 и других. Они показали, что предел прочности металлов повысился, в среднем на 30-40 %, а пластичность, соответственно, - на 6-8 % [6-11]. Основные работы в этом направлении выполнены на деформируемых металлах и сплавах. При этом в процессе обработки однофазных сплавов, например, меди, титана ВТ1-0 и других однородность их структуры повышается. Так в работе [12] показано, что для сплава системы Zr-1%Nb коэффициент гомогенности [13-16] повышается. При этом однородность металла изменяется пропорционально степени сдвиговых деформаций, реализуемых при обработке.

Особенно перспективным является применение методов интенсивной

пластической деформации для обработки многофазных сплавов, особенно с исходной литой структурой. При этом актуальным является вопрос формирования однородности механических свойств по параметрам рассеяния твердости для обеспечения их технологичности перед последующими операциями формообразования деталей [17].

Целью работы является определение закономерностей формирования структурных и механических свойств многофазных сплавов в условиях интенсивных деформаций сдвига.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Исходные образцы механически обрабатывали до размеров: диаметр 29,5 мм и высота 50 мм. Материалы испытуемых образцов: литейной алюминиевый сплав АК7ч, алюминий-литиевый сплав 1420; титановый сплав системы Ti-TiB_n эвтектического состава (бор – 1,55 %, титановый сплав BT22 - основа), что соответствует объемному содержанию TiB₂ около 10 %. Перед деформированием заготовки нагревали в печи типа СНОЛ 7,2/1000 до соответствующих температур деформирования. Для прессования использовалась матрица эллиптической формы поперечного сечения [4] для уширяющей винтовой экструзии.

Прессование заготовок производилось по методике работ [12, 18, 19, 20].

Для оценки параметров качества материала в исходном состоянии и после обработки использован экспресс-метод оценки параметров качества, разработанный в Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины - метод ЛМ-твердости. Физическое обоснование этого метода состоит в том, что рассеяние характеристик механических свойств проявляется во всех материалах, а степень этого рассеяния зависит от их

структурного состояния [13-16]. Поэтому об изменении структурного состояния материала, то есть о его деградации, можно судить по степени рассеяния характеристик твердости

$$P(\sigma) = 1 - e^{-(\sigma/k)^m} \quad (1)$$

где m, k - параметры распределения.

Параметр m (коэффициент гомогенности, отражающий степень рассеяния характеристик твердости) определяли по формуле Гумбеля, которую, применительно к испытаниям можно принять в виде

$$m = \frac{d(n)}{2,3059 S(\lg H)} \quad (2)$$

Величину $d(n)$ определяют в зависимости от числа измерений n , при этом n принималось не менее 27, а величину $S(\lg H)$ - по зависимости

$$S(\lg H) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\lg H_i - \overline{\lg H})^2}, \quad (3)$$

где $\overline{\lg H} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \lg H_i$ - среднее значение логарифмов твердости.

Образцы для измерения ЛМ-твердости представлены на рис. 1

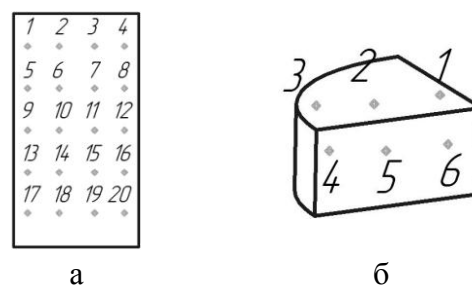


Рис. 1. Образцы для измерения ЛМ-твердости: а – в продольном сечении, б – в продольном и поперечном сечении

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

При равноканальном уширяющем винтовом прессовании исходные заготовки прессовались за несколько переходов. За счет количества переходов достигалось увеличение накопленной деформации сдвига.

На рис. 2 показаны результаты экспериментального исследования зависимости величины коэффициента гомогенности материала по сечению заготовки, от количества операций изотермического ужиряющего

прессования. Заготовки из сплава АК7ч были отлиты в стальной кокиль и находились в литом состоянии. Исходная неоднородность механических свойств по сечению заготовки составила 19-23 %.

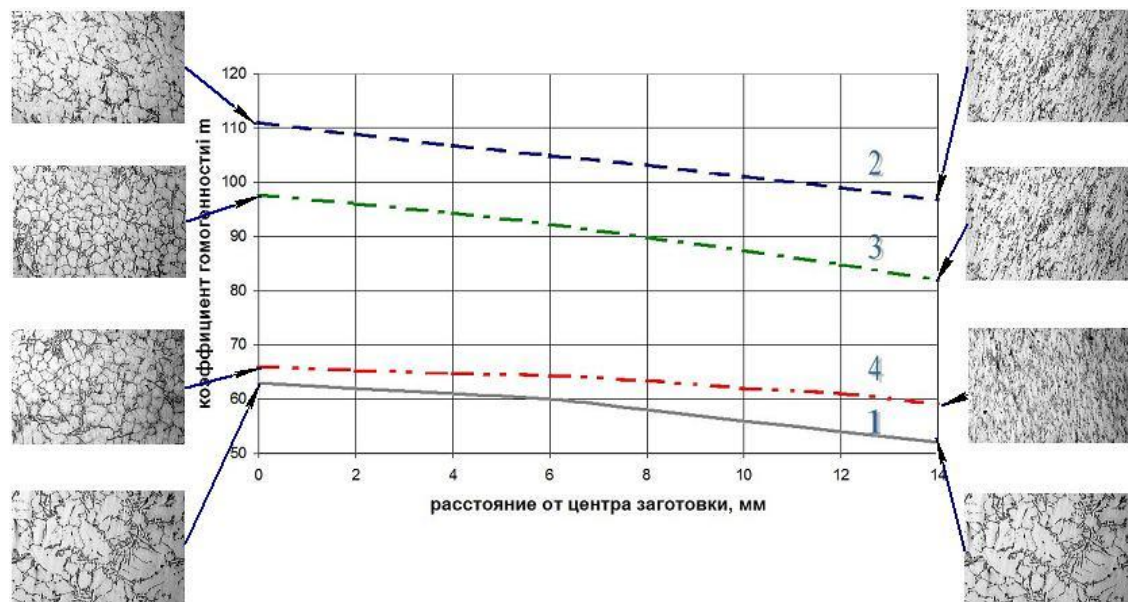


Рис.2 Зависимость коэффициента гомогенности материала заготовки вдоль радиуса образца из сплава АК7ч: 1 – без обработки; 2, 3, 4 – после, соответственно первого, второго и третьего проходов прессования

После первого перехода прессования величина коэффициента гомогенности значительно увеличилась, что соответствует уменьшению уровня рассеяния характеристик твердости, уменьшению степени поврежденности материала. Это можно объяснить устранением литевых дефектов структуры и дробления дендритных зерен на внешней поверхности образца. Неоднородность материала образца уменьшилась до 15-17 %.

На последующих переходах прессования наблюдается уменьшение коэффициента гомогенности, при этом уже на третьем переходе его величина снизилась до величины, характерной литой структуре. При этом на каждом из последующих переходов увеличивается однородность (равномерность распределения твердости по сечению заготовки). А именно, неравномерность механических свойств достигает 13-15 % на втором переходе и на третьем - 5-7 %. Это происходит за счет распространения

накопленных сдвиговых деформаций от периферии к центру заготовки.

Экспериментально показано также, что несмотря на уменьшение коэффициента гомогенности (увеличение рассеяния характеристик твердости), уровень механических свойств (среднее значение твердости) повышается до 25 %.

На рис.3 представлена зависимость экспериментальных значений коэффициента гомогенности материала заготовки из алюминиево-литиевого сплава 1420 в зависимости от количества переходов. Образцы из сплава 1420 были изготовлены из плиты, полученной прокаткой с высокими степенями деформации, что характеризуется полосчатостью структуры исходного материала для кривой 1, рис.3. Поэтому, в отличие от сплава АК7ч, для алюминиево-литиевого сплава уже после первого перехода снижается уровень значений коэффициента гомогенности, видимо, за счет накопления деформационных дефектов, как правило, скопления дислокаций и других. Одновременно с

этим происходит снижение неоднородности материала до 10-12 % между краевой и центральной зонами образца по сравнению с исходной - 13-15 %. Такая же тенденция сохраняется для последующего второго перехода – 5-8 %. При этом уменьшение коэффициента гомогенности сопровождается увеличением твердости материала образца на - 18-22 %. Отсутствие эффекта повышения коэффициента гомогенности при первом прессовании образцов из сплава 1420 свидетельствует об отсутствии литевых

дефектов в исходном материале, который был обработан прокаткой. Увеличение уровня рассеяния характеристик твердости свидетельствует об образовании дополнительных зон скопления дислокаций, которые образуются в результате деформации, на границах фаз составляющих многофазный материал, на границах зон блокообразования, а также в местах пересечения дислокаций. Этот механизм упрочнения активно проявляется для многофазных материалов с деформируемыми пластичными фазами.

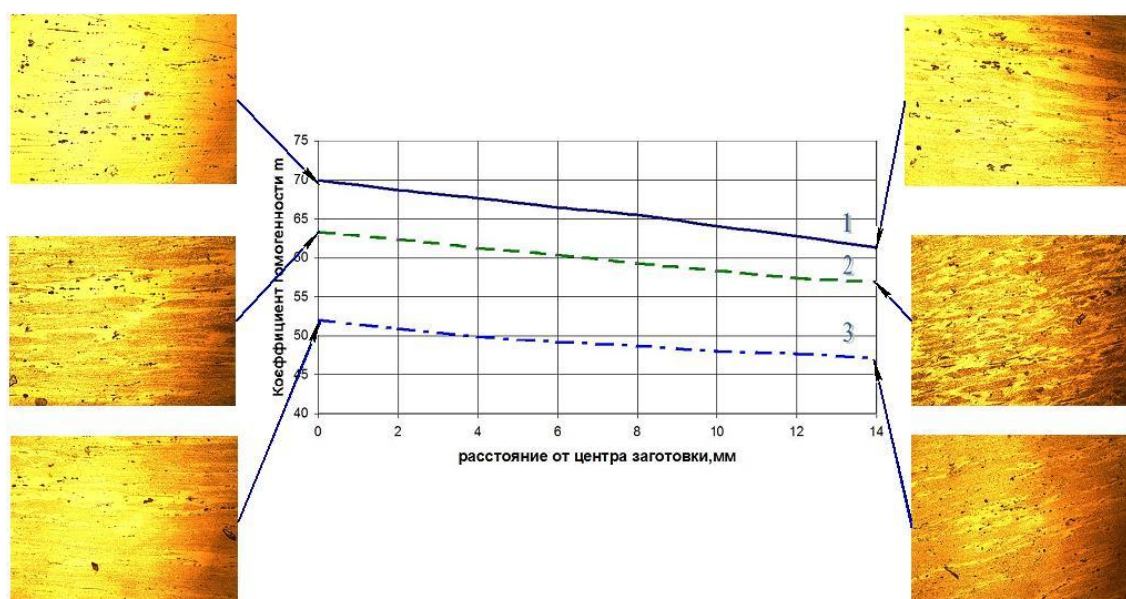


Рис.3 Зависимость коэффициента гомогенности материала заготовки вдоль радиуса образца из сплава 1420: 1 – в исходном состоянии; 2, 3, 4 – после, соответственно первого, второго и третьего проходов прессования

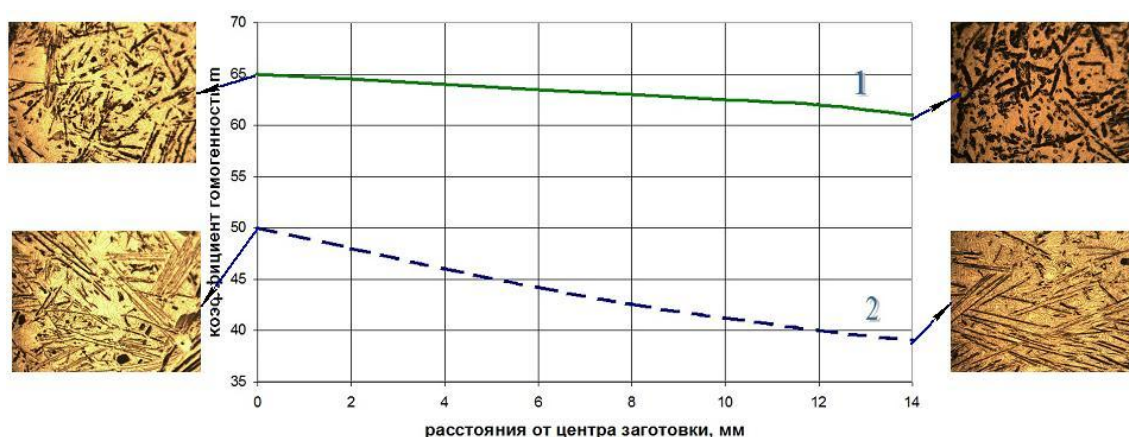


Рис.4 Зависимость коэффициента гомогенности материала заготовки из титанового сплава системы Ti -TiB_n: 1 – без обработки; 2 – после деформирования

В работе также получены результаты влияния деформационной обработки на взаимодействие пластичных и жестких фаз

деформируемого металла на примере сплава системы Ti-TiB_n. При температуре деформационной обработки, которая

составляла 920 °С фаза эвтектики TiB_n находилась в твердом состоянии. При этом титановый сплав находился в состоянии горячей пластической деформации.

В процессе формирования наблюдается дробление фазы TiB_n и некоторая переориентация этих структурных компонент в направлении максимальных градиентов деформации. Величина дробления пропорциональна величине деформаций сдвига, как это показывает фракционный анализ. Поскольку дробление происходит в условиях горячей пластической деформации титановой фазы, на границах излома твердой фазы TiB_n происходит залечивание повреждений. Это показывают результаты исследования путем травления титановой фазы на поверхности шлифов.

Таким образом, увеличение площади поверхности твердой фазы способствует увеличению количества зон торможения дислокаций и повышению степени поврежденности. Этим можно объяснить значительное уменьшение величины коэффициента гомогенности (рис.4), а также его преимущественное уменьшение в краевой зоне - зоне максимальных деформаций сдвига на первом переходе. При этом экспериментальные значения твердости материала образцов после первой обработки повышается в среднем на 8-11 %.

ВЫВОДЫ

1. Установлены некоторые закономерности формирования структурных и механических свойств для многофазных сплавов ($AK7ч$, 1420, $Ti-TiB_n$) после их обработки в изотермических условиях методом уширяющей винтовой экструзии при больших деформациях сдвига с использованием метода LM – твердости.

2. Впервые показано, что для литого металла (на примере алюминиевого сплава $AK7ч$) на первом переходе прессования повышается его однородность структуры и увеличивается твердость. Уменьшение степени рассеяния свойств металла можно

объяснить устранением литевых дефектов структуры и дробления дендритных зерен на внешней поверхности отлитого образца.

3. Для предварительно деформированных образцов всех двухфазных материалов наблюдается увеличение уровня рассеяния характеристик твердости, при этом повышаются однородность структуры металла и его механические характеристики.

4. Для двухфазного материала системы $Ti-TiB_n$ имеющего твердую (не пластичную) фазу TiB_n эффект увеличения характеристик рассеяния твердости проявляется в большей степени за счет увеличения количества зон торможения дислокаций при деформировании на граничных поверхностях твердой фазы и связаны с ее дроблением. При этом значение твердости также увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

- Schuh C. A., Nieh T.G., Iwasaki H. The effect of solid solution W additions on the mechanical properties of nanocrystalline Ni. *Acta Materialia*, 2003, vol. 51, p.431-443.
- Сегал В. М. Развитие обработки материалов интенсивной сдвиговой деформации. *Металлы*, 2004, №1, с. 5-14.
- Бейгельзимер Я. Е., Орлов Д. В., Сынков С. Г., Решетов А. В. Винтовое прессование: технологические аспекты. *Физика и техника высоких давлений*, 2002, том 12, №4. с. 40-46.
- Патент України № 64346. Матриця для зміцнення матеріалу при багаторазовому пресуванні. В. А. Тітов, М. С. Тривайло, Н. К. Злочевська, Е. В. Кондратюк, Г. І. Пейчев. Опубл. 10.11.2011, бюл. № 21.
- Патент України № 62940. Спосіб пресування виробів. В. А. Тітов, М. С. Тривайло, П. С. Вишневський. Опубл. 26.09.2011, бюл. № 18.
- Бейгельзимер Я. Е., Решетов А. В., Сынков С.Г. Уширяющая экструзия как метод устранения неравномерности свойств по сечению заготовки. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*, 2005, №2, с. 57-61.

7. Саитова Л. Р., Семенова И. П., Рааб Г. И., Валиев Р. З. Повышение механических свойств сплава Ti-6Al-4V способами равноканального углового прессования и последующей пластической деформации. Физика и техника высоких давлений, 2004, том 14, №4, с. 19-23.
8. Матросов Н. И., Чишко В. В., Дмитренко В. Ю. и др. Влияние равноканального многоугольного прессования на структуру, фазовый состав и свойства сплава Nb-Ti. Физика и техника высоких давлений, 2005, том 15, №1, с. 95-53.
9. Мурашкин М. Ю., Бобрук Е. В., Кильмаметов А. Р., Валиев Р. З. Особенности структуры и механические свойства алюминиевого сплава 6061, подвергнутого обработке равноканальным угловым прессованием в параллельных каналах. Физика металлов и металловедение, 2008, том 108, №4, с. 439-447.
10. Павленко Д. В., Овчинников А. В., Качан А. Я., и др. Применение винтовой экструзии для получения субмикроструктурной структуры и гомогенизации титанового сплава VT3-1. Вестник двигателестроения, 2007, №2, с. 185-188.
11. Шевелев А. И., Решетов А. В., Бейгельзимер Я. Е. и др. Повышение пластичности литых вторичных алюминиевых сплавов интенсивной пластической деформацией методом винтовой экструзии. Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. праць. Луганськ, 2004, ч.1, с. 172-189.
12. Злочевська Н. К. Закономірності формування структурних та механічних властивостей сплава системи Zr- Nb в умовах інтенсивних пластичних деформацій. Вісник НТУ «ХП», 2013, № 43 (1016), с. 114-120.
13. Лебедев А. А., Музыка Н. Р., Волчек Н.Л. Определение поврежденности конструкционных материалов по параметрам рассеяния характеристик твердости. Проблемы прочности, 2002, №4, с. 5-12.
14. Лебедев А. А., Музыка Н. Р., Волчек Н. Л. Метод диагностики состояния материала по параметрам характеристик твердости. Заводская лаборатория, 2003, том 69, №12, с. 49-51.
15. Лебедев А. А., Ламашевский В. П., Маковецкий И. В., Волчек Н. Л. Развитие повреждений в сером чугуна при статическом деформировании. Проблемы прочности, 2003, №6, с.39-46.
16. Ламашевский В. П., Маковецкий И. В. Деформирование и прочность серого чугуна при сложном напряженном состоянии. Проблемы прочности, 1995, №5, с.71-83.
17. Тітов В. А., Качан О. Я., Моляр О. Г. и др. Особливості процесів формоутворення заготовок лопаток з титанового сплаву системи Ti – TiB₂. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування», 2011, № 61, с. 95-101.
18. Злочевская Н. К., Дука В. М., Піманов В. В., Вишневський П. С. Деякі закономірності формування структурних властивостей ливарного сплаву АК7ч в умовах інтенсивних пластичних деформацій. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування», 2011, № 62, с. 251-254.
19. Семенченко А. И., Злочевская Н. К., Вернидуб А. Г., Шеневидько Л. К. Изотермическое прессование литых заготовок из сплава Ак7ч. Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серія «Машиностроение», 2011, № 62, с. 237-241.
20. Добровлянський С. М., Вишневський П. С., Калантир С. Ф., Злочевська Н. К. Установка для дослідження пресування в ізотермічних умовах. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування», 2009, № 56, с. 189-192.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТЕКОЛ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

Шарагов В. А.^{1*}, Дука Г. Г.², Бурковский И. А.¹, Лысенко Г. А.¹,

¹Бельцкий государственный университет им. Алеку Руссо, ул. Пушкина, 38,
MD-3100, Бельцы, Республика Молдова

²Академия наук Молдовы, бульвар Штефан чел Маре, 1, MD-2001, Кишинев

*e-mail: vsharagov@gmail.com

S-a executat analiza termodinamică a posibilității de dezalcalinizare ale sticlelor industriale cu dioxid de carbon. S-a alcătuit lista reacțiilor chimice probabile dintre dioxidul de carbon și oxizii de metale. S-au obținut dependențele grafice de schimbare a energiei Gibbs de temperatură pentru reacțiile chimice dintre dioxidul de carbon și oxizii de metale. Din poziția termodinamică s-au determinat oxizii de metale, care mai efectiv dezalcalinizează cu dioxid de carbon din sticlele industriale.

Cuvinte-cheie: analiza termodinamică, energia Gibbs, dezalcalinizare, sticlă industrială, dioxid de carbon, oxid de metal, reacția chimică.

The article focuses on thermodynamic analysis of possibility of dealcalization of industrial glasses by carbon dioxide. The list of the most probable chemical reactions between carbon dioxide and metal oxides has been drawn up. Graphics of Gibbs energy changes depending on the temperature of chemical reactions between carbon dioxide and metal oxides have been obtained. From the thermodynamic position there have been determined metal oxides for the most effective dealcalization by carbon dioxide from industrial glasses.

Keywords: thermodynamic analysis, Gibbs energy, dealcalization, industrial glass, carbon dioxide, metal oxide, chemical reaction.

ВВЕДЕНИЕ

Стекло характеризуется уникальными оптическими свойствами, долговечностью и гигиеничностью.

Для обеспечения высокой химической стойкости изделий подбирают специальные составы стекол [1]. Промышленные стекла содержат оксиды щелочных металлов, которые ухудшают эксплуатационные свойства изделий.

Для устранения этого недостатка промышленные стеклоизделия на стадии их производства подвергаются термохимической обработке кислыми газами.

В результате химической реакции поверхностные слои стекла обогащаются кремнеземом, что сопровождается повышением его химической стойкости в десятки раз, механической прочности – на 20-30 %, термостойкости и микротвердости – на 5-15 % [1-5].

Для термохимической обработки стекла применяются оксиды серы и азота, хлорид и фторид водорода, галогенопроизводные углеводородов и другие газы, а также газовые смеси [1-5].

Одним из недостатков термохимической обработки стекла является использование токсичных веществ.

В этом плане представляет интерес применение диоксида углерода для выщелачивания промышленных стекол.

В литературе имеются противоречивые данные о возможности выщелачивания неорганических стекол диоксидом углерода.

В одних работах утверждается, что термохимическая обработка промышленных стекол диоксидом углерода приводит к изменению их состава и повышению химической стойкости, механической прочности, микротвердости и термостойкости стеклоизделий [6-10].

В других исследованиях выщелачивание стекла диоксидом углерода не подтверждается [2, 11].

Цель работы заключалась в выяснении возможности выщелачивания промышленных стекол диоксидом углерода на основе термодинамических расчетов.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Методика термодинамического анализа наиболее вероятных реакций диоксида углерода со щелочными оксидами, а также некоторыми оксидами двухвалентных металлов состоит из следующих этапов:

1) составление списка оксидов, которые входят в состав большинства видов промышленных стекол;

2) составление списка наиболее вероятных реакций диоксида углерода с оксидами металлов;

3) расчет изменения энергии Гиббса для реакций между диоксидом углерода и оксидами металлов в стандартных условиях;

4) расчет изменения энергии Гиббса для реакций диоксида углерода с оксидами металлов при температурах $T = 400; 500; 600; 700; 800, 900$ и 1000 К;

5) анализ полученных результатов и оценка возможности выщелачивания промышленных стекол диоксидом углерода в производственных условиях.

Наибольший интерес для термодинамических расчетов представляют те оксиды металлов, которые содержатся во всех видах промышленных стекол. К ним относятся следующие оксиды: Na_2O , K_2O , MgO , CaO и FeO . Кроме того, для выяснения тенденции изменения энергии Гиббса для реакции диоксида углерода со щелочными и щелочноземельными оксидами в интервале температур $300 - 1000$ К расчеты выполнены также для Li_2O , Rb_2O , Cs_2O и BaO .

Изменение энергии Гиббса для реакции диоксида углерода с оксидами металлов при температурах 298 и 1000 К

Уравнения реакций между диоксидом углерода и оксидами металлов	$\Delta_r G^0$ (298 К), кДж/моль	$\Delta_r G$ (1000 К), кДж/моль
$\text{Li}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Li}_2\text{CO}_3$	-171	-2370
$\text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3$	-274	-5794
$\text{K}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{K}_2\text{CO}_3$	-349	1398
$\text{Rb}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Rb}_2\text{CO}_3$	-641	-52715
$\text{Cs}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Cs}_2\text{CO}_3$	-645	-48060
$\text{MgO} + \text{CO}_2 = \text{MgCO}_3$	-56	-4614
$\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$	-182	-5114
$\text{BaO} + \text{CO}_2 = \text{BaCO}_3$	-219	-4852
$\text{FeO} + \text{CO}_2 = \text{FeCO}_3$	-31	-5721

Уравнения наиболее вероятных реакций между диоксидом углерода и оксидами металлов в стандартных условиях и при температуре 1000 К представлены в таблице.

Известно, что с термодинамических позиций критерием возможности протекания химической реакции в стандартных условиях является отрицательное значение изменения энергии Гиббса [12]. Табличные данные свидетельствуют о том, что диоксид углерода в стандартных условиях должен вступать в реакцию со всеми щелочными оксидами и оксидами двухвалентных металлов. Выявлена тенденция в увеличении отрицательного значения изменения энергии Гиббса для реакции диоксида углерода со щелочными оксидами при возрастании порядкового номера металла в периодической системе элементов им. Д. И. Менделеева. Аналогичная тенденция наблюдается для реакции диоксида углерода с оксидами металлов из второй группы периодической системы элементов им. Д. И. Менделеева. Наименьшее отрицательное значение изменения энергии Гиббса получено для реакции диоксида углерода с оксидом двухвалентного железа.

Иного характера результаты получены для реакции диоксида углерода с оксидами металлов при температуре 1000 К. Во-первых, для реакции диоксида углерода с оксидом калия получено положительное значение изменения энергии Гиббса. А это означает, что с термодинамических позиций данная реакция не возможна. Во-вторых, отрицательные значения изменения энергии Гиббса для реакции диоксида углерода с оксидами металлов из второй группы периодической системы элементов им. Д. И. Менделеева между собой близки. И, в-третьих, наименьшее отрицательное значение изменения энергии Гиббса получено для реакции диоксида углерода с оксидом лития.

Зависимость изменения энергии Гиббса от температуры для реакции диоксида углерода с оксидами щелочных металлов представлена на рис. 1.

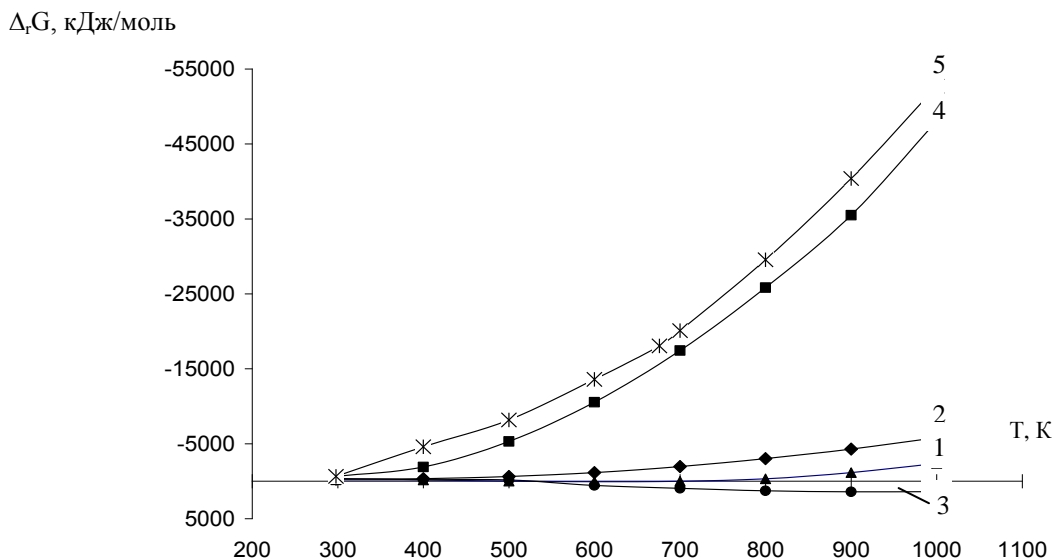


Рис. 1. Зависимость изменения энергии Гиббса от температуры для реакции диоксида углерода с оксидами щелочных металлов
 1 – $\text{Li}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Li}_2\text{CO}_3$; 2 – $\text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3$;
 3 – $\text{K}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{K}_2\text{CO}_3$; 4 – $\text{Cs}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Cs}_2\text{CO}_3$; 5 – $\text{Rb}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Rb}_2\text{CO}_3$.

Представленные на рис.1 данные показывают, что с повышением температуры от 298 до 1000 К изменение энергии Гиббса для большинства реакций диоксида углерода с оксидами щелочных металлов принимает отрицательные значения. Для реакции диоксида углерода с оксидами рубидия и цезия отрицательные значения изменения энергии Гиббса при температуре 1000 К во

много раз больше значения изменения энергии Гиббса при температуре 298 К. Противоположного характера зависимость выявлена для реакции взаимодействия диоксида углерода с оксидом калия (см. рис.1).

Влияние температуры на изменение энергии Гиббса для реакции диоксида углерода с оксидами двухвалентных металлов представлено на рис.2.

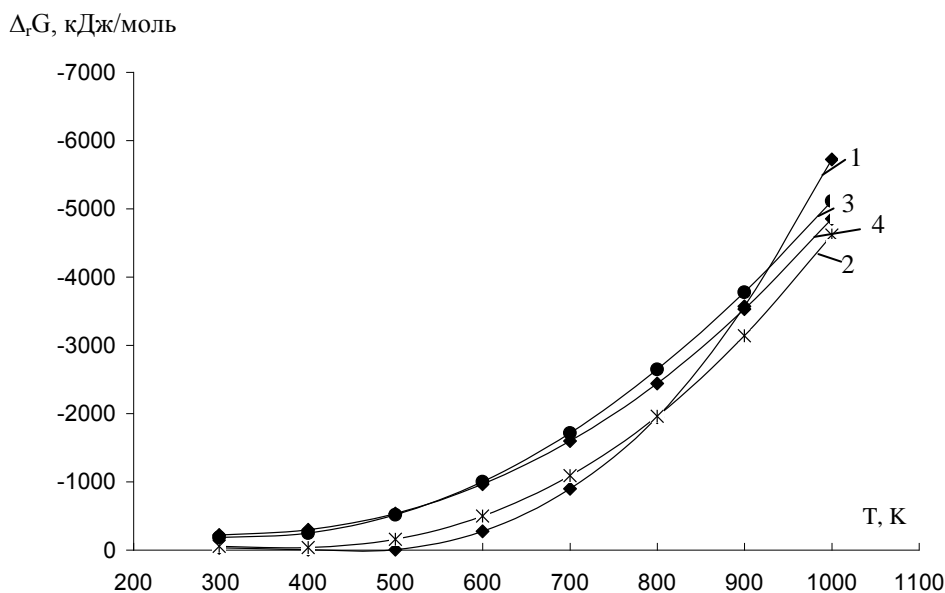


Рис. 2. Зависимость изменения энергии Гиббса от температуры для реакции диоксида углерода с оксидами двухвалентных металлов
 1- $\text{FeO} + \text{CO}_2 = \text{FeCO}_3$; 2 - $\text{MgO} + \text{CO}_2 = \text{MgCO}_3$; 3 - $\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$; 4 - $\text{BaO} + \text{CO}_2 = \text{BaCO}_3$.

Из представленных на рис.2 результатов видно, что при повышении температуры от 298 до 1000 К для всех реакций диоксида углерода с оксидами двухвалентных металлов отмечается резкое увеличение отрицательного значения изменения энергии Гиббса.

Вероятность реакции диоксида углерода с оксидами металлов при температуре 1000 К понижается в следующем ряду: $Rb_2O > Cs_2O > Na_2O > FeO > CaO > BaO > MgO > Li_2O$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен термодинамический анализ возможности выщелачивания промышленных стекол диоксидом углерода. Выявлены тенденции изменения энергии Гиббса для реакций диоксида углерода со щелочными оксидами и некоторыми оксидами двухвалентных металлов в интервале температур 300 – 1000 К.

Определено, что в стандартных условиях диоксид углерода должен вступать в реакцию со всеми щелочными оксидами и оксидами двухвалентных металлов. При повышении температуры от 298 до 1000 К отрицательное значение изменения энергии Гиббса для реакций диоксида углерода с оксидами металлов возрастает.

Вероятность реакции диоксида углерода с оксидами металлов при температуре 1000 К понижается в следующем ряду: $Rb_2O > Cs_2O > Na_2O > FeO > CaO > BaO > MgO > Li_2O$. С термодинамических позиций реакция диоксида углерода с оксидом калия при температурах 600 К и выше не возможна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безбородов М. А. Химическая устойчивость силикатных стекол. Минск: Наука и техника, 1972. 304 с.

2. Шарагов В. А. Химическое взаимодействие поверхности стекла с газами. Кишинев: Штиинца, 1988. 130 с.
3. Geotti-Bianchini F., Verita M., Hreglich S. a. a. Surface Chemistry of Commercial Glass Containers. *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.*, 1995, vol. 68 C1, p. 243-250.
4. Hense C. R., Mecha J., Schaeffer H. A. Treatment of soda-lime-silica glass surfaces with fluorine-containing gases. *Glasstech. Ber.*, 1990, vol. 63, № 5, p. 127-134.
5. Ryder R. J., Poad W. J., Pantano C. G. Improved Internal Treatments for Glass Containers. *J. Can. Ceram. Soc.*, 1982, vol. 51, p. 21-28.
6. Tichane R. M. Initial stages of the weathering process on a soda-lime glass surface. *Glass Tehnol.*, 1966, vol. 7, № 1, p. 26-29.
7. Shibayama H., Kawamoto Y., Tsuchihashi S. Surface Deterioration of some Optical Glasses by Acidic Vapor. *J. Ceram. Soc. Jap.*, 1972, vol. 80, № 1 (918), p. 43-52.
8. Schleifer P., Bugajski W., Kubacki W. Badania wplywu procesu chemotermicznego na zwiekszenie wytrzymalosci mechanicznej szkla. *Szklo i ceram.*, 1968, r. 19, № 8, s. 225-228.
9. Lombardo T., Lefevre R. A., Geotti-Bianchini F., Cachier H. Carbonaceous contamination on float glass surface exposed to atmospheric pollution in Paris. 6-th European Society of Glass Science and Technology. *Book of Abstracts*, 2002, p. 207.
10. Chen H., Park J. W. Atmospheric reaction at the surface of sodium disilicate glass. *Phys. and Chem. Glasses*, 1981, vol. 22, № 2, p. 39-42.
11. Douglas R. W., Isard J. O. The Action of Water and of Sulphur Dioxide on Glass Surfaces. *J. Soc. Glass Technol.*, 1949, vol. 33, № 154, p. 289-335.
12. Бабушкин В. И., Матвеев Г. М., Мчедлов-Петросян О. П. Термодинамика силикатов. Москва: Стройиздат, 1980. 349 с.

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ

Банчила С.Н.

Бельцкий государственный университет им. Алеку Руссо, ул. Пушкина, 38,
MD-3100, Бельцы, Республика Молдова
e-mail: bancila.simion@gmail.com

Sunt prezentate rezultatele experimentale privind măsurarea prin metoda de contact a rezistenței electrice a metalelor lichide. Măsurarea conductivității electrice a metalelor lichide este o parte a studiilor proprietăților termice și electrice ale acestor medii. Pentru măsurarea conductivității electrice a fost utilizată metoda de contact (încălzirea creuzetului de tantal subțire cu metal lichid într-un cuptor cu inducție). Metodica și rezultatele măsurărilor pentru 14 metale sunt prezentate în lucrările [1, 2, 3], eroarea sistematică de măsurare este de 2 %, iar cea aleatoare constituie ~1 %.

Cuvinte-cheie: metoda de contact, metal lichid, conductivitate electrică.

The experimental results of determining the contact method of the specific electrical resistance of fluid metals are presented in the given article. The determination of the electroconductivity of fluid metals is part of the investigation of the thermal and electrical properties of these media. The contact method is used to determine the electroconductivity that is by heating a thin walled tantalum crucible with a fluid metal in an induction furnace. The results of the determination of 14 metals are offered in the papers [1, 2, 3], the systematic inaccuracy lies within the limits of 2 %, the random forms ~1 %.

Keywords: contact method, liquid metal, electroconductivity.

Анализ результатов экспериментов в совокупности с литературными данными дает возможности сделать следующие выводы:

1. Температурная зависимость удельного электросопротивления жидких металлов имеет общие черты: почти линейный рост при относительно низких температурах, переходящий в более крутую, нелинейную зависимость при более высоких температурах. Исключение составляют *La, Ga, Tl*, для которых отклонения от линейной зависимости в изученном диапазоне температур не наблюдается [3].
2. Абсолютное значение удельного электросопротивления, как правило, возрастает с возрастанием атомного номера (исключение составляет *Ge* из изученных нами объектов). Во всяком случае, такая закономерность достаточно четко прослеживается в пределах каждой группы.
3. Отличительной особенностью поведения удельного электросопротивления редкоземельных металлов является относительно малое изменение этой величины при плавлении (~14 % у *La*,

~7 % у *Ce*, ~5 % у *Nd*, ~4 % у *Pr*, ~4 % у *Dy*). Этот факт был отмечен ранее в работе Ригеля А.Р., и объяснен им преобладающей ролью S-d рассеянных электронов в механизме сопротивления [3].

На рис. 1 представлены результаты измерений удельного электросопротивления, как наши (для *Sn, Pb, Cu, La, Ce, Nd, Pr, Dy, Ga, Tl, In, Sb, Bi*) так и литературные [3] (для *Li, Na, Cs, Ag, Al, Hg*).

Рассмотрение общей картины зависимости $\rho(T)$ для разных металлов не дает возможности увидеть какую-либо четкую закономерность. Некоторые из кривых на рис. 1 пересекаются. Большим значениям ρ соответствуют как меньшие, так и большие значения $\frac{\partial \rho}{\partial T}$.

Совсем иная картина получается при рассмотрении зависимости ρ от молярного объема. Конкретные зависимости электросопротивления от удельного и от свободного объема были рассмотрены ранее в работах А. Н. Соловьева [4]. Зависимость ρ от молярного объема для всех металлов, у которых достаточно хорошо изучена плотность, представлена на рис. 2. (для *Nd*,

Ce, Cu, Ga, Sn, Tl, In по нашим данным). Данные по плотности были взяты из работ.

Как видно из рис. 2, в таких переменных четко проявляется вполне определенная закономерность: кривые ρ (MV) образуют как бы одно большое семейство непересекающихся линий. Некоторые из кривых почти накладываются одна на другую. Существование достаточно четкой закономерности в зависимости ρ от молярного объема свидетельствует об определяющей роли, которую играют чисто геометрические факторы (среднее

расстояние между частицами в жидкости). Важная роль этого геометрического фактора в явлениях переноса (теплопроводности и вязкости) была выяснена ранее в работах А.С. Предводителя [1]. Там, однако, говорится о неметаллических жидкостях. Тот факт, что и движение электронов в жидких металлах управляется тем же фактором, является в известной мере неожиданным, во всяком случае, неочевидным, хотя в литературе и ранее рассматривались формулы, описывающие зависимость ρ от плотности.

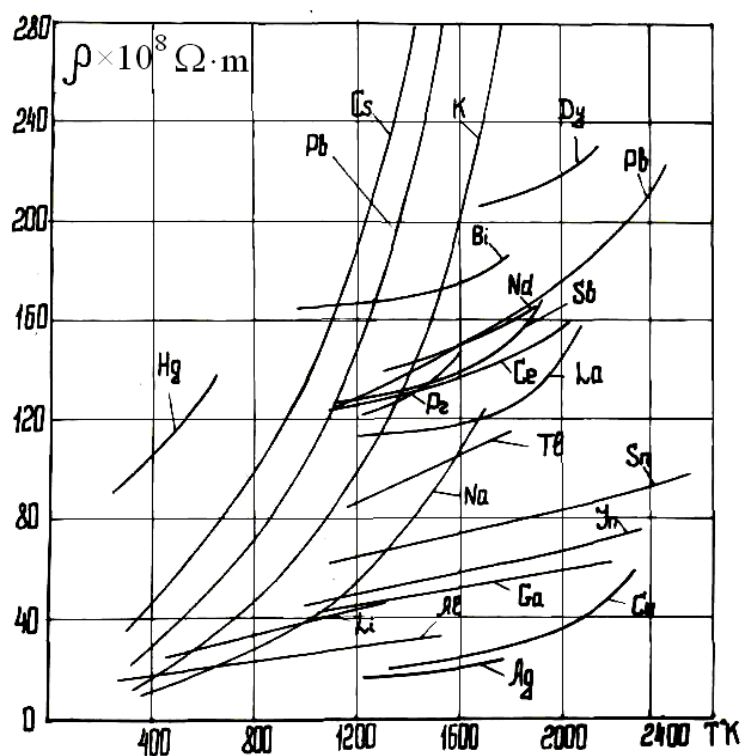


Рис. 1. Зависимость удельного электрического сопротивления жидких металлов от температуры

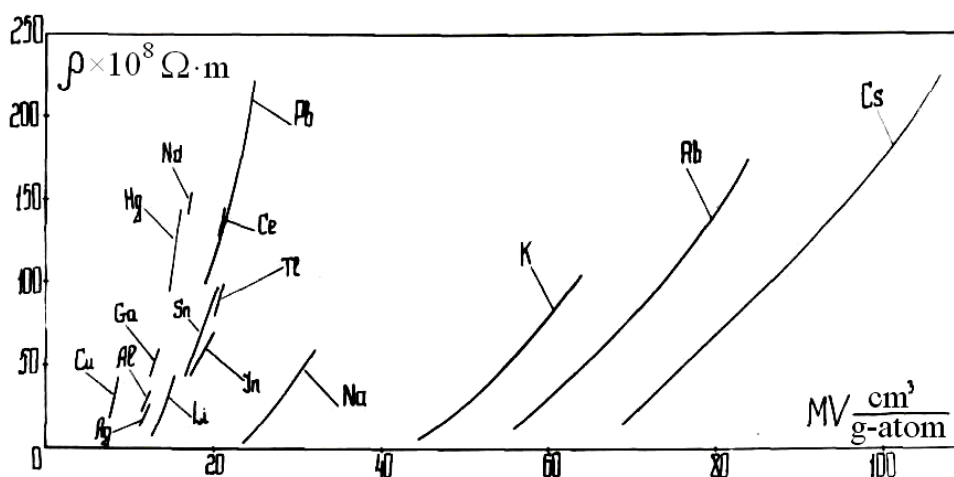


Рис. 2. Зависимость удельного электрического сопротивления жидких металлов от молярного объема

Существование общей закономерности в зависимости электропроводности от молярного объема дает возможность в принципе определять кривые зависимости $\rho=f(T)$ по известному значению электропроводности при одной температуре, если при этом известна температурная зависимость плотности. В самом деле, однопараметрический характер семейства кривых, изображенных на рис. 2 дает основание считать, что одна точка на этом графике полностью определяет конкретную кривую этого семейства. Следовательно что и теплопроводность как функция температуры может быть определена, исходя из тех же сведений об удельном сопротивлении при одной-то температуре и температурной зависимости плотности. Для реализации таких расчетов является необходимым тщательное изучение зависимостей $\rho=f(MV)$, которая в настоящее время упирается в

недостаточность сведений, о температурной зависимости плотности. Представляется, что перспектива создания методов расчета теплопроводности и электропроводности оправдала бы проведение программы детальных исследований теплового расширения жидких металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Банчила С. Н. Исследование тепловых свойств жидких металлов при температуре до 2000 К. Канд. дис. Моск. гос. унив. им. М. В. Ломоносова, 1973. 325 с.
2. Банчила С. Н., Филиппов Л. П. Изучение электропроводности жидких металлов. Теплофизика высоких температур, том. XI, №6, 1972, с. 1301-1305.
3. Тайбулаев Ф., Ретель А. Р., Хусанов Х. Физика твердого тела, 1969, том 11, вып. 11, с. 11-38.
4. Соловьев А. Н. ПМТФ, №6, 1963, 158 с.

Prezentat la redacție la 1 decembrie 2013

CZU 538.9

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ РАДИАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЛН

Банчила С. Н.

Бельцкий государственный университет им. Алеку Руссо, ул. Пушкина, 38,
MD-3100, Бельцы, Республика Молдова
e-mail: bancila.simion@gmail.com

Se prezintă două variante a metodei undelor radiale de temperatură cu variația armonică și cu modularea puterii de încălzirea probelor în forma de П. Încălzirea probei supusă cercetărilor, care reprezintă un cilindru cav sau o celulă umplută, cu metal lichid are loc în vid prin bombardarea prin electroni.

Cuvinte-cheie: metoda undelor radiale de temperatură, proprietăți termice, metal.

Two variants of the method of radial temperature waves are examined. In the first case power changes according to the synodical harmonic law, in the second according to P-graphic law. The heating of the examined model made in the state of a complete cylinder is realized by electronic bombing in vacuum.

Keywords: method of radial temperature waves, thermal properties, metal.

Сущность метода радиальных температурных волн такова. Исследуемый образец представляет собой полый цилиндр или ячейку с жидким металлом, образованную двумя коаксиальными трубками. Поверхность полости (или наружной трубки) подвергается периодическому нагреву электронной бомбардировкой, колебания температуры противоположной поверхности регистрируются. Температуропроводность находится по характерному времени, определяемому сопоставлением периодических кривых изменения мощности нагрева и кривых изменения температуры при известной геометрии системы. Для определения теплоемкости и теплопроводности используется информация о тех же кривых с учетом абсолютного значения измерения мощности и температуры [1].

Существуют два способа анализа экспериментов такого типа (два варианта теории метода). В первом способе рассматривается случай гармонического синусоидального изменения мощности. Этот метод может быть рассмотрен для периодических сигналов любой формы, если учесть линейность задачи, использовать разложение сигнала мощности в ряд Фурье и то же самое сделать с сигналом изменения температуры. Практически наиболее удобной формой модуляции мощности является П - образная.

Для использования теории гармонического приближении из сигнала колебаний температуры методами гармонического анализа выделяют первую гармонику (определяют её амплитуду и фазу) и в качестве сигнала мощности рассматривают I-ую гармонику.

П - образного сигнала. Такой метод обработки результатов измерений использовался в работах [2, 3].

Для П - образного измерения мощности для относительно медленных колебаний температуры (с частотой порядка единиц и долей герцев) на определенных участках периодической кривой осуществляются условия, характерные для регулярного теплового режима П-го рода, т.е. прямолинейные участки, соответствующие нагреву и охлаждению с постоянной скоростью.

Как показано в работе [3], по наклону этих прямолинейных участков (по скорости нагрева) и известной мощности нагрева можно определить теплоемкость

$$C_p = \frac{q}{2M \frac{dT}{d\tau}} \quad (1)$$

где $\frac{dT}{d\tau}$ – скорость нагрева (охлаждения);

q – мощность периодического нагрева.

Для температуропроводности получена формула (2):

$$a = \frac{R_2^2}{8\delta t} \left[1 + \xi^2 + \frac{4\xi^2}{1 - \xi^2} \ln \xi \right] \quad (2)$$

где $\xi = \frac{R_1}{R_2}$ – отношение радиусов.

В случае внешнего нагрева получена такая же формула для определения температуропроводности, как и в случае внутреннего нагрева и внешней регистрации.

В данной работе для изготовления ампул были использованы трубки радиусом $R_2 = 13,8$ мм, $R_1 = 6$ мм, т.е. $\xi = 0,406$.

Описанный метод разработан на кафедре молекулярной физики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова [2], и применяется в исследованиях, проводимых кафедрой физики Бельцкого государственного университета им. А. Руссо.

Случайная ошибка измерения температуропроводности составляет 4-5 % и 5 % для теплоемкости [1, 2]. Результаты измерения теплоемкости и температуропроводности изученных металлов приведены в работах [2, 3, 4].

Рассмотрение наших экспериментальных данных по тепловым свойствам дает возможность сделать следующие заключения:

1. Абсолютные значения теплоемкости легкоплавких металлов *Sn, Pb, Ga, In* близких, лежат в пределах $7 \div 6 \frac{\text{кал}}{г - \text{атом} \cdot K}$ в области температур (1000 ÷ 2000 K). Несколько выше в этой области температур значения теплоемкости *Cr* для *Tl* -

$(9 \div 7 \frac{\text{кал}}{г - \text{атом} \cdot K})$.

2. Для изученных легкоплавких металлов характерно монотонное убывание *Cr* с ростом температуры. Меньшее значение температурной зависимости *Cr* для *Ga*, возможно связано с общей тенденцией убывания температурного коэффициента, которая у щелочных металлов в области $\frac{T}{T_{пл}}$ 2-3 приводит к проявлению минимума теплоемкости [2].

3. Следует обратить внимание на заметное различие в поведении *Cr* жидких металлов и неметаллических одноатомных веществ,

жидких инертных газов. У последних *Cr* монотонно увеличивается с увеличением температуры. Различие в поведении неметаллических веществ и металлов свидетельствует о заметном влиянии типа межмолекулярного взаимодействия на термодинамические свойства вещества о специфике проявления металлической связи.

4. Для редкоземельных металлов *La, Pr, Dy* вблизи $T_{пл}$ характерны относительно большие значения *Cr* ($12 \div 9 \frac{\text{кал}}{г - \text{атом} \cdot град}$),

что обнаружено и в работе [5] для *La, Nd, Ce, Sm*. Спеддинг объяснил этот факт ролью теплоемкости внутренних электронов, на долю которых приходится у *Ce* 0,91, у *Nd* 1,84, у *Sm* 1,22 $\frac{\text{кал}}{г - \text{атом} \cdot град}$: вдобавок к

теплоемкости системы ионов и теплоемкости электронов проводимости.

5. Величина скачков теплоемкости при плавлении *La, Pr, и Dy* незначительна, находится в пределах погрешности измерения, что характерно практически для всех изученных металлов.

6. Для редкоземельных (*La, Dy, Pr*) наблюдаются малые изменения температуропроводности, теплопроводности и удельного электрического сопротивления, что объясняется спецификой строения (незаполненность d-оболочек).

7. Температуропроводность изученных металлов (за исключением *Pr* и *Ga*) закономерно изменяется с изменением атомного номера (в пределах каждой группы), убывает с возрастанием атомного номера.

8. Для изученных нами элементов теплопроводность имеет положительный температурный коэффициент. Отклонения значений теплопроводности, полученных в нашем эксперименте, от значений, рассчитанных с использованием теоретического значения числа Лоренца для *Sn, Pb, Ga, In, Tl, Pr*, не превышает систематической погрешности определения этой величины (8-10 %). Отклонения от этого закона, найденные для *Dy*, могут быть связаны с частичным растворением металла; результаты, полученные для *La*

при высоких температурах, частично могут быть объяснены погрешностью экстраполяции данных по плотности.

В целом же следует сделать вывод о том, что использование закона Видемана-Франца дает удовлетворительную оценку теплопроводности жидких металлов, во всяком случае, в области температур до 2000 К. Этот вывод дает основание перенести центр тяжести в исследованиях явлений переноса на электропроводность с тем, чтобы выявить наиболее общие закономерности поведения этой важной величины.

Литература

1. Банчила С. Н., Филиппов Л. П., Экспериментальное изучение комплекса тепловых свойств некоторых редкоземельных металлов при высоких

температурах. Инженерно-физический журнал, 1974, том. XXVII, №I, с. 68-71.

2. Банчила С. Н. Исследование тепловых свойств жидких металлов при температуре до 2000 К. Канд. дис. Моск. гос. унив. им. М. В. Ломоносова, 1973. 325 с.

3. Банчила С. Н., Филиппов Л. П., Новые измерения комплекса тепловых свойств жидких олова и свинца. Теплофизика высоких температур, 1973, том. XI, вып. 13, с. 668-671.

4. Băncilă S. The study of thermal properties of liquid metals using the method of temperature radial waves. Materialele Conf. Științifice Internaționale, a XII-a ediție, Științe tehnice și fundamentale, secția Mecanica aplicată și tehnica militară. Sibiu, România, 2007, vol. III, p.124-131.

Prezentat la redacție la 1 decembrie 2013

INFLUENȚA PROPRIETĂȚILOR MAGNETICE ALE ELECTROZILOR DE PRELUCRARE ASUPRA PROCESULUI ALIERII PRIN SCÎNTEI ELECTRICE ÎN CÎMP MAGNETIC

Pereteatcu P.*, Cracan C.

Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, str. Pușkin, 38, MD-3100, mun. Bălți,
Republica Moldova

e-mail: pereteatcupavel@yahoo.com

În lucrare s-a cercetat influența proprietăților magnetice ale materialelor electrozilor și valorii inducției câmpului magnetic suprapus pe zona ASE asupra intensității formării acoperirilor pe suprafața catodului. S-a stabilit că cea mai mare cantitate de material erodat al anodului și o creștere maximă a masei catodului, s-a obținut la suprapunerea pe zona ASE a câmpului magnetic cu inducția de 0,01 – 0,1 T.

Cuvinte-cheie: electrod, aliere prin scînteii electrice, câmp magnetic, acoperire.

The influence of the magnetic properties of electrodes' material and of the value of magnetic field induction introduced at ESA zone on the deposition formation intensity on the cathode surface was investigated in this work. It was established that greater quantity of eroded anode material and the maximal increase of the cathode mass was observed at introduction on the ESA zone the magnetic field induction of 0.01-0.1 T.

Keywords: electrode, electro-spark alloying, magnetic field, deposition.

INTRODUCERE

Este cunoscut faptul că alierea prin scînteii electrice (ASE) a suprafețelor metalice se bazează pe efectul eroziv polarizat și al transferului materialului anodului (sculei) pe catod (piesa) la descărcarea electrică prin impuls în mediul gazos [1-3].

Tehnologia ASE are un șir întreg de avantaje care se manifestă prin anumite particularități, dintre care menționăm: prelucrarea locală a suprafeței; posibilitatea utilizării în calitate de materiale de prelucrare atât a metalelor pure, cât și a aliajelor lor, lipsa necesității pregătirii prealabile a suprafeței supuse prelucrării, aparataj. Necătfînd la aceasta, autorii metodei ASE, B. R. și N. I. Lazarenco, iar mai tîrziu, numeroși cercetători, au demonstrat că formarea straturilor superficiale în procesul ASE, depinde de un număr semnificativ de factori, principalii fiind energia descărcărilor electrice, componența mediului interelectroodic, natura materialului anodic, etc [3]. În scopul rezolvării acestor probleme, au fost efectuate diverse cercetări experimentale, care au permis rezolvarea problemelor menționate mai sus.

În acest context, au fost efectuate cercetări privind influența proprietăților

magnetice ale electrozilor de prelucrare asupra procesului de ASE în câmp magnetic.

Cercetările experimentale au fost efectuate după metoda descrisă în [4].

REZULTATELE CERCETĂRII ASE CU MATERIALE FIERO-MAGNETICE

În calitate de anodi cu proprietăți fiero-magnetice (electrozi de prelucrare) sau utilizat bare din nichel, aliaj cromnichel XH62MTIOJI (БЖЛ-14), și, de asemenea, aliaje dure în baza carburii de wolfram: „BK8” (2%WC, 8%Co) și „BK20” (80%WC, 20%Co). În fig. 1. sunt prezentate rezultatele variației creșterii masei catodului din Oțel 3 în timp față de valoarea modulului inducției magnetice.

Din fig. 1, se observă că valoarea maximală a cantității materialului anodului transferat pe catod, într-o unitate de timp (în 2 min) pentru o valoare a inducției câmpului magnetic, egală cu 0,069 T este de două ori mai mare decît la ASE în acelaș regim în absența câmpului magnetic. Deasemenea la o creștere în continuare a inducției câmpului magnetic, pînă la 0.081 T, transferul de masă de la anod spre catod, din nou se mărește, și apoi scade odată cu creșterea inducției, (B=0,086 T).

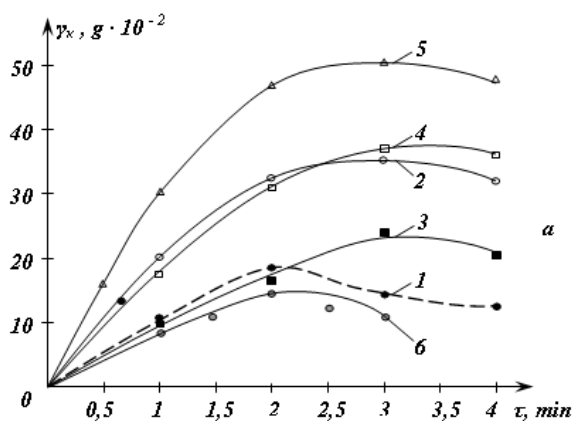


Fig. 1. Variația creșterii masei catodului din Oțel 3 în timp față de valoarea inducției câmpului magnetic; anodul – Ni, energia descărcării: 0,3 J. 1 – B=0 T; 2 – B=0,069 T; 3 – B=0,075 T; 4 – B=0,081 T; 5 – B=0,086 T; 6 – B=0,091 T

Astfel, curbele integrale de schimbarea masei catodului în timp, obținute în dependență de valorile diferite ale intensității câmpului magnetic și energiei descărcării, confirmă fenomenul oscilației cuazei regulare în procesul descărcărilor unitare [4].

S-a stabilit că acest efect se evidențiază pentru oricare alte mărimi ale energiei descărcării în acest caz se schimbă numai punctele maximumului pe curba de creștere a masei catodului $\gamma_k = f(t)$ (fig. 2 și fig 3).

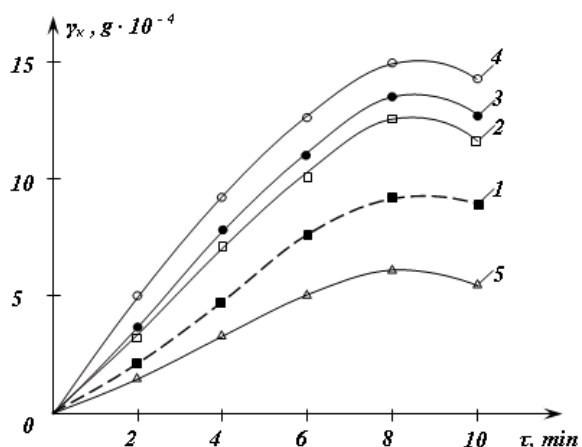


Fig. 2. Dependența creșterii masei catodului din Oțel 45 de valoarea inducției câmpului magnetic la ASE cu anod din aliajul (BЖJI-2) regimul 3 al instalației EFI-ELECTROM-10. 1 – B=0, T; 2 – B=0,075 T; 3 – B=0,079 T; 4 – B=0,081 T; 5 – B=0,086 T

În plan practic fenomenul oscilației cuaziregulară a transferului de masă poate fi utilizat pentru optimizarea procesului ASE. Pentru o valoare minim posibilă a energiei descărcării, la care se efectuează transferul masei anodice pe catod, valoarea inducției

câmpului magnetic poate fi variată în așa fel, încât obținem o cantitate maximă de material al electrodului de prelucrare transferată pe catod și de a obține o calitate superioară a stratului superficial.

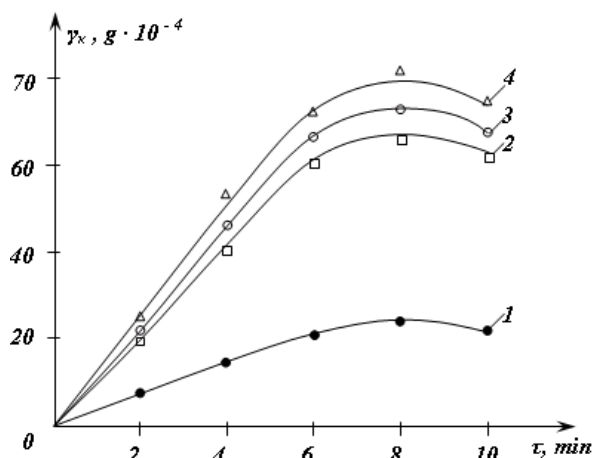


Fig. 3. Variația masei catodului în timp în dependență de valoarea inducției câmpului magnetic. Catodul – Oțel 45, anodul – (BЖJI-2) regimul 4, EFI-10M: 1 – B=0, T; 2 – B=0,07 T; 3 – B=0,08 T; 4 – B=0,074 T

Aceasta se poate explica foarte simplu, dacă ținem cont de faptul, că la regimuri de prelucrare cu valori mici ale energiei descărcărilor se obțin straturi durificate cu rugozitate joasă. Pe de altă parte, după cum s-a menționat mai sus, câmpul magnetic în procesul ASE contribuie nu numai la intensificarea eroziunii anodului, dar și la o mai bună umectare a suprafeței metalice cu faza lichidă, care se formează în rezultatul eroziunii electrozilor la trecerea descărcărilor electrice.

ASE CU MATERIALE DIA- ȘI PARAMAGNETICE SISTEMUL: Ag - Cu (DIAMAGNETICI). Ag (ANOD); Cu (CATOD)

Variația masei catodului se controla peste fiecare 0,5 min de prelucrare, argintarea cu scânteie electrică se efectua la două regimuri diferite după parametrii electrice ai instalațiilor: EFI – Electrom-10 și EFI-54. La energii egale ale descărcării pentru regimurile de lucru date intensitatea curenților de lucru se deosebea de 4-5 ori. De aceea și rezultatele obținute se deosebesc substanțial.

În același timp la argintarea cu scânteie electrice la regimul 2 al instalației EFI-54 se

observă o pronunțare clară a fenomenului oscilației cuaziregulare a creșterii masei catodului. În lipsa câmpului magnetic maximul curbei $\gamma = f(t)$ se stabilește în minuta a 9-a. În acest timp s-a obținut o creștere mai mare a masei catodului la alierea în câmp magnetic pentru o valoare a inducției egală cu 0,07 T. Însă pentru valorile inducției de 0,04; 0,08 și 0,1 T maxima pe curba $\gamma = f(t)$ se stabilește corespunzător în a 5-a, a 2-a și a 4-a minută. Valoarea absolută a masei anodice transferate în ultimul caz este de două ori mai mică. De exemplu, pentru ASE în câmp magnetic la regimurile 2-4 a instalației EFI-Electrom 10 rezultatele obținute nu se deosebesc cu mult de cele obținute în lipsa câmpului (fig. 4 – fig. 7).

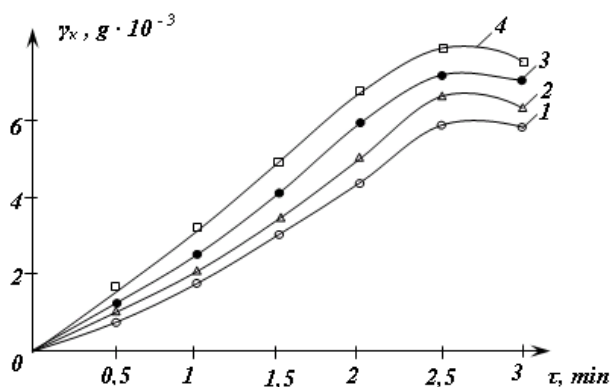


Fig.4. Schimbarea masei catodului în timp în dependență de valoarea inducției câmpului magnetic. Catod – cupru, anod – argint, reg. 2, instalația EFI-10: 1 – B=0,072 T; 2 – B=0,076 T; 3 – B=0 T; 4 – B=0,07 T

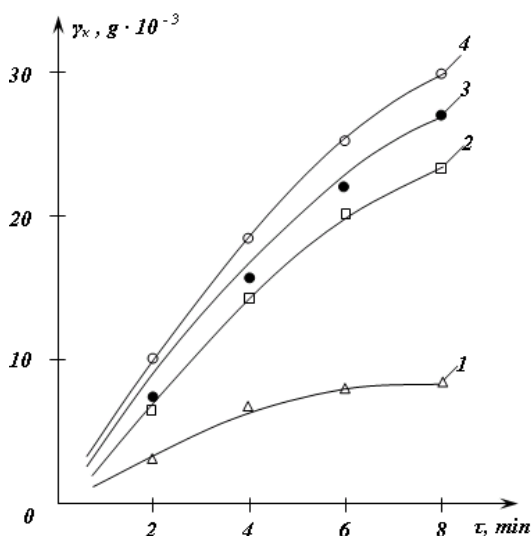


Fig. 5. Variația creșterii masei catodului la ASE cu electrod din aliaj dur „BK-20” în câmp magnetic de diverse valori ale inducției, regimul 2, EFI-54A: 1 – B=0 T; 2 – B=0,02 T; 3 – B=0,08 T; 4 – B=0,04 T

Pentru valorile inducției indicate ale câmpului magnetic se observă o oarecare destabilizare a procesului de argintare. Exterior aceasta se manifestă prin schimbarea formei scântei, care devine în formă de butoi, cea ce ne vorbește despre lărgirea canalului de descărcare. În rezultatul acestui fenomen are loc dispersarea în mediul înconjurător a fazei de vapori și masei erozive a anodului de Ag, care se depune intensiv pe polii electromagnetului.

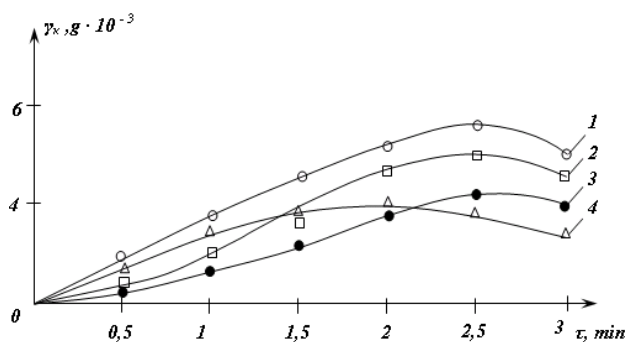


Fig. 6. Schimbarea masei catodului în timp în dependență de mărimea inducției câmpului magnetic: catod – cupru, anod – argint, reg.4, instalația EFI-10M: 1 – B=0 T; 2 – B=0,078 T; 3 – B=0,07 T; 4 – B=0,074 T

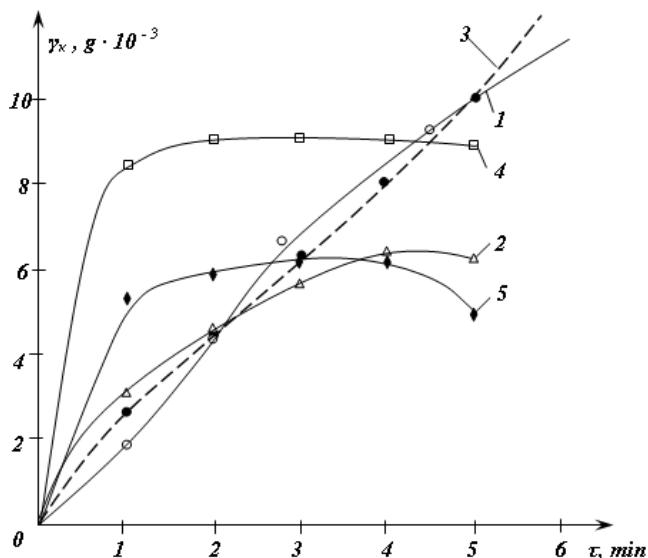


Fig. 7. Variația creșterii masei catodului în dependență de mărimea inducției câmpului magnetic: catod – cupru, anodul – argint, regimul 2, EFI-54A. 1 – B=0 T; 2 – B=0,078 T; 3 – B=0,07 T; 4 – B=0,074 T; 5 – B=0,086 T

Așadar, este evident că pentru valori ale inducției câmpului magnetic egale cu 0,04; 0,08 și 0,1 T are loc defocalizarea fascicolului electron-ionic, în rezultatul căruia o parte considerabilă a particulelor ionizate sunt

aruncate din zona ASE. În final, pentru unul și același timp de prelucrare creșterea masei catodului este de două ori mai mică, decât în lipsa câmpului.

În același timp, la aplicarea câmpului magnetic cu inducția egală cu 0,07 T pe zona ASE, are loc focalizarea canalului de descărcare, și respectiv, comprimarea canalului descărcării. Din această cauză o cantitate mai mare a masei erodate este transferată pe suprafața catodului (curba 3, fig.7).

CONCLUZIE

Rezultatele cercetărilor experimentale, au demonstrat că proprietățile magnetice ale electrozilor de prelucrare, influențează procesul ASE în câmp magnetic, astfel sa stabilit că între valoarea inducției câmpului magnetic și valoarea energiei descărcării există o corelare anumită, care conduce la fenomenul oscilației cuaziregulare. Acest fenomen, este caracteristic atât pentru materialele fiero-magnetice, cât și pentru materialele dia- și paramagnetice.

BIBLIOGRAFIE

1. Лазаренко Б. Р., Лазаренко Н. И., Физика искрового способа обработки металлов. Москва: РИО ЦБТИ, 1946. 76 с.
2. Лазаренко Б. Р., Лазаренко Н. И., Электроискровая обработка токопроводящих материалов. Москва: Изд-во АН СССР, 1958. 182 с.
3. Гитлевич А. Е., Михайлов В. В., Парканский Н. Я., Ревуцкий В. М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Под ред. акад. АН МССР Ю.Н. Петрова. Кишинев: Штиинца, 1985. 195 с.
4. Pereteatcu P. Contribuții privind intensificarea alierii prin scînteii electrice la acțiunea cu surse energetice din exterior. Autoreferat al tezei de doctor în tehnică. Chișinău, 2008. 20 p.

Prezentat la redacție la 1 august 2013

NOI APLICAȚII ALE DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE ÎN IMPULS CU UTILIZAREA ELECTROZILOR–SCULĂ DIN GRAFIT

Beșliu V.*, Topala P.

Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, str. Pușkin, 38, MD-3100, mun. Bălți, Republica Moldova

*e-mail: besliuvitalie@mail.ru

În această lucrare sunt prezentate ultimele rezultate și unele aplicații industriale și de laborator ale peliculelor de grafit obținute prin descărcări electrice în impuls, în regim de subexcitare, la diferite regimuri de prelucrare. Prin analize metalografice și studierea microdurității straturilor superficiale a pieselor din oțel și fontă s-a determinat faptul că descărcările electrice în impuls provoacă procese termice cât și termochimice, acestea influențează considerabil microduritatea stratului alb mărindu-i valoarea ei de aproximativ 4-10 ori. Respectiv acestea posedă rezistență la uzură la temperaturi ridicate, poate fi folosit ca unguent solid, micșorează rugozitatea, dar posedă și proprietăți de antiaderență.

Cuvinte-cheie: descărcări electrice în impuls, electrod-sculă, grafit, microduritatea, rezistența la uzură.

This paper presents the latest results and some industrial and laboratory applications of graphite films produced by electrical discharges in impulse, at sub-excitement regime, at different processing regimes. The metallographic analysis and the study of superficial micro-hardness of steel and cast iron parts determined that electrical discharges in impulse causes thermal and thermochemical processes, that considerably influence surface microhardness increasing its white layer by about 4-10 times. Respectively they possess wear resistance at high temperatures, can be used as solid ointment, reduce roughness, but also possess anti-adhesive properties.

Keywords: electrical discharges in impulse, tool-electrode, graphite, micro-hardness, wear resistance.

INTRODUCERE

Pentru durificarea și depunerea straturilor de protecție, un rol important îl au metodele electrofizice de prelucrare a materialelor care se bazează pe utilizarea fluxurilor concentrate de energie, cum ar fi fascicolul de electroni [16], razele laser, plasma de temperatură joasă [1, 16], descărcări electrice în impuls etc.[1]. Una dintre aceste metode este prelucrarea superficială cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls a suprafețelor metalice care cu succes este aplicată pentru durificarea pieselor mecanismelor din construcția de mașini [2-6]. Procesul de durificare cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls a suprafețelor metalice se bazează pe efectul eroziunii electrice și al transferului polar al materialului anodului pe catod la amorsarea între aceste și piesa prelucrată a descărcărilor electrice în impuls, ceea ce este caracteristic materialelor metalice. Aceasta asigurând posibilitatea de a forma pe suprafața piesei supuse prelucrării a unui strat superficial cu proprietăți fizico-chimice deosebite [1]. Pentru prelucrarea suprafeței în conformitate cu această metodă în calitate de electrod-sculă anod sunt utilizate diferite materiale

conductoare de curent electric cum ar fi: cuprul, carburile metalice, grafitul, nichelul etc. care influențează asupra proprietăților fizico-chimice și mecanice ale suprafețelor supuse cercetării (schimbându-i duritatea, rezistența la uzură, rugozitatea etc.) [1, 6].

A fost demonstrat faptul, că utilizarea electrodului-sculă executat din grafit poate influența asupra micșorării rugozității stratului superficial supus prelucrării [7, 13] și sporirii microdurității [9, 10, 11].

În cazul aplicării electrodului-sculă executat din grafit în mediu aer acesta fiind conectat în calitate de anod [11] pe suprafața piesei se atestă o sporire a microdurității, la utilizarea electrodului cu polaritatea catod de asemenea se observă o sporire a microdurității însoțită și de formarea unor depuneri de grafit pe suprafața supusă prelucrării care servește ca o peliculă antiaderentă cu valori de ordinul μm . În rezultatul utilizării polarităților bipolare și anume catod, catod-anod și anod-catod, cercetările experimentale au demonstrat faptul că microduritatea stratului superficial sporește mai mult ca în cazul utilizării impulsurilor unipolare. Rezultatele experimentale și aplicațiile realizate a celor deziderate vor fi prezentate în această lucrare.

METODICA CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE

În lucrările [8, 12] este menționat că tratamentele termice și termochimice cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls, pot avea loc fără topirea și vaporizarea materialului piesei supuse prelucrării. Adică pentru a obține un tratament termic fără topirea materialului este nevoie ca durata de descărcare să fie mai mică ca circa 10^{-7} s. Ținând cont de acestea a fost utilizat un generator de impulsuri de curent de tip RCL schema căruia este prezentată în lucrarea [12]. Studiind oscilogramele acestor descărcări putem afirma că durata impulsului de descărcare poate varia de la 9 până la 26 μ s, durata dintre impulsuri alcătuind 6-15 μ s pentru impulsurile bipolare, iar pentru cele unipolare durata impulsului alcătuiește $\tau=0-250$ μ s.

Cercetările experimentale au fost efectuate în condiții de aer la presiunea atmosferică, Electrocul - sculă este confecționat din grafit sub formă de bară cu diametrul 2-3 mm, rotunjit la capăt sub formă de emisferă, iar piesa confecționată din oțel 45, oțel 37 în stare normalizată sub formă de paralelipiped, cu dimensiunile $20 \times 20 \times 5$ mm pentru piesele din oțel 45 și $800 \times 600 \times 2$ mm pentru piesele din oțel 37. De asemenea au fost supuse cercetărilor experimentale și unele materiale din fontă. Generatorul cu impulsuri bipolare posedă parametrii: tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare variază de la 0 V până la 600 V, energia pe interstițiu variază în limitele 0,26-0,58 J, frecvența descărcărilor alcătuia $f=1-8$ Hz, mărimea interstițiului $S=0,5$ mm, capacitatea $C=8$ μ F. Generatoul cu impulsuri unipolare posedă parametrii: energia degajată în interstițiu $W_s=0-4,8$ J, energia acumulată pe bateria de condensatoare $W_c=0-12$ J, tensiunea pe bateria de condensatoare $U_c=0-250$ V, capacitatea $C=100-600$ μ F cu pasul 100 μ F,

interstițiu $S=0,05-2,5$ mm; frecvența descărcărilor $f=0-50$ Hz.

REZULTATE EXPERIMENTALE ȘI ANALIZĂ LOR

În rezultatul acțiunii descărcărilor electrice în impuls asupra oțelului 45 normalizat, cu electrocul-sculă din grafit, pe suprafața piesei au loc depuneri de grafit de diferite grosimi în dependență de utilizarea electrocului-sculă în calitate de catod, anod-catod și catod-anod. Studiul morfologiei suprafeței piesei după interacțiunea cu plasma descărcărilor electrice în impuls ne atestă faptul că, în cazul utilizării electrocului executat din grafit în calitate de catod depunerile sunt mai mari.

Analiza metalografică a pieselor prelucrate a demonstrat faptul că, pe suprafața piesei în afara depunerilor din grafit se mai formează și stratul alb, separat de materialul de bază printr-un strat intermediar. Cercetarea microdunității acestor straturi atestă că, microdunitatea cea mai înaltă o posedă stratul alb. Valoarea microdunității este funcție de regimul energetic de prelucrare.

La schimbarea polarității electrocul - sculă (anod) din grafit erodează mai puțin, iar sub influența energiei canalului de plasmă are loc difuzia peliculei din grafit în piesă cu microcălire la suprafață, astfel mărind proprietățile funcționale ale pieselor supuse prelucrării. Cercetările experimentale cu formare a peliculelor de grafit pe suprafața plonjorului forme de turnare a sticlei confecționate din fontă au demonstrat: analiza morfologiei suprafeței supuse prelucrării a confirmat ca formațiunile pe suprafața nu depășesc mărimi micrometrice; în afară de componentele inițiale ale materialului prelucrat se atestă o cantitate considerabilă de carbon (circa 80 %) în conținut atomic [10].

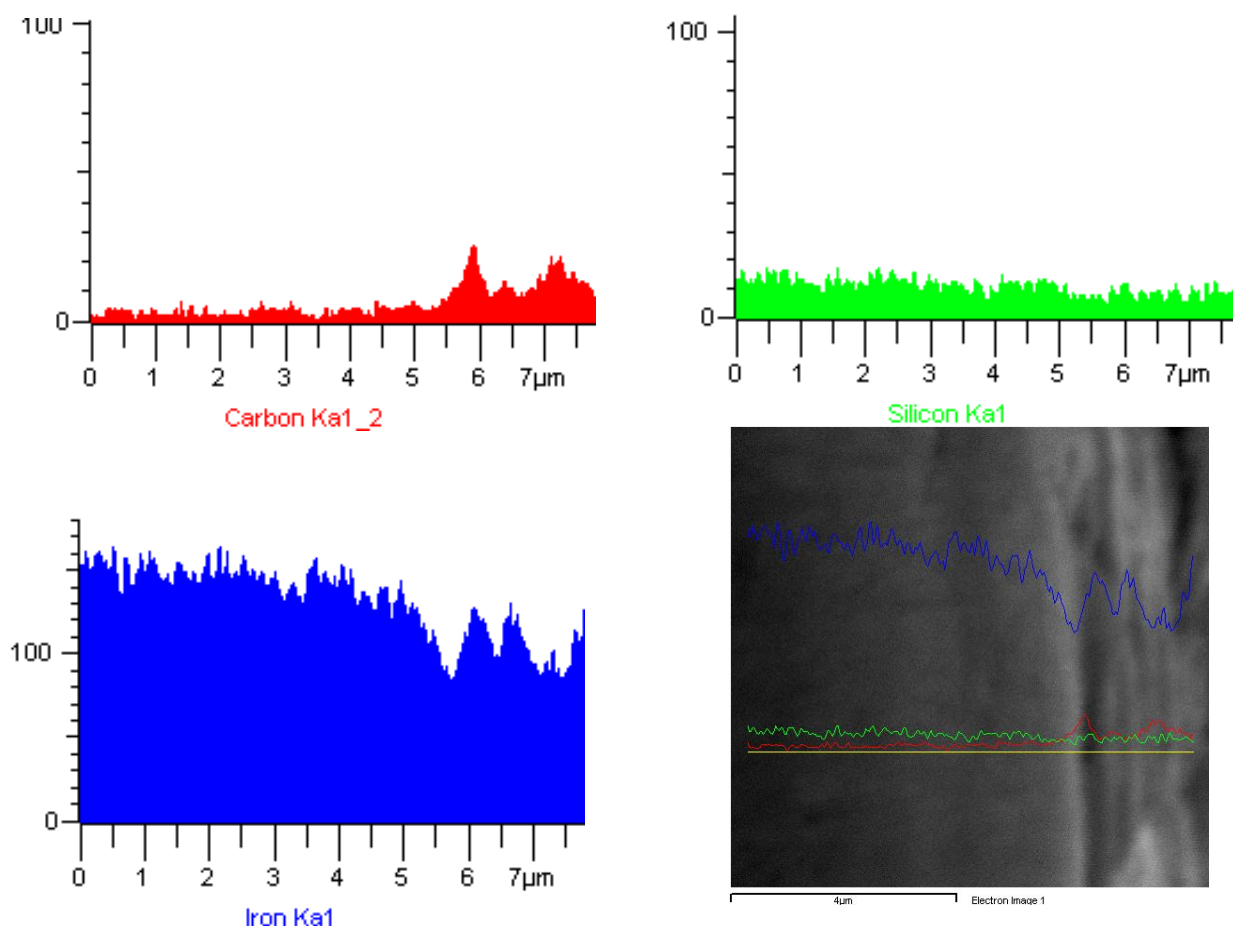


Fig. 1. Distribuția carbonului în suprafața prelucrată

Acesta nu poate exista în stare liberă el formează legături în structura metalică formând carburi sau în structuri separate sub formă de grafit. Dacă analizăm cele prezentate în fig. 1 putem constata că, marea majoritate a carbonului transferat pe suprafața piesei se atestă la adâncimi de ordinul micrometrilor, ceea ce permite a concluda că este posibilă formarea fazelor de carburi și a celor de grafit în mod separat. În favoarea celor menționate sunt rezultatele obținute la încercarea plonjoarelor în condiție reale de exploatare astfel s-a stabilit că plonjoarelor formelor de turnare pe suprafața activă a cărora au fost formate pelicule de grafit au funcționat la 57600 cicluri în lipsa modificării formei și dimensiunile acestora.

În acest sens, pentru a compara uzura plonjoarelor formelor de turnare a sticlei s-au executat cercetări experimentale în ciclul tehnologic. Au fost supuse la încercare plonjoare acoperite cu grafit prin descărcări electrice în impuls și neprelucrate. După acoperirea piesei cu grafit diametrul plonjorului s-a mărit în mediu cu aproximativ

35 μm față de diametrul inițial, adică ca rezultat avem depuneri de grafit cu grosimea medie de cca. 17 μm pe suprafață sub formă de peliculă. După măsurarea uzurii plonjorului din fontă acoperit cu grafit după funcționare în ciclul tehnologic (timp de 75 ore) se observă ca dimensiunile lui pe toată lungimea activă nu au atins cota inițială, pe când plonjorul neacoperit a suferit uzări dimensionale de cca. 10 μm pe unele porțiuni, iar pe altele se atestă creșterea dimensiunii inițiale din contul aderării masei sticloase. Comparând rezultatele obținute privind uzura dimensională a plonjoarelor cu depuneri din grafit și în lipsa acestora putem constata că, cele cu depuneri de grafit dispun de o rezervă de funcționare până a atinge dimensiunile inițiale și desigur de o rezervă considerabilă până a atinge valoarea uzurii tehnologice admisibile. Acesta atestă faptul că stratul de grafit depus pe suprafață îndeplinește simultan mai multe funcții: protecția antiuzură, exclude aderarea masei sticloase la suprafața lui, este un unguent în stare solidă și sporește refractabilitatea piesei.

Cercetările experimentale ne demonstrează ca în cazul electrodului-sculă catod [5] pe lângă pelicula din grafit se formează în strat alb microduratea căruia este mai mare ca a materialului de bază de circa 1,5-2 ori, la utilizarea electrodului sculă în regim de anod [8, 11] se atestă o mărire a microduratei de circa 2-5 ori și se observă oxidarea suprafeței, însă fără formarea unei pelicule din grafit. În cazul utilizării regimului combinat de prelucrare putem observa că, microduratea maximă este obținută la două treceri, pentru energia degajată în interstițiu de $W=0,42$ J și alcătuiește $101,8 \times 10^8$ Pa ceea ce este de circa 10 ori mai mare ca valoarea microduratei materialului de bază fig. 2(2), după care microduratea maximală a stratului alb se micșorează. Pentru energia degajată în interstițiu de $W=0,58$ J fig. 2(3), valoarea maximă a microduratei este obținută de asemenea pentru două treceri ce alcătuiește $47,88 \times 10^8$ Pa, fiind de aproximativ 4 ori mai mare decât cea a materialului de bază, apoi urmând de asemenea o micșorare a

microduratei maxime cu mărirea numărului de treceri. Pentru energii degajate în interstițiu de circa $W=0,26$ J curba valorilor microduratei maxime de $22,6 \times 10^8$ Pa are forma exponențială fig. 2(1) dat fiind faptul că microduratea maximă este obținută la o singură trecere. Grosimea stratului alb nu depășește 10 - 14 μm pentru valorile maxime a microduratei. În unele cazuri se observă faptul că microduratea stratului alb se micșorează odată cu creșterea grosimii acestuia Acest ceea ce poate fi explicat prin apariția proceselor de revenire la suprafața piesei supuse tratării termochimice cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Așadar, în dependență de regimurile de prelucrare alese, în cazul prelucrării combinate, mărirea microduratei poate fi de circa 8-10 ori mai mare [6] ca a materialului de bază ceea ce confirmă faptul că la alegerea regimului de prelucrare combinat proprietățile fizico-chimice ale stratului superficial cresc considerabil.

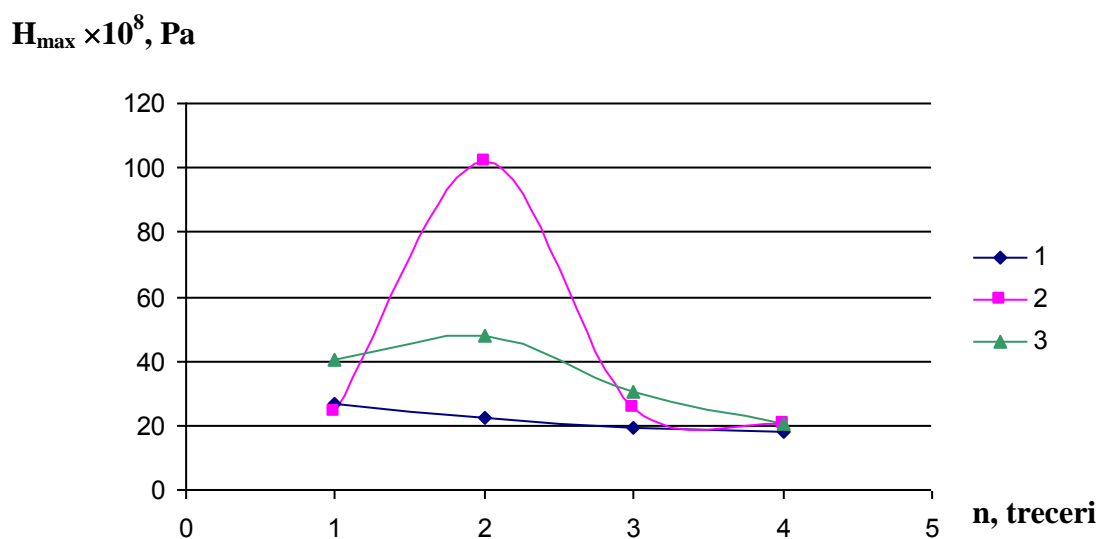


Fig. 2. Dependenta valorii maxime a microduratei de numărul de treceri a pieselor executate din oțel 45 după interacțiunea descărcărilor electrice în impuls regimul petelor electrode "reci" pentru: $C=8 \mu\text{F}$; $f=8$ Hz; $S=0,5$ mm: 1)- $W=0,26$ J; 2)- $W=0,42$ J; 3)- $W=0,58$ J; ; regimul de prelucrare combinat

Ultimele cercetări experimentale atestă faptul că utilizarea electrodului -sculă din grafit îmbunătățește și proprietățile mecanice la nivel microscopic, cum ar fi rezistența la rupere. Încercările de probă cu utilizarea celor trei regimuri de prelucrare au demonstrat faptul că forța maximă de rupere, pentru

oțelul de marca oțel 3, acoperit cu grafit alcătuiește 8100 kgF, iar cel neacoperit - 8050 kgF, adică în rezultatul prelucrării cu grafit forța maximă de rupere se mărește cu 50 kgF [14], ceea ce nu putem observa la utilizarea electrozilor din carburi metalice unde forța maximă de rupere se micșorează

după acoperirea cu materialul respectiv. În așa fel probabil că peliculele de grafit ar fi convenabile de utilizat la formarea straturilor policomponente.

În scopul determinării proprietăților de antiaderență de asemenea s-au efectuat cercetări experimentale de probă și anume: au fost supuse încercărilor la tracțiune epruvete din oțel 37 acoperite cu o peliculă de grafit, epruvete netratate și combinarea acestora. Epruvetele respective în prealabil fiind îmbinate prin lipire cu un adeziv. Ca rezultat al tracțiunii pieselor asamblate prin lipire se observă că epruvetele netratate posedă valori mai mari ai tensiunii de forfecare ca celelalte și constituie circa 85 daN/cm^2 , epruvetele tratate mixt constituie în mediu valoare de 60 daN/cm^2 ceea ce ne vorbește despre faptul că pelicula de grafit depusă pe una din epruvete micșorează aderența dintre adeziv și suprafața metalică. Ultima variantă, în care ambele suprafețe sunt acoperite cu pelicula de grafit tensiunea de forfecare se micșorează până la aproximativ 50 daN/cm^2 , ceea ce constituie o micșorarea a aderenței cu 40 % față de epruvetele netratate. Rezultatele respective fiind descrise în lucrarea [15].

De asemenea se observă că forfecarea epruvetelor netratate are loc în interiorul adezivului, în comparație cu cele tratate unde forfecarea are loc la suprafața de separare a adezivului cu pelicula de grafit. Aceste rezultate ne permit să confirmăm presupunerile că pelicula de grafit realizată prin descărcări electrice în impuls posedă și proprietăți de antiaderență. O analiză mai amplă a acestor deziderate se va efectua în viitorul apropiat în una din lucrările științifice ce urmează a fi publicate în revistele de specialitate.

CONCLUZII

Din cele prezentate în prezenta lucrare putem concluda următoarele momente principale:

- sub pelicula de grafit depusă pe suprafața pieselor este posibilă formarea carburilor metalice cu rezistență sporită la uzură;
- pelicula de grafit depusă îndeplinește simultan mai multe funcții: protecția antiuzură, exclude aderarea masei sticloase

la suprafața lui, este un unguent în stare solidă și sporește refractabilitatea piesei ceea ce poate mări fiabilitatea pieselor;

- microduritatea pieselor crește de circa 10 ori față de materialul de bază, la grosimi de maxim $10\text{-}17 \mu\text{m}$, iar forța maximă la rupere se mărește cu 50 kgF față de materialul neprelucrat;
- peliculele de grafit depuse prin descărcări electrice în impuls micșorează aderența dintre suprafețele conjugate cu circa 40 % față de suprafețele ce nu sunt tratate, la regimurile de prelucrare studiate până la moment;
- în așa mod putem afirma că peliculele de grafit formate prin descărcări electrice în impuls pot avea o arie diversă de aplicabilitate în industria contemporană.

BIBLIOGRAFIE

1. Tănăsescu F. T., Bologa M., Cramariuc R. Electrotehnologii. Procesarea materialelor și tehnologii electrochimice. București: Editura Academiei Române, 2002. Vol. 2. 250 p.
2. Luneva V. P., Verhoturov A. D., Coziri A. V., Glabet T. V., Brui V. N. Using the Cr-Ni alloys for the electric discharge deposition forming of. EPI, 2005, nr. 4, p. 11-18.
3. Burumculov F. H., Lezin P. P., Senin P. V., Ivanov V. I. The electric discharge technology aimed at retreating and hardening of the machining pieces and tools. USM "Ogareva", Saransk, 2003. 501 p.
4. Topala P. The transfer of mass and diffusion processes on surface layers of engine parts during electrosparkle processing. The materials of international conference: the technologies of maintaining, retreading and hardening of engine parts. Saint-Petersburg. 2007, vol. 2, p. 234-242.
5. Sidorenco S. I., Ivaschenko E. V., Mazanko V. F. etc. Forming of ferrous alloys surface layer by combination of nitriding and electrospark alloying by chrom and titanium and certain properties of the afore-mentioned layer. 6-th International conference "Interaction of Radiation with solids" Minsc, Belarus, 2005, p. 430-432.
6. Beshliu V. Structure and Properties of Surface Layers of Pieces Cemented when Interacting with the Plasma Channel of

- Electric Discharges in Pulse. The annals of „Dunărea de Jos” University of Galați, Fascicle V, Technologies in machine bulding 2008, vol. 1, p. 24-30.
7. Mihaliuc A. The roughness reduction of electrosparkle co rings during the following processing with graphite electrode. EPI, 2003, nr. 3, p. 21-23.
 8. Topala Pavel. Condition of thermic treatment and chimico superficial innards, with the adhibition electric discharge in impulses. Nonconventional technologies review. 2007, nr. 1, p. 129-132.
 9. Bulent Ekmekci; Oktay Elkoca; Abdulkadir Erden. A comparative sudy on the surface integri of plastic mold steel due to EDM”. Metallurgical and Materials Transactions. ProQuet Science Journals, 2005, p. 117-124.
 10. Topala P., Beshliu V. Graphite deposits formation on innards surface on adhibition of electric discharges in impulses”. Bulletin of the Polytechnic Institute of Iassy, 2008, t. LIV, p. 105-111.
 11. Topala P., Stoicev P., Epureanu A., Beshliu V. The hardening of steel surfaces on the sections for electrosparkle alloyage. International Sientific and Technical conference Machinebulding and technospere of the XXI centry. Donetk, 2006, p. 262-266.
 12. Topala P., Stoicev P. Tehnologii de prelucrare a materialelor conductibile cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls, Chișinău: TEHNICA – INFO, 2008, p. 265.
 13. Cogun C., Özercan B., Caracay T. An experimental investigation on the powder mixed dielectric on machining performance in electric discharge machining”. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. ProQuest Science Journals, 2006, p. 1035-1050.
 14. Topala P., Beșliu V., Stoicev P., Ojegov A. Structural modifications – properties of surface micro-strata with graphite depositions. International Journal of Modern Manufacturing Technologies, 2013, vol. II, p. 97-102.
 15. Topala P., Marin L., Beșliu V.. Applying graphite micropellicles to decrease the coefficient of superficial adhesion. Advanced Manufacturing Technologies 2013. 7th international seminar Advanced Manufacturing Technologies, Sozopol, Bulgaria, 2013, p. 97-104.
 16. Kurochkin Yu. V., Demin Yu. N. Technology for surface hardening of parts by treatment with concentrated energy flux. Chemical and Petroleum Engineering, 2001, vol. 37, p. 404-408.

Prezentat la redacție la 21 decembrie 2013

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND EXTRAGEREA MENISCURILOR CONICE DE PE SUPRAFEȚELE METALICE ȘI OXIDAREA ACESTORA CU APLICAREA DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE ÎN IMPULS

Topala P.*, Rusnac V., Guzman D., Pleșco I., Ojegov A.

Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, str. Pușkin, 38, MD-3100, mun. Bălți,
Republica Moldova

*e-mail: pavel.topala@gmail.com

În lucrare sunt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale privind formarea meniscurilor sub formă de conuri Taylor pe suprafețele pieselor și oxidarea acestora cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Se examinează influența energiei acumulate pe bateria de condensatoare, duratei impulsului și mărimii interstițiului asupra formării acestora. Modificarea micro-geometriei suprafețelor pieselor are ca scop sporirea capacităților de absorbție, radiație și emisie a particulelor elementare. Se demonstrează că, dimensiunile meniscurilor formate sunt funcție de regimul energetic de prelucrare, mărimea interstițiului, durata descărcării electrice în impuls și proprietățile termo-fizice a materialului de execuție al piesei.

Cuvinte-cheie: descărcări electrice în impuls, menisc conic, micro-geometrie, absorbție, oxidare.

This paper presents the results of experimental investigations on the formation of menisciuses with Taylor cone shape on the piece surfaces and their oxidation by applying electrical discharges in impulse. The influence of the energy stored in the condenser battery, of the impulse duration and of the gap size on their formation is examined. Surface micro-geometry modification of the parts aims to increase their absorption, radiation and emission capacity of the elementary particles. It is demonstrated that the dimensions of the formed menisciuses depend on the processing energy regime, the gap size, the electrical discharge impulse duration and the thermo-physical properties of the piece material.

Keywords: electrical discharges in impulse, conical meniscus, micro-geometry, absorption, oxidation.

INTRODUCERE

Modificarea micro-geometriei suprafețelor este una din problemele cele mai actuale ale tehnologiilor moderne. Suprafața care poate fi descrisă cu relații matematice în cele mai frecvente cazuri este una rectilinie, care după caracteristici tinde spre o suprafață ideală.

În cazul suprafețelor reale, caracterul acestora determină nu numai aria activă ci adesea îi imprimă acesteia și noi proprietăți de exploatare. Aria suprafeței reale contribuie la modificarea caracterului de interacțiune a acesteia cu mediul înconjurător și cu alte suprafețe active ale pieselor cu care piesa formează cupluri (pentru piesele aplicate în construcția de mașini).

În cazul suprafețelor radiante (de căldură, unde, câmpuri electrice și magnetice) sau celor absorbante de diferite tipuri de radiație (receptoare de radiație termică, a undelor de lumină, radiațiilor electromagnetice, etc.) atât geometria, cât și aria suprafețelor active joacă un rol decisiv asupra capacităților menționate ale acestora.

În cele ce urmează sunt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale privind extragerea din suprafețele pieselor metalice a asperităților sub formă de con Taylor de anumite dimensiuni și oxidarea acestora prin metoda descărcărilor electrice în impuls (DEI).

METODICA CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE

Cercetări experimentale s-au efectuat în aer, la temperatura camerei la o descărcare solitară. Pentru efectuarea cercetărilor experimentale a fost utilizată o instalație specială, vederea generală, construcția și principiul de funcționare a căreia au fost prezentate anterior în [1-3].

Dimensiunile meniscurilor (conurilor Taylor) au fost măsurate cu ajutorul microscopului MBS-9, XJM 600T și microscopului electronic.

Parametrii electrodinamici (durata impulsului, variația curentului în impuls, căderea de tensiune pe interstițiu, cât și energia degajată la o descărcare solitară) se

determinau prin osciloscopare, conform metodicii prezentate în [4, 5].

Pentru determinarea valorii maxime ale curentului în circuitul de descărcare se folosea șuntul coaxial cu rezistența $R = 0,003 \Omega$. În calitate de electrozi se utiliza sârmă din wolfram cu diametrul $d = 0,25 \text{ mm}$.

Descărcările electrice aveau loc în sistemul de electrozi confecționați din același material și situați perpendicular unul față de altul la un interstițiu $S = 0,2 \div 0,3 \text{ mm}$.

În toate cazuri piesa de prelucrat se conecta în calitate de anod și era poziționată în partea de jos a sistemului de poziționare a electrozilor.

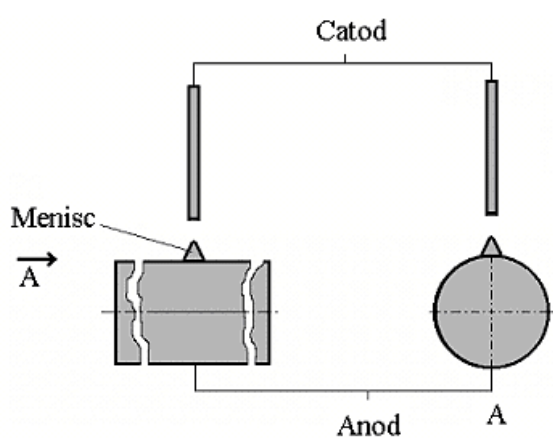


Fig. 1. Schema de poziționare a electrozilor utilizate în procesul cercetărilor experimentale și conectarea acestora în circuitul de descărcare al generatorului de impulsuri de curent

În fig.1 este prezentată schema generală de conectare și poziționare a electrozilor în procesul cercetărilor experimentale. Electrosculă constituia o porțiune de fir cilindric regulat cu lungimea de $\approx 4 \text{ cm}$, a cărei parte activă reprezenta o suprafață plană (fig. 1).

REZULTATE EXPERIMENTALE ȘI INTERPRETAREA LOR

Într-un șir de surse bibliografice [6-8] a fost menționat că asupra procesului de modificare a microgeometriei suprafețelor pieselor metalice influențează esențial așa parametrii cum sunt: materialul electrozilor, energia, mărimea interstițiului dintre electrozi și durata impulsului de descărcare.

În lucrare se analizează influența energiei acumulate pe bateria de condensatoare asupra geometriei meniscurilor conice (conurilor Taylor). În așa mod au fost determinate unele condiții energetice de extragere și oxidare superficială a meniscurilor conice în rezultatul prelucrării cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls.

În rezultatul cercetărilor experimentale s-a constatat că extragerea meniscurilor conice de pe suprafețele cilindrice confecționate din wolfram este posibilă în cazul când tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare constituie $U_c = 60 \text{ V}$. La tensiuni mai joase nu se observă apariția pronunțată a conurilor Taylor.

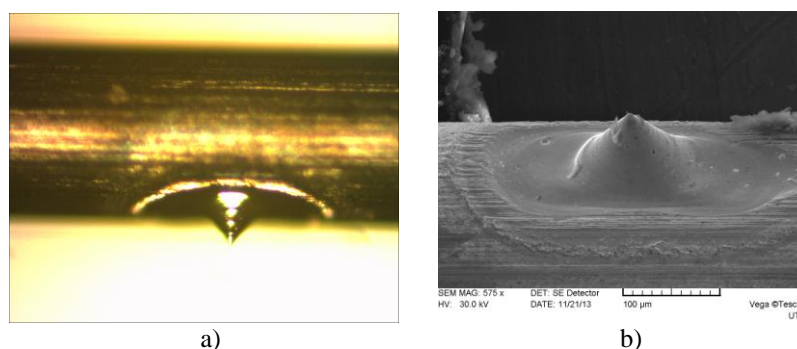


Fig. 2. Vederea generală a asperităților (conurilor Taylor) extrase de pe suprafețele cilindrice a firelor executate din wolfram în urma descărcărilor electrice în impuls: a) imaginea obținută cu ajutorul microscopului MBS9; b) imaginea obținută cu ajutorul microscopului electronic ($U_c = 60 \text{ V}$; $C = 200 \mu\text{F}$; $S = 0,3 \text{ mm}$; $n = 1$; $d = 0,25 \text{ mm}$)

În fig. 2 sunt prezentate meniscuri conice extrase de pe suprafața cilindrică a probei din wolfram la tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare $U_c = 60$ V.

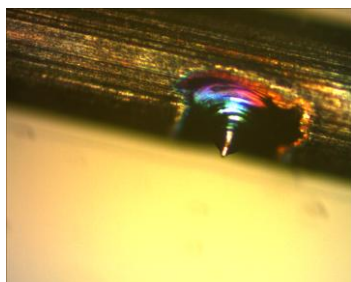
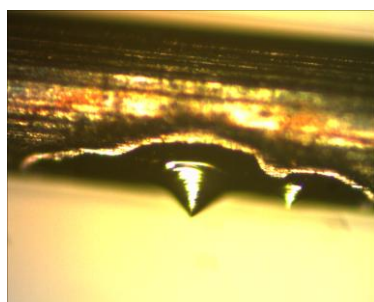


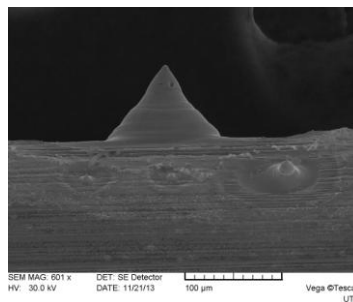
Fig. 3. Vedere generală a asperităților (conurilor Taylor) oxidate, extrase de pe suprafețele cilindrice a firelor executate din wolfram în urma descărcărilor electrice în impuls:

($U_c = 70$ V; $C = 200$ μ F; $S = 0,3$ mm; $n = 1$; $d = 0,25$ mm)

În urma cercetărilor experimentale s-a observat că cu mărirea tensiunii de încărcare a bateriei de condensatoare cu 10 V se observă



a)



b)

Fig. 4. Vedere generală a asperităților multiple obținute prin descărcări solitare: a) imaginea obținută cu ajutorul microscopului MBS9; b) imaginea obținută cu ajutorul microscopului electronic; ($U_c = 80$ V; $C = 200$ μ F; $S = 0,3$ mm; $n = 1$; $d = 0,25$ mm)

Datorită diametrelor foarte mici al canalelor descărcării în punctul de interacțiune cu electrodul, densitatea de curent este mare ($10^7 \dots 10^8$ A/cm²), ceea ce provoacă încălzirea și perturbarea suprafeței probei.

La acest regim energetic, canalele de descărcare ce apar în interstițiul nu dovedesc să se contopească, din care motiv pe suprafața prelucrată în urma descărcării electrice și apar mai multe meniscuri conice.

CONCLUZII

Analizând rezultatele experimentale obținute, putem concluda următoarele:

- în condițiile aplicării descărcărilor electrice în impuls începând cu tensiunea de

apariția meniscurilor conice practic de aceeași geometrie cu excepția că pe suprafețele acestora este prezentă o peliculă subțire de oxizi (fig.3).

După cum se observă din fig.3, la mărirea tensiunii de încărcare a bateriei de condensatoare până la 70 V meniscurile ce se obțin în urma descărcărilor electrice în impuls sunt de o culoare violetă, ceea ce ne vorbește despre creșterea esențială a temperaturii în zona canalului de plasmă. Este necesar de menționat că în acest caz densitatea energiei în interstițiu crește considerabil.

Cu mărirea de mai departe a tensiunii de încărcare pe bateria de condensatoare pînă la $U_c = 80$ V, se observă un tablou de extragere multiplă a meniscurilor conice (fig.4). Acest fenomen ne indică despre existența mai multor canale de descărcare simultan prin care curg curenți paraleli de aceeași direcție [7].

încărcare a bateriei de condensatoare $U_c = 60$ V, pe suprafețele firelor metalice din W cu $\varnothing = 0,25$ mm se creează condițiile necesare și suficiente pentru extragerea și congelarea meniscurilor conice;

- în cazul descărcărilor electrice în impuls poate fi ales un regim optim de prelucrare care să asigure formarea meniscurilor conice singulare concomitent cu oxidarea superficială ale acestora;

- în condițiile ($U_c = 80$ V; $C = 200$ μ F; $S = 0,3$ mm; $n = 1$, $\varnothing = 0,25$ mm), se creează condiții favorabile pentru evidențierea caracterului multicanal al descărcărilor electrice în impuls cu formarea meniscurilor conice multiple pe suprafețele firelor metalice din W.

BIBLIOGRAFIE

1. Руснак В., Гузган Д. Влияние магнитного поля на формирование конусов Тэйлора в процессе электроимпульсной обработки материалов. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XVII международной научно-технической конференции. Донецк, 2010, том 3, с. 67-72.
2. Topală P., Rusnac V. Experimental investigations concerning the extraction of cone meniscus on metal surfaces with electrical discharge machining (EDM) adhibition. Buletin of the Polytechnic Institute of Iassy, 2008, tom. LIV, p. 113-120.
3. Rusnac V. The Role of Energy and Duration of Discharging Pulse During the Micro Geometry Changing Process of Metallic Parts Surfaces by Applying Electric Discharges in Pulse. The Annals of „Dunarea de Jos” University of Galati, fascicle V, Technologies in Machine Building. 2008, p. 61-68.
4. Topala P., Rusnac V. Experimental investigations concerning the extraction of cone meniscus on metal surfaces with electrical discharge machining (EDM) adhibition. Buletinul Institutului Politehnic din Iași, 2008, tom. LIV (LVIII), fasc.1-3, p. 113-120.
5. Topală P., Beșliu V., Rusnac V., Ojegov A. Despre randamentul utilizării energiei descărcării electrice în impuls la prelucrările prin electroeroziune. Fizica și Tehnica: Procese, modele, experimente. 2010, nr.1, p. 69-74.
6. Rusnac V. Modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor la formarea straturilor de depunere prin metoda electroeroziunii. Rezumatul tezei de doctorat. Galați, 2008. 57 p.
7. Topala P., Stoicev P. Tehnologii de prelucrare a materialelor conductibile cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Chișinău: TEHNICA – INFO, 2008, p. 265.
8. Topală P. Aplicări ale electroeroziunii în dezvoltarea tehnologiilor fine de prelucrare superficială a pieselor. Analele Științifice ale Universității de Stat „A. Russo”, Serie nouă, Fasc. A, Bălți, 2004, tom. XX, p. 66-69.

Prezentat la redacție la 4 decembrie 2013

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ТУРБИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РАСХОДА

Коробко И. В.*, Писарец А. В.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

03056, пр-т Победы, 37, Соломенский район, г. Киев, Украина

*e-mail: i.korobko@kpi.ua

Una dintre principalele caracteristici metrologice ale dispozitivelor de contorizare a lichidelor este eroarea de măsurare. Articolul descrie structura erorii relative la traductori cu turbină al contoarelor de lichide, care se determină de valorile ideale și reale ale frecvenței de rotație a senzorului; au fost efectuate cercetările privind influența parametrilor geometrici ai camerei de măsurare a traductorului asupra erorii de măsurare.

Cuvinte-cheie: traductor cu turbină, contor, eroare de măsurare, senzor.

One of the main metrological characteristics of the liquid metering devices is the measurement error. The article examines the structure of the relative error of turbine type flow rate transducers which is determined by the values of ideal and real rotation frequency of the sensitive element, the study has been done concerning the effect of geometrical parameters of the measuring chamber transducer on the measurement error.

Keywords: turbine transducer, meter, measurement error, sensor.

ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

С развитием промышленности, энергетики, нефтегазовых комплексов, соответственно, возрастают объемы потребления топливно-энергетических ресурсов. Во всем мире получают широкое распространение энергосберегающие технологии и средства учета топливно-энергетических ресурсов. Для создания действенной системы энергосбережения необходимо, прежде всего, разработать эффективную систему измерения и контроля расхода. Крайне важной является необходимость измерения расхода энергоносителей с различной динамикой их протекания – от установившихся ламинарных потоков до нестационарных стохастических – длительностью в доли секунды. Все это обуславливает жесткие требования к метрологическим характеристикам приборов и систем, универсальности и надежности работы, максимальной инвариантности к влиянию факторов кинематической и силовой структуры.

При отсутствии средств измерения расхода становится невозможным обеспечение управления, а в дальнейшем и оптимизации технологических процессов в энергетике, металлургии, нефтяной,

газовой, целлюлозно-бумажной, пищевой и в других областях промышленности.

Счетчики количества крайне необходимы для учета массы или объема нефти, газа, пара, воды и других веществ различного агрегатного состояния, транспортируемых по технологическим сетям и потребляемым отдельными объектами. Значение счетчиков возрастает в связи с коммерциализацией учета энергоносителей. Следовательно, сегодня становится важнейшей проблема разработки новых и усовершенствования существующих методов и способов измерения расхода и количества жидкостных энергоносителей.

Для определения количественных показателей потоков, благодаря их преимуществам перед существующими приборами других классов аналогичного назначения, широкое распространение получили приборы учета на основе турбинных преобразователей расхода (ТПР). Инженерная практика требует значительного повышения точности определения расхода и количества жидкостей, что очерчивает требования к метрологическим характеристикам измерительных приборов. Одной из основных метрологических характеристик приборов учета расхода жидкостей является погрешность измерения.

Целью работы является выявление структуры погрешности ТПВ и определение степени влияния геометрических параметров измерительной камеры и кинематических характеристик потока на величину погрешности.

ПОГРЕШНОСТЬ ТУРБИННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РАСХОДА

Погрешность ТПР определяется путем сравнения реальной и идеальной частот вращения чувствительного элемента (ЧЭ) [1]:

$$\Delta n = \frac{n_{ид} - n_p}{n_{ид}} 100, \quad (1)$$

где n_p – реальная частота вращения ЧЭ (с учетом сопротивлений вращению); $n_{ид}$ – идеальная частота вращения ЧЭ (при отсутствии сопротивлений вращению).

Идеальная частота вращения ЧЭ определяется в предположении, что поток измеряемой жидкости плоский с равномерным по сечению распределением скорости, без каких-либо пограничных слоев и завихрений. Следовательно, идеальная частота вращения ЧЭ при расходе Q определяется по формуле:

$$n_{ид} = \frac{Q}{S_{Ж}H}, \quad (2)$$

где $S_{Ж}$ – площадь живого сечения потока в зоне ЧЭ; H – ход винтовых поверхностей, образуемых лопастями турбинки.

Площадь живого сечения потока в зоне ЧЭ определяется по формуле:

$$S_{ЖТ} = \pi \sin \beta (r_H^2 - r_{BT}^2) - hz(r_H - r_{BT}), \quad (3)$$

где r_H – радиус внешней поверхности лопастей ЧЭ; β – угол установки лопастей на среднем радиусе; r_{BT} – радиус втулки ЧЭ; h – толщина профиля лопасти; z – количество лопастей.

Для хода винтовых поверхностей, образуемых лопастями ЧЭ, можно записать:

$$H = 2\pi r_{CP} \operatorname{tg} \beta, \quad (4)$$

где r_{CP} – средний радиус ЧЭ.

Реальная частота вращения ЧЭ отличается от идеальной по ряду причин: наличие моментов вязкого трения

жидкости о поверхность, трение в опорах, присоединенные массы жидкости, захватываемые при движении ЧЭ. Реальная частота вращения турбинки определяется решением дифференциального уравнения, описывающего ее вращательное движение [2-4].

С учетом протекания жидкости в радиальном зазоре между турбинкой и внутренней поверхностью корпуса, которая не взаимодействует с ЧЭ и не учитывается выражением (2), получим:

$$n_{ид} = \frac{Q - q}{S_{Ж}H}, \quad (5)$$

где q – протечки потока в радиальном зазоре.

Величину q легко установить при предположении, что весь поток жидкости в радиальном зазоре имеет осевое направление движения с однородным полем распределения скорости потока в поперечном сечении:

$$q = 2\pi \int_{r_H}^{r_K} v(r) r dr, \quad (6)$$

где r_K – радиус внутренней поверхности корпуса; $v(r)$ – распределение скорости в живом сечении потока.

Так как радиус окружности с максимальными значениями скорости r_M в реальных условиях соответствует $r_M \ll r_K$, то:

$$v(r) = v_{CP} \left[1 - \left(\frac{r - r_M}{r_K - r_M} \right)^m \right], \quad (7)$$

где v_{CP} – усредненная по сечению скорость потока; m – показатель степени, который зависит от числа Рейнольдса и характеризуется режимом течения на входе в измерительную камеру преобразователя [5]:

$$m = 1,82 \lg(0,01 \operatorname{Re}) + 2.$$

Учитывая зависимость (7), выражение (6) приобретает вид:

$$q = 2\pi \int_{r_H}^{r_K} v_{CP} \left[1 - \left(\frac{r - r_M}{r_K - r_M} \right)^m \right] r dr. \quad (8)$$

После преобразования выражения (8) для расхода жидкости в радиальном зазоре можем записать:

$$q = 2\pi v_{CP} \frac{(2m+1)(m+1)}{2m^2} \left[\frac{r_K^2 - r_H^2}{2} - \frac{r_K^2}{m+2} + \frac{r_M m r_K + r_M^2}{m^2 + 3m + 2} + \left[\frac{r_M - r_H}{r_M - r_K} \right]^m \left(\frac{r_H^2}{m+2} - \frac{r_M m r_H + r_M^2}{m^2 + 3m + 2} \right) \right]. \quad (9)$$

С учетом (9) выражение (3) приобретает вид:

$$n_{уд} = \frac{Q - 2\pi v_{CP} \frac{(2m+1)(m+1)}{2m^2} \left[\frac{r_K^2 - r_H^2}{2} - \frac{r_K^2}{m+2} + \frac{r_M m r_K + r_M^2}{m^2 + 3m + 2} + \left[\frac{r_M - r_H}{r_M - r_K} \right]^m \left(\frac{r_H^2}{m+2} - \frac{r_M m r_H + r_M^2}{m^2 + 3m + 2} \right) \right]}{\left[\pi \sin \beta (r_H^2 - r_{BT}^2) - h z (r_H - r_{BT}) \right] 2\pi r_{CP} t g \beta} + \frac{\left[\frac{r_M - r_H}{r_M - r_K} \right]^m \left(\frac{r_H^2}{m+2} - \frac{r_M m r_H + r_M^2}{m^2 + 3m + 2} \right)}{\left[\pi \sin \beta (r_H^2 - r_{BT}^2) - h z (r_H - r_{BT}) \right] 2\pi r_{CP} t g \beta}.$$

Для исследования метрологических характеристик ТПР разработан программный продукт, который позволяет:

- оценить метрологические характеристики преобразователя расхода (статическую, динамическую, относительную погрешность и потери давления на ТПР в диапазоне изменения расхода);
- определить степень влияния геометрических параметров измерительной камеры ТПР и физических свойств измеряемой жидкости на метрологические характеристики преобразователя.

Основными конструктивными параметрами ТПР являются: количество лопастей z ; толщина профиля лопасти h ;

втулочное отношение, определяемое соотношением радиуса втулки и внешнего радиуса турбинки r_{BT}/r_H ; угол установки лопасти на среднем радиусе β ; осевая длина турбинки s ; радиальный зазор $\Delta = r_K - r_H$.

Сущность теоретических исследований погрешности ТПР, осуществленных с помощью разработанного программного продукта, состоит в определении закономерностей влияния на погрешность измерения каждого отдельного конструктивного параметра ТПР при неизменных значениях других величин (рис. 1 – рис. 3).

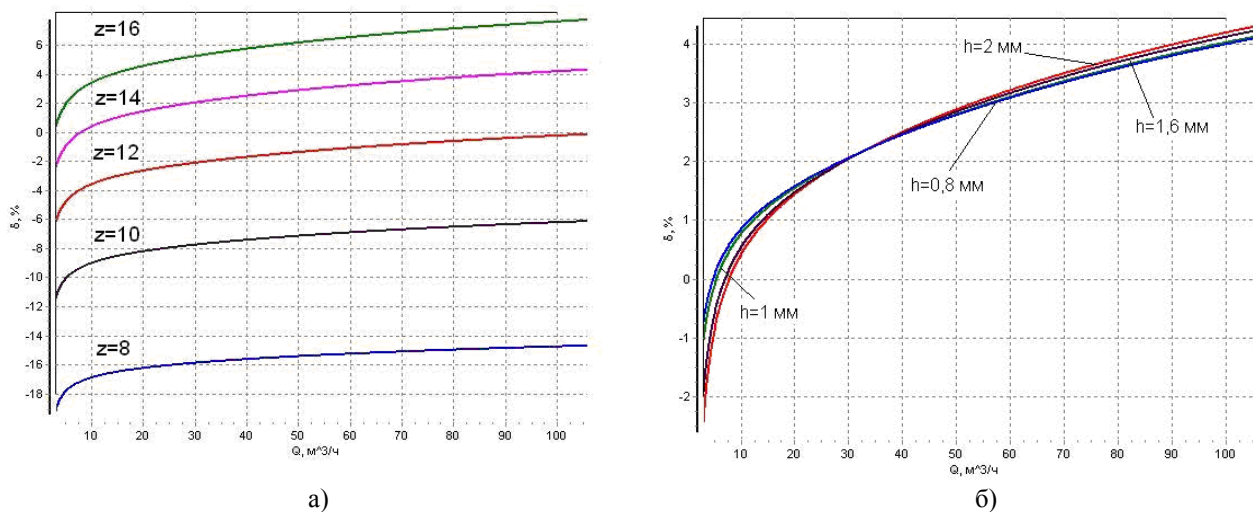


Рис. 1. Влияние количества лопастей z (а) и толщины профиля лопасти h (б) на погрешность измерения

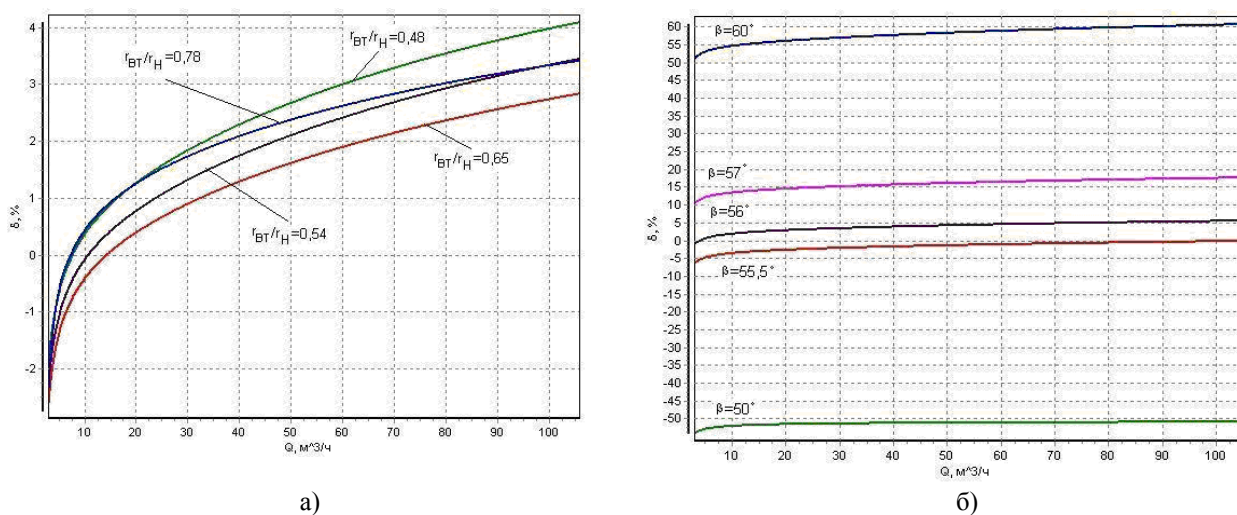


Рис. 2. Влияние втулочного отношения r_{BT}/r_H (а) и изменения угла установки лопасти на среднем радиусе β (б) на погрешность измерения

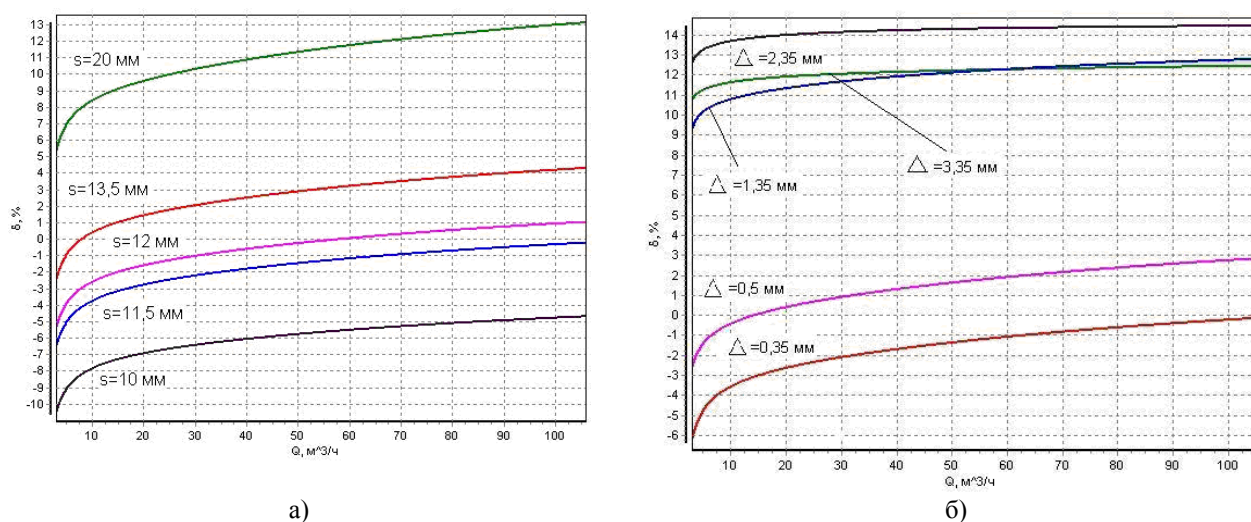


Рис. 3. Влияние изменения осевой длины s турбинки (а) и величины радиального зазора Δ (б) на погрешность измерения

ВЫВОДЫ

Исследования влияния конструктивных параметров турбинки на погрешность измерения (рис. 1 – рис. 3) позволяют сделать такие выводы:

- значение количества лопастей чувствительного элемента, позволяющее спроектировать преобразователь с высокими метрологическими характеристиками, находится в диапазоне от 8 до 16;
- с уменьшением толщины лопасти погрешность преобразователя уменьшается;
- радиус втулки, осевая длина турбинки и угол установки лопастей существенно влияют на погрешность;
- при $r_{BT}/r_H = 0,48; 0,78$ погрешность измерения увеличивается, в то время

как соотношение $r_{BT}/r_H \approx 0,6$ позволяет создать прибор с совершенными метрологическими характеристиками;

- вариацией угла установки лопастей в пределах $50 \div 60^\circ$ можно получить преобразователь с погрешностью измерения от 0 до 60 %; изменение β всего на $0,5^\circ$ может существенно увеличить значение погрешности (рис. 2, б для $\beta = 55,5^\circ$ и $\beta = 56^\circ$);
- при изменении осевой длины турбинки в диапазоне $(1 \div 2) \cdot 10^{-2} \text{ м}$ существуют такие значения, при которых обеспечиваются высокие метрологические характеристики;
- с увеличением величины радиального зазора между чувствительным

элементом и внутренней поверхностью корпуса погрешность измерения возрастает.

Перспективной является оптимизация геометрических параметров измерительной камеры ТПР с целью уменьшения относительной погрешности измерения в широком диапазоне изменения расхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бошняк Л. Л. Измерения при теплотехнических исследованиях. Ленинград: Машиностроение, 1974. 448 с.
2. Коробко И. В., Писарец А. В. Дослідження рівняння руху первинного перетворювача швидкісних засобів вимірювання витрат енергоносіїв. Вестник НТУУ “КПИ”. Серия машиностроение. 2002, вып. 42, том 2, с. 42–45.
3. Коробко И. В., Писарец А. В. Дослідження моменту в’язкого тертя в швидкісних турбінних перетворювачах витрат. Вестник НТУУ “КПИ”. Серия машиностроение. 2003, вып. 44, с. 233–235.
4. Коробко И. В., Писарец А. В. Визначення рушійного моменту на чутливому елементі перетворювача витрати повітря. Вестник НТУУ “КПИ”. Серия машиностроение. 2012, вып. 66, с. 178–183.
5. Повх И. Л. Техническая гидромеханика. Ленинград: Машиностроение, 1976. 504 с.

Prezentat la redacție la 26 noiembrie 2013

(297X210 mm). Parametrii paginii: 25 - stînga (Left), 20 - sus (Top), 20 - jos (Bottom), 15 - dreapta (Right), 12,5 - antet (Header), 0 - subantet (Footer), 2 coloane. Dimensiunile fontului de imprimare - 12 points. Aliniatele - 1 cm. Spațiul dintre liniile (Line Spacing) aceluiși paragraf, inclusiv titlul lucrării și informațiile despre autori - un interval. Se va accepta cu trecerea cuvintelor dintr-un rînd în altul. Ultima pagină, în limita posibilităților, va fi completă.

2.4. Structura articolului

CZU se va situa în partea stîngă a paginii.

Titlul se va da complet, maximum 3 rînduri, pe toată lățimea paginii (12 points, BOLD, CENTER, ALL CAPS).

Informațiile despre autori se vor da cu aldine, în limba în care este scrisă lucrarea, în următoarea consecutivitate: Numele și Prenumele autorului, afilierea. Dacă coautorii lucrării sînt angajații aceleiași instituții, denumirea ei se va da o singură dată. Pentru corespondența se indică e-mail-ul unuia din autori, însemnat cu asterix.

Rezumatul va cuprinde descrierea succintă a obiectului, metodelor și rezultatelor cercetării în limbile română și engleză și nu va depăși 10 rînduri. Mărimea caracterilor - 10 points. Cuvîntul „Rezumat” nu se va indica.

Cuvintele-cheie vor fi indicate după rezumatul articolului în limbile originalului, română și engleză.

Introducerea va reflecta stadiul actual al cercetărilor în domeniu. În caz de necesitate, va cuprinde o scurtă analiză istorică. Introducerea se va încheia cu expunerea scopului lucrării.

Conținutul lucrării va include expunerea metodicii cercetării (experimentală sau teoretică), obiectul cercetării, echipamentul, metodele de măsurare și de observare, precizia și erorile metodicii experimentului. Se vor indica rezultatele obținute și analiza lor. Nu se va admite repetarea datelor în tabele, desene și texte.

În concluzii se va expune succint esența cercetării efectuate, relievăndu-se importanța și gradul de noutate a rezultatelor obținute.

Titlul fiecărui paragraf se va evidenția cu aldine. Titlurile de capitol vor fi separate de textul curent printr-un spațiu.

În fața textului fiecare titlu de subcapitol cu doi indici se lasă un spațiu liber de un rînd. Aliniatele se vor marca prin introducerea unui „<Tab>”. Pentru scoaterea în relief a unor concepte se vor folosi aldinele (**fără subliniere**).

Tabele se vor numerota cu cifre arabe în partea stîngă (de ex.: „Tabelul 1”), după care, în același rînd, va urma denumirea și tabelul propriu-zis. Tabelele vor fi separate de textul curent printr-un spațiu. Toate liniile ce formează coroiajul tabelului vor avea aceeași grosime (1 points). În tabela textuală cifrele se vor scrie cu fontul 10 points, normal. Dacă textul va conține un singur tabel, acesta nu se va numerota.

Ilustrațiile (figurile, schemele, diagramele, fotografiile etc.) se vor prezintă în alb-negru, inserate în textul de bază sau pe foi aparte. Toate figurile se vor numerota cu cifre arabe (în ordinea apariției lor în lucrare), după care se va da legenda lor. Toate semnele sau marcările ilustrate se vor defini în legendă. În cazul mărimilor fizice, se vor indica unitățile de măsură. Dacă lucrarea va conține o singură figură, ea nu se va numerota. Figurile vor fi separate de textul curent printr-un spațiu. Fotografiile introduse în text se vor scana cu o rezoluție de minim 300 dpi (preferabil 600 dpi) și se vor prelucra pentru un contrast bun.

Nu se admite lipirea fotografiilor sau desenelor pe foi separate. Adnotările de pe figuri se vor face în cifre sau litere cu înălțimea caracterelor echivalentă fontului 10 points. Legenda se va culege cu 10 points.

Formule matematice. Toate formulele matematice se vor scrie, **ÎN MOD OBLIGATORIU**, cu editorul de ecuații din procesorul de texte Microsoft Word for Windows: 95/, 97/, 98/, 2000, (Version 6.0/, Version 7.0, 2000) italice, centrat, prin culegerea fiecăreia din rînd nou. Exigențele corespunzătoare vor urma imediat după formulă și se vor introduce prin „unde”, respectîndu-se ordinea semnelor din ecuație sau relație. Dacă textul va conține mai multe ecuații sau relații, acestea se vor numerota cu cifre arabe la sfîrșitul rîndului, în partea dreaptă a coloanei. După descifrarea simbolului-literă, se va pune virgula, apoi se va indica unitatea de măsură.

Unitățile de măsură ale mărimilor fizice se vor prezenta în sistemul internațional de unități (SI).

Bibliografia Termenul „Bibliografie” va fi separat de textul curent prin spațiu. În text, referințele se vor insera prin cifre încadrate între croșete, de exemplu: [2], [5-7], și se vor prezenta la sfârșitul articolului într-o listă aparte, în ordinea apariției lor în text, în conformitate cu cerințele CNAA al Republicii Moldova. Referințele bibliografice se vor da în limba originalului. Nu se vor accepta referințe la surse nepublicate.

III. OBSERVAȚII FINALE

Informația despre autori și rezumatele în alte limbi decât originalul se vor plasa după

bibliografie. Conținutul rezumatului expus în trei limbi va fi identic.

Materialul cules se va prezenta în format electronic prin e-mail la adresa secretarului științific (alexandr.ozhegov@yahoo.com) sau la adresa redactorului-șef al revistei (pavel.topala@gmail.com), precum și într-un exemplar printat (cu contrastul bun) semnat de toți autorii (după bibliografie).

Pentru relații suplimentare se va indica adresa, numărul de telefon și e-mail-ul unuia dintre autori.

Articolele care nu vor corespunde cerințelor expuse, normelor limbii și stilului vor fi respinse.

Materialele prezentate la redacție nu se vor restitui autorului.

Prezentat la redacție la DD MMMM YYYY

GUIDELINES FOR SUBMISSION OF SCIENTIFIC PAPERS TO THE JOURNAL „PHYSICS AND TECHNICS: PROCESSES, MODELS, EXPERIMENTS”

Name_ author P.^{1*}, Name_ author P.², Name_ author P.ⁿ

¹Full address of the first author's institution

²Full address of the second author's institution

ⁿFull address of the next author's institution

* e-mail: adresa e-mail a autorului pentru corespondență

Abstract: (max 10 lines) The sleep of reason produces monsters, the sleep of reason produces monsters, the sleep of reason produces monsters, the sleep of reason produces monsters, the sleep of reason produces monsters, the sleep of reason produces monsters, the sleep of reason produces monsters, the sleep of reason produces monsters, the sleep of reason produces monsters, the sleep of reason produces monsters, the sleep of reason produces monsters, the sleep of reason produces monsters, Francisco José de Goya y Lucientes.

Keywords: (please, list 5-6 keywords).

Rezumat: (maximum 10 rînduri) Somnul rațiunii naște monștri, somnul rațiunii naște monștri, somnul rațiunii naște monștri, somnul rațiunii naște monștri, somnul rațiunii naște monștri, somnul rațiunii naște monștri, somnul rațiunii naște monștri, somnul rațiunii naște monștri, somnul rațiunii naște monștri, somnul rațiunii naște monștri, somnul rațiunii naște monștri, somnul rațiunii naște monștri, Francisco José de Goya y Lucientes.

Cuvinte-cheie: (introduceți 5-6 cuvinte-cheie).

I. THE JOURNAL SCOPE

The submitted materials should reflect recent achievements of the Alecu Russo Balti Sate University departments and research laboratories and of educational and research institutions from the Republic of Moldova and abroad.

The journal publishes scientific articles related to the following research areas:

- radio wave propagation in various media;
- development of numerically-analogical electronic devices;
- development of lasers and their application in material processing technologies;
- the study of external factor influence on the physical properties of the substance;
- classical and non-conventional technologies of material processing.

II. REQUIREMENTS FOR ARTICLE SUBMISSION

2.1. General arrangements

Papers that have been published in other editions are not accepted. Articles should be accompanied by an extract from the minutes of the Chair/Laboratory/Scientific Seminar sitting

where the papers had been discussed and recommended for publication. The submitted papers should be subject to the review of qualified specialists in the field, appointed by the editorial board.

2.2. Paper format and rules for submission

A person may be the author and / or coauthor of at most two articles. The volume of an article should not exceed, as a rule, 7 pages.

Each article should include:

- UDC;
- the title in original language, Romanian and English;
- information about the author/authors in original language, Romanian and English;
- the abstract in Romanian and English;
- the keywords in Romanian and English;
- the article itself;
- the bibliography.

2.3. Use of electronic support

Materials should be edited in **Microsoft Word, Times New Roman** font and page size should be A4 (297X210 mm). Page parameters: 25 - Left, 20 - Top, 20 - Bottom, 15 - Right, 12.5 - Header, 0 - Footer, 2

columns. Font size Print - 12 points. Paragraphs - 1 cm. Line Spacing within the same paragraph including the title and information about the author – one interval. Transference of words from one line to another is accepted. It is desirable that the last page should be complete.

2.4. Structure of the article

UDC should be placed on the left side of the page.

The title should be complete, up to 3 lines, on the full width of the page (12 points, BOLD, CENTER, ALL CAPS).

The information about the authors should be given in bold in the language of the written paper in the following sequence: author's surname and first name (full), affiliation. If the co-authors are employees at the same institution, its name should be given only once.

The abstract should include a brief description of the subject matter, methods and research findings and should not exceed 10 lines. Font size - 10 points. The word "Abstract" should not be typed.

The keywords will be listed after the abstract in original language, Romanian and English.

The introduction should reflect the current state of research in the field. If need be, it will include a brief historical analysis. The introduction should end with an account of the paper aims.

The main text should include an account of the research methodology (experimental or theoretical), subject of research, equipment, measurement and observation methods, the precision and errors of the experiment methodology. It should include the results and their analysis. It is not allowed to repeat data in tables, drawings and texts.

The conclusion should briefly expound on the essence of conducted research highlighting the importance and degree of the novelty of results.

The title of each paragraph should be in bold. A space should be left between chapter titles and the text.

One line space is left before the text of each two index sub-chapter title. Paragraphs should be marked by the introduction of a

"<Tab>". Bold type (no underlying) should be used to emphasize certain concepts.

The tables should be numbered with Arabic numerals on the left (e.g.: "Table 1"); this should be followed in the same line by the title and the table itself. The tables should be separated from the current text by one space. All the lines that form the table welding should have the same thickness (1 point). The font of the figures in the text of the table should be normal, 10 points. If the text contains a single table, it should not be numbered.

The illustrations (figures, charts, diagrams, photos, etc...) should be black and white, inserted in the main text or on separate sheets. All figures should be numbered with Arabic numerals (in order of their appearance in the paper) after which they should be explained. All signs and markings should be defined in the explanatory text. If there are physical dimensions, the measurement units should be indicated. In case the work contains only one figure it should not be numbered. The figures should be separated from the current text by a space. The photographs included in the text should be scanned at a minimum of 300 dpi (preferably 600 dpi) resolution and should be processed for a good contrast.

It is not allowed to stick photos or drawings on separate sheets. The notes on figures should be in numbers or letters with similar 10 point font characters. The explanatory text should be typed with the same character size - 10 points.

Mathematical formulas. **It is obligatory** to write all mathematical formulas using the equation editor of Microsoft Word processor for Windows 95/97/98/2000, (Version 6.0 /, Version 7.0, 2000) in italics, centered, each one should be typed beginning with a new line. The corresponding requirements should immediately follow the formula beginning with "where" and observing the order of signs in the equation or relation. If the text contains more equations or relations, they should be numbered with Arabic numerals at the end of the line on the right side of the column. A comma should be used after the letter - symbol is deciphered; the measurement unit should be indicated.

The measurement units of physical dimensions should be presented through the International System of Units (SI).

The bibliography. The term "*Bibliography*" should be separated from the text by space. In the text, the references should be inserted by numbers enclosed in square brackets, e.g. [2], [5-7], and should come at the end of the article in a separate list in order of their appearance in the text, in concordance with requirements submitted by NCAA of the Republic of Moldova. The references should be given in the source language. References to unpublished sources are not allowed.

III. CONCLUDING REMARKS

The information about authors and the abstracts in languages other than the source one

should be placed after the bibliography. The content of the abstract presented in three languages should be identical.

The typed material should be presented both in electronic format send by e-mail (on the scientific secretary address alexandr.ozhegov@yahoo.com or on the responsible editor's address pavel.topala@gmail.com) and in a printed copy (with good contrast) signed by all authors (after the Bibliography).

One of the authors' address, telephone number and E-mail should be indicated for additional information.

The articles that do not meet the described requirements, the norms of language and style will be rejected.

The materials submitted to the editorial board will not be returned to the author.

Prezentat la redacție la DD MMMM YYYY