

**ВЕСТНИК
НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"**

Сборник научных трудов

44'2010

Тематический выпуск "Новые решения в современных технологиях"

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ» в 2001 году

Госиздание

Свидетельство Госкомитета по информационной политике

Украины КВ №5256 от 02.07.2001 г

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.Л.Товажнянский, д-р техн.наук, проф.

Секретарь

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

Координационный совет

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.

Л.М. Бесов, д-р техн. наук, проф.

Б.Т. Бойко, д-р техн. наук, проф.

Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.

В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.

Ю.И. Зайцев, канд. техн. наук, проф.

В.В. Епифанов, канд. техн. наук, проф.

О.П. Качанов, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

С. И. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.

В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.

В.С. Лупиков, д-р техн. наук, проф.

О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.

В.И. Николаенко, канд. ист. наук, проф.

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.

В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь

О.В. Саввова, канд. техн. наук

Г.И. Львов, д-р техн. наук, проф.

А.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

И.В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.

Л.Г. Раскин, д-р техн. наук, проф.

В.Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.

В.Я. Терзиян, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Узунян, д-р техн. наук, проф.

Л.Л. Брагина, д-р техн. наук, проф.

В.И. Шустиков, д-р техн. наук, проф.

В.И. Тошинский, д-р техн. наук, проф.

Р.Д. Сытник, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

Б.В. Клименко, д-р техн. наук, проф.

Г.Г. Жемеров, д-р техн. наук, проф.

В.Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.

Н.Н. Александров, д-р техн. наук, проф.

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.

Н.И. Погорелов, канд. экон. наук, проф.

АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе. 21 НТУ
«ХПИ», СМУС Тел. (057) 707-60-40

Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць.
Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях.- Харків: НТУ „ХПІ-
2010. - №44. - 108с.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов

У збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів

Друкується за рішенням Вченої ради НТУ „ХПІ”, Протокол №7 від 01.10.2010

Національний технічний університет „ХПІ” 2010

Н.Г.КОКОДИЙ, доктор физ.-мат. наук, профессор, НФаУ, г. Харьков
Н.Н.ТИМЧЕНКО, канд. биол. наук, доцент, ХНТУСХ, г. Харьков
Л.Г.ЗАЙЦЕВА, ст. преподаватель, ХНТУСХ, г. Харьков
Е.Ю.НИКОЛАЕВА, инженер, ХНТУСХ, г. Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА МАЛЫХ ЧАСТИЦАХ

Обробка експериментальних даних вимірювання оптичними методами розмірів твердих і рідких частиц, які знаходяться в деякому середовищі, проводилась за допомогою дослідництва залежності інтенсивності випромінювання, яке пройшло через середовище, що містить ці частини, від довжини хвилі. Досліджуються можливості проведення розрахунків за спрощеними формулами для фактору ефективності послаблення Q .

Обработка экспериментальных данных измерения оптическими методами размеров твердых и жидких частиц, находящихся в некоторой среде, проводилась с помощью исследования зависимости интенсивности излучения, прошедшего через среду, содержащую эти частицы, от длины волны. Исследуются возможности произведения расчетов по упрощенным формулам для фактора эффективности ослабления Q .

При решении многих задач физики, химии, биологии, экологии необходимо уметь определять размеры и оптические свойства твердых или жидких частиц, находящихся в некоторой среде. К настоящему времени разработано множество методов решения таких задач – методы микроскопии [1], седиментации [2], фотоседиментации [3] и др.

Наиболее распространены оптические методы. На исследуемый объем, содержащий твердые и жидкие частицы, направляется пучок оптического излучения, и фотоприемником регистрируются параметры прошедшего или рассеянного света: его интенсивность, фаза, поляризация. После математической обработки сигнала с фотоприемника делается заключение о параметрах исследуемых частиц [4-6]. Методы определения параметров частиц по виду оптических измерений можно разделить на две большие группы. В одной из них измеряется форма индикатрисы рассеянного частицами излучения, в другой – исследуется зависимость интенсивности излучения, прошедшего через среду, содержащую эти частицы, от длины волны.

Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки. Далее будет рассматриваться второй из этих методов. Достоинствами его является меньшая чувствительность к форме частиц, чем у методов, связанных с измерением индикатрисы рассеяния, и возможность измерять размеры очень малых частиц (радиусом до 10 нм). Требования к максимальной концентрации частиц здесь также не очень жесткие. Они связаны с применимостью закона Бугера. Согласно этому закону интенсивность света I , прошедшего через среду, содержащую поглощающие и рассеивающие частицы, равна

$$I = I_0 e^{-\alpha l}, \quad (1)$$

где I_0 - интенсивность подающего света, l - толщина слоя, содержащего частицы, α - коэффициент ослабления. Метод может использоваться, если $\alpha l \ll 1$.

Если среда содержит N одинаковых частиц в единице объема, то при пренебрежении влиянием многократного рассеяния излучения внутри среды коэффициент ослабления определяется так:

$$\alpha(r, m, N, \lambda) = NQ(r, m, \lambda)\pi r^2, \quad (2)$$

где Q - фактор эффективности ослабления (параметр, часто используемый в теории рассеяния света [7,8]). Коэффициент ослабления зависит от размеров частиц r , их комплексного показателя преломления $m = n - ik$ и длины волны λ .

Если распределение частиц по размерам описывается функцией распределения $f(r)$, то

$$\alpha(r, m, \lambda) = \int_0^{\infty} Q(r, m, \lambda)\pi r^2 f(r) dr. \quad (3)$$

Измерив зависимость коэффициента ослабления от длины волны и зная вид функции $Q(r, m, \lambda)$, по формуле (2) можно найти средний размер частиц, а по формуле (3) – функцию распределения их по размерам и показатель преломления.

Вид формул для фактора эффективности ослабления Q зависит от формы частиц. В большинстве случаев на практике используются формулы для сферических частиц. Это оправдано тем, что форма малых жидких частиц близка к сферической, а характеристики рассеяния системы хаотически расположенных твердых частиц неправильной формы близки к характеристикам рассеяния системы сферических частиц.

Исследовалась зависимость от длины волны коэффициента ослабления водной эмульсии эфирных масел, использующихся в парфюмерии. В эксперименте с помощью спектрофотометра измерялся коэффициент пропускания кюветы с эмульсией, а коэффициент ослабления вычислялся по формуле

$$\alpha = -\frac{\ln T}{l},$$

которая следует из выражения (1). Здесь $T = I/I_0$ - коэффициент пропускания света кюветой.

Математическая обработка результатов измерений состоит в подборе таких значений параметров r и m , при которых график функции $\alpha(r, m, \lambda)$ наилучшим образом проходит через экспериментальные точки. Это можно сделать с помощью метода наименьших квадратов.

Трудность решения такой задачи состоит в том, что вычисления занимают очень много времени, так как строгие формулы для фактора эффективности ослабления сферы представляют собой медленно сходящиеся ряды со слагаемыми, имеющими довольно сложный вид [7,8].

Чтобы уменьшить время вычислений, используются приближенные выражения для фактора эффективности ослабления. Известны несколько таких приближений. Каждое из них применимо к определенному классу частиц – малых или больших по сравнению с длиной волны, с малым или большим показателем преломления и т.д.

1) Если частицы малы ($\rho \ll 1$), то для частиц без поглощения

$$Q = \frac{8}{3} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 \rho^4, \quad (5)$$

а для поглощающих частиц

$$Q = \frac{24nk}{(n^2 + \kappa^2)^2 + 4(n^2 - \kappa^2) + 4} \rho, \quad (6).$$

2) Для частиц без поглощения и $\rho \leq 1,4$

$$Q = \frac{8}{3} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 \rho^4 \left[1 + \frac{6}{5} \rho^2 \frac{n^2 - 2}{n^2 + 2} + \rho^4 \left\{ \frac{3}{175} \frac{n^6 + 4n^4 - 284n^2 + 284}{(n^2 + 2)^2} + \frac{1}{900} \left(\frac{n^2 + 2}{2n^2 + 3} \right)^2 [1,5 + (2n^2 + 3)^2] \right\} \right], \quad (7)$$

Для частиц с комплексным показателем преломления и $\rho \leq 0,8$

$$Q = \frac{24nk}{Z_1} \rho + \left[\frac{4nk}{15} + \frac{20nk}{3Z_2} + 4,8nk \frac{7(n^2 + \kappa^2)^2 + 4(n^2 - \kappa^2 - 5)}{Z_1^2} \right] \rho^3 + \frac{8 \left[(n^2 + \kappa^2)^2 + (n^2 - \kappa^2 - 2) \right]^2 - 36n^2 \kappa^2}{3 Z_1^2} \rho^4, \quad (8)$$

где

$$Z_1 = (n^2 + \kappa^2)^2 + 4(n^2 - \kappa^2) + 4; Z_2 = 4(n^2 + \kappa^2)^2 + 12(n^2 - \kappa^2) + 9.$$

3) Для частиц с $1 < n \leq 1,5$ и $0 \leq \kappa \leq 0,25$ [9]

$$Q = K(m, x)(1 + D), \quad (9)$$

где

$$K(m, x) = 2 - \frac{4 \cos(g)}{x} \exp(-xtg(g)) \sin(x - g) + 4 \left(\frac{\cos(g)}{x} \right)^2 [\cos(2g) - \exp(-xtg(g)) \cos(x - 2g)],$$

$$g = \arctg \frac{\kappa}{n-1}, \quad x = 2\rho(n-1).$$

D рассчитывается по определенным формулам при установленных границах x [9].

Таким образом, зная функцию Q , можно найти функцию распределения частиц по размерам. Математическая задача состоит в решении интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода. Каждый способ уменьшения ошибок наиболее эффективен в каком-то конкретном случае, поэтому необходимо иметь представление об их границах применения.

Список литературы: 1. Аппельт Г. Введение в методы микроскопических исследований / Г. аппельт. – М.: Мир, 1959.- 143 с. 2. Цюрупа Н.Н. Практикум по коллоидной химии. / Н. Н. Цюрупа. – М.: Мир, 1966.- 176 с. 3. Ходаков Г.С., Юдкин Ю.Л. Седиментационный анализ высокодисперсных систем. / Г.С. Ходаков, Ю.Л. Юдкин. – М.: Химия, 1981.-192 с. 4. Беляев С.П., Никифорова Н.К., Смирнов В.В., Щелчков Г.И. Оптико-электронные методы изучения аэрозолей. / С.П. Беляев – М.: Энергоиздат, 1981.- 232 с. 5. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П.А. Коузов. - Л.: Химия, 1974. -280 с. 6. Архипов В.А. Лазерные методы диагностики гетерогенных потоков / В.А.Архипов. – Томск: Изд-во ун-та,1987. - 140 с. 7. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами/Г. Ван де Хюлст. - М.: ИЛ,1961. - 536 с. 8. Kerker M. The scattering of light and other electromagnetic radiation/ M. Kerker. - N.Y., London, Academic Press, 1969. - 667 p. 9. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами / Д. Дейрменджан. - М.: Мир, 1971. - 165 с.

Поступила в редколлегию 02.09.2010

УДК 669.094.54:661.87.621:661.668.

П.И. ГЛУШКО, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ННЦ «ХФТИ», г. Харьков

А.Ю. ЖУРАВЛЁВ, младший научный сотрудник, ННЦ «ХФТИ», г. Харьков

В.Л. КАПУСТИН, начальник группы, ННЦ «ХФТИ», г. Харьков

Н.А. СЕМЁНОВ, заместитель начальника отдела, ННЦ «ХФТИ», г. Харьков

Н.А. ХОВАНСКИЙ, ведущий инженер-исследователь, ННЦ «ХФТИ», г. Харьков

В.И. ШЕРЕМЕТ, научный сотрудник, ННЦ «ХФТИ», г. Харьков

Б.М. ШИРОКОВ, доктор техн. наук, старший научный сотрудник, начальник отдела ННЦ «ХФТИ», г. Харьков

А.В. ШИЯН, инж.-исследователь II кат., ННЦ «ХФТИ» г. Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР Si-Ge НА ПОДЛОЖКАХ Si И Si-Ge

Проведено термодинамічний аналіз реакцій водневого відновлення хлоридів кремнію і германію у молекулярному і атомарному водні. Встановлено, що в середовищі атомарного водню відновлення хлоридів кремнію і германію відбувається при нижчих температурах, ніж в середовищі молекулярного водню. Вивчена кінетика процесів осадження кремнію і германію водневим відновленням їх хлоридів. Показано, що при температурі вище 1280К швидкість осадження кремнію і германію контролюється доставкою галогенідів до поверхні, що росте. Виконано дослідження по отриманню кремній-германієвих сплавів відновленням хлоридів кремнію і германію в низькотемпературній нерівноважній плазмі ВЧ-розряду. Отримані й досліджені зразки з осажденими епітаксіальними шарами з SiGe на монокристалічних підложках кремнію і кремній-германію

Проведен термодинамический анализ реакций водородного восстановления хлоридов кремния и германия в молекулярном и атомарном водороде. Установлено, что в среде атомарного водорода восстановление хлоридов кремния и германия происходит при более низких температурах, чем в среде молекулярного водорода. Изучена кинетика процессов осаждения кремния и германия водородным восстановлением их хлоридов. Показано, что при температуре выше 1280К скорость осаждения кремния и германия контролируется доставкой галогенидов к растущей поверхности. Выполнены исследования по получению кремний-германиевых сплавов восстановлением хлоридов кремния и германия в низкотемпературной неравновесной плазме ВЧ-разряда. Получены и исследованы образцы с осажденными эпитаксиальными слоями из SiGe на монокристаллических подложках кремния и кремний-германия

Введение. Эпитаксиальные пленки SiGe на кремниевых подложках в настоящее время привлекают внимание широкого круга исследователей. В сплавах системы SiGe имеется возможность плавного регулирования параметра решётки и ширины запрещённой зоны. Успехи в этой области позволили расширить динамический и частотный диапазоны создаваемых приборов [1]. Гетероструктуры на основе SiGe успешно используются для создания оптоэлектронных приборов, светодиодов и лазеров [2]. Однако параметры решеток подложек кремния, и осажденных эпитаксиальных слоев из SiGe существенно отличаются, что приводит

к возникновению дислокаций на границах раздела фаз и, следовательно, к неконтролируемому изменению важных для приборов электрофизических свойств.

Решением проблемы совмещения являются буферные слои на основе Ge_xSi_{1-x} , позволяющие создавать на их поверхности слои твердого раствора германий-кремний с градиентом концентрации по Ge в эпитаксиальном слое для релаксации возникающих напряжений. В настоящей работе буферные слои SiGe осаждались газофазным и плазмохимическим методами. В качестве подложек использовались монокристаллические подложки из кремния и кремний-германиевых сплавов.

Термодинамический анализ восстановления хлоридов Si и Ge.

На рис.1 представлена температурная зависимость изобарно-изотермического потенциала реакций восстановления хлоридов кремния и германия в среде молекулярного и атомарного водорода.

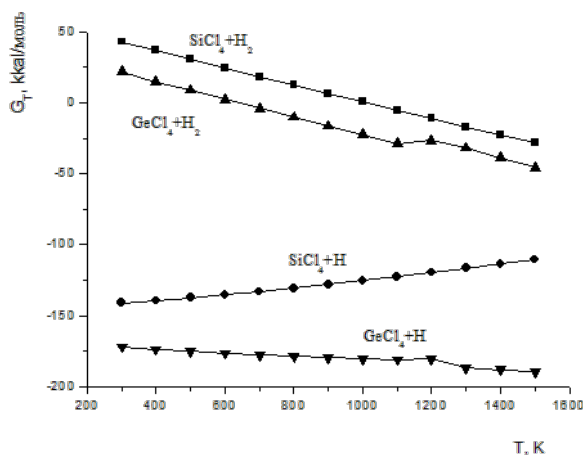


Рис.1 Зависимость изобарно – изотермического потенциала реакций от температуры

При расчетах были использованы справочные данные и известные формулы:

$$\Delta H^0_T = \Delta H^0_{298} + \int_{298}^T \Delta C_p dT$$

$$\Delta S^0_T = \Delta S^0_{298} + \int_{298}^T \Delta C_p dT / T$$

$$\Delta Z^0_T = \Delta H^0_{298} - T \Delta S^0_{298} + \int_{298}^T \Delta C_p dT - \int_{298}^T \Delta C_p dT / T$$

Из рис. 1 видно, что в среде атомарного водорода реакции восстановления хлоридов кремния и германия происходят при существенно более низких температурах, чем в среде молекулярного водорода. Это является основанием

для проведения исследований процесса осаждения пленок SiGe с использованием атомарного водорода, который предполагается получать с помощью возбуждения плазменного разряда в рабочем объеме в процессе осаждения эпитаксиальных пленок.

Методики осаждения. Исследования по нанесению эпитаксиальных SiGe слоев проводились на установке для водородного восстановления хлоридов кремния и германия схема которой приведена на рис. 2.

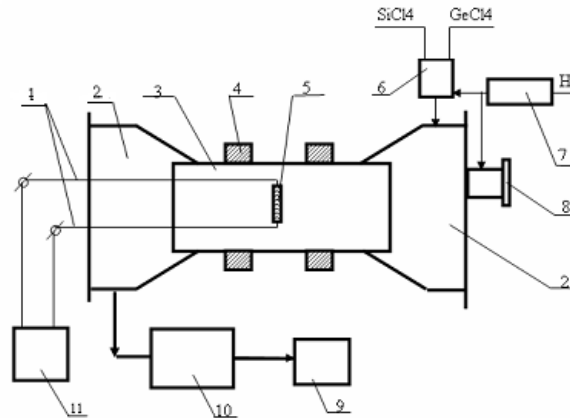


Рис.2 Схема газовой установки для осаждения кремний-германиевых сплавов: 1 – токовводы нагревателя подложки; 2 – форкамеры; 3 – реакционная камера; 4 –индуктор; 5 – подложка; 6 – смеситель; 7 – система очистки водорода; 8 – смотровое окно; 9 – форнасос; 10 – система азотных вымораживающих ловушек; 11 – источник электрического питания нагревателя

Установка состоит из реакционной камеры 3. Конструктивно она выполнена в виде полого цилиндра из нержавеющей стали диаметром 150 мм и длиной 600 мм, закреплённой в горизонтальном положении в форкамерах 2. Для защиты от перегрева камера снабжена рубашками водяного охлаждения 4. Левая форкамера закрывается загрузочным фланцем с молибденовыми токовводами, на которых крепится графитовый контейнер 5 с внутренним нагревателем. Подложка представляет собой диск диаметром 35-40 мм, толщиной 0,5-1 мм которая устанавливается в углубление на контейнере. Питание нагревателя осуществляется от источника 11. На фланце правой форкамеры имеется смотровое окно 8 для визуального наблюдения за ходом процесса и измерения температуры подложки посредством оптического пирометра. Откачка насосом 9 осуществляется через систему азотных вымораживающих ловушек 10, которые улавливают продукты реакции.

Хлориды кремния и германия подавались в смесительную камеру из контейнеров с регулируемыми вентилями. В контейнер с хлоридом кремния вводилась добавка хлорида бора для легирования эпитаксиальных пленок бором. Система формирования газовой смеси включает в себя смеситель 6 и линии подачи отдельных компонентов смеси. Смеситель представляет собой камеру с четырьмя входными штуцерами и развитым внутренним лабиринтом для перемешивания поступающих газов. Для измерения расходов хлориды подавали из контейнеров в реакционную камеру через обогреваемые до 340К прозрачные трубки с шкалой. Расход хлоридов определяли по уровню хлорида в трубке с точностью до 10^{-8} м³.

Линия подачи водорода снабжена фильтром очистки 7, включающим азотную вымораживающую ловушку для удаления влаги и патрон с нагреваемой до 873К медной стружкой для удаления примеси кислорода.

В качестве подложек использовались образцы монокристаллического кремния и кремний-германиевых сплавов с ориентацией (111). Перед установкой в камеру подложки подвергалась химической обработке в смеси азотной, плавиковой и уксусной кислот в соотношении 9:2:4. Для удаления остаточной окисной пленки непосредственно перед нанесением эпитаксиального слоя подложку отжигали в очищенном водороде при 1370К в течение 30 минут.

Кинетика процесса осаждения эпитаксиальных пленок исследовалась при различных температурах, расходах и давлениях в реакционном объеме. На рис. 3 приведена зависимость скорости осаждения кремния от температуры.

Из рис. 3 видно, что скорость осаждения кремния при атмосферном давлении в диапазоне температур 1070...1470К находится в кинетической области (кривая – 1). Снижение общего давления в реакционной камере приводит к смещению кривой в область более низких температур (кривая 2). На кривой – 2 при температурах 1280К появляется загиб, характерный для диффузионной области осаждения.

Зависимость скорости осаждения германия от температуры при давлении $3,9 \cdot 10^3$ Па приведена на рис. 4. Анализ представленной зависимости позволяет сделать вывод, что температурный диапазон осаждения германия выше 973К находится в диффузионной области.

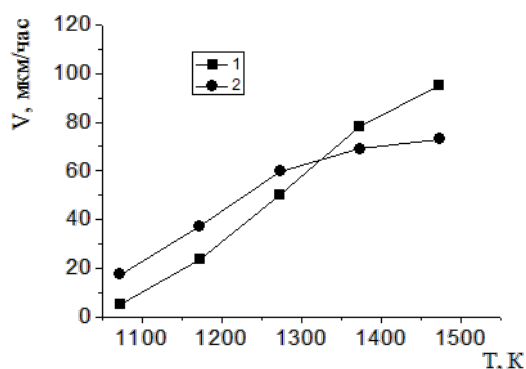


Рис. 3. Скорость осаждения кремния от температуры: 1 – при атмосферном давлении; 2 – при давлении $3,9 \cdot 10^3$ Па

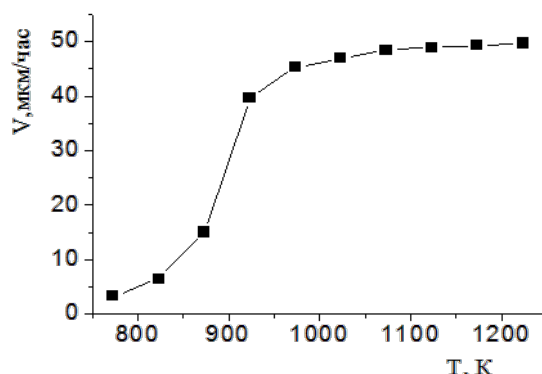


Рис. 4 Скорость осаждения германия в зависимости от температуры при давлении $3,9 \cdot 10^3$ Па

Из графиков 3 и 4 видно, что выше температуры 1280К скорость осаждения кремния и германия осуществляется в стадии диффузионного контроля. Как известно в этой стадии формируются конденсаты с максимальной плотностью и минимальным содержанием примесей.

Проведенные исследования позволили определить параметры процесса осаждения эпитаксиальных пленок при газофазном осаждении:

- давление в реакционном объеме $3,9 \cdot 10^3$ Па
- температура осаждения 1300К

- суммарный расход хлоридов 3 л/час
- расход водорода 60 л/час

Плазмохимическое осаждение кремний-германиевых эпитаксиальных пленок восстановлением хлоридов кремния и германия проводили в низкотемпературной неравновесной плазме ВЧ-разряда. Возбуждение разряда осуществляли индуктором высокочастотного генератора ВЧИ-63/044 с частотой 440 кГц при давлении $2,2 \cdot 10^{-2}$ Па. Расход водорода и хлоридов был таким как при газофазном осаждении. Перед осаждением пленок проводилось плазмохимическое травление подложки в водороде с целью удаления окисла. Температура осаждения составляла $950 \div 1100$ К.

Измеренные спектрографическим методом температура и концентрация электронов в зависимости от давления в реакционном объеме равны $T_e = 4,5 \div 5,0^{13}$, $N_e = 10^{12} \div 10^{13}$ см⁻³. Экспериментально установлено, что возбуждение высокочастотного индукционного разряда в парогазовой смеси способствует снижению температуры осаждения на $200 \div 250$ К, что можно объяснить стимулированием процесса осаждения активными возбужденными и заряженными частицами плазмы. Реакции в разряде протекают под воздействием высокоэнергетичных электронов. Полученный под действием высокоэнергетичных электронов атомарный водород заметно ускоряет химические процессы в реакциях восстановления галогенидов [3].

Исследования по равномерности распределения германия в эпитаксиальных пленках, полученных методом газофазного осаждения, выполненные с помощью рентгеновского микроанализатора, свидетельствуют о высокой гомогенности сплава, рис. 5.

Неравномерность распределения германия по отношению к среднему содержанию германия в сплаве не превышает 3%.

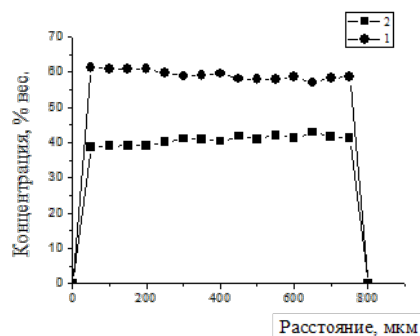


Рис.5 Неравномерность распределения германия в кремнии после газофазного осаждения: 1 – концентрация кремния; 2 – концентрация германия

Выводы

1. Выполнен термодинамический анализ процессов восстановления хлоридов Si и Ge молекулярным и атомарным водородом. Показано, что атомарный водород снижает температуру восстановления хлоридов кремния и германия на $200 \div 250$ К.

2. Методом термического водородного восстановления из хлоридов Si и Ge, а также методом плазмохимического разложения хлоридов этих элементов в низкотемпературной водородной плазме получены экспериментальные образцы эпитаксиальных структур Si-Ge и (Si-Ge):B на монокристаллических подложках Si и (Si-Ge):B.

3. Полученные разными методами экспериментальные образцы эпитаксиальных структур SiGe/Si и SiGe/SiGe исследованы с помощью рентгеноспектрального метода. Неравномерность распределения германия в кремнии не превышает 3%.

Список литературы: 1. Hermann G. Grimmeiss. Silicon-germanium - a promise into the future // Физика и техника полупроводников. – 1999. – Т 33, вып 9. – С. 1032–1034. 2. Красильник. З. Ф. Полупроводниковые наноструктуры: оптические свойства и применения // Известия академии наук серия физическая. – 2001. – Т. 65, № 2. – С. 168–170. 3. Vepřek S. Plasma-Induced and Plasma-Assisted Chemical Vapour Deposition // Thin Solid Film, № 130. – 1985. – P. 135–154.

А.Ю. АНДРИАНОВ, канд. техн. наук, доцент, ДНУ, г. Днепропетровск
Д.А. ОРЛЯНСКИЙ, студ., ДНУ, г. Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В СОСТАВЕ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Приведено результати експериментального дослідження міцності адгезійного з'єднання двох компонентів конструкційного матеріалу, що призначений для виготовлення засобів ізоляції радіоактивних відходів. Визначено вплив складу та вмісту модифікатора, що використовується в адгезиві, хімічної активації поверхні субстрату з тривалою витримкою, а також термоциклічної дії на міцність з'єднання.

Приведены результаты экспериментального исследования прочности адгезионного соединения двух компонентов конструкционного материала, предназначенного для изготовления средств изоляции радиоактивных отходов. Определено влияние состава и содержания модификатора в адгезиве, химической активации поверхности субстрата с длительной выдержкой, а также термоциклического воздействия на прочность соединения.

Актуальность

Обеспечение надежной изоляции радиоактивных отходов является одной из приоритетных задач развития атомной энергетики Украины. Современные требования, предъявляемые к изоляции радиоактивных отходов, требуют внедрения новых контейнерных материалов. Одним из таких материалов является конструкционный материал (КМ), разрабатываемый в рамках проекта Научно-технологического центра в Украине совместными усилиями сотрудников Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара и Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт». Структура КМ, обеспечивающая высокую степень защиты от проникающего гамма-излучения, разработана по принципу интеграции функциональных свойств двух разнородных по составу и строению гетерогенных материалов – полиметаллического многослойного пакета (МП) и наполненного высокодисперсными наполнителями полимерного композита (ПК).

Цель

Одна из основных задач, возникших в ходе проектирования КМ, заключалась в разработке технологических методов соединения МП и ПК. Проведенные ранее работы позволили установить и обосновать адгезионный метод соединения, а также экспериментально отработать процессы его формирования и методику испытания с использованием стандартных образцов. Основной целью данной публика-

ции является обобщение результатов одного из последних этапов отработки технологического процесса соединения компонентов КМ, сущность которого заключалась в оптимизации состава адгезива с целью обеспечения надежного соединения компонентов КМ с заданными свойствами.

Методология соединения

Соединение компонентов КМ является неотъемлемой частью процесса его формирования, включающего следующие этапы: 1) формирование металлических слоев МП методами физического осаждения из плазмы или вакуумной прокатки на металлической подложке с коэффициентом теплового расширения (КТР), близким к наполненным эпоксидным композициям; 2) послойное формирование слоев ПК, армированных стеклотканью, на поверхности МП. В качестве поверхностного слоя МП, выполняющего функцию переходного элемента между компонентами КМ, рационально использовать конструкционную сталь, что позволяет увеличить механические свойства контейнера или алюминиевые сплавы, уменьшающие вес конструкции. Возможно также использование и других конструкционных металлов, значения КТР которых ближе по величине к наполненным эпоксидным композициям по сравнению с другими элементами (титан, цирконий, молибден и другие), входящими в состав МП. При таком подходе наполненная эпоксидная смола выступает как в роли связующего ПК, так и в качестве адгезива при соединении двух субстратов – материалов подложки и ПК. Данное соединение является критическим, поскольку достичь полного соответствия между КТР субстратов в полной мере не удастся в широком диапазоне температур.

Методика испытаний

В основу исследования адгезионной прочности эпоксидного адгезива со стальным субстратом была положена методика, которая основана на стандартном методе определения прочности клеевого соединения при сдвиге по ГОСТ 14759-69 [1], соответствующему международному стандарту ISO 4587-79. Метод позволяет определить статическую прочность при сдвиге клеевых соединений листовых металлов, путем определения величины разрушающего усилия при растяжении образцов металлов, склеенными внахлест, с приложением усилий, смещающих одну пластинку образца относительно другой. Для испытаний использовалась разрывная машина FM-1000 (Германия) и пластинки из конструкционной стали. Выбор в качестве субстрата стали усложняет обеспечение высокой прочности соединения по сравнению с использованием алюминиевого субстрата, поскольку КТР последнего ближе по величине к наполненным эпоксидным композициям. Порядок изготовления образцов включал следующие этапы: на горизонтально-фрезерном станке изготавливались пластинки из стали 3 по размерам, заданным в стандарте; соединительные поверхности пластинок шлифовались наждачной бумагой низкой зернистости и обезжиривались ацетоном; компоненты наполнителя выдерживались в сушильной камере в течение 4 часов при температуре 353-373 К; изготавливался модификатор путем механического смешения компонентов наполнителя по отработанным режимам; в заданных производителем пропорциях смешивались компоненты эпоксидной смолы в течение 5-7 мин.;

в подготовленную смолу добавлялся модификатор (наполнитель) и перемешивался до получения однородной смеси (в течение 10-15 мин.); наполненная композиция наносилась кистью на рабочую поверхность одной из пластин, на которую без дополнительного давления прикладывалась рабочей поверхностью вторая пластинка; образцы выдерживались в течении 7 суток при комнатной температуре.

Результаты испытаний

Для выбора марки смолы, составляющей основу адгезива, было изготовлено ряд образцов с использованием модифицированной эпоксидной смолы КДА-2 по ТУ 6-05-1380-76 с отвердителем ТЭТА и двухкомпонентной смолы Эпофлекс-09 с фирменным отвердителем по ТУ У 23981176.015-2008. В качестве модификатора использовались смеси порошков вольфрама и одного из порошков дополнительного компонента модификатора (каолин, мел, тальк, силикат и железный сурик), обеспечивающего равномерное распределение тяжелых частиц вольфрама. В дальнейшем наименование модификатора определяется названием дополнительного компонента.

Наибольшую прочность при использовании эпоксидных смол без наполнителей показали образцы на основе КДА-2. Однако при внесении модификаторов в смолы адгезионная прочность для Эпофлекс-09 имела более высокие (для различных составов модификаторов см. рис. 1) и более стабильные величины (относительный разброс значений меньше на 5-10%). Полученный результат, а также более высокая технологичность смолы Эпофлекс-09, стали основными причинами ее использования в качестве связующего адгезива для последующих исследований.

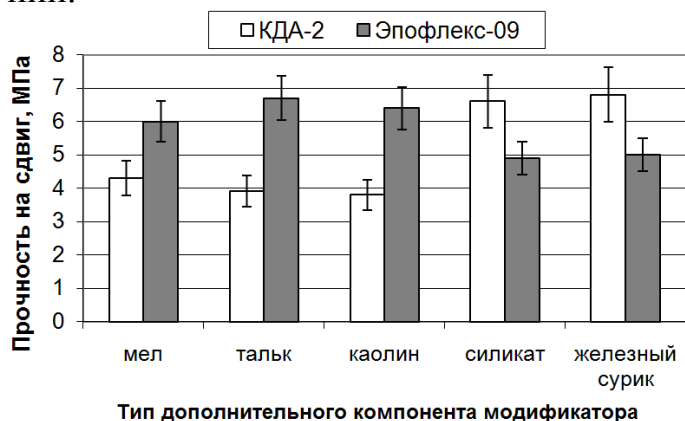


Рис. 1. Влияние модификаторов различного состава на адгезионную прочность эпоксидных смол КДА-2 и Эпофлекс-09 (содержание модификатора 32%)

прочности на сдвиг образцов при увеличении количественного содержания модификатора всех составов за исключением железного сурика, для которого пик адгезионной прочности приходится на 48% (рис. 2).

Исследование влияния состава модификатора на адгезионную прочность соединения позволили установить, что образцы на основе силиката имеют наименьшие значения прочности на сдвиг для различных количественных содержаний модификатора в связующем – не более 4 МПа. Образцы на основе каолина имели стабильно высокие значения адгезионной прочности по сравнению с другими модификаторами. Ожидаемым результатом стало возрастание

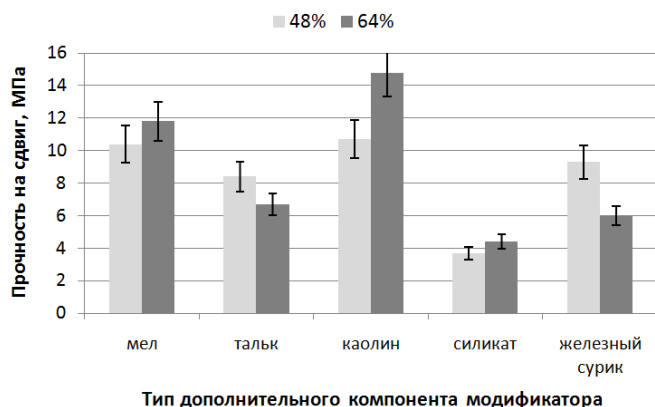


Рис. 2. Влияние количественного содержания модификаторов на адгезионную прочность эпоксидной смолы Эпофлекс-09

Однако в приведенном источнике экстремумы соответствуют содержанию наполнителя в пределах 30-35%, при этом максимальная прочность на сдвиг составляет порядка 16 МПа; при повышенном содержании наполнителя 40-60% наблюдается снижение прочности на сдвиг до 3-8 МПа.

Пропорциональное возрастание адгезионной прочности при увеличении содержания модификатора обусловлено снижением степени усадки адгезива при его отверждении, что в свою очередь приводит к уменьшению внутренних напряжений. Снижение прочности на сдвиг при увеличении содержания модификатора на основе железного сурика, вероятно, является следствием коагуляции и комкования его частиц при высоком содержании в связующем. Уменьшение прочности также может быть связано с наличием воздушных пустот, снижающих площадь адгезионного контакта [2], и вызванных неровной поверхностью достаточно крупных частиц железного сурика.

Наибольшие значения прочности на сдвиг более 10 МПа характерны для образцов с когезионным разрушением (рис. 3, а), что характерно для клеевых соединений. Для остальных образцов с прочностью приблизительно до 10 МПа преобладает адгезионный тип разрушения (рис. 3, б) или смешанный для образцов с прочностью около 10 МПа и более (рис. 3, в). Следует отметить, что образцы с дефектами (непроклеи, отслоения и др.) имели адгезионный характер разрушения и прочность на сдвиг не более 2 МПа.

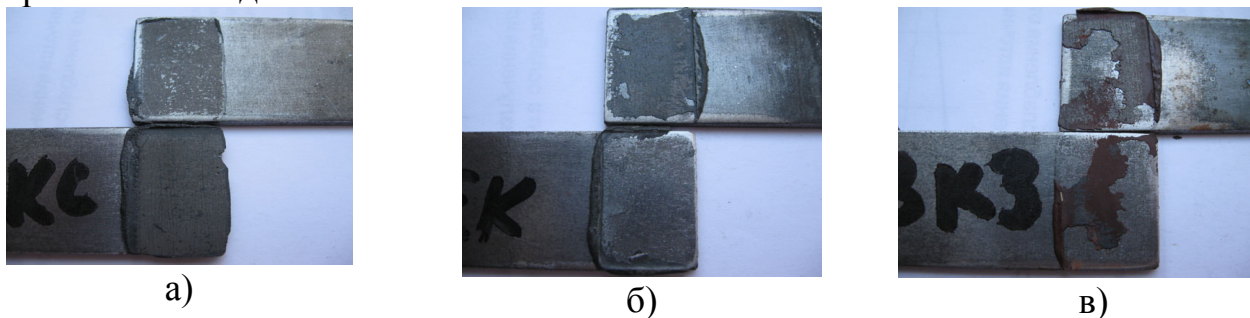


Рис. 3. Характер разрушения образцов: а) когезионное разрушение (каолин – 11,4 МПа); б) адгезионное разрушение (силикат – 2,9 МПа); в) (железн. сурик – 10,7 МПа).

Экстремальная зависимость прочности от объемного содержания модификаторов всех типов наблюдалась также при использовании связующего на основе смолы КДА-2.

Наличие подобных экстремумов обнаружено также в работе [2], в которой исследуется адгезионная прочность эпоксидных модифицированных смол (состав и марка которых не приводится), наполненных порошками электропроводящих металлов.

В работе также определялась адгезионная прочность образцов после 10-кратного циклового температурного воздействия, которая заключалась в выдержке образцов в течении 12 часов при температуре 373 К и 253 К. Переход от минимальной температуры к максимальной осуществлялся постепенно без резких скачков. Для образцов с мелом прочность уменьшилась почти в два раза при содержании модификатора в связующем 32% и 48% (рис. 4), что связано с их большим значением коэффициента теплового расширения по сравнению с другими компонентами модификатора.

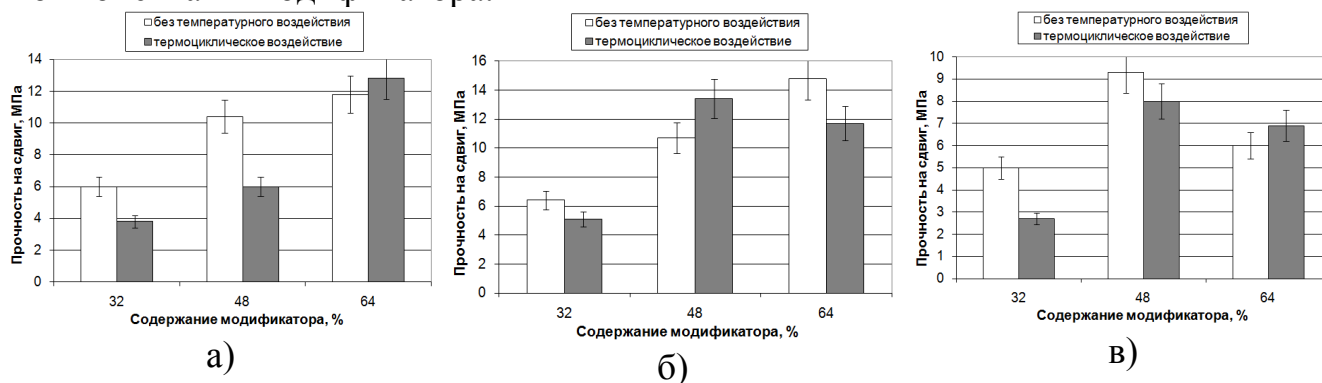


Рис. 4. Влияние 10-кратного термоциклического воздействия 253-373 К на прочность соединения с адгезивом, включающим: а) мел; б) каолин; в) железного сурик

При содержании модификатора 64% температурное воздействие мало повлияло на прочность образцов с мелом в пределах погрешности. Значения прочности образцов на основе каолина можно считать стабильными при любом содержании модификатора в связующем, на основе железного сурика – также за исключением содержания модификатора 32%.

С целью повышения адгезионной прочности образцов рассматривались специальные методы подготовки стальных пластинок перед склеиванием. Стабильно высокие значения адгезионной прочности при минимальных затратах на подготовку обеспечивают химические методы активации поверхности субстрата перед склеиванием. Травление химическими реактивами в зависимости от их состава и режима обработки позволяет обеспечить высокую прочность на сдвиг стальных образцов от 10 до 50 МПа [3]. Недостатками химического травления являются высокая вредность и низкая технологичность при обработке поверхности значительной протяженности, что связано с уменьшением степени активации образцов со временем после травления. В связи с этим была исследована прочность протравленных образцов после выдержки в течение трех часов.

В результате некоторые стальные пластинки имели следы ржавчины на протравленной поверхности, которую перед склеиванием счищали резиновым бруском. Травление осуществляли по методике модифицированного стандарта Чехословакии, обеспечивающего высокую адгезионную прочность [3]. В методике для обезжиривания субстрата используется ацетон, а раствор для травления включает 37,5 г хромпика, 65,5 мл серной кислоты ($d=1,82$) и 77 м.ч. дистиллированной воды. Выдержка субстрата в реагенте осуществляется в течении 20-30 минут с последующей промывкой дистиллированной водой при 60°C.

Образцы с каолином после травления имели прочность на сдвиг в пределах 0,7-1,3 МПа, с железным суриком – 2-4 МПа при содержании модификатора 48%. Уменьшение прочности на сдвиг связано со снижением степени активации поверхности в результате ее интенсивного окисления. На снижение прочности также могли повлиять оставшиеся на поверхности субстрата частички резины.

Одно из условий формирования радиационно-защитной структуры ПК требовало, чтобы его первый слой, реализующий адгезионное соединение с субстратом, имел наименьшее значение эффективного атомного номера. Поэтому дополнительно были проведены исследования прочности образцов на основе модификатора с железным суриком без порошка вольфрама, увеличивающего средний атомный номер слоя адгезива. Для таких образцов при содержании модификатора 32%, 40% и 48% значения прочности на сдвиг составило около 10-14 МПа. Причем увеличение количества модификатора сопровождалось возрастанием прочности на сдвиг только в пределах погрешности. Образцы с содержанием модификатора 40% после химического травления с трехчасовой выдержкой имели прочность на сдвиг в пределах 5-6 МПа, после температурного воздействия по вышеописанному циклу – в пределах 5-10 МПа.

Выводы

Адгезионный метод позволяет получить достаточную прочность соединения компонентов КМ величиной не менее 10 МПа при сдвиговом нагружении. В процессе оптимизации состава первого слоя ПК, выполняющего функцию адгезива, существует возможность увеличить прочность соединения на 40% (до 14 МПа) при использовании вольфрамовых и безвольфрамовых модификаторов с добавлением порошков каолина или железного сурика. Как показали экспериментальные исследования для обеспечения высокой прочности соединения желательнее использовать модификаторы с добавлением каолина. В тоже время использование железного сурика может диктоваться требованиями к теплофизическим и электрическим свойствам ПК.

Следует отметить, что высокое содержание модификатора в адгезиве более 50% приводит к увеличению его вязкости и снижению технологичности при механизированном нанесении на протяженные поверхности даже при добавлении растворителей. Поэтому рациональным следует считать использование либо установок для распыления высокого давления, либо нанесение адгезивов с содержанием модификатора в пределах 40-50%.

Использование химического травления в качестве предварительной подготовки поверхности контейнера, перед нанесением на него слоя адгезива, рационально только в условиях снижения временного интервала между данными операциями. Увеличение временного интервала между моментом завершения травления и началом нанесения адгезива приводит к уменьшению прочности соединения по сравнению с механической подготовкой поверхности субстрата.

Список литературы: 1. ГОСТ 14759-69. Клеи. Метод определения прочности при сдвиге. – Введ. 01.01.70. / М.: Изд-во стандартов, 1998. – 13 с. 2. *Пещерова Т.Н.* Технология формирования и повышения прочности клеевых соединений деталей машиностроительных конструкций: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машинострое-

ния» / Пещерова Татьяна Николаевна; Московск. гос. технол. ун-т «Станкин». – Москва, 2007. – 26 с. 3. Ковачич Л. Склеивание металлов и пластмасс. – М.: Химия, 1985. – 240с.

Поступила в редколлегию 01.09.2010

УДК 621.9.048.4

Л. Ф. ГОЛОВКО, проф., докт. техн. наук, НТУУ „КПІ”, м. Київ

В. І. НОСУЛЕНКО, проф., докт. техн. наук, КНТУ, м. Кіровоград

О. С. ЧУМАЧЕНКО, доц., канд. техн. наук, КНТУ, м. Кіровоград

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ

Описано якісні і кількісні характеристики джерел тепла електрофізичних методів розмірної обробки металів і на цій підставі визначені області їх раціонального застосування. Динамічний тиск середовища – це керуючий чинник, що визначає енергетичні і технологічні характеристики відомих різновидів електричних розрядів, які застосовують для металообробки. Стаціонарні і нестаціонарні електричні розряди, маючи однакову фізичну природу, відрізняються тривалістю.

Описаны качественные и количественные характеристики источников тепла электрофизических методов размерной обработки металлов и на этом основании определены области их рационального применения. Динамическое давление среды – это управляющий фактор, который определяет энергетические и технологические характеристики известных разновидностей электрических разрядов, которые применяют для металлообработки. Стационарные и нестационарные электрические разряды, имея одинаковую физическую природу, отличаются длительностью.

Вступ. Електрофізичні методи розмірної обробки металів (ЕФ), засновані на використанні для локального руйнування металу висококонцентрованих джерел тепла, отримали широке застосування і продовжують розвиватись все більш інтенсивно. До них належать лазерна обробка (ЛО), електроннопроменева обробка (ЕП) та процеси електророзрядної обробки (ЕРО), серед яких [1] електроіскровка (електроімпульсна) (ЕІ), електромеханічна обробка (ЕМ) та наближена до неї анодно-механічна (АМ), розмірна обробка електричною дугою (РОД), а також плазмова обробка (ПО). Технологічні можливості цих процесів визначаються якісними та кількісними характеристиками їх джерел тепла, що визначає області раціонального застосування цих процесів. Опишемо якісні та кількісні характеристики джерел тепла в умовах зазначених процесів в їх порівнянні і на цій основі опишемо технологічні можливості та області їх раціонального застосування. Для реалізації процесу руйнування металу необхідні концентрації енергії в таких джерелах тепла мають бути близькими до енергії зв'язку структури твердого тіла – для металів це $10^3 \dots 10^6$ Вт/см² [2, с. 78].

Лазерна обробка, при якій носієм енергії є електромагнітна хвиля, та якщо виходити з поверхневої густини потоку енергії (до 10^9 Вт/см²), можливостей керування лазерним променем і можливостей реалізації процесу в найрізноманітніших умовах, отримала і надалі буде отримувати все більш широке застосування для розмірної обробки металів.

Електроннопроменева обробка, коли носієм енергії є заряджені частки, а гу-

стина потоку енергії досягає $5 \cdot 10^8$ Вт/см² [3, с. 5], забезпечує широкі технологічні можливості в умовах розмірної обробки металів. Проте цей процес не отримав помітного практичного застосування [2, с. 3...4] внаслідок високої вартісті обладнання, високої кваліфікації обслуговуючого персоналу, складності засобів безпеки. Окрім того застосування лазера дозволяє вирішити аналогічні технологічні задачі не в вакуумі, що значно спрощує процес.

Процеси ЕРО мають більш високу економічну ефективність порівняно з іншими електрофізичними методами металообробки та мають широкі можливості регулювання концентрації енергії. Процеси ЕРО, що включають ЕІ, ЕМ, РОД та ПО, реалізують електричні розряди, що мають єдину фізичну природу – це те, що називають електричним дуговим розрядом або, інакше і що те ж, електричною дугою [1]. Саме це об'єднує ці процеси, робить їх схожими і дозволяє розглядати їх в єдності, взаємозв'язку і взаємозалежності, зокрема, як альтернативу традиційним процесам обробки металів різанням і тиском.

Покажемо, що нестационарні електричні розряди мають із стаціонарною дугою єдину фізичну природу – це те, що прийнято називати електричним дуговим розрядом. Для цього достатньо звернутись до числених, але несистематизованих літературних даних.

Спільна фізична природа іскрових та дугових розрядів. Всі відомі різновиди ЕРО реалізують електричні розряди тривалістю $t_i > 10^{-7}$ с [4, с. 25]. “З даних, що маємо, видно, що після 1 мкс і більш іскра стає квазістабільною і отримує багато рис, характерних для сталого дугового розряду” [5, с. 104]. “Іскру можна представити як нестационарну електричну дугу, яка гасне через відносно короткий час лише внаслідок того, що джерело живлення не в змозі жити дугу струмом достатньо тривалий час” [6, с. 17]. “Можна вважати, що після 10^{-5} ... 10^{-4} с від початку розряду між електродами його параметри за інших рівних умов набувають значень, характерних для дуги, що горить скільки завгодно довго” [7, с. 10]. “М. Н. Соболев показав, що напруга розряду стає типово дуговою і сталою після 10^{-6} с після його початку” [7, с. 9-10]. Нагадаємо, що “типово дуговий розряд” характеризується силою струму більше ~ 1 А і сумарним значенням катодного і анодного падінь напруги $U_{e+\dot{a}} \approx 10...20$ В. Саме це є необхідною і достатньою умовою, щоб вважати електричний розряд “типово дуговим”. Але саме цими параметрами характеризуються нестационарні електричні розряди в умовах ЕРО [8, с. 12-15, 10]. Це, зокрема, означає, що основні закономірності протікання стаціонарної дуги, певною мірою, справедливі і для нестационарної дуги.

Динамічна взаємодія розрядів із середовищем. Відміни електричних розрядів в умовах реалізації різноманітних процесів ЕРО – це лише різні форми динамічної (механічної) взаємодії дуги з поперечним до стовпа дуги потоком середовища-діелектрика, динамічний тиск P_d якого на стовп дуги і визначає енергетичну структуру дугового розряду. При РОД дуга протікає в поперечному потоці середовища-діелектрика в умовах однобічного динамічного тиску потоку на стовп дуги. При ЕМО однобічний поперечний до стовпа дуги потік середовища-діелектрика створюється рухомими електродами, які звичайно обертаються. При ЕІ і при реалізації нестационарних електричних розрядів, взагалі, динамічна взаємодія дуги з поперечним потоком середовища-діелектрика досягається в умо-

вах змінного в часі всебічного рівномірного стиснення стовпа дуги при розширенні каналу розряду, коли останній “набігає” на нерухоме середовище-діелектрик, стискуючи його. В плазмотронах ефект всебічної, постійної, рівномірної, поперечної до стовпа дуги динамічної дії потоку середовища-діелектрика досягається за рахунок обмеження площі поперечного перерізу каналу розряда соплом плазмотрона із додатковою динамічною дією потоку на стовп дуги за рахунок прокачування через сопло середовища-діелектрика.

Згідно викладеного, в умовах реалізації різних процесів ЕРО при заданому P_d енергетична структура розрядів повинна співпадати і такі джерела тепла для ЕРО можуть розглядатися як рівноцінні. Дійсно, якщо порівняти, енергетичні характеристики дуги в умовах РОД [9] і енергетичні характеристики нестационарного розряду в умовах відомих способів ЕЮ [10, с. 12-15], то виявляється, що це саме так. Проте, існують і відмінності. Відрізняються і технологічні можливості цих джерел тепла. При протіканні нестационарного електричного розряду його енергетичні характеристики змінюються в широких межах. Напруженість електричного поля в стовпі розряду може змінюватися від 4 до 0,1 кВ/см. В умовах РОД енергетичні характеристики стаціонарного електричного розряду стабільні і незалежно від сили струму напруженість електричного поля в стовпі дуги становитиме близько 3 кВ/см. Однак з погляду фізичної суті явища – це одне і те ж, це – електричний дуговий розряд відповідних енергетичних характеристик. Можна сказати, що електрична іскра – це дуга з енергетичними характеристиками, що змінюються в часі, або, що дуга в умовах РОД – це тривала іскра.

Так за енергетичними характеристиками і ефектом теплової дії на метал, наприклад по величині зони термічного впливу, стаціонарна дуга в умовах РОД відповідає нестационарному (іскровому, імпульсному) електричному розряду в умовах ЕІ. Але, що ж до останнього, має важливу перевагу – вона забезпечує стабільні енергетичні характеристики, які легко регулюються незалежно від сили струму, а значить забезпечують як якісну, так і кількісну сторону процесу обробки в значно ширшому діапазоні режимів, починаючи від грубого розмірного плавлення і до найтоншого розмірного випаровування, зокрема, дозволяє реалізувати високопродуктивну обробку (десятки тисяч мм³/хв) на великій силі струму (сотні і тисячі ампер) при високій якості обробки і глибині зони термічного впливу в межах сотих доль міліметра або навіть практично при її відсутності.

Опишемо кількісні та якісні характеристики електричної дуги як джерела тепла для ЕРО.

Дугу, як відомо [1], розглядають як суму трьох джерел тепла (рис. 1), що діють, в катодній області, анодній області і стовпі дуги при напрузі дуги U_d та її довжині L_d . Схема трьох джерел тепла в дузі дає можливість так представити дугу: одне джерело тепла потужністю P_k розташовано в плоскому шарі товщиною L_d на поверхні катода при падінні напруги U_k , друге потужністю P_a – в плоскому шарі товщиною L_a на поверхні анода при падінні напруги U_a , і третє потужністю P_c розташоване по об’єму стовпа дуги на довжині L_c при падінні напруги U_c . Схема трьох джерел тепла в дузі дозволяє розглядати її і досліджувати як єдність трьох різних за енергетичними характеристиками джерел тепла – катодного, анодного і стовпа дуги, кожне з яких в межах своєї області визначається одно-

рідними енергетичними характеристиками.

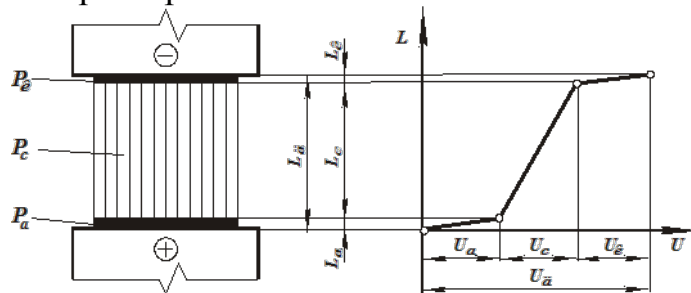


Рис. 1. Схема електричної дуги як джерела тепла

Для оцінки дуги як джерела тепла скористаємося такою характеристикою як об'ємна густина теплової потужності на ділянках кожного з трьох зазначених джерел тепла, яка може бути визначена за формулою:

$$K = Ej, \quad (1)$$

де K – об'ємна густина теплової потужності, Вт/см³; E – напруженість електричного поля, В/см; j – густина сили струму, А/см².

Відповідно до рівняння (1) приелектродні області (катодна і анодна) внаслідок дуже високої напруженості електричного поля є потужними концентрованими плоскими джерелами тепла, тоді як стовп дуги є значно менш концентрованим об'ємним джерелом тепла.

При цьому якісні характеристики (якість) джерела тепла на катоді визначає можливість і якісну сторону процесу ерозії (обробки) катода, а якісні характеристики (якість) джерела тепла на аноді – можливість і якісну сторону процесу ерозії (обробки) анода. Порівняльна кількісна і якісна оцінки джерел тепла на катоді і аноді, у свою чергу, дозволяють встановити доцільну полярність електричної ерозії, оскільки, як відомо, ефект електричної ерозії полярний.

Стовп дуги в процесі безпосередньої обробки суттєвої ролі не відіграє. Проте, енергетичні процеси в стовпі дуги визначають енергетичні процеси на електродах і, зокрема, об'ємну густина теплової потужності в катодному і анодному джерелах тепла, а отже можливість і якісну сторону процесу обробки. Тому енергетичні характеристики стовпа дуги, що характеризуються, в першу чергу, напруженістю електричного поля і густиною сили струму і які є функцією динамічного тиску потоку, є параметрами процесу, які визначають в кінцевому підсумку, можливість і якісну сторону процесу обробки. В умовах процесів ЕРО електричні розряди мають чіткі оптичні межі, що дозволяє надійно визначати їх геометричні параметри, а значить густина сили струму і напруженість електричного поля.

Якість катодного і анодного джерел тепла на електродах може бути охарактеризовано поверхневою густиною теплової потужності (добуток густини сили струму на падіння напруги відповідно в катодному і анодному джерелах тепла, Вт/см²), оскільки при протіканні дуги в поперечному потоці рідини сумарна товщина катодної і анодної областей в діапазоні досліджених режимів для сталевих електродів складає, за нашими даними, всього лише 0,3...0,6 мкм і тому такі джерела тепла можна розглядати як плоскі.

Густина сили струму в описаних дугах визначено [11, рис. 6]; вона є переважно функцією динамічного тиску потоку, в 5...10 разів перевищує густина си-

ли струму у відкритих дугах на повітрі і збільшується (зменшується) зі збільшенням (зменшенням) динамічного тиску потоку рідини і досягає 40...50 кА/см². Сумарне значення катодного і анодного падіння напруги ($U_{к+a}$) коливається в межах 12...22 В [11].

Отже поверхнева густина теплової потужності катодного і анодного джерел тепла в діапазоні досліджених режимів досягає $5 \cdot 10^5$ Вт/см², що в десятки разів перевищує значення для відкритих дуг на повітрі. Нагадаємо також, що згідно закону Джоуля-Ленца кількість тепла, що виділяється в цих джерелах тепла, пропорційна квадрату густини сили струму. Все це підтверджує можливість реалізації процесу обробки в умовах РОД в найширшому діапазоні режимів.

Зазначимо, що якість катодного і анодного джерел тепла на електродах є функцією часу навіть в межах одного елементарного ерозійного акту, коли дуга практично нерухома. Щоб переконатись в цьому, звернемося до типової осцилограми напруги U і сили струму I (рис. 2), записаної на режимах “стійкий процес – зближення електродів до короткого замикання – розмикання електродів – стійкий процес”.

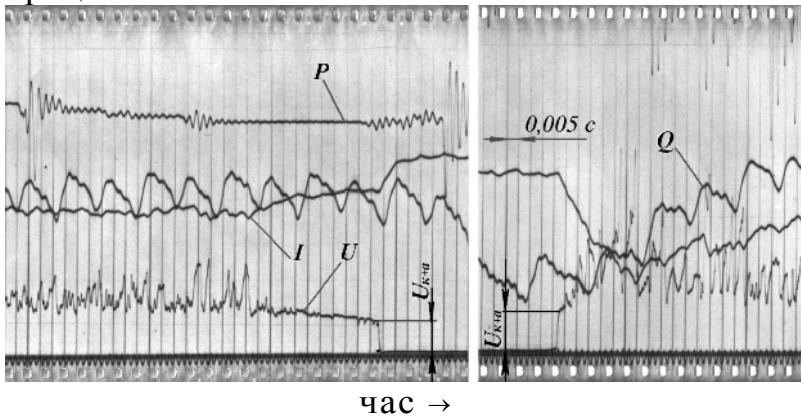


Рис. 2. Осциллограма процесу РОД: I – сила струму;
 U – напруга;
 P – статичний тиск робочої рідини; Q – розхід
робочої рідини

Осцилограма показує, що напруга і сила струму в часі постійно змінюються. Це пов'язано, передусім, із процесами, що відбуваються на електродах в області катодного і анодного джерел тепла, коли нестационарний процес поширення тепла від цих плоских джерел супроводжується нагрівом, плавленням і випаровуванням матеріалу електродів і, відповідно, збільшенням

напруги в областях катодного і анодного джерел тепла на дузі, що, таким чином, перетворює ці плоскі джерела на об'ємні і, по суті, значно, в 1,5...2 рази і більше, збільшує їх теплову потужність, сприяючи більш інтенсивному протіканню процесу ерозії.

Як наслідок глибину, структуру і твердість зони термічного впливу (рис. 3, а) легко регулюють за рахунок зміни динамічного тиску потоку робочого середовища [9] і при збільшенні останнього до відповідних значень незалежно від сили струму ця зона може практично повністю бути відсутня (рис. 3, б).

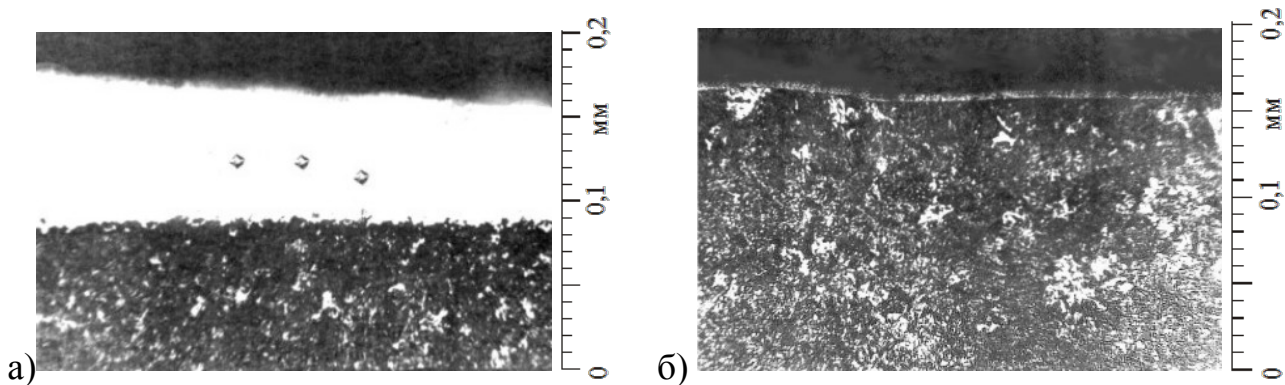


Рис. 3. Мікроструктури поверхні загартованих зразків зі сталі У8 після РОД

Технологічні можливості електричних розрядів при ЕРО визначаються можливостями і діапазоном регулювання енергетичних характеристик дуги і можливостями реалізації технологічних схем формоутворення. В сукупності процеси ЕРО забезпечують регулювання енергетичних характеристик дуги в широкому діапазоні режимів. Кожен із способів ЕРО має свої обмеження, технологічні можливості і свою сферу застосування. Процеси ЕІ забезпечують високу точність розмірів і високу якість поверхні, але мають низьку продуктивність і незамінні, коли неможливе прокачування робочої рідини (обробка малих отворів). Процеси ПО ефективні при розкрії листового металу, якщо до одержуваних виробів не пред'являються підвищені вимоги відносно точності і якості різку. ЕМ можлива і доцільна при обробці виробів типу тіл обертання із важкооброблюваних матеріалів. РОД оптимально поєднує кількісні і якісні характеристики процесу (максимально високу продуктивність і якість обробки) і дозволяє реалізувати всі відомі технологічні схеми формоутворення із прокачуванням робочої рідини.

В умовах РОД геометричні і енергетичні характеристики дуги та технологічні характеристики процесу описуються в функції параметрів сили струму I і динамічного тиску P_d і можуть бути представлені простим співвідношенням:

$$y = kI^\alpha P_d^\beta, \quad (2)$$

де y – будь-який технологічний показник (характеристика) процесу, наприклад, продуктивність, шорсткість, глибина зони термічного впливу та інші; k – коефіцієнт розмірності; I – сила струму, А, приймається в межах від декількох ампер до декількох тисяч ампер, визначає продуктивність обробки і таким чином, по суті, відображає кількісну сторону процесу; P_d – динамічний тиск потоку, Па, вибирається в межах від 1...2 кПа до 1 МПа і більш, визначає якість обробки (шорсткість, глибину зони термічного впливу, точність) і таким чином, по суті, відображає якісну сторону процесу; α і β – показники степеню, різні для різних технологічних характеристик.

Згідно співвідношення (2) в умовах РОД можливо ввести в зону обробки, практично, будь-які потужності, від найменших до найбільших, забезпечити будь-яку доцільну продуктивність, і при цьому реалізувати обробку в найширшому діапазоні режимів, від розмірного плавлення до тонкого розмірного випаровування при відповідній зміні якості обробки незалежно від сили струму. Досягаєть-

ся це мобільно, в потрібний час, в потрібному місці простим регулюванням I та P_d .

Згідно викладеного, процеси ЕРО порівняно з обробкою різанням і тиском мають такі переваги:

1) електроенергія не перетворюється на силову, а використовується в зоні обробки, виконуючи відповідну операцію в потрібному місці, в потрібний час і з необхідними якістю, продуктивністю і точністю обробки; при РОД продуктивність і якість обробки змінюють регулюванням сили струму і динамічного тиску потоку робочої рідини, отже верстат стає простим і дешевим, а процес – мобільним;

2) обробку здійснюють без механічних зусиль на інструмент і заготовку;

3) інструмент простіший, ніж різець, свердло, протяжка, штамп;

4) продуктивність обробки не залежить від твердості і в'язкості оброблюваного металу, що важливо при зростаючому застосуванні важкооброблюваних матеріалів;

5) широкі можливості реалізації різноманітних технологічних схем формоутворення як непрофільованим, так і, особливо, профільованим електродом, зокрема, копіювання форми електрода на поверхню заготовки при простому поступальному русі електрода, що дозволяє отримати аналогічно процесу штампування різноманітні отвори, порожнини, стержні і інші вироби складної форми; 6) можливо виконувати ряд технологічних операцій, які не можуть бути виконані іншими методами обробки, наприклад різноманітні глибокі отвори у важкооброблюваних матеріалах.

Переваги технологій, простота реалізації, досягнутий рівень розробок роблять сукупність процесів ЕРО вискоефективною альтернативою традиційним процесам обробки різанням і тиском як в інструментальному і інших елітних виробництвах, так і в основному виробництві для виготовлення серійних деталей.

Це означає, що металообробка отримала якісно новий, вискоефективний, універсальний, з надзвичайно широкими технологічними можливостями „інструмент” обробки, що представляє джерело тепла у вигляді електричного дугового розряду найрізноманітніших форм його прояву, який дозволяє:

– реалізувати практично всі можливі технологічні схеми формоутворення;

– забезпечує оптимальне поєднання кількісних і якісних характеристик процесу обробки;

– все це порівняно з процесами обробки різанням і тиском, реалізується простішими засобами (технікою і інструментом). Це означає, що в металообробці на зміну “ери сили” приходять “ера тепла”.

Так прогрес металообробки переходить “з вістря різця” на “кромку електрода” і, таким чином, об'єктивно, ЕРО – це наступний етап розвитку металообробки.

Висновок. Таким чином, процеси ЕРО, що включають ЕІ, ЕМ, РОД та ПО і засновані на використанні електричного дугового розряду, при густині потоку енергії до 10^6 Вт/см² забезпечують регулювання енергетичних характеристик дуги в широкому діапазоні технологічних режимів. Переваги цих технологій роблять процеси ЕРО ефективною альтернативою процесам обробки різанням і ти-

ском. ЕРО – це наступний етап розвитку металообробки, коли на зміну „ери сили” приходять „ера тепла”. Процес РОД став стрибком, якісно новим етапом розвитку металообробки в цілому, оскільки викладені переваги процесів ЕРО стало можливим реалізувати повною мірою після появи РОД.

Список літератури: 1. Носуленко В. И. О физической природе, общем, отличиях и технологических возможностях электрических разрядов и классификации способов электроразрядной обработки металлов // Электронная обработка материалов, Кишинев, 2006, № 1. – С. 8-18. 2. Подураев В. Н. Технология физико-химических методов обработки. – М.: Машиностроение, 1985. – 264 с. ил. 3. Артамонов Б. А., Волков Ю. С., Дрожалова В. И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: Учеб. пособ.(в 2-х томах). Т. 2 Обработка материалов с использованием высококонцентрированных источников энергии / Под ред. Смоленцева. – М.: Высш. шк., 1983. – 208 с. ил. 4. Лившиц А. Л. и др. Электроимпульсная обработка металлов. М.: Машиностроение, 1967. 5. Сомервилл Дж. М. Электрическая дуга. Пер. с англ. “Госэнергоиздат”, 1962. 6. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 7. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. М.: Машиностроение, 1970. 8. Золотых Б. Н. Основные вопросы теории электрической эрозии в импульсном разряде в жидкой диэлектрической среде: Автореф. дис. докт. техн. наук/МИЭМ – М., 1968. 9. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов, 2005, № 1. – С. 8-17. 10. Золотых Б. Н. Основные вопросы теории электрической эрозии в импульсном разряде в жидкой диэлектрической среде: Автореф. дис. докт. техн. наук/МИЭМ – М., 1968. 11. Носуленко В. И. Электрическая дуга в поперечном потоке среды-диэлектрика как источник тепла для новых технологий // Электронная обработка материалов, 2005, № 2. – С. 26-33.

Поступила в редколлегию 02.09.2010

УДК 622.65

В. Г. НЕНЯ, канд. техн. наук, доцент, СумДУ, г. Сумы
С. О. ХОВАНСЬКИЙ, аспірант, СумДУ, г. Сумы

ОЦІНКА ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ НЕСТАЦІОНАРНОЮ РОБОТОЮ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Запропонована математична модель робочого процесу відцентрового насоса як сукупність залежностей напору насоса, потужності та моменту на приводному валу від змінної у часі подачі насоса. Виконано оцінку витрат енергії, яка пов'язана із неусталеними режимами роботи насоса на гідравлічну мережу.

Предложена математическая модель рабочего процесса центробежного насоса как совокупность зависимостей напора насоса, мощности и момента на приводном валу от изменяющейся во времени подачи насоса. Выполнена оценка затрат энергии, связанных с неустановившимися режимами работы насоса на гидравлическую сеть.

Вступ. Населення міст забезпечуються водою за допомогою трубопровідних мереж з відцентровими насосами, на привод яких витрачається значна кількість електричної енергії. В сучасних умовах ринкового господарювання раціональне та економне використання енергетичних ресурсів є незаперечною умовою. Водоспоживання у житлово-комунальному господарстві має складний характер, експериментальними дослідженнями встановлено, що у середньому щохвилини подача

двічі то збільшується, то зменшується. Пошук резервів для зменшення втрат енергії, пов'язаних з такими явищами, є задачею нагальною та актуальною.

Аналіз попередніх досліджень. Напір насоса в основному визначається його основним робочим органом – робочим колесом. Для розрахунку напору, що розвиває робоче колесо використовують основне рівняння лопатевих машин – рівняння Ейлера у найбільш зручній для методики розрахунку формі. Для його виведення, зазвичай, використовують формальний апарат теореми про зміну моменту кількості руху [1 – 5]. При цьому, більшість дослідників, або відразу як припущення, або потім як спрощення, нехтують складовими (доданками) рівнянь, що описують нестационарні процеси у робочому колесі. Лише в роботах [4 – 5] вводяться доданки, що описують нестационарні явища у потоці рідини, що перекачується, але застосовуються вони до ідеалізованих розрахункових схем, прикладів апробації запропонованих моделей не наводиться. В роботі [2], хоча й не розглядається випадок залежності параметрів від часу, розрахункова схема представлена найбільш повно – до розгляду введено не тільки момент обертовий на валу машини, але й момент на подолання дискового тертя.

В теорії робочого процесу динамічних насосів прийнято вважати подачу рідини незалежною змінною. Всі інші параметри визначаються у залежності від неї. Оскільки застосування моделей нестационарних явищ достатньо трудомістке, то в їх основу покладемо застосування осереднених значень зовнішніх параметрів та обмеженої кількості внутрішніх – основних геометричних параметрів робочого колеса.

Мета роботи: розробити математичну модель для визначення зовнішніх параметрів відцентрового насоса в умовах зміни його параметрів у часі та виконати оцінку втрат енергії, пов'язаних із реалізацією робочого процесу в таких умовах.

Момент сили від приводу на валу відцентрового насоса M_{np} витрачається на подолання моменту дискового тертя $M_{тр}$ та передачу моменту потоку рідини M_p , що призводить до підвищення її напору H_p .

$$M_{np} = M_{тр} + M_p. \quad (1)$$

На тип рідини обмеження не вводяться. При цьому, модель роботи насоса виводиться на підставі теореми про зміну моменту кількості руху для об'єму рідини, обмеженого поверхнями основного та покривного дисків і вхідними та вихідними перерізами, а також виділенням в окремі доданки конвективної та локальної складових. Момент сили, що передається рідині, визначається за формулою аналогічно [3 – 5]

$$M_p = \int_{B_2} \rho r_2 V_{2u} V_{2m} dB - \int_{B_1} \rho r_1 V_{1u} V_{1m} dB + \frac{\partial}{\partial t} \int_R \rho r V_u dR.$$

Вводимо осереднення моменту швидкості на вході і виході РК по об'ємній витраті рідини Q :

$$\langle V_u r \rangle = \frac{\int_B V_u r V_m dB}{\int_B V_m dB} = \frac{\int_B V_u r V_m dB}{Q}.$$

Тоді рівняння (1) набуває вигляду

$$M_{np} = M_{mp} + \rho \cdot Q [\langle V_u \cdot r \rangle_2 - \langle V_u \cdot r \rangle_1] + \frac{\partial}{\partial t} \int_R \rho r V_u dR.$$

Для напору, що його отримує рідина від робочого колеса, (враховуючи $N = \rho g Q H = M \omega$) формула набуває вигляду

$$H_p = \frac{\omega}{g} (\langle V_u r \rangle_2 - \langle V_u r \rangle_1) + \frac{\omega}{g \rho Q} \frac{\partial}{\partial t} \int_R \rho r V_u dR, \quad (2)$$

де Q – об'ємна витрата рідини в м³/с; ρ – густина рідини в кг/м³; ω – кутова швидкість обертання ротора насоса, с⁻¹; V – абсолютна швидкість потоку, м/с, 1,2-номери вхідної та вихідної границь розглянутої області R , яка обмежена поверхнями B проточної частини (ПЧ) робочого колеса (РК), поточна точка якої r ; $g=9,82$ м²/с.

Напір, що його витрачає робоче колесо на здійснення робочого процесу, визначається за формулою [4]

$$H_{pk} = H_{pkm} - \Delta h_{pk} + \frac{\omega}{g \rho Q} \frac{\partial}{\partial t} \int_R \rho r V_u dR - \frac{1}{g \rho Q} \frac{\partial}{\partial t} \int_R \rho \frac{V^2}{2} dR, \quad (3)$$

де H_{pkm} – теоретичний напір РК, Δh_{pk} – втрати напору у РК.

Саме останній доданок, як показує аналіз формул (2) та (3) і визначає додаткову питому енергію, що витрачається робочим колесом на подолання інерції рідини. Перші два доданки формули (3) визначають фактичний напір робочого колеса. У порівнянні з [4] у формулі (3) виконано перехід до об'ємної витрати рідини та напору.

Для спрощеного, але обґрунтованого, визначення значень двох останніх доданків у формулі (3) необхідно прийняти припущення, що при напрямку осередненої течії рідини вздовж лопатей можна її параметри визначити за кутом напрямку лопаті, а саме

$$V^2 = V_u^2 + V_m^2; \quad V_u = u - V_m / \operatorname{tg} \beta_n.$$

Для напору робочого колеса маємо

$$H_{pk} = H_{pkm} + \frac{1}{g Q} \int_R \frac{V_m^2}{\sin^2 \beta_n} \frac{du}{dt} dR - \frac{1}{g Q} \int_R \frac{V_m^2}{\sin^2 \beta_n} \frac{dV_m}{dt} dR.$$

Якщо напір робочого колеса при стаціонарному режимі роботи H_{pkm} відомий із зовнішніх характеристики, то задача визначення нестационарних параметрів зводиться до оцінки впливу доданків, які виражають динамічні складові напору. Для відцентрових робочих коліс вісесиметричний кільцевий елементарний об'єм можна обчислити за формулою

$$dR = F_m dl,$$

де l – довжина середньої лінії меридіонального перерізу робочого колеса, м; F_m – площа поверхні обертання, утвореної дугою (відрізком) в меридіональному перерізі, нормальним до l , м². При цьому меридіональна (витратна) складова швидкості визначається із рівняння нерозривності (нестисливості) $V_m = Q/F_m$.

При зміні напрямку інтегрування від меридіанного до напрямку відносного потоку [6]: $dl = dS \sin \beta$, $V_m = W \sin \beta$, для динамічної (нестационарної) складової напору робочого колеса отримаємо

$$H_{\text{пк.см}} = \frac{1}{g} \int \frac{1}{\text{tg} \beta_n} \frac{du}{dt} dl - \frac{1}{g} \int \frac{1}{\sin^2 \beta_n} \frac{dV_m}{dt} dl.$$

При умові, що для усіх елементарних об'ємів кутова швидкість обертання та витрати однакові можемо записати

$$A \frac{d\omega}{dt} + B \frac{dQ}{dt} = H - H_{\text{пк.см}}, \quad (4)$$

де $A = \frac{1}{g} \int \frac{r}{\text{tg} \beta_n} dl$; $B = -\frac{1}{g} \int \frac{1}{\sin^2 \beta_n} dl$; а усі параметри – функції від часу. При цьо-

му, статична складова напору робочого колеса залежить як від витрати рідини, так і швидкості обертання. Коефіцієнти A і B можуть легко обчислюватися за наведеними формулами при проектуванні нових робочих коліс або відновленні існуючих у CAD системах. Для робочих коліс малої та середньої швидкохідності можна застосовувати наближення «радіального колеса»:

$$A = \frac{r_2^2 - r_1^2}{2 \text{tg} \beta_n}, \quad B = -\frac{r_2 - r_1}{F_m \sin^2 \beta_n}.$$

Для моделювання течії у вхідному патрубку запишемо рівняння Бернуллі [7]

$$p_{bx} - p_1 = \rho (V_1^2 - V_{bx}^2) / 2 + g\rho \Delta h_{bx} + I_{bx} \frac{dQ}{dt}. \quad (5)$$

Відповідно для вихідного відвідного пристрою аналогічно

$$p_2 - p_{bux} = \rho (V_{bux}^2 - V_2^2) / 2 + g\rho \Delta h_{bux} + I_{bux} \frac{dQ}{dt}, \quad (6)$$

де I_{bx} , I_{bux} – моменти інерції осередненого потоку у вхідних та вихідних елементах проточної частини насоса.

Об'єднання рівнянь (4) – (6) дає баланс тисків між входом та виходом насоса

$$(p_{bux} - p_{bx}) / g\rho = (V_{bx}^2 - V_{bux}^2) / 2g + H_{iac} + (I_{bx} + I_{bux} + B) \frac{dQ}{dt} + A \frac{d\omega}{dt}. \quad (7)$$

Причому, враховано, що зменшення (статичної) усталеної складової теоретичного напору робочого колеса на величину сумарних втрат напору між входом та виходом дає напір, що відповідає зовнішній характеристиці насоса. Також прийнято, що витрата рідини в усіх елементах проточної частини насоса однакова.

За відсутністю відомостей про залежність моменту сил внутрішнього та дискового тертя від градієнту куткової швидкості приймаємо їх відповідними усталеним режимам обертання ротора. Разом із сталим моментом, переданим від ротора рідині, вони складають усталене значення моменту. Неусталені значення зумовлені силами інерції $I_p d\omega/dt$ та неусталеною складовою переданою рідині напору $M_{н.уст.}$. Ці міркування дозволяють записати для моменту на валу насоса M_n наступне

$$M_n = M_{уст.} + I_p \frac{d\omega}{dt} + M_{н.уст.} = M_{уст.} + I_p \frac{d\omega}{dt} + C \frac{dQ}{dt} + D \frac{d\omega}{dt}, \quad (8)$$

де $C = -\rho \frac{r_2^2 - r_1^2}{2 \text{tg} \beta_n}$, $D = \rho F m \frac{r_2^3 - r_1^3}{3}$.

Потужність, що її споживає насос, на неусталених режимах визначаємо за залежно від параметрів обертального руху

$$N_n = \omega M_{\text{уст}} = N_{\text{уст}} + \omega \left[M_{\text{уст}} + (I_p + D) \frac{d\omega}{dt} + C \frac{dQ}{dt} \right]. \quad (9)$$

Рівняння (7) – (9) складають математичну модель насоса при його роботі на неусталених режимах.

Для насоса 1К80–50–200 виконано оцінку додаткових витрат потужності на подолання інерційних властивостей води при її перекачуванні (на прикладі систем подачі та розподілу води м. Суми). Робоче колесо насоса діаметром $d_2 = 210$ мм обертається на номінальному режимі з частотою $n_n = 2900$ об/хв, при номінальній потужності $N_n = 18,5$ кВт. Коефіцієнти формули (9) мають значення: $C = 11, D = 0,0007$. Середня зміна подачі насоса $\Delta Q/\Delta t = 0,3$ м³/год·с спричиняє додаткові витрати потужності $\Delta N = 1,05$ кВт.

Висновки. За результатами проведеними авторами досліджень запропоновано систему диференціальних рівнянь, яка описує зовнішні характеристики відцентрового насоса на неусталених режимах його роботи, що дозволяє більш детально скласти баланс енергії та визначати енергоспоживання відцентрових насосів при роботі в зазначених умовах. Виконано оцінку складових потужності насосу на неусталених режимах роботи, що становить біля 6%.

Список літератури: 1. Стрежелецкий М.Н. Работа быстроходных колес лопастных насосов в сплошном потоке и методика их расчета / Научные записки Харьковского механико-машиностроительного института. Т. VI. Труды конференции по гидромашиностроению 4 – 7 января 1939 года. – Харьков: НКТМ–СССР, 1940. – С. 85 – 169. 2. Степанов Г.Ю. Основы теории лопаточных машин, комбинированных и газотурбинных двигателей. М.: ГНТИМЛ. – 1958. – 350 с. 3. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы / Изд. 2-е, перераб. и дополн. – М. – Л.: Машиностроение. – 1966. – 364 с. 4. Высокооборотные лопаточные насосы / Под ред. Б.В. Овсянникова и В.Ф. Чебаевского. – М.: Машиностроение, 1975 – 336 с. 5. Виктор Г.В. Общие основы теории. Учебн. пособие по курсу Теория лопастных гидромашин. – М.: МЭИ, 1978 – 90 с. 6. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. – М.: Машиностроение. – 1977. – 288 с. 7. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости). – Изд. 4-е, доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.

Поступила в редколлегию 01.09.2010

УДК 621.436:621.74

Л. С. ЗОЛОТАРЬ, ст. преп., НТУ «ХПИ», г. Харьков

О. В. АКИМОВ, докт. техн. наук, зав. каф., НТУ «ХПИ», г. Харьков

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ЛИТОЙ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ ЧУГУН-ТИТАНОВЫЙ СПЛАВ

Наибольш перспективним матеріалом для виготовлення поршнів двигунів з високою мірою форсування є лита чавун – титанова композиція. Запропонований спосіб отримання литої чавун – титанової композиції дає можливість змінювати в широких межах режими литва біметалічних композицій, виконувати якісний і кількісний металографічний аналіз дифузійної зони, а також визначати механічні властивості зони поєднання двох сплавів.

Наиболее перспективным материалом для изготовления поршней двигателей с высокой степенью форсирования является литая чугун – титановая композиция. Предложенный способ получения литой чугун – титановой композиции дает возможность изменять в широких пределах

режимы литья биметаллических композиций, выполнять качественный и количественный металлографический анализ диффузионной зоны, а также определять механические свойства зоны сочетания двух сплавов.

Решение проблемы повышения мощности и экономичности двигателя за счет форсирования режима его работы неразрывно связано с повышением качества и долговечности деталей двигателя, в первую очередь поршней, рабочие характеристики которых существенно зависят от свойств материалов, используемых для их изготовления.

Использование чугуна для изготовления поршней является одним из резервов сохранения или увеличения их долговечности. Так, при эксплуатации дизеля с литровой мощностью 18,5 кВт / л при заданном ресурсе 10000 ч относительная долговечность тонкостенного чугунного поршня на два порядка превышает этот ресурс. В настоящее время двигатели с монолитными чугунными поршнями работают при средних эффективных давлениях от 1,6 МПа до 2,23 МПа [1].

Работы, проведенные на кафедре литейного производства НТУ «ХПИ» показали, что форма графита в чугуне играет существенную роль в термостойкости чугуна. В этой связи наиболее предпочтительной является вермикулярная форма. Действительно чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ) обладает наиболее благоприятным сочетанием свойств, необходимых для поршня высокофорсированного двигателя. Это позволяет существенно расширить уровень форсирования ДВС.

Высокий нагрев иногда приводит к разрушению днища поршня (трещины, пригар, разъедание) и к преждевременному выходу двигателя из строя. Это обстоятельство стимулирует различные попытки решения проблемы повышения надежности и долговечности форсированных двигателей как путем конструкторских решений (применение местного охлаждения, введение местного усиления), так и использование армирующих вставок из износостойких материалов, например, аустенитного чугуна типа нирезист. Такие решения усложняют конструкцию и технологию изготовления деталей, повышают их стоимость.

Таким образом, можно утверждать что создание деталей цилиндро-поршневой группы перспективных форсированных двигателей возможно лишь при условии применения принципиально новых конструкционных материалов. Чтобы эти материалы смогли обеспечить ранее недостижимые температурно-силовые параметры работы агрегата они должны обладать следующим комплексом свойств: иметь высокую жаропрочность и стойкость к высокотемпературной газовой коррозии, высокую трещиностойкость, малый удельный вес, низкие значения коэффициента теплопроводности и термического расширения. Этим требованиям наиболее удовлетворяют конструкционная керамика и металлокерамические сплавы.

В практике мирового двигателестроения известны разработки двигателей нового поколения с привлечением керамики на основе оксидов, карбидов, нитридов и более сложных композиций. Однако уровень механических свойств этих материалов является недостаточным [2]. Это обстоятельство, а также высокая стоимость изделий из керамических материалов сдерживает их широкое применение.

Известно, что в условиях резких теплосмен металлокерамические материалы обладают повышенной стойкостью к динамическим нагрузкам по сравнению с ке-

рамиками [2]. Однако большинство металлокерамических материалов имеет высокую теплопроводность и не могут обеспечить надежную теплоизоляцию камеры сгорания.

Наиболее близким к керамике по своим тепломеханическим свойствам является титановый сплав. Следовательно, существенного результата можно ожидать от применения в условиях высокой степени форсирования двигателя чугунового поршня с вставкой под камеру сгорания, выполненной из титанового сплава.

Наличие в поршне металлической связи между юбкой и головкой поршня гораздо предпочтительнее, чем механическая связь. Именно металлическая связь обеспечивает условия для получения отливки с комплексом заданных свойств, тогда как в отливках с механической связью составные части сохраняют свойства отдельных материалов.

Достижение требуемых уровней свойств литейных сплавов исключительно методами оптимизации химического состава и подбора режимов термической обработки весьма затруднительно, а в некоторых случаях вообще невозможно. Отдельным частям отливки можно придать те свойства, которые необходимы для конкретных условий работы, только используя биметаллические композиции.

В связи с этим чрезвычайно актуальной является задача создания литой биметаллической композиции чугуна - титановый сплав.

Из многообразия методов получения биметаллических и многослойных отливок можно выделить четыре группы процессов, характеризующихся общностью технологических приемов [3,4]:

- одновременная или последовательная заливка жидких сплавов в форму с разделительной перегородкой;
- последовательная заливка в форму двух или более жидких сплавов;
- намораживание жидкого металла на твердую заготовку;
- заливка жидкого металла на твердую заготовку, предварительно расположенную в литейной форме или изложнице.

Последовательная заливка жидких сплавов в форму осуществляется через самостоятельные литниковые системы. Особенностью этого процесса является то, что получение качественных отливок связано с необходимостью регулирования величины переходной зоны, т.е. степени взаимного проникновения заливаемых металлов в зоне их контакта.

Процесс намораживания жидкого металла на твердую заготовку широко распространен в Японии. Известна разработка, в которой предлагается следующий способ получения биметаллической детали: на поверхность стальной заготовки наносится сплав с повышенной сплавляемостью в жидком состоянии с металлом заготовки. Затем деталь погружается в расплав.

Процесс заливки жидкого сплава на твердую заготовку, предварительно установленную в литейную форму – универсален. Технология его заключается в предварительной подготовке поверхности вставки и ее заливке жидким сплавом. Высокая прочность сцепления, близкая к прочности основного металла, достигается при нагреве вставки до температуры, близкой к оплавлению [5].

Существует способ получения биметаллической заготовки, в процессе которого нагрев твердой заготовки осуществляют в обогреваемом тигле с жидким ме-

таллом до температуры $(0,7-1,0) T_{\text{плавл}}$, а затем заготовку переносят в изложницу, заполненную жидким металлом с температурой, равной $(1,0-1,5) T_{\text{плавл}}$ жидкого металла [6].

Одной из разновидностей процесса заливки металла на твердую заготовку является заливка с подплавлением заготовки [7].

С целью повышения качества биметаллических отливок было предложено нагревать заготовку, нанося на ее поверхность непосредственно перед заливкой флюсо-экзотермическую смесь [3].

Весьма перспективным является способ изготовления биметаллических отливок по технологии, согласно которой нагрев производится под слоем синтетического шлака. Способ отличается тем, что с целью улучшения качества отливки, стабилизации температурного режима процесса, перенос нагретой заготовки от источника нагрева до литейной формы осуществляется в экранирующем кожухе [3].

Вызывает интерес способ изготовления композиционной детали, который заключается в следующем: на твердосплавную вставку наносят металлическое покрытие и изготавливают комбинированную модель из вставки и выплавляемого материала. После этого по технологии литья по выплавляемым моделям образуют оболочковую форму, нагревают ее до $650-700\text{ }^{\circ}\text{C}$ и заливают в нее расплавленный металл. В процессе заливки металлическое покрытие твердосплавной модели улетучивается [5]. Однако, вызывает сомнение, что такой уровень нагрева оболочковой формы достаточен для ее технологически необходимой прокалки.

В последнее время за рубежом широкое применение получили процессы литья с кристаллизацией под давлением, при которых для изготовления биметаллических отливок используются вставки из керамики и обычные литейные сплавы. Этот процесс получил наименование Investment casting [8].

При изготовлении биметаллических поршней используются разные схемы прессования [9–11]:

- поршневое, при котором давление кристаллизующемуся расплаву передается пуансоном, воздействующим на верхний торец отливки, которая кристаллизуется;

- пуансонное, при котором незатвердевший расплав под воздействием выступающей части пуансона выдавливается вверх до полного заполнения рабочей полости пресс-формы;

- прессование с заполнением рабочей части пресс-формы из специального металлоприемника под воздействием пуансона и последующим воздействием этим же пуансоном на затвердевающую отливку.

В Японии процесс литья с кристаллизацией под давлением по схеме, когда расплав из металлоприемника прессующим пуансоном подается непосредственно в рабочую полость пресс-формы, получил название Hi-cast способ. Сопrotивление усталости поршней из традиционных алюминиевых сплавов ниже, чем у поршней, изготовленных по данной схеме литья [9].

В настоящее время известно несколько основных способов получения биметаллических поршней из черных металлов и алюминиевых сплавов [10,11]:

1) соединение при помощи слоя промежуточного материала, наносимого на поверхность твердого металла гальваническим, химическим или каким-либо другим способом. Металл промежуточного покрытия не должен окисляться, по крайней мере, при предварительном нагреве вставки. Толщина слоя промежуточного покрытия от 0,025 мм до 0,3 мм. До нанесения промежуточного покрытия на поверхность вставки может быть нанесен (окунанием или гальванически) слой олова, что усиливает сцепление между вставкой и промежуточным покрытием;

2) диффузионное соединение, получаемое предварительным горячим алитированием без обработки поверхности твердого металла флюсами. Для того, чтобы повысить сцепляемость между вставкой и поршнем, а также снизить пористость в районе вставки предлагается указанную вставку подвергнуть перед алитированием иермической обработке;

3) диффузионное соединение, получаемое предварительным флюсованием в расплавленных солях с последующим горячим алитированием;

4) диффузионное соединение, получаемое предварительным одновременным флюсованием и алитированием стальной вставки под постоянным током;

5) диффузионное соединение, получаемое предварительным горячим алитированием и одновременным воздействием вибрационных (ультразвуковых) колебаний;]

6) соединение, получаемое в результате алюмотермической реакции. Способ заключается в том, что вставку, покрытую слоем окислов меди, свинца, железа или марганца, устанавливают в форму и заливают жидким алюминиевым сплавом. При этом на границе соприкосновения двух сплавов возникает алюмотермическая реакция, вызывающая их сплавление;

7) соединение с двойным промежуточным слоем. Слой алюминия, образовавшийся на поверхности стальных или чугунных вставок, при горячем алитировании, быстро окисляется. Чтобы предотвратить этот процесс, препятствующий образованию надежной биметаллической связи, рекомендуется алитированную вставку сразу же погрузить на короткое время в расплав олова, кадмия.

Чаще всего в промышленности используются биметаллические композиции типа серый чугун – высокопрочный чугун; чугун – сталь.

Такие биметаллы производятся различными способами литья, литейного плакирования, прокатки, сварки, наплавки; среди методов литья – наиболее распространенные – методы последовательной заливки, центробежного литья, непрерывного литья заливкой двух жидких металлов в два кристаллизатора, способом электрошлакового переплава.

Для того, чтобы получить взаимное смачивание двух близких по составу сплавов, необходимо иметь только чистую поверхность твердого металла, свободную от посторонних загрязнений. Близость температур плавления этих сплавов обычно приводит к растворению поверхностных слоев твердого металла, дополнительной очистке поверхности.

Получение биметалла серый чугун – высокопрочный чугун заключается в следующем: поверхности литейной формы покрывают составом, содержащим ингибитор сфероидизации, например титан. В подготовленную форму заливают чугун, модифицированный магнием. В местах соприкосновения с покрытыми по-

верхностями формы образуется пластинчатый графит, а в остальных – шаровидный [10].

Для получения биметаллической композиции низкоуглеродистая сталь – высокохромистый чугун рекомендуется наносить на поверхность низкоуглеродистой стали слой никелевого сплава толщиной 0,5–1,0 мм. Температура плавления этого сплава не должна превышать температуру плавления заливаемого сплава – чугуна [10].

Немецкие специалисты разработали способ получения двухслойной отливки, предусматривающий нанесение на твердую вставку покрытия из легкоплавкого металла; введение вставки в литейную форму и заливку ее жидкотекучим сплавом. Причем покрытие содержит 87–94 % Mn и 6–13 % P, а один из составляющих компонентов биметалла содержит железо [10].

Таким образом, анализ литературных сведений о способах получения биметаллических композиций свидетельствует о том, что одним из наиболее известных способов получения биметаллических композиций является заливка жидкого металла на твердую заготовку. По всей вероятности наилучшего результата можно достигнуть литьем по выплавляемым моделям.

Данные об использовании титановых сплавов в литых композициях отсутствуют, тем более для такой композиции как чугун – титановый сплав.

Лабораторные исследования показали, что железо в титане растворяется очень слабо: при температуре 590 °С предел растворимости железа в титане составляет менее 0,2 %. Это свидетельствует о том, что взаимная смачиваемость этих металлов недостаточна для возникновения металлической связи в композиции. По мнению некоторых исследователей улучшения смачиваемости этих металлов можно достичь путем нанесения промежуточных покрытий различного состава.

При взаимодействии железа и титана на границе их раздела образуется переходный диффузионный слой, состоящий из интерметаллических хрупких соединений. Наличие этих хрупких соединений существенно снижает прочность связи в композиции. Вероятно, что введение в состав композиции третьего элемента в качестве промежуточного покрытия могло бы либо затормозить образование хрупких включений, либо предотвратить их образование вообще.

Улучшения смачивания расплавом можно достичь путем нанесения промежуточного покрытия на поверхность твердой вставки.

Считается, что особенно результативным является покрытие такими металлами, которые при выбранной температуре процесса получения композиции имеют более замкнутую γ – область в системе «твердый металл – железо», чем твердый металл [12].

Существует ряд рекомендаций по выбору металлических покрытий для титановых сплавов. Чаще других упоминаются ванадиевые, никелевые, алюминиевые покрытия [13].

С целью оценки смачиваемости титановой вставки металлическими покрытиями и их сплавляемости с чугуном была проведена серия экспериментов по ее жидкофазной металлизации различными составами. Нагрев производился в атмо-

сфере аргона. Технологические параметры каждого процесса приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры жидкофазной металлизации

Состав покрытия	Температура поверхности вставки, °С	Температура расплава покрытия, °С	Время выдержки вставки в расплаве покрытия, с	Температура расплава чугуна, °С	Время выдержки вставки в расплаве чугуна, с
Никель	900	1500	10	1350	10
Алюминий	900	500	10	1350	10
Бронза	900	800	10	1350	10
Медь	900	1100	10	1350	10
Монель	900	1300	10	1350	10

В случае погружения титановой вставки с никелевым покрытием в расплав чугуна вследствие того, что никель образует с железом непрерывный твердый раствор, процесс массопереноса идет настолько интенсивно, что в течение выдержки длительностью 10 сек произошло полное растворение образца в чугуне. Поэтому возникает необходимость тем или иным образом затормозить процесс растворения. Изменение длительности выдержки не привело к желаемым результатам.

Алюминий образует с титаном блок перитектического типа с малым значением предельной растворимости. При таком превращении происходит образование металллов Ti_3Al , $TiAl$. Ближайший к титану металллов Ti_3Al образуется при температуре 1250 °С по перитектоидной реакции $\beta + \gamma \rightarrow \alpha$, α_2 – твердый раствор на основе Ti_3Al . При температуре 1080 °С происходит еще одно превращение: $\beta + \alpha_2 \rightarrow \alpha$, где α – твердый раствор алюминия в алюминия в $\alpha - Ti$ с предельной растворимостью 11,6 % Al. С понижением температуры растворимость уменьшается до 6 % при 550 °С и происходит выделение избыточных кристаллов интерметаллидной фазы Ti_3Al , в результате чего пластичность титанового сплава резко падает. Эти положения подтверждаются тем, что в зоне титана с алюминием на исследуемых образцах имеется множество трещин, развивающихся внутрь титана, что делает невозможным использование алюминия в качестве покрытия титановой вставки.

Не оправдало себя и покрытие титановой вставки бронзой, а именно сплавом АЖНМ 9-4-4-1. Анализ макроструктуры показал наличие переходного слоя, но вся приповерхностная зона подвержена хрупкому разрушению, так как состоит из смеси интерметаллидных фаз Ti_3Cu_4 , $TiCu$ и титана. Повышение количества хрупкой интерметаллидных фаз приводит к снижению прочности и расслоению в зоне контакта титан – бронза. По краю переходной зоны – белый кант, который, вероятно, и затрудняет пластическую деформацию металла. При внедрении атомов меди в титан происходит перенос титана к примесному атому меди и наоборот. Параллельно с ослаблением связи между ячейками основной компоненты в зоне соединения возрастает роль взаимодействия между разнородными атомами. С одной стороны, это взаимодействие металлического типа, с другой – ионная компонента связи, вызванная электронным обменом, где донором всегда выступает ти-

тан, а акцептором – медь. За хрупкие свойства зоны соединения отвечает ионная связь. Очевидно, что прочность кристаллической решетки меди снижается присутствием большого количества примесных ячеек. Следовательно, управление прочностью зоны соединения титан – бронза должно заключаться в уменьшении примесных ячеек, т.е. в ослаблении диффузионных процессов в зоне соединения.

Учитывая эти предпосылки, в качестве промежуточного покрытия титановой вставки была применена медь. Она образует с титаном твердый раствор замещения, который обеспечивает упрочнение поверхности титана. При 1000°C образуется на границе медь – титан образуется зона, состоящая из интерметаллида Ti_2Cu и включений твердого раствора меди в α – титане. Обогащение зерен β -фазы медью и создание слоя из интерметаллида Ti_2Cu определяет образование ровного фронта диффузионной зоны α -твердого раствора. Слои, состоящие из интерметаллида, Ti_2Cu становятся барьером для диффузии железа из чугуна вглубь титановой вставки. За счет протекания диффузионных процессов на границе медь-титан прочность сцепления покрытия с поверхностью возрастает и отслаивание не происходит.

С другой стороны, растворимость железа в меди и меди в железе очень мала, следовательно, ничтожно мала и диффузионная зона. Металлографический анализ и измерение микротвердости по глубине полученного слоя не выявили каких-либо оксидов, пор, трещин. Однако, медь является по отношению к железу поверхностно – активным веществом, что приводит в процессе даже непродолжительного диффузионного отжига, необходимого для получения биметаллической отливки, к резкому повышению плотности дислокаций в поверхностном слое чугуна и к его охрупчиванию. Это явление делает потенциально возможным отслаивание всего покрытия.

Опыты показали, что жидкофазная металлизация титановой вставки сплавом меди и никеля (монелью) является наиболее целесообразной. Слой никеля на границе с чугуном имеет зубцы, вклинивающиеся вглубь по границам зерен на различную глубину в зависимости от длительности отжига образца, что обусловлено различной скоростью диффузии никеля через кристаллическую решетку и по границам зерен.

Известно, что процессы образования интерметаллической фазы и растворения твердого металла в расплаве идут одновременно, поэтому конечная структура зависит от соотношения скоростей этих процессов. Так как растворение никеля в железе происходит чрезвычайно интенсивно, то этот процесс тормозит рост слоя хрупких интерметаллических соединений в промежуточной зоне.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработан способ получения биметаллической композиции чугун- титановый сплав, который заключается в заливке предварительно подвергнутой жидкофазной металлизации титановой вставки, полученной литьем по выплавляемым моделям, расплавом чугуна под давлением. Режимные параметры литья предварительно рассчитываются методом многопараметрической оптимизации.

Разработанный способ дает возможность изменять в широких пределах режимы литья биметаллических композиций, выполнять качественный и количе-

ственный металлографический анализ диффузионной зоны, а также определять механические свойства зоны сочетания двух сплавов.

Список литературы: 1. Абрамчук Ф. И. Основы повышения термоусталостной и длительной прочности поршней быстроходных форсированных двигателей: автореф. дис. на соискание науч. степени докт. техн. наук: / Ф. И. Абрамчук. - Харьков, 1992. - 20с. 2. Таран Ю. Н., Мазур В. И., Капустникова С. В. и др. Новые металлокерамические материалы на основе титана //Металл и литье Украины. К.: Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, - 1999.-№11-12.- с. 42-46. 3. Теория и практика процессов получения биметаллических и многослойных отливок. - К.: Наукова думка, 1987. - 115 с. 4. Производство биметаллов / [Голованенко С. А. и др.]. - М.: Металлургия, 1986. - 225 с. 5. Композиционное литье –экономичный метод формообразования деталей / [Оболенцев Ф. Д. и др.] - М.: Металлургия, 1992. - 250 с. 6. Чарухина К. Е. Биметаллические соединения. - М.: Металлургия, 1986. - 145 с. 7. Основы технологии производства многослойных металлов/ [Король В.Н. и др.]. - М.: Металлургия, 1986. - 205 с. 8. Coddard D. M. Investment cast composites //Foundry Trade Journal. - 1986. - V.9. № 29. 9. Nagata S., Sakamoto M. Development and application of metal matrix composites from pressure casting // Material and Design. - 1989. - V.10. № 3. 10. Лакедемонский А. В. Биметаллические отливки. - М.: Машиностроение, 1984. - 158 с. 11. Ginilio A. D. Aluminium coating of steel //Modern Casting. - 1988. - V. 92. № 5. 12. Технология диффузионных покрытий /Мельник П. И. - К.: Наукова думка, 1978.- с. 45, 54, 62. 13. Шипко А. А. Перспективные способы поверхностного упрочнения титановых сплавов и сталей при скоростном нагреве //Металловедение и термическая обработка металлов. - 1987. № 10.

Поступила в редколлегию 26.09.2010

УДК 662.75

С.М. РУСАЛИН, канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «УГХТУ»; Днепропетровск
В.Л. ЮШКО, докт. техн. наук, проф., ГВУЗ «УГХТУ»; г. Днепропетровск
В.В. КУЗЬМИНА, аспирант, ГВУЗ «УГХТУ», г. Днепропетровск

СОДЕРЖАТЕЛЬНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СОБЫТИЙ В ГИДРАЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С КАВИТАТОМ И РЕЗОНАТОРОМ

Досліджена гідралічна система, яка складається з кавітуючої трубки Вентурі та пластинчастого випромінювача. Явища, що відбуваються у системі, яка досліджується, розглянуті та описані як послідовність подій. Виявлені переваги даної кавітаційної системи; визначені основні кількісні та якісні характеристики як основа для побудовання математичної моделі системі, що розроблена.

We investigate the hydraulic system containing kavitiruyuschuyu heat exchanger and plate hydrodynamic radiator. The phenomena occurring in the investigated system are discussed and described as a sequence of events. Identified preymu-ment of the cavitation system identifies the major kollichestvennye and qualitative characteristics as the basis for constructing a mathematical model developed tannoy system.

При течении жидкости в гидравлических системах, содержащих местные сопротивления типа шайб, жиклеров и сужающе-расширяющихся каналов различной формы (в частности, трубки Вентури), при определенных режимах течения возникает кавитация. Последние годы явление кавитации все чаще применяется в производственных процессах с целью их интенсификации, для очистки, эмульги-

рования трудно смешиваемых жидкостей, возбуждения химических реакций в водной среде и т. п. [1- 2, 10-11].

Классическим устройством для порождения и изучения явления кавитации в текущей жидкости и влияния различных факторов на него является трубка Вентури, имеющая сужающуюся часть (конфузор), узкую горловину и расширяющуюся часть (диффузор). Различные аспекты кавитации в трубках Вентури изучались многими исследователями, особенно экспериментально [1-8], однако, даже краткий обзор результатов этих исследований выходил бы за рамки настоящей работы. Предметом наших исследований является гидравлическая система, содержащая кавитирующую трубку Вентури и пластинчатый гидродинамический излучатель.

В гидросистеме, содержащей трубку Вентури, при определенных условиях, как показали исследования [1-4], наблюдаются колебательные режимы. Природа этих колебаний и характерные особенности изложены в работе [1]. Здесь же предложен механизм автоколебаний давления и расхода жидкости в гидравлической системе с кавитирующей трубкой Вентури, обусловленный изменением потерь полного давления на внезапное расширение потока за кавитационной каверной в процессе колебаний. Величина потерь давления зависит от размеров каверны и скорости течения жидкости за каверной, причем с увеличением скорости потери уменьшаются.

Рассмотрим работу гидравлической системы с трубкой Вентури и гидродинамическим излучателем, схема которой см. рис. 1.

В напорном трубопроводе до конфузорной части создается избыточное давление в потоке жидкости. Это давление обеспечивает перемещение жидкости через суживающиеся и расширяющиеся части системы. Увеличение скорости жидкости в узком сечении трубки Вентури вызывает падение местного статического давления. Постепенное увеличение расхода жидкости приводит к понижению давления до критического, равного или близкого к давлению насыщенных паров жидкости, и возникновению кавитации. Кавитация появляется в виде кольцеобразной кавитационной зоны, распространяющейся по мере развития вдоль и в глубь (к оси) потока. При увеличении скорости потока в узкой части трубки кавитационная зона увеличивается внутри потока, в районе максимальных скоростей и образует развитую кавитационную каверну. Таким образом, сопло Вентури является генератором кавитационной каверны. Интенсифицирующее влияние кавитации на технологические процессы максимально проявляются при процессе схлопывания кавитационной каверны. Если подвод энергии превышает рассеивание ее на гидравлических сопротивлениях, то в системе будут наблюдаться колебания с увеличивающейся амплитудой.

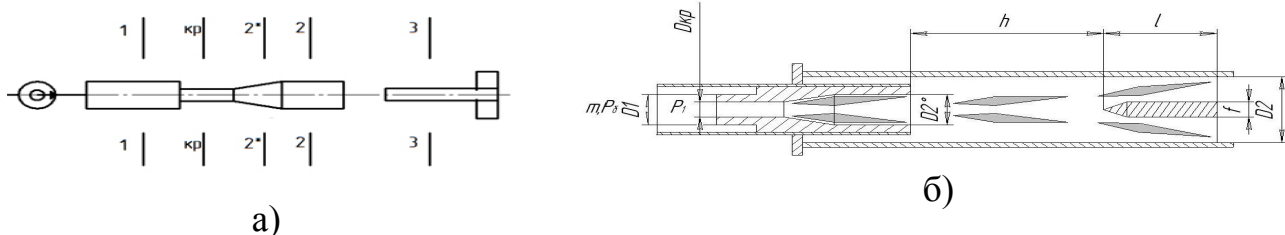


Рис. 1. Расчетная схема гидравлической системы с кавитирующей трубкой Вентури и пластинчатым гидродинамическим излучателем: а – схема сечений, б – расчетная схема с кавернами.

Для интенсификации процесса схлопывания (разрушения) кавитационной каверны авторами предложено использовать явление возникновения акустических волн в турбулентной затопленной струе жидкости при взаимодействии с препятствием определенной формы. Такое явление называется гидродинамическим автоколебательным эффектом [6]. Устройства, преобразующие кинетическую энергию струи жидкости в энергию акустических колебаний, называются гидродинамическими излучателями.

Работа гидродинамического излучателя основана на генерировании возмущений в жидкой среде в виде некоторого поля скоростей и давлений при взаимодействии вытекающей из сопла струи с препятствием определенной формы и размеров, либо при принудительном периодическом прерывании струи. Эти возмущения оказывают обратное действие на основание струи у сопла, способствуя установлению автоколебательного режима. Механизм излучения звука возмущениями может быть различным в зависимости от конструкции гидродинамического излучателя, которая принципиально отличается от конструкции газоструйных излучателей для воздушной среды, хотя гидродинамические излучатели и называют жидкостными свистками [5,6].

Наибольшее распространение получили пластинчатые гидродинамические излучатели, состоящие из погруженных в жидкость сопла см. рис. 2 и заостренной в сторону струи пластинки, которая крепится в узловых точках см. рис. 2,а либо консольно см. рис. 2,б.

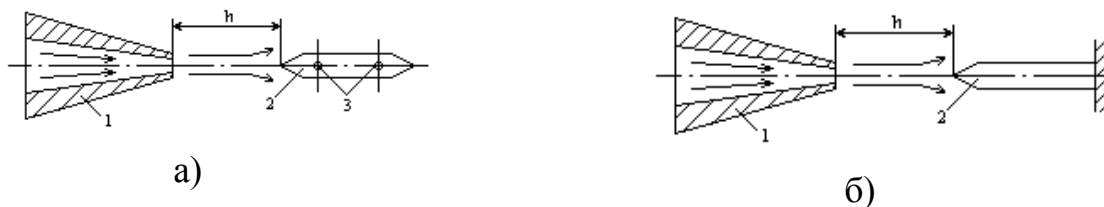


Рис. 2. Схема пластинчатого гидродинамического излучателя.

а – пластинка крепится в узловых точках: 1 – сопло; 2 – пластинка; 3 – точки крепления; б – консольное крепление пластинки: 1 - сопло; 2 - пластинка.

Для возбуждения интенсивных колебаний необходимо совпадение частоты собственных колебаний кавитационной каверны и гидродинамического излучателя. При этом возникнет явление резонанса, интенсивно разрушающего большую кавитационную каверну на несколько малых каверн и создающего развитую межфазную поверхность. Это явление, по мнению авторов, приведет к интенсификации схлопывания каверн и увеличению влияния кавитации на технологический процесс. На практике настройка пластины в резонанс с колебаниями за соплом Вентури не представляет особых трудностей и осуществляется регулировкой скорости истечения струи и изменением расстояния между соплом и пластинкой. Пластинчатые гидродинамические излучатели генерируют колебания с частотами $\sim 0,2 \dots 35$ кГц. Излучение акустической энергии при работе пластинчатых гидродинамических излучателей осуществляется в основном за счет колеблющейся

пластинки в направлении, перпендикулярном ее плоскости, с максимумом посредине опор (рис. 2,а) либо вблизи свободного конца (рис. 2,б).

На рис. 1. представлена расчетная схема гидравлической системы с кавитирующей трубкой Вентури и пластинчатым гидродинамическим излучателем.

Для удобства рассмотрения последовательности событий в гидродинамической системе область кавитации гидродинамической системы условно разбита на 6 зон, см. рис.3:

1. Зона сужения.
2. Зона диффузора.
3. Зона между диффузором и узким концом колеблющейся пластинки.
4. Зона колеблющейся пластинки.
5. Зона крепления колеблющейся пластинки.
6. Зона выхода из системы.

Последовательность событий в гидродинамической системе разработчиками представляется следующим образом, см. рис.3.

- Появление отдельных кавитационных пузырьков. Возникновение кавитации и появление отдельных кавитационных пузырьков происходит на входе в цилиндрический участок с $d = d_{кр}$ (зона сужения). Далее наблюдается рост пузырьков и их последующая коалесценция.

- Образование и рост каверны. При фиксированном значении давления P_2 на выходе из трубки происходит рост каверны, длина кавитационной каверны увеличивается, она распространяется на всю длину канала с $d = d_{кр}$, а потом выходит в диффузор генератора колебаний.

- Рост каверны до максимальных размеров. При фиксированном значении давления на выходе из кавитационного генератора колебаний каверна растет до максимума, а затем вся ее диффузорная часть отрывается, после чего тотчас начинает расти новая каверна, а предыдущая сносится вниз по потоку. Сечение отрыва каверны постоянно и соответствует переходу цилиндрического участка генератора с $d = d_{кр}$ в диффузор. Процесс отрыва диффузорной части каверны на определенном режиме происходит строго периодически, т. е. со стабильной частотой в несколько сот герц. Происходит формирование периодически-срывного течения. Отличительной особенностью такого кавитационного течения, как показали проведенные ранее исследования [5,6], являются стабильность частоты отрыва и схлопывания (в потоке, а не на стенке) кавитационной каверны большого объема, образовавшейся в диффузоре. Экспериментально были установлены [5,6] характерные особенности течения в системе «сужение – выходной трубопровод». К этим особенностям относится, прежде всего, отсутствие зависимости частоты колебаний от длины выходного трубопровода за местным сужением, которое указывает на неакустическую природу высокочастотных кавитационных колебаний.

- Каверна сносится далее по потоку. Происходит деформация каверны в зоне резонанса. Происходит рост второй каверны. При отсутствии гидродинамического излучателя после отрыва каверна сносится по потоку, стремясь к центру потока и в зоне повышенного давления захлопывается. Расстояние от зоны отрыва до зоны полного схлопывания при высоких скоростях движения жидкости может быть весьма значительным и достигать 2...10 и более метров. Это приводит в уве-

личению размеров кавитаторов и, зачастую, невозможности их использования для реализации заданных процессов.

- Перемещение первой каверны в зону интенсивных звуковых волн. Разрушение на малые каверны. Перемещение второй каверны в зону отрыва. Образование третьей каверны. Для возбуждения интенсивных колебаний необходимо совпадение частоты собственных колебаний кавитационной каверны и гидродинамического излучателя. При этом возникнет явление резонанса, интенсивно разрушающего большую кавитационную каверну на несколько малых каверн и создающего развитую межфазную поверхность.

- Преобразование малых каверн. Образование сферических пузырьков.

- Схлопывание кавитационных пузырей. Выделение энергии в зоне схлопывания пузырей. Образование волн давления. Волна давления от центра схлопывания распространяется вперед по потоку на довольно большие расстояния, практически не затухая (в экспериментах до 2,0 метров). Волна давления, которая распространяется против потока, демпфируется выросшей к этому моменту новой каверной, о чем свидетельствует отсутствие колебаний на входе в трубку Вентури. Она принимает участие в формировании обратных течений и создает условия для отрыва следующей каверны. Таким образом, устанавливается процесс отрыва и схлопывания каверн, который самосинхронизируется. Волны давления от схлопывания пузырьков взаимодействуют с волнами, порожденными гидродинамическим излучателем и оказывают разрушающее воздействие на большую каверну.

Ранее сделан вывод [1,2] о том, что аномально высокие периодические импульсы давления в жидкости при кавитации в местных сужениях типа трубки Вентури обусловлены режимом периодически-срывной кавитации, при котором формируются, а потом отрываются, сносятся по потоку и захлопываются в центре потока жидкости большие объемы каверны. При схлопывании каверн большого объема в потоке жидкости возникают высокие давления.

Рассмотрим, как происходит изменение давления P в зоне за диффузором. Исследования в [1,6,7] показали, к примеру, если давление на входе в трубку Вентури P_1 составляет 5,0 мПа, то давление на выходе из трубопровода P_2 , при котором возникают максимальные скачки давления составляет $0,3 P_1$, т.е. составляет 1,2 мПа. Скачки давления в зоне диффузора и за ним составляют:

- в сторону высокого давления составляют $P_{2max} = 1,4 \dots 1,6 P_1$, т.е. составляет около 8,5 мПа. Тут P_{2max} – максимальное значение давления в импульсе за трубкой Вентури;

- низкое давление составляет около $P_{2min} = P_1$, т.е. составляет около 1,2 мПа, где P_{2min} – минимальное значение давления в импульсе.

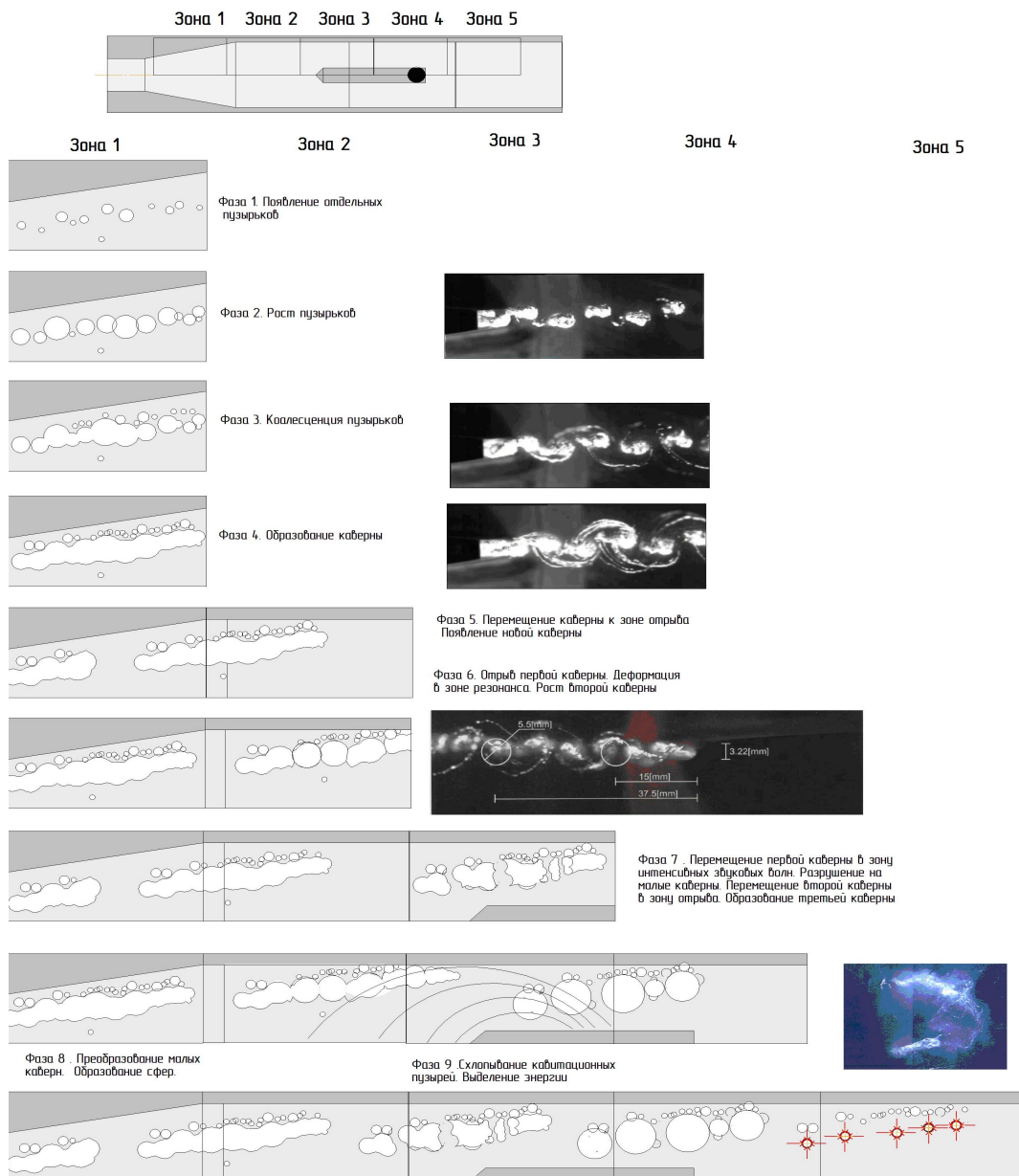


Рис.3. Схема развития кавитации в трубке Вентури с гидродинамическим излучателем

При возникновении таких колебаний вначале давление в объеме жидкости P растёт от 1,2 мПа до $P_{2\max} = 8,5$ мПа, затем уменьшается до $P_1 = 1,2$ мПа и ниже до 0. Далее идет вторая амплитуда падения давления до $P_{2\min} = -0,1$ мПа. Затем начинается рост давления до 0 и далее до 1,2 мПа. Затем цикл повторяется. Измеренная частота колебаний составляет 500 гц. Частота и «двойная амплитуда» высокочастотных кавитационных колебаний определяются формой, геометрическими и режимными параметрами местного сужения. Под «двойной амплитудой», вследствие негармонической формы колебаний, понимается величина $\Delta P_2 = P_{2\max} - P_{2\min}$.

Количественными характеристиками процессов отрыва каверн являются f – частота отрыва кавитационной каверны и f_1 – частота схлопывания каверны с образованием волн высокого давления. Очевидно, что если в гидродинамической системе отсутствует гидродинамический излучатель, то $f=f_1$. Если в системе установлен гидродинамический излучатель, то большая каверна будет разделена при

помощи звуковых волн на несколько малых каверн, значит зон схлопывания и, соответственно, зон выделения энергии будет в несколько раз больше, т.е. $f = f_1 / n$, где $n = 2 \dots 10$ (предположительно). Также, предполагается, произойдет значительное уменьшение длины выходного трубопровода, так как для схлопывания малых каверн необходим значительно меньший путь и меньшее время.

Представление явлений в гидравлической системе с кавитирующей трубкой Вентури и гидродинамическим излучателем в виде последовательности событий позволяет упростить процедуру построения математической модели и последующего создания методики расчета усовершенствованных кавитационных агрегатов.

Наиболее представительные экспериментальные исследования и математическое описание для гидравлической системы с кавитирующей трубкой Вентури выполнены в Институте технической механики НАН Украины [1, 5-8]. Ниже в описаниях процессов в зоне трубки Вентури будем базироваться на этих исследованиях.

С целью получения наглядных результатов при разработке математической модели кавитационных колебаний *приняты следующие основные допущения*: давление в каверне постоянно и равно p_k (паровая кавитация, время установления термодинамического равновесия существенно меньше периода колебаний), унос паровой фазы из каверны отсутствует, жидкость несжимаемая, а стенки трубопровода абсолютно жесткие.

При разработке трубы Вентури необходимо, чтобы значение отношения диаметра выходного сечения диффузора к диаметру критического сечения $d_2 / d_{кр}$ находилось в диапазоне $3 \dots 7$.

Для реализации течения, при котором возникают высокие амплитуды колебаний давления в трубопроводе за трубкой Вентури необходимо, чтобы угол раскрытия диффузора был $\beta > 15^\circ$. Наиболее рациональный угол раскрытия диффузора был $\beta = 20 \div 30^\circ$.

При таких геометрических соотношениях, в зависимости от угла раскрытия диффузора, режим периодически-срывной кавитации может реализоваться при отношении давления на выходе из трубки к давлению на входе в нее в диапазоне значений $0,02-0,80$. Т.е. если давление на выходе из кавитационной системы P_2 находится в диапазоне $0,1 \div 0,2$ МПа, то давление на входе в кавитационную систему должно составлять $0,12 \dots 10$ МПа.

Природа этих частот аналогична частотам срыва вихрей при отрывном обтекании цилиндра в нормальном к его оси направлении, которые получили название струхалевых частот колебаний жидкости и для гидравлической системы с трубкой Вентури определяются следующим образом [1]:

$$f = Sh_m \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_s)}{\rho_{ж}}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{r_{кр} \left(\sqrt{\frac{\mu}{1 - \sqrt{1 - \tau}}} - 1 \right)}, \quad (1)$$

где Sh_m – модифицированное число Струхалея;

P_1 и P_s – давление на входе в трубку Вентури и в кавитационной плоскости соответственно;

$r_{кр}$, μ – радиус критического сечения в и коэффициент расхода трубки Вентури соответственно;

τ – параметр кавитации, определяемый как отношение давлений на выходе P_2 к давлению на входе P_1 в трубку Вентури;

β – угол раскрытия диффузора.

Модифицированное число Струхала Sh_m определится из графика (рис. 4). Диапазон измерения – 0,2...0,3.

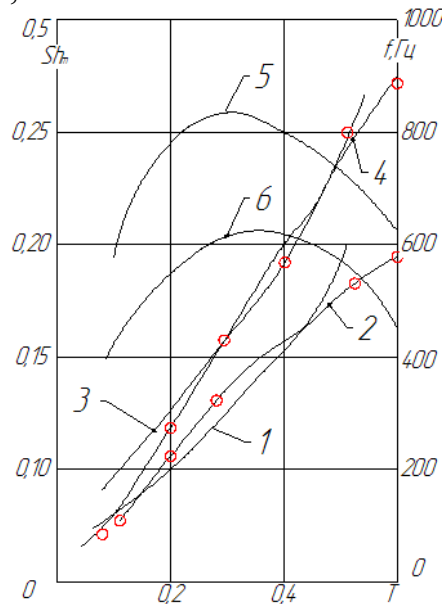


Рис. 4. Экспериментальные (кривые 2,4) и теоретические (кривые 1,3) зависимости частот кавитационных колебаний и модифицированного числа Струхала (кривые 5,6) от параметра кавитации (1, 2, 5 – $\beta=20^\circ$; 3, 4, 6 – $\beta=30^\circ$).

Закономерности, описывающие систему с гидродинамическим излучателем. При натекании на пластинку потока жидкости в ней возбуждаются изгибные колебания, основная собственная частота которых:

$$f_{PL} = \left(\frac{\alpha \cdot t}{l^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2)$$

где α – коэффициент пропорциональности, зависящий от способа крепления пластинки;

l – длина пластинки;

t – толщина;

E – модуль упругости;

ρ – плотность материала, из которого изготовлена пластинка.

Если все перечисленные величины выражены в единицах системы СГС, то при креплении пластинки в двух узлах $\alpha=2,82$, а консольно $\alpha=0,162$.

Наличие присоединенной массы несколько снижает значение f_{PL} и в натекающей струе возникают автоколебания с частотой:

$$f_c = \frac{k \cdot v}{h}, \quad (3)$$

где v - скорость струи;

h - расстояние между соплом и пластинкой;

k - коэффициент пропорциональности, зависящий от ζ и h .

Вышеприведенные элементы математического описания могут быть положены в основу разработки математической модели и методики расчета гидравлической системы с кавитирующей трубкой Вентури и пластинчатым гидродинамическим излучателем. Представляется возможным увязать следующие показатели (характеристики):

- геометрические характеристики трубки Вентури и гидродинамического излучателя;
- характеристики, описывающие вещества и материалы, участвующие в процессе;
- режимно-технологические характеристики трубки Вентури и гидродинамического излучателя;
- критерии, описывающие процесс.

Список литературы: 1. *Пилипенко В.В.* Кавитационные автоколебания. – Киев: Наукова думка, 1989. – 316 с. 2. *Жулай Ю.А.* Гидродинамическая кавитация в промышленных технологиях // Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов, №64. – Днепропетровск, 2006 – С. 142-149. 3. *Арзуманов З.С.* Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях. – М.: Энергия, 1978. – 303 с. 4. *Кнэпп Р., Жейли Дж., Хеммит Ф.* Кавитация: Пер. с англ. Э.А.Ашратова – М.: Мир, 1974. – с.688. 5. *Pilipenko V.V., Man'ko I. K., Zadontsev V.A.* Cavitation self-oscillations intensify technological processes // Proceedings of a Fluid Dynamics Panel Workshop. Kiev, Ukraine. Report 827, 1998, – P.32-1–32-4. 6. *Пилипенко В.В., Задонцев В.А., Манько И.К., Довгоцько Н.И.* О высокочастотных колебаниях в гидравлической системе за кавитирующей трубкой Вентури. // Кавитационные автоколебания в насосных системах. Часть 2. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 104-113. 7. *Манько И.К.* Визуальные исследования кавитационных автоколебаний в гидравлической системе с прозрачной трубкой Вентури // Кавитационные автоколебания в насосных системах. ч. 2. – Киев: Наукова думка, 1976. – С.113-118. 8. Справочник нефтепереработчика / Под ред. Г. А. Ластовкина, Е. Д. Радченко, М. Г. Рудина. – Л.: Химия, 1986. – 648 с. 9. Жидкие углеводороды и нефтепродукты / Под ред. М.И.Шахпаронова и Л.П.Филиппова. – М.: Изд. МГУ, 1989. – 193с. 10. *Курочкин А.К.* Исследование влияния ультразвука на интенсификацию некоторых нефтетехнологических процессов. Дис...канд. техн. наук: 05.17.07. – Уфа, 1981. – 207 с. 11. *Иванов А.Н.* Гидродинамика развитых кавитационных течений. – Л.: Судостроение, 1980. – 237 с.

Поступила в редколлегию 06.09.2010

УДК 621.73.043.002

В.К. ЛОБАНОВ, д-р техн. наук, проф., ГП «Завод имени Малышева»

Г.И. ПАШКОВА, канд. техн. наук, нач. лаборатории, ГП «Завод имени Малышева», г. Харьков

Т.Н. КОВШАНОВА, студентка, НТУ «ХПИ».

УСИЛИЯ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРШНЕЙ

Наведено результати теоретичного дослідження процесу гарячого штампування заготовок біметалевих поршнів ДВС. Отримано інженерні формули, що дозволяють визначити енергосилові параметри деформування.

The results of theoretical research of the bimetallic ICE pistons punching process. The engineering formulas for definition of energy-power parameters are received.

Современная тенденция развития транспортного дизелестроения предусматривает увеличение цилиндровой мощности двигателей. Поэтому проблема повышения эксплуатационной надежности деталей цилиндропоршневой группы и, в частности, поршней – чрезвычайно актуальна. Существенное улучшение работоспособности ДВС достигается путем применения биметаллических поршней со стальными кольцедержателями. Технология производства таких поршней предусматривает горячую заштамповку кольцедержателя материалом тронка поршня [1].

Штамповку биметаллической заготовки поршня рационально выполнять в закрытом штампе, обеспечивающем сокращение расхода металла и снижение усилия деформации. Для выбора оборудования по усилению и энергетическим возможностям его привода представляет интерес заключительная стадия процесса, в течение которой затрачиваются наибольшая энергия и усилие.

Исследованию процесса штамповки поковок в закрытых штампах посвящено значительное количество исследований [2-4]. Однако известные решения выполнены либо для плоской задачи [2], или предполагают, что весь объем материала поковки находится в состоянии пластического течения [3], либо справедливы для условий максимального трения [4].

Заштамповка кольцедержателя в закрытом штампе является сложным нестационарным процессом пластического течения металла. В квазистационарной стадии процесса очаг деформации целесообразно рассматривать состоящим из трех зон (см. рисунок 1). Зоны I и III, примыкающие соответственно к пуансону и кольцедержателю, охватывают объемы металла заготовки, находящиеся в условиях пластического течения. Средняя часть по высоте головки поршня (зона II) не деформируется на заключительной стадии процесса штамповки, а перемещается как "жесткая" зона.

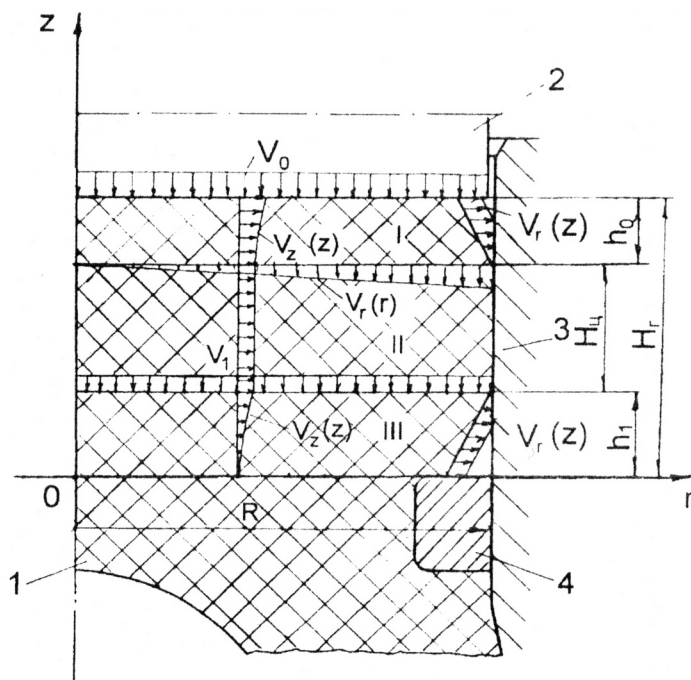


Рисунок 1 – Схема процесса и поля скоростей перемещений частиц металла при заштамповке кольцедержателя биметаллического поршня:

1 – поршень; 2 – пуансон; 3 – матрица; 4 – кольцедержатель

Исследование энергосиловых параметров процесса выполним в цилиндрической системе координат r, z, φ . Поле скоростей течения частиц металла заготовки в зоне I (см. рисунок) описывается следующими зависимостями:

$$V_{z1} = -V_0 \frac{z-H_y}{h_0+h_1}; \quad V_{\varphi1} = 0; \quad V_{r1} = f(z) \frac{r}{R}. \quad (1)$$

Функцию $f(z)$ определим из уравнения неразрывности, которое в цилиндрической системе координат имеет вид:

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

Подставив в (2) значения составляющих скоростей (1) и их производные, найдем выражение для функции $f(z)$:

$$f(z) = \frac{V_0 R}{2(h_0+h_1)}. \quad (3)$$

С учетом (3) радиальная компонента скорости течения металла в очаге деформации запишется в виде:

$$V_{r1} = \frac{V_0}{2} \frac{r}{(h_0+h_1)}. \quad (4)$$

Аналогично получаем выражения, описывающие скорости пластического течения металла в III зоне очага деформации:

$$V_{r3} = \frac{V_1}{2} \frac{r}{h_1}; \quad V_{\varphi3} = 0; \quad V_{z3} = -V_1 \frac{z}{h_1}. \quad (5)$$

Изучая деформации делительной сетки, нанесенной на меридиональной плоскости составного образца, установили, что скорость осевого течения металла изменяется в I и III зонах от значения, равного скорости перемещения пуансона, до нуля в плоскости верхнего торца кольцедержателя. Отсутствие скручивания и перекосов делительной плоскости в процессе деформации позволяет заключить о равенстве нулю тангенциальной составляющей скорости перемещений частиц металла в очаге пластического течения. Считаем также, что материал тронка поршня изотропен, идеально пластичен и имеет место совпадение направляющих тензоров напряжений и скоростей деформаций.

Выражения (1) и (3) удовлетворяют условию неразрывности (2). Несовпадение расчетных и экспериментальных значений составляющих перемещений частиц металла в очаге деформации не превышает 6...8%.

Для определения связи между прилагаемыми к деформируемой заготовке усилиями и ее формоизменением найдем скорости деформаций, используя дифференциальные соотношения их со скоростями течения в цилиндрических координатах:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{rr} &= \frac{\partial V_r}{\partial r}; & \varepsilon_{r\varphi} &= \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \frac{V_\varphi}{r}; \\ \varepsilon_{\varphi\varphi} &= \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{V_r}{r}; & \varepsilon_{\varphi z} &= \frac{\partial V_\varphi}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \varphi}; \\ \varepsilon_{zz} &= \frac{\partial V_z}{\partial z}; & \varepsilon_{zr} &= \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{\partial V_r}{\partial z}. \end{aligned} \quad (6)$$

Подставив в (6) значения скоростей перемещений частиц металла и их производных из (1) и (4), получим компоненты скоростей деформации для I зоны очага пластического течения металла:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{rr1} &= \frac{1}{2} \frac{V_0}{(h_0+h_1)}; & \varepsilon_{r\varphi1} &= 0; \\ \varepsilon_{\varphi\varphi1} &= \frac{1}{2} \frac{V_0}{(h_0+h_1)}; & \varepsilon_{\varphi z1} &= 0; \\ \varepsilon_{zz1} &= -\frac{V_0}{(h_0+h_1)}; & \varepsilon_{zr1} &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Выражения (5) позволяют найти зависимости для составляющих скоростей деформации в III зоне очага формообразования:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{rr3} &= \frac{V_1}{2h_1}; & \varepsilon_{r\varphi3} &= 0; \\ \varepsilon_{\varphi\varphi3} &= \frac{V_1}{2h_1}; & \varepsilon_{\varphi z3} &= 0; \\ \varepsilon_{zz3} &= -\frac{V_1}{h_1}; & \varepsilon_{zr3} &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Зависимости (7) и (8) позволяют определить интенсивности скоростей деформаций в зонах I и III, отражающие характер взаимных смещений частиц металла при штамповке головки поршня:

$$\varepsilon_{i1} = \frac{V_0}{(h_0+h_1)}; \quad \varepsilon_{i3} = \frac{V_1}{h_1}. \quad (9)$$

Для определения работы, затрачиваемой на перевод единичного объема металла заготовки из недеформированного состояния в деформированное, найдем функцию диссипации энергии:

$$E = \sigma_i \varepsilon_i. \quad (10)$$

Учитывая, что штамповка биметаллической заготовки поршня реализуется при ковочных температурах, справедливо условие пластичности Губера-Мизеса:

$$\sigma_i = \sigma_s = const. \quad (11)$$

После подстановки в (10) выражений входящих величин из (9) с учетом (11), получаем окончательный вид функций диссипации энергии в I и III зонах:

$$E_1 = \sigma_s \frac{V_0}{(h_0 + h_1)}; \quad E_3 = \sigma_s \frac{V_1}{h_1}. \quad (12)$$

Известные решения задачи о формообразовании поковок в закрытом штампе предусматривают применение инструмента с "жестким" дном [2-4]. В исследуемой схеме штамповки биметаллических поршней III зона очага деформации контактирует с объемом материала поковки, находящимся в условиях всестороннего неравномерного сжатия. В этой связи представляет интерес определение напряженного состояния металла в области верхнего торца кольцедержателя. С этой целью используем уравнение движения сплошной среды:

$$\rho \frac{dV}{dt} = \text{grad} \sigma + 2 \text{div}(\mu_i T_\varepsilon), \quad (13)$$

на основе которого при условии, что $\text{div} T \sigma = 0$ получены следующие выражения для градиента среднего напряжения σ :

$$\begin{aligned} -(\text{grad} \sigma)_r &= \mu_i (\Delta V)_r + \frac{2}{H_r} \frac{\partial \mu_i}{\partial r} \varepsilon_{rr} + \frac{1}{H_\varphi} \frac{\partial \mu_i}{\partial \varphi} \varepsilon_{r\varphi} + \frac{1}{H_z} \frac{\partial \mu_i}{\partial z} \varepsilon_{rz}; \\ -(\text{grad} \sigma)_\varphi &= \mu_i (\Delta V)_\varphi + \frac{1}{H_r} \frac{\partial \mu_i}{\partial r} \varepsilon_{\varphi r} + \frac{1}{H_\varphi} \frac{\partial \mu_i}{\partial \varphi} \varepsilon_{\varphi\varphi} + \frac{1}{H_z} \frac{\partial \mu_i}{\partial z} \varepsilon_{\varphi z}; \\ -(\text{grad} \sigma)_z &= \mu_i (\Delta V)_z + \frac{1}{H_r} \frac{\partial \mu_i}{\partial r} \varepsilon_{zr} + \frac{1}{H_\varphi} \frac{\partial \mu_i}{\partial \varphi} \varepsilon_{z\varphi} + \frac{1}{H_z} \frac{\partial \mu_i}{\partial z} \varepsilon_{zz}, \end{aligned} \quad (14)$$

где $(\Delta V)_r$, $(\Delta V)_\varphi$, $(\Delta V)_z$ – проекции вектора ΔV на оси криволинейных координат;

H_r , H_φ , H_z – коэффициенты Лямэ;

μ_i – коэффициент, определяемый по зависимости:

$$\mu_i = \frac{1}{3} \frac{\sigma_s}{\varepsilon_i}. \quad (15)$$

Среднее нормальное напряжение σ определяется также методом векторного анализа:

$$\begin{aligned} (\text{grad} \sigma)_r &= \frac{1}{H_r} \frac{\partial \sigma}{\partial r}; \\ (\text{grad} \sigma)_\varphi &= \frac{1}{H_\varphi} \frac{\partial \sigma}{\partial \varphi}; \\ (\text{grad} \sigma)_z &= \frac{1}{H_z} \frac{\partial \sigma}{\partial z}. \end{aligned} \quad (16)$$

Из (14) и (16) с учетом скоростей перемещения частиц металла в форме (1), (4) и (5) находим для цилиндрической системы координат:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma}{\partial r} &= -\mu_i \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} - \frac{V_r}{r^2} \right) - \frac{\partial \mu_i}{\partial z} \frac{\partial V_r}{\partial z}; \\ \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma}{\partial \varphi} &= 0; \end{aligned} \quad (17)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial z} = -\mu_i \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} - \frac{\partial \mu_i}{\partial r} \frac{\partial V_r}{\partial z}.$$

Подставив в (17) выражения для скоростей течения металла и коэффициента μ_i , получаем для III зоны очага деформации:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial r} = 0; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial \varphi} = 0; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = 0. \quad (18)$$

Эти выражения показывают, что среднее напряжение не зависит от координат и является в пределах данной зоны постоянной величиной.

Полный дифференциал среднего напряжения в принятой системе координат определяется из следующего уравнения:

$$d\sigma = \frac{\partial \sigma}{\partial r} dr + \frac{\partial \sigma}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial \sigma}{\partial z} dz. \quad (19)$$

Проинтегрировав (19), получаем:

$$\sigma = C. \quad (20)$$

Постоянную интегрирования определим из граничного условия, согласно которому при $r=R$, $\sigma_{rr}=0$. С этой целью воспользуемся уравнением связи радиальной составляющей напряжений со средним напряжением и радиальной скоростью деформации:

$$\sigma_{rr} = \sigma + 2\mu_i \varepsilon_{rr}. \quad (21)$$

Решением уравнения (21) является:

$$C = -\frac{\sigma_s}{3}. \quad (22)$$

Зависимость (22) позволяет определить давление металла на верхний торец кольцедержателя при высадке головки биметаллического поршня, воспользовавшись уравнением:

$$\sigma_{zz} = \sigma + 2\mu_i \varepsilon_{zz}. \quad (23)$$

Подставив в (23) выражения входящих величин, получим:

$$\sigma_{zz} = -\sigma_s. \quad (24)$$

Обратимся к определению работы внутренних сил в очаге деформации:

$$A_{вн} = \int \int \int_t E dV dt. \quad (25)$$

Если принять, что деформация осуществляется за единицу времени, то $\int dt = 1$,

что позволяет записать (25) в форме:

$$A_{вн} = \int \int \int V E dV. \quad (26)$$

Введя в (26) функцию диссипации энергии из (12), запишем выражения для определения работы внутренних сил в зоне I:

$$A_{вн1} = \pi \sigma_s V_0 R^2, \quad (27)$$

и в зоне III:

$$A_{вн3} = \pi \sigma_s V_1 R^2, \quad (28)$$

где R – радиус высаживаемой головки поршня.

Работа сил контактного трения при перемещении головки поршня в процессе высадки описывается зависимостью:

$$A_{mp} = \iint_F V_1 f \sigma_s dF, \quad (29)$$

где f – коэффициент трения.

Проинтегрировав (29), получаем:

$$A_{mp} = \sigma_s V_1 \pi R^2 f [H_2 - (h_0 + h_1)]. \quad (30)$$

Составляющие усилия деформации металла в I и III зонах, а также усилие проталкивания головки поковки в полости штампа, определим по формуле:

$$\Delta P = \frac{A_i}{V}, \quad (31)$$

где V – скорость осевого перемещения металла по зонам очага деформации.

Подставив в (31) выражения, описывающие работу внутренних сил из (27), (28) и сил трения (30), получим:

$$P_1 = \pi \sigma_s R^2; \quad (32)$$

$$P_{mp} = f \sigma_s \pi R^2 [H_2 - (h_0 + h_1)]; \quad (33)$$

$$P_3 = \pi \sigma_s R^2. \quad (34)$$

Располагая компонентами усилия формообразования поковки, запишем обобщенное выражение, описывающее силовой режим деформирования:

$$P = \pi \sigma_s R^2 \{2 + f [H_2 - (h_0 + h_1)]\}. \quad (35)$$

Экспериментальная проверка полученной зависимости силового режима деформирования от параметров штампуемой поковки осуществлялась в производственных условиях путем осциллографирования. Изготавливали биметаллические поршни двигателя 5Д70 диаметром 256 мм, массой 24 кг из сплава АК4, оснащенные кольцедержателем из жаропрочной стали 40Г18ЮЗФ, на гидравлическом прессе усилием 15 МН. Поршни энергоагрегата ЭА-8 получали на гидравлическом прессе модели П7640 усилием 10 МН. Заготовки перед штамповкой нагревали в электрических печах сопротивления. Температуру биметаллических заготовок контролировали переносной термопарой.

Сопоставление значений усилий штамповки, определенных по осциллограммам и рассчитанных по формуле (35), подтверждает их хорошую сходимость. Расхождение результатов не превышает 8... 12%.

Выводы: 1. Выполненное исследование процесса штамповки биметаллических поршней со стальными кольцедержателями позволило получить простые, удобные для инженерных расчетов формулы, хорошо согласующиеся с экспериментальными данными.

2. Производственная проверка полученных зависимостей, описывающих силовые параметры процесса штамповки, подтверждает их достоверность и возможность широкого использования при разработке новых технологических процессов штамповки биметаллических поршней ДВС.

Список литературы: 1. Лобанов В.К., Любченко А.П., Босин Е.Е. и др. Биметаллические штампованные поршни для форсированных ДВС// Механіка та машинобудування. - 2001. - № 1,2 - с. 274- 277. 2. Живов Л.И. К вопросу об определении усилий закрытой штамповки. - В сб.: Машины и технология обработки металлов давлением. МВТУ. - М.: Машгиз, 1953, с. 75-86. 3. Тарновский И.Я., Поздеев А.А., Гонаго О.А. и др. Теория обработки металлов давлением (вариационные методы расчета усилий и деформации). - М.: Металлургиздат, 1963, 672 с. 4. Журавлев А.З. Основы теории штамповки в закрытых штампах. - М.: Машиностроение, 1973, 221с.

Поступила в редколлегию 08.09.2010

УДК 620.22: 66.067.124

Э. С. ГЕВОРКЯН, докт. техн. наук, доц. УкрГАЖТ, г. Харьков
Ю. Г. ГУЦАЛЕНКО, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ», г. Харьков

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА СПЕКАНИЯ НАНОПОРОШКОВ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕМ ПРЕССОВАНИИ С ЭЛЕКТРОНАГРЕВОМ ПРЯМЫМ ТОКОПОДВОДОМ

Розглянуто проблему горячего пресування нанопорошків з оксиду алюмінію із отриманням тонкодисперсної високощільної структури у кінцевому продукті. Визначено механізм консолідації нанопорошків з неструмопровідного матеріалу під комбінованою дією прямого електронагріву і пресування. Виділено роль ковзних іскряних розрядів на межі діелектричних часток нанопорошку в очищенні їх поверхонь, зменшуванні розмірів пор та ущільненні в процесі консолідації.

Рассмотрена проблема горячего прессования нанопорошков из оксида алюминия с получением тонкодисперсной высокоплотной структуры в конечном продукте. Определен механизм консолидации нанопорошков из нетокопроводного материала под комбинированным действием прямого электронагрева и прессования. Выделена роль скользящих искровых разрядов на границе диэлектрических частиц нанопорошка в очистке их поверхностей, уменьшении размеров пор и уплотнении в процессе консолидации.

Введение и постановка задачи. Вопросы плотной консолидации нанопорошков, в особенности тугоплавких керамических материалов инструментального назначения, продолжают привлекать внимание исследователей прежде всего с позиций обеспечения тонкодисперсных структур в полученных керамиках, определяющих их физико-механические свойства, эксплуатационную надежность и стойкость готовых изделий.

Для получения наноструктурных материалов из тугоплавких соединений, в том числе нетокопроводных, в последнее время расширяется практика использования техники и технологий FAST-метода спекания электрически активированным внешним полем (Field Activated Sintering Technic [1]), а также примененного и развиваемого нами SPS-метода прямого электронагрева (Spark Plasma Sintering [2]).

С нашей точки зрения это объясняется в основном следующим. Во-первых, возможностью быстрого нагрева пресс-формы до высоких температур, из чего следуют не только прямые скоростные преимущества, но и сравнительное сдерживание обычно интенсивного роста зерен исходного порошка, способствующее

формированию в конечном продукте функционально более эффективных структур более тонкой дисперсности. Во-вторых, относительной простотой промышленных установок с возможностью использования обычного переменного тока промышленной частоты без дополнительной комплектации специальными импульсными генераторами. В-третьих, возможностью получения керамических заготовок относительно больших размеров и сложных форм.

Процессы спекания обычных порошков тугоплавких соединений подробно рассмотрены в работе [3]. Авторами [4] изучены закономерности спекания различных неметаллических нанопорошков, в том числе тугоплавких соединений. Если процесс влияния электрического тока на спекание металлических порошков также можно считать достаточно исследованным [5], то процесс горячего прессования с применением электрического тока при спекания нанопорошков, несмотря на многочисленные зарубежные публикации в области спекания этих порошков, изучен мало, в том числе в части механизмов спекания порошков на основе оксида алюминия, без изделий из которого практически невозможно представить современную инструментальную промышленность.

В данной статье представлены некоторые результаты исследования закономерностей механизмов спекания нанопорошков оксида алюминия в процессе горячего прессования в графитовых формах при пропускании через порошок электрического тока.

Теоретические аспекты решения. Тугоплавкое тело алюмооксидного консолидата сочетает высокую твердость и повышенную хрупкость. Усадка заготовок в процессе спекания, как правило, сопровождается уменьшением количества дефектов кристаллической структуры, шероховатости поверхности частиц, пористости, а также ростом зерен и гомогенизацией. Непосредственно к самому процессу спекания можно отнести только два явления: рост площади контакта между частицами и сближение центров частиц, т.е. собственно усадку, остальные перечисленные явления являются сопутствующими.

Как известно, спекание приближает систему, состоящую из отдельных частиц, к термодинамическому равновесию, т.е. это процесс, в ходе которого избыточная энергия системы уменьшается. Можно предположить, что именно эта энергия свободной поверхности, поверхности границ и дефектов кристаллической решетки является главной движущей силой спекания. Величину этой движущей силы можно оценивать, учитывая размеры частиц, из которых сформована заготовка. Например, удельная поверхность порошков карбидов после размола обычно составляет 1-5 м²/г; порошков, полученных плазмо-химическим синтезом, – 10-40 м²/г [3]. Если принять, что в результате любого метода формования получают заготовки пористостью 40%, то очевидно, что избыточная энергия такой системы достаточно велика. Она и выполняет основную работу по уплотнению, вызывая течение вещества в пустоту (поры). С некоторым приближением, следуя авторам [3], можем допустить, что течение вещества к поверхности с отрицательной кривизной осуществляется под некоторым эффективным давлением $P_{э.н.}$ вызываемым поверхностным натяжением:

$$P_{э.н.} = 2\gamma / r, \quad (1)$$

где γ – свободная поверхностная энергия, кДж/мкм²; r – размер зерна, мкм.

Это давление достаточно велико для прессовки из нанодисперсных частиц, где размер пор сопоставим с размером частиц. Эквивалентное давление, действующее по крайней мере в начальный период спекания, для нанодисперсных порошков очень велико и, естественно, вызывает быстрое уплотнение $\dot{\epsilon}$, например, по механизму ползучести:

$$\dot{\epsilon} = A P_{\text{э.н.}}^{\nu} \exp(-E_{\text{ан}}/RT), \quad (2)$$

где A , R , ν – постоянные; $E_{\text{ан}}$ – энергия активации ползучести, кДж.

Другой движущей силой процесса уплотнения, наряду с избыточной энергией, является энергия границы раздела зерен, отделяющая участки нанозерен с различной ориентацией друг от друга. Следует учитывать, что при нагревании вначале между частицами в прессовке образуется физический контакт и в дальнейшем – разветвленная система границ, т.е. вначале свободная поверхностная энергия, вызывая уплотнение системы, тратится также на образование границ, избыточная энергия которых в дальнейшем является движущей силой процесса спекания. Образование разветвленной системы границ происходит в результате термически активированного скольжения по границам зерен в начальный период спекания. Поэтому при медленном нагреве до температуры спекания между частицами образуются совершенные плоские границы малой протяженности, и уплотнение протекает очень медленно, что ведет к росту зерна. И наоборот, в результате быстрого нагревания по механизму термически активированного скольжения по границам нанозерен, в результате того, что поверхность раздела границ на порядок меньше поверхности нанопорошка, дальнейшее уплотнение прессовки протекает по подобному реализации механизма ползучести характеру (2), но значительно быстрее:

$$\dot{\epsilon} = A_1 P_{\text{э.г.}}^{\nu} \exp(-E_{\text{ан}}/RT), \quad (3)$$

где $P_{\text{э.г.}}$ – эффективное давление, обусловленное сокращением поверхности раздела границ, $P_{\text{э.г.}} \ll P_{\text{э.н.}}$.

Следующей движущей силой спекания является энергия несовершенств кристаллической решетки. Она служит причиной ускоренного обмена мест:

$$n_a = n_0 \exp(-E_{\text{аан}}/RT), \quad (4)$$

где n_a – число атомов, которые покинули свое место в решетке и заняли вакансионный узел; n_0 – структурный фактор, не зависящий от температуры; $E_{\text{аан}}$ – энергия активации аннигиляции дефектов, кДж. Эта величина в нарушенной решетке сильно понижается. Поэтому для активного уплотнения материала необходимо по возможности сильно нарушить структуру, измельчая вещество, что и происходит в нанопорошках, полученных плазмо-химическим способом. В процессе спекания количество несовершенств кристаллической решетки значительно уменьшается.

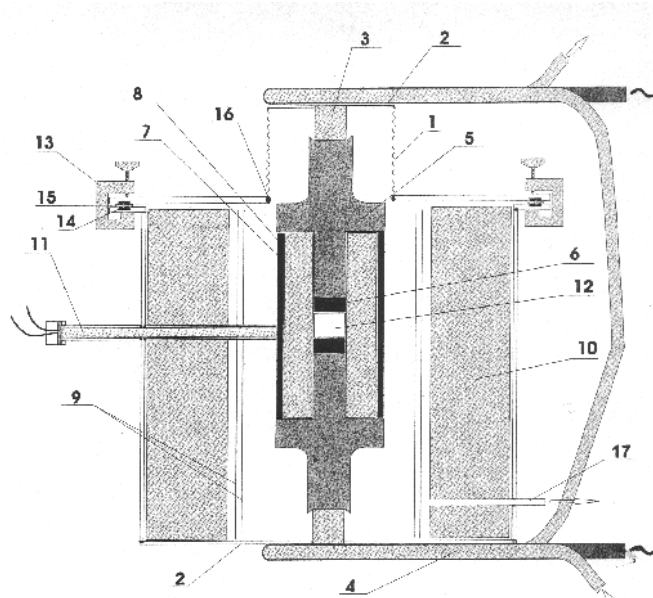


Рис. 1 – Устройство для горячего вакуумного прессования с прямым электронагревом: 1 – сиффон (X18Н10Т), 2 – фланцы (X18Н10Т), 3 – самоохлаждающиеся тоководы (медный сплав), 4 – водоохлаждаемые тоководы (медная трубка), 5 – пуансоны (графит), 6 – прокладка (графитовый лист), 7 – разборная пресс-форма (графит), 8 – втулка (углекомпозит), 9 – экраны (молибденовая жесть), 10 – теплоизоляция (муллитокремнеземистое огнеупорное волокно), 11 – термопара ВР-5/20, 12 – объект консолидации, 13 – зажимы (диэлектрик), 14 – прокладка (резина), 15 – прокладка (диэлектрик), 16 – стыковочные узлы вакуумной сварки, 17 – ввод к вакуумному насосу

Экспериментальные исследования. Связь с предыдущими разработками. В наших экспериментальных исследованиях использовались нанопорошки оксида алюминия с размером зерна 60-80 нм производства компании Sumitomo (Япония). Исследуемые нанопорошки засыпались в графитовые пресс-формы без связующих материалов. Скорость нагрева составляла 50, 250 и 500 °С/мин вплоть до 1400 °С. Температура выдержки 2 минуты. Образцы имели диаметр 19 мм и высоту 5 мм. Устройство основной рабочей части установки горячего прессования с прямым электронагревом, размещенной между плитами пресса, представлено на рис. 1.

Установлено [6], что при спекании в момент достаточно большой электрической нагрузки на рабочую смесь в графитовой пресс-форме в зонах межчастичных контактов возникают электрические разряды. Согласно физике этого процесса, они должны вызывать образование плазмы, что естественно приводит к очистке и активизации поверхности спекаемых порошков. Очистка поверхности частиц порошка в свою очередь приводит к образованию чистых границ зерен и активации самого процесса спекания. Например, авторами [7] обнаружено, что при спекании нанопорошков Al, которые имеют на поверхности неоднородный слой Al_2O_3 , толщиной около 5 нм, этот слой был удален в образовавшемся электрическом поле, в результате чего порошок был уплотнен до практически теоретической плотности данного материала. Следует отметить, что в этом случае применялся импульсный ток высокой частоты.

Успех горячего прессования в условиях прямого токоподвода к содержащей рабочую смесь нетокопроводных частиц оксида алюминия графитовой пресс-форме в значительной степени определяют скользящие искровые разряды, каналы которых в соответствии с известной теорией и практикой [8] ситуационно могут стелиться по поверхности частиц-диэлектриков. С большой вероятностью можно предположить, что прежде всего именно образование плазмы в результате действия этих разрядов и приводит к очистке и активации нетокопроводных поверхностей консолидируемых частиц по наблюдению [7] и в наших предшествующих [9] и настоящих опытах. Очищение частиц нетокопроводящих зерен под действием скользящих по их поверхностям искровых разрядов позволяет повысить их однородность, способствует повышению и химической чистоты конечного продукта, и степени уплотнения спекаемых порошков.

Локальный нагрев от действия искровых разрядов генерирует локальные температурные всплески, дополнительно тормозящие рост зерен нанопорошков, спекаемых в SPS-технологиях.

На рис. 2 видно, что после спекания Al_2O_3 содержит небольшие поры во всех образцах, независимо от скорости и температуры нагрева. Однако никакого катастрофического роста зерна не наблюдается.

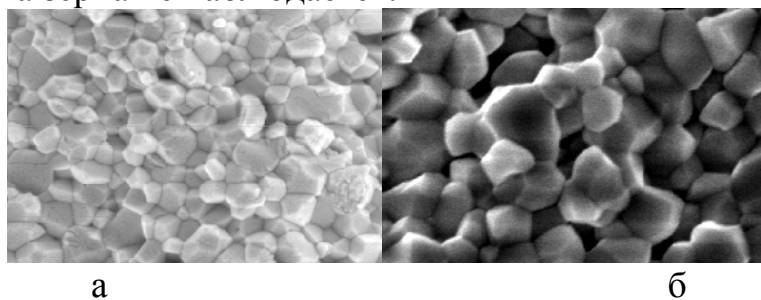


Рис. 2 – Структура Al_2O_3 , спекание при 1100 °C (а) и при 1400 °C (б), x30000

В наших опытах размер зерна оставался субмикронным даже при не самом быстром нагреве. При скорости нагрева 500 °C/мин размер зерна был в 5-6 раз больше, чем в исходных порошках. Тогда как при нагреве со скоростями 250 и 50 °C/мин размер зерна превосходил исходный в 30-40 и в 60-90 раз соответственно. Окончательный размер зерна при самом медленном подъеме температуры составил 6-9 мкм. Для сравнения: в случае обычного спекания чистого Al_2O_3 при 1850 °C размер зерна исходно аналогичного порошка достигает до 30 мкм [10]. Установлено, что в случае быстрого подъема температуры обеспечивается субмикронный размер зерна в конечном продукте. При этом объем пористости с повышением скорости нагрева уменьшается. Разброс размеров пор наблюдается в каждом случае нагрева. Быстрый нагрев используется с целью подавления роста зерна, торможения диффузионных механизмов переноса, которые, как известно, заметно влияют на уплотнение. Из анализа уплотнения оксида алюминия [11] также следует, что на раннем этапе спекания не может быть не учтена диффузия на границах зерен.

Скоростное спекание сокращает поток вакансий и уменьшает большие поры, а также ограничивает рост зерна. Быстрое уменьшение пористости увеличивает

мобильность на границах зерен, делает спекание тонких чистых порошков более чувствительным к нагреву. Этот процесс приводит к разукрупнению очагов пористости и образованию значительного количества мелких пор. Мелкие поры создают дополнительные помехи на границах зерен, препятствующие их быстрому росту.

Проведенные исследования по кинетике спекания нанопорошков оксида алюминия показали, что скорость уплотнения зависит от температуры и приложенного давления и слабо зависит от скорости подъема температуры (рис. 3).

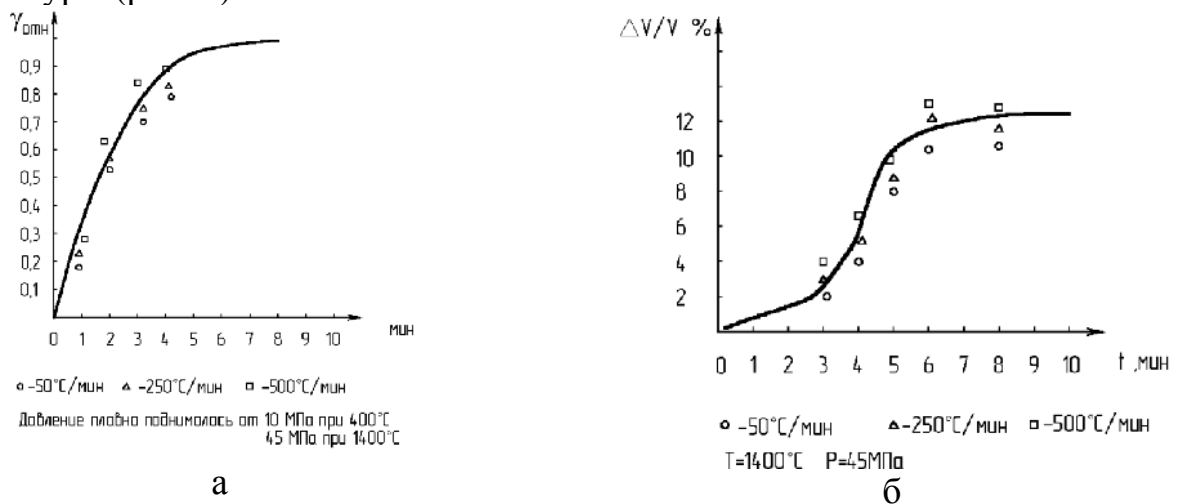


Рис. 3 – Изменение относительной плотности (а) и усадки (б) Al_2O_3 при различных скоростях нагрева

Заключение. Достаточно близкую к теоретической плотность (на уровне 95%) в работе с исследуемыми нанопорошками Al_2O_3 нам удалось получить уже при температуре 1400 °С. Дальнейшее развитие нано- и субмикроструктурного инструментального материаловедения композитов на алюмооксидной основе мы предполагаем осуществлять в комбинации $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--WC}$, в том числе опираясь на собственный опыт исследований [12], согласно которому консолидированный горячим прессованием с прямым электронагревом монокарбид WC также с увеличением в пределах одного порядка наследует тонкодисперсную исходную структуру (40-70 нм), поддерживаемую в нем в процессе спекания и по его итогам в субмикропределах (до 300-400 нм), что вполне согласуется с полученными нами результатами по Al_2O_3 и позволяет предполагать позитивное влияние этого эксплуатационно важного основания и на выходные показатели исходно нанопорошковой SPS-комбинации $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--WC}$.

Список использованных источников: 1. Groza J. R., Zavaliangos A.K. Sintering activation by external electrical field // Material Science. – 2000. – №28. – PP. 171–177. 2. Bernhard F., Le Gallet S., Spinassou N. Dense nanostructured materials obtained by spark plasma sintering and field activated pressure assisted synthesis sintering from mechanical activated powder mixtures // Science of Sintering. – 2004. – №36. – PP. 155-164. 3. Кислый П. С., Боднарчук Н. И., Горичок Я. О. Физико-химические основы получения тугоплавких сверхтвердых материалов. – Киев: Наук. думка, 1986. – 208 с. 4. Скороход В.В., Уварова I.B., Рагуля А.В. Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах. – Київ: Академперіодика, 2001. – 180 с. 5. Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока – М.: Металлургия, 1987. – 128 с. 6. Guicciardi S.

Composition dependence of mechanical and wear properties of electroconductive ceramics // Порошковая металлургия. – 1999. – №3-4. – С. 32-41. 7. *Anderson K. R., Groza J. R.*, Surface oxide debonding in field assisted powder sintering // Mater. Sci. Engin. – 1990. – №27. – PP. 278-282. 8. Особенности скользящего разряда на границе раздела диэлектриков с различной диэлектрической проницаемостью / *В. К. Башкин, Г. П. Кузьмин, И. М. Минаев, А. А. Рухадзе, И. Б. Тимофеев* // Прикладная физика. – 2005. – №6. – С. 54-59. 9. Sintering of Al₂O₃ and WC powders activated by electric field / *E. S. Gevorkyan, Yu. G. Gutsalenko, V. A. Chishkala, A. P. Khrishtal* // Proceedings of the 5-th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI 2005 4-7 Sept. 2005, Vrnjacka Banja, Serbia and Montenegro. – PP. 694-696. 10. *Brook R. J.*, Proc. Br. Ceram. Soc, 1982, vol. 32, pp. 7-24. 11. *Jhonson D.L.* Ultra –Rapid Sintering of Ceramics // Science of Sintering. New Direction for Materials Processing and Microstructural Control / Ed. by D.P. Uskokovic, Hayne Palmour III and R.M. Spriggs. – N.Y.: Pergamon Press, 1989. – PP. 497-506. 12. *Геворкян Э.С., Гуцаленко Ю.Г.* Некоторые закономерности горячего прессования нанопорошков монокарбида вольфрама // Вісн. Нац. техн. ун-ту "Харк. політехн. ін-т". Зб. наук. пр. Темат. вип.: Технології в машинобудуванні. – 2008. – №35. – С. 44-48.

Поступила в редколлегию 15.09.2010

УДК.621.742

В. Ю. СЕЛІВЬОРСТОВ, канд. техн. наук, доцент, НМетАУ, м.

Дніпропетровськ,

О. О. ЛОЄВСЬКА, аспірант НМетАУ, м. Дніпропетровськ,

Ю. В. ДОЦЕНКО, канд. техн. наук, доцент, НМетАУ, м. Дніпропетровськ,

В. П. ДОЦЕНКО, канд. техн. наук, доцент, ОНПУ, м. Одеса

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ДИСПЕРСНОСТІ ПРОКАТНОЇ ОКАЛИНИ НА МІЦНІСТНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАЛІЗОФО- СФАТНОЇ ХТС

Представлені результати досліджень вибору раціонального способу отримання залізовмісної складової формувальних та стрижневих залізофосфатних ХТС різної дисперсності за допомогою кульових млинів, а також вплив дисперсності окалини на міцність сумішей даного типу. Ключові слова: прокатна окалина, дослідження, дисперсність, залізофосфатна суміш, міцнісні властивості.

Представлены результаты исследований выбора рационального способа получения прокатной окалины различной дисперсности в шаровых мельницах для формовочных и стержневых железифосфатных ХТС, а также влияние дисперсности окалины на прочность смеси данного вида. Ключевые слова: прокатная окалина, исследования, дисперсность, железифосфатная смесь, прочностные свойства.

Вступ. У ливарному виробництві поширюється застосування залізофосфатних пов'язуючих композицій та на їх основі холоднотвердіючих формувальних та стрижневих сумішей (ХТС) і футерувальних мас.

В якості вихідних компонентів залізофосфатних ХТС можливе використання залізовмісних відходів ливарного та металургійного виробництва (шлами, пил, окалину) непостійного хімічного і фазового складу, які забруднені домішками. Оскільки залізовмісного матеріалу в суміші 1–5%, великі розбіжності інгредієнтів призводять до нестабільності технологічних властивостей форм і стрижнів.

Відповідно, застосування таких відходів для виробництва ХТС можливе лише за попередньої підготовки цих матеріалів.

Аналіз попередніх публікацій та постановка задачі.

Дослідження [1] показали, що матеріали для ХТС після обробки повинні містити: шкідливих домішок, що легко видаляються, < 0,1%; металевого заліза < 0,1%; закису заліза 10 – 30%; усього заліза 50 – 75% .

З усіх металофосфатних пов'язувальних композицій частіше за все застосовуються алюмофосфатні та залізофосфатні [2]. Для залізофосфатних композицій, за даними Є. С. Гамова, можуть застосовуватися різноманітні матеріали, що містять оксиди заліза (табл.1). В якості залізовмісного компонента в цих ХТС запропоновані різноманітні матеріали (ковальська і прокатна окалина, залізорудні концентрати, і т. п.) та відходи багатьох виробництв.

Таблиця 1 - Матеріали, які використовуються для отримання залізофосфатних ХТС [3]

Найбільше застосування отримали залізовмісні матеріали з максимальною кількістю оксидів заліза: порошок магнітний чорний, крокус, трифолін, залізорудний концентрат, а також залізооксидний шлам [3]. Такі відходи як плавильний пил, пил після зачистки виливків і інші, через нестабільну якість застосовуються менше. Однак, вторинні матеріали техногенного походження все частіше використовують як компонент формувальних та стрижневих сумішей [4 - 9].

Як відомо, за зниженням швидкості затвердіння за звичайних температур при взаємодії з H_3PO_4 оксиди заліза розміщуються наступним чином: магемит (найбільша), магнетит и вюстит FeO . Гематит не має властивості холодного твердіння при додаванні H_3PO_4 . Сучасні теоретичні уявлення про формування структури холоднотвердіючих сумішей розробляються з урахуванням фізико-хімії міжфазової поверхні [10].

Процеси, що супроводжують твердіння металофосфатної ХТС, можна представити у вигляді міжчастинкових (утворення коагуляційної структури і кристалізаційно-конденсованих контактів), дифузійних явищ (транспортування рідини з розчиненими іонами через прошарок гідратних новоутворень) і міжфазової взаємодії (розчинення, кристалізація) [11].

Більшість вказаних вище явищ мають електричну природу (дисоціативна адсорбція і протонізація рідини поверхнею високодисперсних часточок, виникнення подвійного електричного шару – ПЕШ, виникнення дифузійного потенціалу та ін.). У міжчастинковій взаємодії поряд з молекулярними силами Ван-дер-Ваальса - Лондона основна роль належить електромагнітній взаємодії (сили взаємодії дисперсних магнітних часточок, електричні поверхневі сили тяжіння і відштовхування та ін.) електромагнітні взаємодії між частинками багато в чому визначають властивості дисперсних систем [12]. Отримання дисперсних систем в сучасних умовах виробництва можливе багатьма способами, але за для подрібнення металевої складової залізофосфатної ХТС найбільш доцільним як з точки зору отримання якісного продукту, так і з економічної точки зору підходить механічний спосіб (подрібнення в млинах).

Подрібнення в кульових млинах, що обертаються, може бути самостійним способом перетворення матеріалу в порошок або додатковою операцією при інших способах отримання порошків. У кульовому млині матеріал стирається між внутрішньою поверхнею барабана і зовнішньою - кульового сегменту, між кулями і дробиться ударами. Подрібнення в кульових вібраційних млинах забезпечує швидке і тонке подрібнення. Подрібнення у вихрових млинах застосовується для пластичних матеріалів. Воно відбувається за рахунок ударних і зусиль, що стирають, які виникають при зіткненні безпосередньо подрібнюваних частинок. Струмеві млини відрізняються тим, що енергоносієм в них є газ або перегріта пара, що поступає з сопел з надзвуковою швидкістю. Млини забезпечують тонке подрібнення частинок до розмірів 1-5 мкм. Але в даному випадку їх використання не доцільне, оскільки це може викликати додаткове окиснення металевої складової. Подрібнення в планетарних млинах забезпечує тонке подрібнення важко подрібнюваних матеріалів ефективніше, ніж в млинах інших типів. У гіроскопічних млинах барабан обертається одночасно навколо горизонтальної і вертикальної осей, рух куль здійснюється аналогічно. Наведені вище дані свідчать про те, що актуальною задачею є проведення досліджень, спрямованих на визначення оптимального способу подрібнення окалини різного походження за для отримання якісного залізовмісного компоненту і, відповідно, якісних формувальних та стрижневих ХТС.

Метою роботи є визначення впливу ступеня дисперсності прокатної окалини на міцнісні властивості залізофосфатної суміші без урахування впливу інгібіторів твердіння.

Результати досліджень. Були проаналізовані проби окалини, що є вторинним матеріалом у прокатному виробництві (ВАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»), хімічний склад якої наведений в табл. 2.

Таблиця 2 - Хімічний склад окалини

№	Місце відбору проби	Хімічний склад, %
---	---------------------	-------------------

п/ п		Fe _{загальне}	Fe ₂ O ₃	FeO	Fe ₃ O ₄
1	Після нагрівальної печі	72,9	33,86	63,47	28,36
2	З дорнів	73,2	40,00	58,31	23,40
3	З кліті №5	73,4	39,00	58,47	28,82

Кожен із зразків окалини завантажувався в кульовий млин згідно з інструкцією і подрібнювався протягом 40 хвилин. Кожні 5 хвилин млин зупиняли і відбирали пробу масою 100 грамів, після чого визначався гранулометричний склад окалини в даному зразку.

При проведенні експерименту використовували кульовий лабораторний млин ЛМШ-2/30.

Загальний вигляд зразків неподрібненої окалини показаний на рис. 1.

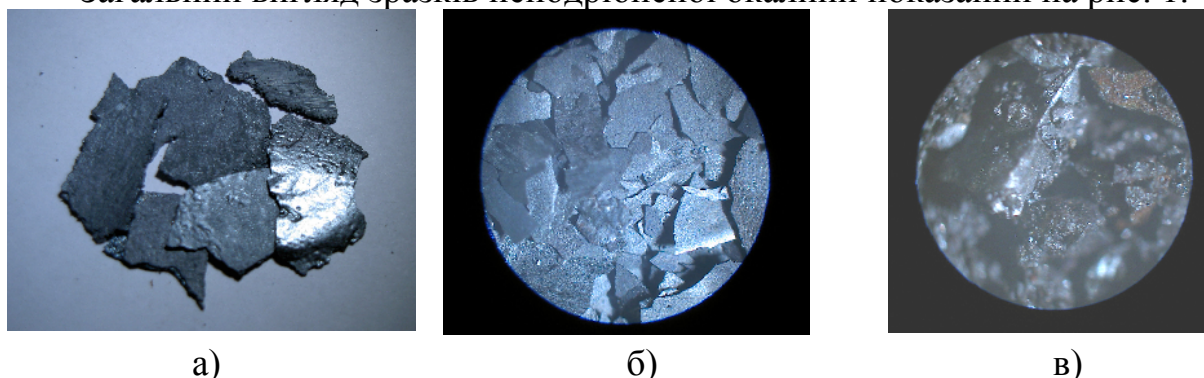


Рис.1. Загальний вигляд зразків неподрібненої окалини: а - після нагрівальної печі сортопрокатного цеху №1, х5; б - з чистової групи клітей дротового стану №1 сортопрокатного цеху №1, х24; в - з чорнової групи клітей сортопрокатного цеху №1, х24.

Визначення гранулометричного складу окалини.

Згідно з літературними джерелами загальноприйнятої класифікації за даними гранулометричного складу не існує [6]. Це пов'язано з різноманітністю цілей, задля яких визначають гранулометричний склад того чи іншого матеріалу.

Гранулометричний склад різноманітних матеріалів встановлюється стандартами і технічними умовами, які розробляються для кожного окремо взятого споживача даної сировини. Нормативний документ по визначенню гранулометричного складу окалини металургійних комбінатів на сьогодні невідомий.

Аналіз гранулометричного складу окалини після розмелення проводили згідно ГОСТ 2138-91 Формувальні кварцові піски; ГОСТ 8735-2000 Піски. Методи випробувань; ГОСТ 310.2-91 Цементи. Визначення тонкості помолу.

Розсіювання окалини виконували за допомогою ситового аналізатора СА-10 з наступними характеристиками:

- амплітуда коливань – 1,5 мм;
- частота коливань – 1500 Гц;
- кількість сит – 8 шт.

Для розсіювання використовувалися сита типу КСІ діаметром 200 мм і висотою 38 мм (ГОСТ 9758-86 і ГОСТ 8735-88) з розмірами комірок 0,16; 0,315; 0,63; 1,25; (2,5; 5; 10) мм і сито діаметром 200 мм висотою 38 мм (ТУ 36.6-2210200135-

001-2003 і ТУ 36.6-2210200134-01-2003) з розмірами комірок 0,05; 0,063; 0,1; 0,2; 0,4 мм.

Набір сит з піддоном встановлювали на піддоні аналізатора. Проба подрібненої окалини масою 100 г засипалася у верхнє сито, закривалася кришкою, а комплект сит закріплювався на площадці аналізатора.

В результаті розсіву проба окалини розподілилася між ситами і піддоном у відповідності до її фракційного складу (табл. 3).

Після закінчення процесу розсіву окалина, яка залишилася на кожному із сит, зважувалася і визначався залишок на ситі.

Для високодисперсних проб окалини за допомогою приладу Товарова Т-3 і приладу ПСХ згідно з інструкцією і у відповідності до ГОСТ 310.2-91 визначали питому поверхню.

Таблиця 3 - Гранулометричний склад окалини

№ проби	Розмір сита, мм								
	2,5	1,25	0,9	0,63	0,315	0,16	0,08	0,071	дно
Зразок № 1									
1	2,5	4,1	7,7	17,5	49,5	12,3	4,2	1,1	0,6
2	1,1	3,3	6,1	15,2	47,5	17,1	7,6	1,4	0,4
3	0	2,7	5,6	13,1	44,9	22,5	8,9	1,5	0,6
4	0	1,1	5,3	14,4	37,7	27,4	11,2	1,7	0,7
5	0	0	3,4	14,1	33,1	29,1	7,1	2,1	0,8
6	0	0	2,1	12,3	26,9	36,4	18,5	2,3	1,1
Зразок № 2									
7	4,7	6,7	8,5	18,4	38,9	16,6	4,5	1,2	0,1
8	2,3	3,7	5,9	15,4	41,8	20,3	7,8	1,3	0,7
9	1,1	2,1	5,1	14,8	38,8	23,8	11,7	1,7	0,5
10	0	1,1	4,6	15,8	35,8	25,6	13,7	1,9	0,9
11	0	0	2	16,1	37,1	26,8	15	2	0,7
12	0	0	1,5	12,9	30,7	30,2	20,1	2,7	1,1
Зразок № 3									
13	0	0	10,1	25,4	35	21,2	5,8	1,4	0,7
14	0	0	8,4	20,6	31,7	28,7	7,4	1,7	0,8
15	0	0	4,9	15,1	25,7	38,7	12,5	1,8	0,9
16	0	0	1,7	10,3	20,4	47,5	16,5	2,1	1,1
17	0	0	0	4,9	15,7	55,2	19,7	2,5	1,3
18	0	0	0	2,1	10,8	60,8	21,3	2,8	1,5

Як видно з отриманих результатів, дисперсність окалини в 2300-2500 м²/г досягається вже через 20 хвилин подрібнення в кульових млинах, що підтверджує доцільність їх використання для подрібнення металеві складові залізофосфатних ХТС. Отримані в ході експерименту результати представлені на рис. 2 – 4.

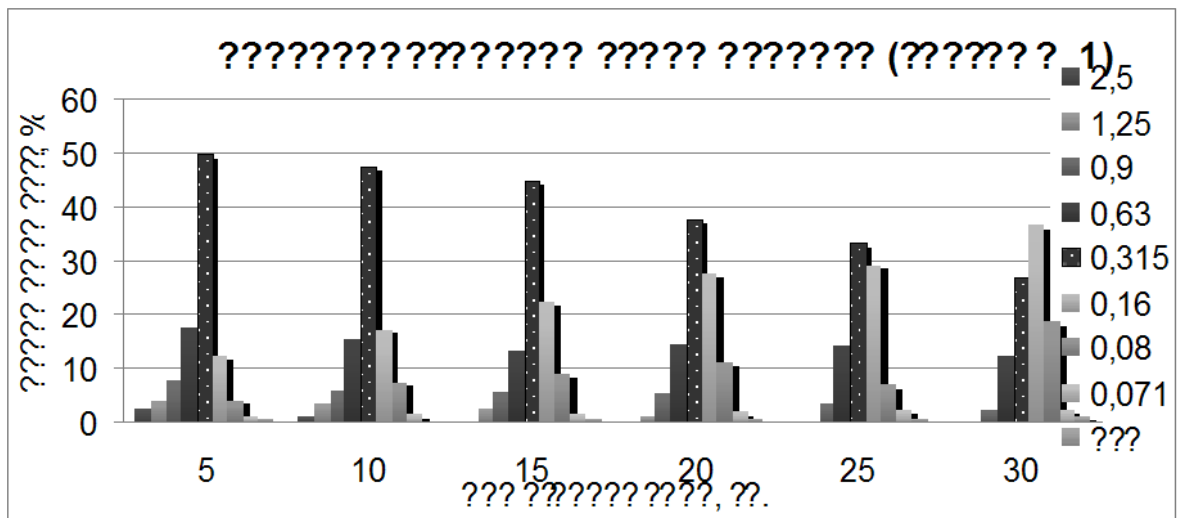


Рис. 2. Гранулометричний склад окалини першого зразка в результаті подрібнення в кульовому млині протягом 30 хвилин

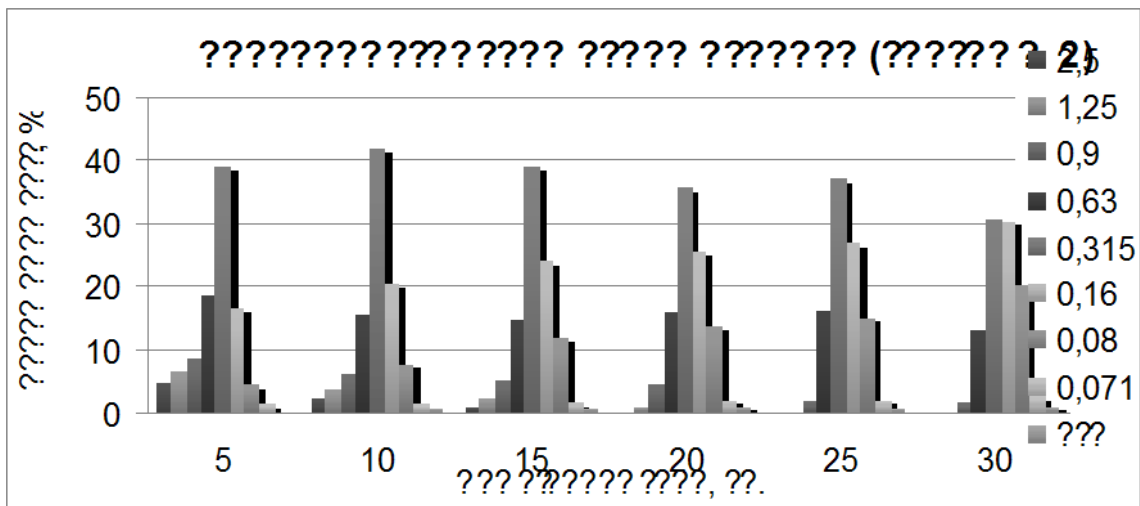


Рис. 3. Гранулометричний склад окалини другого зразка в результаті подрібнення в кульовому млині протягом 30 хвилин



Рис. 4. Гранулометричний склад окалини третього зразка в результаті подрібнення в кульовому млині протягом 30 хвилин

Визначення впливу дисперсності окалини на міцність залізофосфатної суміші.

Були проведені дослідження впливу дисперсності окалини на міцність залізофосфатної суміші. Для цього були виготовлені зразки різного складу, де в якості залізовмісного матеріалу використовувалася окалина з дорнів, розмелена за допомогою кульового лабораторного млина ЛМШ-2/30 до різного ступеня дисперсності.

Результати досліджень наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 - Залежність міцності зразків різного складу від дисперсності використаної окалини

№ зразка	Міцність на стиснення, МПа, через					
	30 хв.	1 год.	4 год.	12 год.	24 год.	48 год.
1	0,37	1,39	1,7	2,75	3,48	3,75
2	0,8	1,75	2,31	3,1	3,65	4,23
3	1,18	2,0	2,55	3,42	3,96	4,8
4	1,31	2,25	2,7	3,46	4,1	5,1
5	1,5	2,5	3,0	3,71	4,2	5,25
6	1,65	2,4	2,9	3,7	4,25	5,4

Отримані в ході експерименту результати графічно зображені на рис. 5.

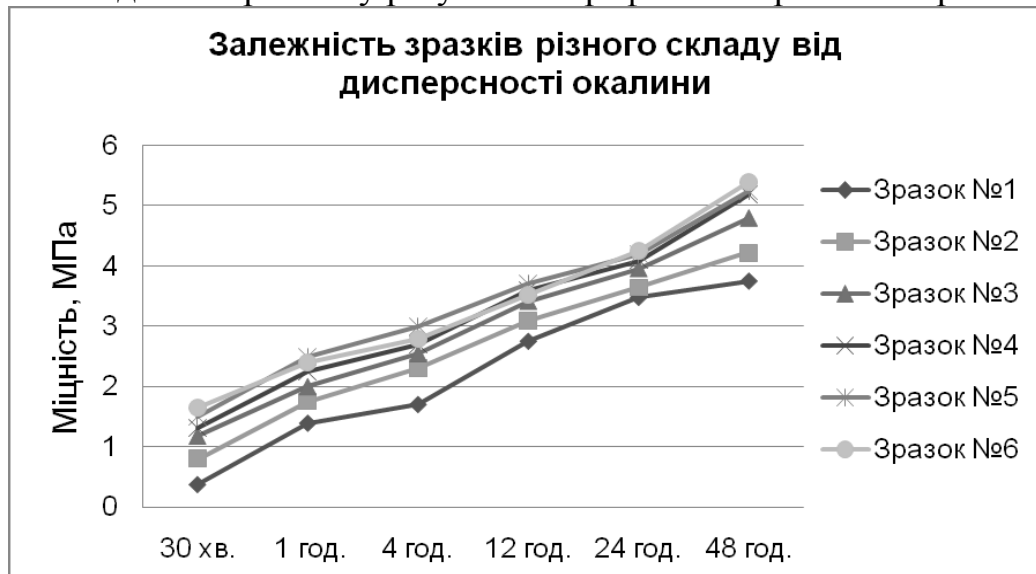


Рис. 5. Залежність міцності зразків різного складу від дисперсності використаної окалини

Як видно з рисунків 2 - 5, достатньо висока міцність зразків досягається при використанні окалини, подрібненої до питомої поверхні в 2300-2500 м²/г, що досягається подрібненням її в кульовому млині протягом 20 хвилин.

Висновки:

1. Для отримання високодисперсної залізовмісної складової залізо-фосфатної ХТС в сучасних умовах найбільш доцільним є механічний спосіб – тобто под-

рібнення в кульових млинах, оскільки він є сухим і найбільш економічно вигідним.

2. Визначений гранулометричний склад окалини після подрібнення її в кульовому млині. Питома поверхня окалини $\sim 2300 \text{ м}^2/\text{г}$ досягається вже через 20 хвилин подрібнення в кульових млинах, що підтверджує доцільність їх використання для подрібнення металеві складові залізофосфатних ХТС. При подрібненні впродовж 30 хвилин більшість маси навіски окалини зосереджується на ситі 0,071 та в піддоні.

3. Найбільш висока міцність при стисканні зразків ХТС досягається при використанні окалини, подрібненої до питомої поверхні $2300\text{-}2500 \text{ м}^2/\text{г}$ від 20 – 30 хвилин в залежності від походження.

Список літератури: 1. Минченков, А.В. Ресурсоэнергосберегающие металлофосфатные связующие материалы [Текст] / А.В. Минченков, А.А. Мороз // Литейное производство, 1995. -№4. – 39-40 с. 2. Гамов, Е.С. Высокотемпературные холоднотвердеющие связующие смеси [Текст] / Е.С. Гамов, В.В. Серебряков, Н.М. Малык // Литейное производство, 1981. -№12. –18-20 с. 3. Дорошенко, С.П. Формовочные материалы и смеси [Текст] / С.П. Дорошенко, В.П. Авдокушин, К.Н. Русин - К.: Выща шк., 1990.- 415с. 4. Хричиков, В.Е. Исследование технологических свойств фосфатных холоднотвердеющих смесей с добавками пыли аспирационной установки дробления боксита и агломерационной пыли мультициклона [Текст] / В.Е. Хричиков, І.О. Осипенко, О.М. Овчарук, В.Ю. Селиверстов, О.Л. Кисельгоф // Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск, 2001, № 5, с. 37-39. 5. Хрычиков, В.Е. Формовочные смеси для прибылей массивных отливок [Текст] / В.Е. Хрычиков, В.Ю.Селиверстов, В.Ф. Мазорчук, Ю.В. Доценко // Теория и практика металлургии. – 2004. - №6. - С.77-81. 6. Селиверстов, В.Ю. Використання золівідходів Придніпровської ТЕС в якості компоненту складів-аналогів гіпсових формувальних сумішей [Текст] / В.Ю. Селиверстов, Ю.В. Доценко, А.А. Топучканова // Теорія і практика металургії. – 2004. - №5. - С.11-13. 7. Хрычиков, В.Е. Формовочные смеси из вторичных материалов для прибылей отливок [Текст] / В.Е. Хрычиков, В.Ю. Селиверстов, В.Ф. Мазорчук, Ю.В. Доценко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. - №4. - С. 34-36. 8. Хрычиков, В.Е. Использование вторичных материалов в новых составах железифосфатных холоднотвердеющих смесей [Текст] / В.Е. Хрычиков, В.Ю. Селиверстов, Р.В. Усенко, В.Ф. Мазорчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2006. – № 3. -С. 40-42. 9. Хрычиков, В.Е., Селиверстов В.Ю., Мазорчук В.Ф., Доценко Ю.В., Усенко Р.В. Исследование основных технологических свойств железифосфатных холоднотвердеющих смесей при использовании в качестве компонента золы-уноса Приднепровской ТЭС [Текст] / В.Е. Хрычиков, В.Ю. Селиверстов, В.Ф. Мазорчук, Ю.В. Доценко, Р.В. Усенко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. - №6. - С. 27 – 28. 10. Жуковский, С.С. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей [Текст] / С.С. Жуковский, А.М. Лясс – М.: Машгиз, 1978. –224 с. 11. Матвиенко, В.А. Электрические явления и активационные взаимодействия в технологии бетона [Текст] / В.А. Матвиенко, Толчин С.М.– Макеевка: РИС; 1998. – 154 с. 12. Бибики, Е.Е. Реология дисперсных систем [Текст] / Е.Е. Бибики – Л.: ЛГУ, 1981. – 146 с.

УДК 664.3:547

А.П. МЕЛЬНИК, докт. техн. наук; проф. НТУ “ХПІ”, м. Харків
В.Ю. ПАПЧЕНКО, м.н.с., НТУ “ХПІ”, м. Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ РЕАКЦІЇ АМІДУВАННЯ НА СТУПІНЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДІЕТАНОЛАМІНУ

Проведено пошук оптимальних умов амідування соняшникової олії діетаноламіном. Досліджено вплив мольного відношення реагентів, температури і часу проведення реакції на ступінь перетворення амінного азоту в амідний. Отримано рівняння регресії, яке адекватно описує експеримент.

Search of optimal condition of amidation carrying out of sunflower seed oil by diethanolamine have been carried out. Influence of molar ratio, temperature and time of reaction on transformation ratio of amine to amide nitrogen have been investigated. Regression equation have been obtained which accurately describes experimented data.

Експериментально встановлено [1, 2, 3], що основними фізико-хімічними показниками, які впливають на ступінь перетворення діетаноламіну (ДЕА) в діетаноламід жирних кислот (ДЖК) є мольне відношення вихідних реагентів, температура і час проведення реакції. Також встановлено [1, 2, 3], що залежність ступеня перетворення ДЕА в ДЖК має складний характер. На сьогодні не знайдено рівняння, яке б описувало залежність ступеня перетворення амінного азоту в амідний у реакції амідування соняшникової олії діетаноламіном від взаємного впливу зазначених вище фізико-хімічних показників, які мають вплив на цей процес. Тому мета роботи полягає в пошуку оптимальних умов проведення процесу, а саме встановлені залежності величини ступеня перетворення від параметрів реакції амідування.

Для визначення максимального ступеня перетворення (СП) амінного азоту в амідний, вивчення впливу мольного відношення (МВ) вихідних реагентів, температури і часу проведення реакції і прогнозування перетворень у реакції амідування створено математичну модель цього процесу за планом повного факторного експерименту [4, 5], з використанням програмних пакетів Microsoft Excel і Math-Cad.

Ступінь перетворення амінного азоту в амідний (функція відгуку), у реакції прямого амідування соняшникової олії діетаноламіном, визначено за методикою [6]. В табл. 1 наведені фактори, рівні та інтервали варіювання змінних у плані експерименту вплив яких визначався на СП. Фактори, які варіювались: МВ (Z_1) – кількість г-молей ДЕА на г-моль триацилгліцеринів соняшникової олії, температура реакції (Z_2), тривалість реакції (Z_3). Матриця планування експерименту у натуральному масштабі і у безрозмірній системі координат приведена в табл. 2.

Таблиця 1. Фактори, рівні та інтервали варіювання змінних у плані експерименту

Рівні	Фактори		
	Z ₁ , моль	Z ₂ , °C	Z ₃ , год
Верхній	3	200	1
Нижній	1	160	5
Основний	2	180	3
Інтервал варіювання	1	20	2

Таблиця 2. План проведення експерименту

№	Фактори у натуральному масштабі			Фактори у безрозмірній системі координат			Ступінь перетворення
	Z ₁ , моль	Z ₂ , °C	Z ₃ , год	X ₁	X ₂	X ₃	y
1	1	160	1	-1	-1	-1	47,7
2	3	160	1	+1	-1	-1	19,8
3	1	200	1	-1	+1	-1	82,0
4	3	200	1	+1	+1	-1	71,2
5	1	160	5	-1	-1	+1	73,0
6	3	160	5	+1	-1	+1	53,5
7	1	200	5	-1	+1	+1	82,3
8	3	200	5	+1	+1	+1	63,1

Для визначення похибки експерименту на основному рівні (у центрі плану) проведено три однакових дослідження. Для перевірки значимості коефіцієнтів регресії за трьома дослідженнями у довільній точці при Z₁=2 моль, Z₂=180 °C і Z₃=3 визначено дисперсію відтворення. Значимість коефіцієнтів рівняння регресії оцінено за критерієм Ст'юдента. На підставі проведених розрахунків і після перевірки значимості коефіцієнтів, рівняння регресії у кодованих змінних приймає наступний вигляд:

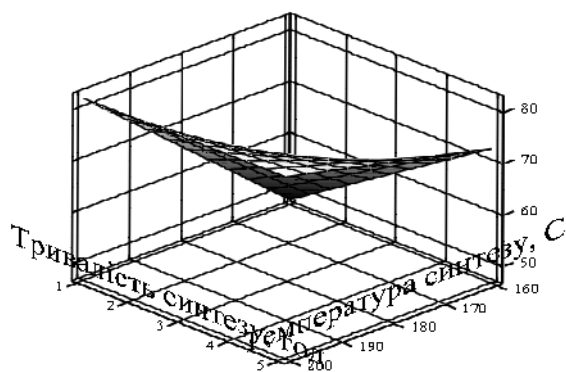
$$Y = 61,58 - 9,68 \cdot X_1 + 13,08 \cdot X_2 + 6,4 \cdot X_3 + 2,18 \cdot X_1 \cdot X_2 - 8,35 \cdot X_2 \cdot X_3 - 2,1 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (1)$$

Отже розкодоване рівняння (1) має вигляд:

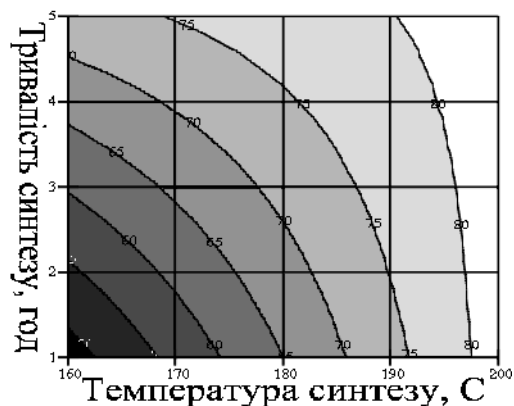
$$Y = -63,17 - 57,92 \cdot Z_1 + 0,748 \cdot Z_2 + 21,875 \cdot Z_3 + 0,268 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 9,54 \cdot Z_1 \cdot Z_3 - 0,104 \cdot Z_2 \cdot Z_3 - 0,053 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \quad (2)$$

За критерієм Фішера, отримане рівняння, згідно [4, 5] адекватно описує експеримент. З результатів експерименту видно, що згідно знакам при коефіцієнтах B₁, B₂ і B₃ необхідно збільшення температури (X₂), часу (X₃) і зниження МВ (X₁) для підвищення СП ДЕА в ДЖК. Основний вплив на СП зумовлюють температура і величина МВ, так як коефіцієнти при X₁ і X₂ найбільші. Також значний вплив має взаємодія факторів: температури та часу (коефіцієнт при X₂X₃ дорівнює 8,35).

На рис. 1 показано дві з трьох отриманих поверхонь залежності ступеня перетворення амінного азоту в амідний від тривалості і температури синтезу (при фіксованому значенні мольного відношення).

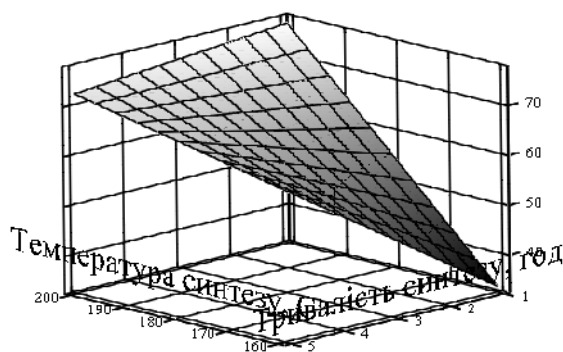


rez

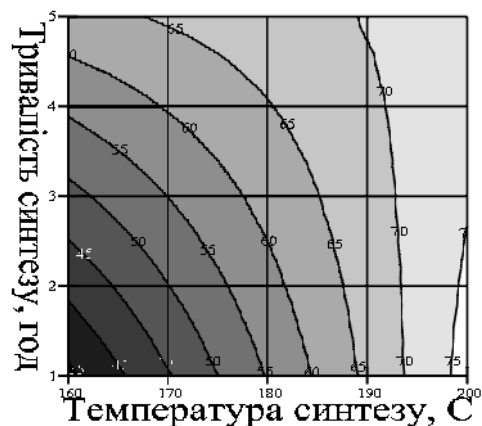


rez

а



rez



rez

б

Рис. 1 – Залежність ступеня перетворення амінного азоту в амідний від тривалості і температури синтезу при МВ 1:1 (а) і при МВ 1:2 (б)

Як видно з рис. 1 (а), на поверхні відгуку, при фіксованому третьому факторі – мольному відношенні 1, область мінімуму відповідає значенню температури синтезу 433 К і значенню тривалості синтезу 1 година (ступінь перетворення дорівнює 50 %). На поверхні відгуку точка максимуму відповідає значенню температури синтезу 473 К і значенню тривалості синтезу 5 година зі ступенем перетворення аміну 83 %.

На рис. 1 (б), на поверхні відгуку, при фіксованому третьому факторі – мольному відношенні 2, область мінімуму також відповідає значенню температури синтезу 433 К і значенню тривалості синтезу 1 година (ступінь перетворення дорівнює 25 %). На поверхні відгуку точка максимуму відповідає значенню температури синтезу 473 К і значенню тривалості синтезу 5 година зі ступенем перетворення аміну 76 %.

Висновки: Отримана статистична модель амідкування соняшникової олії діетаноламіном у вигляді рівняння регресії може бути використана для прогнозування ступеня перетворення діетаноламіну в продукти реакції в залежності від зміни таких технологічних параметрів, як мольне відношення вихідних реагентів, температура і час проведення реакції.

Список літератури: 1. Мельник А.П., Папченко В.Ю., Матвєєва Т.В. Дослідження амідування триацилгліцеринів соняшникової олії діетаноламіном // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” – Харків: НТУ “ХПІ”, 2007. – № 27. – С. 92-95. 2. Мельник А.П., Папченко В.Ю. Дослідження одержання азото-, кисеньвмісних похідних жирних кислот амідуванням соняшникової олії діетаноламіном // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” – Харків: НТУ “ХПІ”, 2010. – № 4. – С. 3-6. 3. Мельник А.П., Папченко В.Ю. Дослідження амідування діетаноламіном трипальмітину // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” – Харків: НТУ “ХПІ”, 2006. – № 43. – С. 55-58. 4. Бондарь А.П. Математическое моделирование в химической технологии. – Киев: Вища школа, 1973. – 280 с. 5. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – Л: Химия, 1975. – 48 с. 6. Мельник А.П., Папченко В.Ю., Матвєєва Т.В., Діхтенко К.М., Жуган О.А. Дослідження реакції утворення алкілкарбон-N-(дігідроксіетил)амідів // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” – Харків: НТУ “ХПІ”, 2003. – № 11. – С. 64-69.

Поступила в редколлегию 06.09.2010

УДК 331.45 (477)(094.4)

В.В. БЕРЕЗУЦКИЙ, канд. техн. наук, зав. каф., НТУ «ХПИ», г. Харьков
В.В. МАКАРЕНКО, ст. препод. НТУ «ХПИ», г. Харьков
В.В. ПАРХОМЕНКО, ст. препод. НТУ «ХПИ», г. Харьков
РАДВАН АРАФА БИССИУНИ, стажер НТУ «ХПИ», г. Харьков
Т.С. БОНДАРЕНКО, студ., НТУ «ХПИ», г. Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СО И SO₂ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ УЧАСТКЕ С ЗОНАМИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР, И РАСКАЛЕННЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ИЗДЕЛИЯМИ

Дослідження концентрацій небезпечних газів у робочому приміщенні ливарного виробництва за допомогою багатокомпонентного індивідуального сигналізатору – аналізатору газів ДОЗОР-С-М. Дослідження виконувались на базі дослідницького виробництва заводу НТУ «ХПІ».

Research of concentrations of dangerous gases in the working apartment of casting production by multicomponent individual signalizatoru - to the analyzer of gases of ДОЗОР-С-М. Researches were executed on the base of research production of factory of NTU «KhPI».

Цель исследований: изучить характер распределения уровня концентраций вредных газов и паров в зависимости от технологических процессов литья серого чугуна, как модели процессов рассматриваемых в диссертации. Оценивался уровень загазованности воздуха рабочей зоны на рабочих местах и эффективность работы вентиляционной установки. Исследование по определению уровня концентраций СО та SO₂ проводилось на опытном заводе НТУ «ХПИ» в литейном цеху.

Приборы и оборудование: сигнализатор-анализатор газов многокомпонентный индивидуальный ДОЗОР-С-М. Исследования по определению концентраций окиси углерода и сернистого газа в литейном цехе Опытного завода НТУ «ХПИ» выполнялись сигнализатором-анализатором газов многокомпонентным индиви-

дуальным ДОЗОР-С-М. Сигнализатор предназначен для автоматического периодического измерения концентраций компонентов газовой смеси в воздухе помещений и на открытых пространствах, применяется для контроля загазованности воздуха производственных объектов. Сигнализатор оснащен двумя измерительными каналами, а также фильтрами, обеспечивающими очистку анализируемой газовой смеси от пыли и влаги. Принцип действия сигнализатора заключается в обработке электрических сигналов, поступающих от чувствительных элементов. Микропроцессор производит вычисление амплитуд рабочего и опорного импульсов, их математическую обработку и вычисление концентрации измеряемого газа.

Ход эксперимента. Схема размещения производственного оборудования литейного цеха опытного завода НТУ «ХПИ», где проводились исследования концентраций вредных газов, представлена на рис. 1

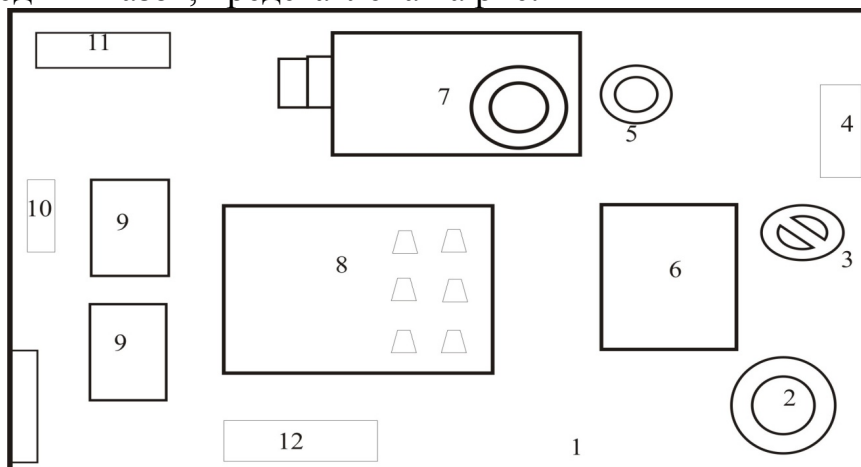


Рис. 1. Схема размещения производственного оборудования литейного цеха опытного завода НТУ «ХПИ»

1 - вход в цех, 2 – шахтная печь отжига, 3 - бегуны, 4 - стол отливок, 5 - печь разогрева ковша, 6 - металлическая шихта, металллом, 7 - индукционная печь ИСТ – 0,4, 8 - плац, 9 - формовочный участок, 10 - стержневая машина, 11 - склад моделей, 12 - место отдыха рабочих.

Цех оснащен двумя местными вытяжными установками, которые размещены над индукционной печью и ковшом подогрева.

В таблице 1 представлены измеренные фоновые концентрации CO и SO_2 в соответствии с номерами участков на рис.1.

Технологический процесс изготовления отливок в цехе начинается с подготовки модельного комплекта [1,2]: моделей или модельных плит, модельных щитков, стержневых ящиков, сушильных плит, шаблонов для проверки размеров формы и стержней, кондукторов к шаблонам для контроля правильности установки стержней в форме, опок, штырей и т.д. на рисунке 1 это участки 9 - 11. Данные участки характеризуются наличием производственной пыли в воздухе рабочей зоны, которые не превышают допустимых концентраций и общим уровнем загазованности в цеху. Смешение, помол и приготовление различных смесей для формовочного материала осуществляется на участках 2,3,4. Запыленность этих участков значительно выше, чем на предыдущих и достигает $80 - 100 \text{ мг/м}^3$, однако, уровень загазованности остается фоновым. При данном производстве фор-

мовка осуществляется ручная формовка на плацу 8. Формовочная смесь увлажняется и в холодный период года такие виды работ, которые проводятся на полу, вызывают простудные заболевания, а физические нагрузки, связанных с рабочей позой работающих, приводят, к невритам и радикулиту.

Таблица 1. Номера точек замера в литейном цехе

Наименование газов	Фоновая концентрация газов в воздухе литейного цеха, %							
	1	2	5	7	8	10	11	12
CO	2,6	2,6	2,9	5,5	2,6	2,96	2,6	3,2
SO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0

В качестве исходных материалов для получения жидкого чугуна используют чушковые литейные и передельные чугуны, чугунный и стальной лом, брикетированную стружку, ферросплавы, топливо и флюсы, которые складировуют на участке 6. Подготовленную шихту с помощью крана подают в плавильную печь 7. Для плавки чугуна применяют специальные печи-вагранки, электропечи и пламенные печи. В данном производстве установлена индукционная печь ИСТ – 0,4. Температура плавки в печи 1450°C, время плавки 2,5 часа. Рядом с индукционной печью находится печь разогрева 5, в качестве теплоносителя здесь установлена газовая горелка, температура подогрева ковша 400 °C.

Наиболее загазованными являются рабочие места на участке 5 и 7. Замеры концентраций газов в этих зонах производились в рабочем состоянии печи и подогрева ковша, в зависимости от расстояния до объекта при работающих местных вытяжных установках в автоматическом режиме анализатора газов. Сигнализатор производит 5 замеров в течение 15 минут в автоматическом режиме. Результаты замеров представлены в табл.2.

Результаты замеров показывают, что при работающих местных вентиляционных установках концентрация угарного газа находится в пределах допустимых значений только при удалении работающего на расстояние более 70 см от источника выделений вредных газов. Повышенные концентрации окиси углерода и сернистого газа на этом участке объясняются использованием в печи подогрева, в качестве топлива, природного газа [3]. Однако даже небольшие концентрации сернистого газа могут вызывать у обслуживающего персонала жжение слизистых оболочек, особенно глаз, наступающее при содержании его 0,0005% в воздухе рабочей зоны. Наблюдается взаимосвязь между частотой ОРЗ рабочих и повышением загрязнения воздуха диоксидом серы. Максимально разовая концентрация воздействия 0,5 мг/м³ [4].

Выделение сернистого газа обнаружено только на участке 5. По результатам исследований табл.3 была рассчитана математическая модель. Расплавленный металл должен быть перегрет в печи, чтобы он хорошо заполнял литейную форму. После расплавления металл сливают из печи в ковш и транспортируют на участок заливки форм. В литейном цеху эти операции проводят 3 человека, один плавщик и два заливщика. Именно они попадают в зону повышенных температур и концентраций CO и SO₂.

Таблица 2. Замеры концентрации газов на участке 5

Таблица 3. Замеры концентрации газов на участке 7

На рис. 2 представлены зоны распространения температурного концентрационного градиентов воздействующего на рабочих во время розливки серого чугуна.

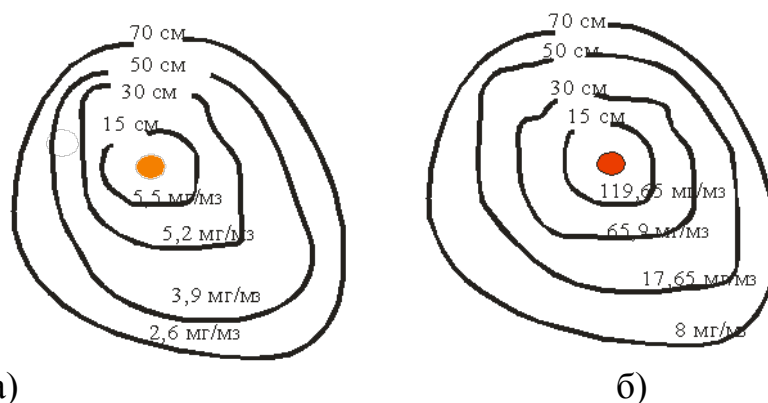


Рис.2 Схемы распределения областей СО на участках 5 и 7

а) концентрации СО на участке 7, б) концентрации СО на участке 5

После охлаждения отливки формы разрушают (выбивают) и отливки извлекают из форм. Выбивку форм производят только после остывания отливки до определенной температуры, так как при высоких температурах сплавы недоста-

точно прочны и отливка может разрушиться. Выбивку форм осуществляют на участке выбивки.

Отливки имеют литники, выпоры, иногда заусеницы и заливы металла, их поверхность может быть загрязнена пригоревшей к ней формовочной смесью. Отрезку или обрубку литников, выпоров, заусенцев, очистку поверхности отливок производят в отдельном помещении специальным инструментом, на пескосоруйных очистных барабанах.

Анализ дисперсии воспроизводимости опытов по исследованию распределения концентрации СО показал высокую степень сходимости расчетных и экспериментальных исследований. Воспроизводимость опытов проверена путем постановки параллельных опытов и определения дисперсии воспроизводимости. Для значения $\alpha = 1 - P = 0,05$ и $f = n - 1 = 2$ находим коэффициент Стьюдента $t = 0,05(2) = 4,3$. Погрешность среднего арифметического ε_0 определим по следующему выражению:

$$\varepsilon_0 = \frac{t_{0,05}(2) \cdot S_y}{\sqrt{n}} = \frac{4,3 \cdot S_y}{\sqrt{3}} = 3,04 \cdot S_y \quad (1)$$

где S_y - эмпирический стандарт, который определяется по выражению:

$$S_y^2 = \frac{1}{n_0 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{n_0} \Delta y_i^2 \quad (2)$$

где y_i - результат i -го опыта из n параллельных.

Погрешность ε и доверительный интервал отдельного измерения определим из следующего выражения:

$$\varepsilon = t_{0,05}(2) \cdot S_y = 4,3 \cdot S_y \quad (3)$$

$$y_g = y_1 \pm \varepsilon$$

Выполняли сравнение дисперсий эксперимента с помощью F-критерия.

Для этого определяли отношения большей дисперсии к меньшей:

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (4)$$

где F_0 - опытное значение F- критерия.

Задались уровнем значимости $\alpha=0,05$ и определили табличное значение F-критерия по таблице 6 [5] $F_\alpha(f_1; f_2)$, соответствующее числам степеней свободы. Для числителя $f_1 = n_1 - 1$ и знаменателя $f_2 = n_2 - 1$ (n_1, n_2 - число параллельных опытов). Исходя из этого $F_\alpha = 1$.

Математическая модель процесса распределения СО в рабочем помещении цеха имеет следующий вид:

$$Y = -52,8 + 8,665 X$$

На рис.3. показана зависимость распределения СО по цеху в зависимости от расстояния от источника выброса.

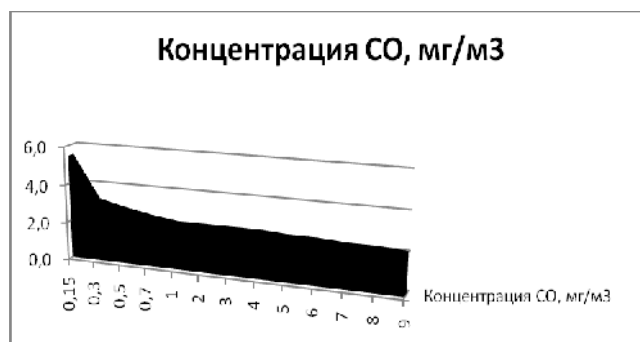


Рис. 3. Залежність розподілення CO по цеху від джерела виброса.

Висновок: отримані результати свідчать про високу ефективність роботи вентиляційних систем в цеху, які не дозволяють накопичуватися шкідливим газам в робочій зоні. При відсутності системи вентиляції або її несправності можливі захворювання працівників. В зв'язі з наявністю випадків захворювань ОРЗ працівників, при роботі печей, необхідно провести додаткові дослідження на справність систем вентиляції та її відповідність санітарним вимогам.

Список літератури: 1.Титов Н. Д., Степанов Ю. А. Технологія литейного виробництва. М., 1978, 432 с. 2. Аксенов П. Н., Обладнання литейних цехів, М., 1968. 3. Основи охорони праці Навчальний посібник. За ред. В.В. Проф. Березуцького. 2-е видання – Х.: Факт, 2007. – 480 с. 4. ГОСТ 12.1.005 – 88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Введ.01.01.89. 5. Основи наукових досліджень. Руковод.авт.кол. И.М. Глушенко. – Киев: Вища школа. Головное изд-во.1983. – 158 с.

Поступила в редколлегию 01.09.2010

УДК 666.213

О.В. САВВА, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ», м. Харків

ПЕРСПЕКТИВНІ ПОРУВАТІ КАЛЬЦІЙФОСФАТНІ СКЛОМАТЕРІАЛИ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В статті розглянуто перспективні методи одержання поруватих кальційфосфатних скломатеріалів для кісного ендопротезування. Встановлено, що використання методу дублювання полімерної матриці дозволить отримати біосумісні склокристалічні матеріали з регульованою розчинністю та відкритими каналними порами і поруватістю в межах 45 – 65 % для створення живому організмі єдиної клітинно-біоматеріальної структури.

In this paper perspective methods of porous calcium-phosphate glass materials production for bone endoprosthesis were reviewed. It was established that the use of polymer matrix duplication method permits the obtainment of biocompatible glass-ceramic with regulated solubility, open canal pores and porosity 45 – 65 % for creation of united cell-biomaterial structure in living organism.

Вступ. На сьогоднішній день найбільш актуальним є використання кісних імплантатів на основі кальційфосфатних скломатеріалів завдяки унікальності здатності зрощуватися з живою кісною тканиною [1, 2]. Нові підходи до одержання кісних ендопротезів пов'язані з тенденціями створення матеріалів подібних до кіс-

ної структури. Перспективними біоматеріалами для кісного ендопротезування нового покоління – є так звані “живі” імплантати, які характеризуються єдиною клітинно-біоматеріальною структурою. Дані матеріали одержують шляхом вирощування на біоматеріалі-підкладині живих клітин певного типу. Роль підкладки виконують біоактивні керамічні, склоподібні, склокерамічні або композиційні матеріали, структура яких сформована таким чином, що б у неї могли проникати, закріплюватися і розвиватися клітини, необхідні для формування саме того типу тканин, в контакт з якими йому доведеться працювати в живому середовищі. Проникнення кісткових клітин в матеріал підкладки можливо тільки при наявності в ньому пор розміром не менше 150 мкм. Для формування в імплантаті кровоносної системи, що підтримує життєдіяльність цих клітин, необхідно, щоб пори були відкритими і мали діаметр близько 500 мкм. [3].

Для одержання поруватих склоподібних, склокристалічних і композиційних матеріалів використовують методи традиційні для технології скла: витравлювання розчинної складової ліквуючих скляних волокон і спінювання в'язкого розплаву скломаси. Дані методи засновані на структурних особливостях ліквуючого скла і ситалу, в'язкісних параметрах скляних розплавів. При використанні першого методу отримують нано- і макропоруваті матеріали, а другого – макропоруваті з розгалуженими відкритими порами. При одержанні поруватих матеріалів за керамічною технологією з використанням методу спікання вузько-фракційних порошків отримують матеріали з поруватістю не більше 50 %. Основний недолік спікання порошків скла в присутності газоутворювача полягає в складності отримання структур з порами однакового розміру. Відомий також метод вигоряючих добавок, який заснований на застосуванні порошків або гранул органічних сполук в якості газоутворювача. Прикладом таких добавок можуть бути графітові стрижні діаметром 0,5 – 0,7 мм, які рівномірно розподіляються в відпресованій заготовці з порошку кальційфосфатного скла. При використанні методу вигоряючих добавок можна одержати структуру з двома видами пор – каналами діаметром від 540 мкм і округлими порами в міжканальному просторі розміром 30 – 140 мкм. Найбільш цікавими і перспективними для відтворення таких складних моделей з багаторівневою градієнтної структурою є золь-гель метод і лазерна технологія пошарового нарощування [3].

Одним з перспективних методів одержання «інтелектуальних» поруватих матеріалів нового покоління є застосування методу дублювання полімерної матриці. Основна перевага даного методу – можливість отримання структури з відкритою поруватістю від 90 до 95 %. Структура поруватого матеріалу (розміри пор, кількість і спосіб їх з'єднання) задає матриця з полімерної піни. У піні, як правило, присутні пори з широким діапазоном розмірів, і шлікер повинен заповнювати однаково добре і великі, і дрібні пори і при цьому утворювати однорідне по товщині покриття по всій поверхні піни [3].

Методом дублювання можуть бути отримані склоподібні, склокристалічні і композиційні поруваті матеріали, причому у разі застосування біоактивних полімерів та біоактивних порошків стадія спікання необов'язкова. Так, можна отримати композиційний матеріал з макропоруватою структурою і широким діапазоном розмірів пор (10 – 1000 мкм) та об'ємною поруватістю 70 – 95 % на основі кри-

сталічних фосфатах кальцію (наприклад ГАП), біоскла (Bioglass) або композиційний матеріал на основі порошків скла системи $\text{CaO} - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{Na}_2\text{O} - \text{MgO}$ і поруватої β -трикальційфосфатної кераміки та високо-поруватої полімерної піни – біоінертної матриці. Тим же методом отримані високопоруваті скловидні спечені матеріали на основі порошку скла Bioglass з розміром часток 5 мкм і поліуретанової піни (біоінертна матриця) шляхом термообробки при 900, 950 або 1000 °С. [3]. Ще одна модифікація методу дублювання матриці – додавання до складу шлікеру вигораючих добавки, що надає додаткову поруватість кінцевого матеріалу. Комбінацією методу вигораючих добавок і дублювання матриці отриманий біоактивний композиційний керамічний матеріал на основі шлікеру з порошків ГА, оксиду титану та полімерної піни. Досягнутий рівень поруватості $65 \pm 4\%$ діаметр пор 100 – 1000 мкм, модуль Юнга – $1,7 \pm 0,2$ ГПа, міцність при вигині – $2,1 \pm 0,3$ МПа, при стисненні 7 ± 1 МПа [4].

Відомі способи отримання поруватих матеріалів із застосуванням методу дублювання полімерної матриці на основі порошків фосфатів кальцію; суміші порошків фосфатів кальцію і стекло системи $\text{MgO} - \text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{CaF}$ або $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{P}_2\text{O}_5$; на основі порошку скла системи $\text{MgO} - \text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5$, фазовий склад якого після випалу був представлений трикальційфосфатом і діопсидом; суміші порошків гідроксіапатиту і порошків скла системи $\text{CaO} - \text{P}_2\text{O}_5$ [5].

В якості поруватої полімерної матриці в перерахованих способах застосовують переважно пінополіуретан. Метод дозволяє чітко повторювати порувату структуру полімерної матриці. Його безперечною перевагою є, то що в промисловості освоєно виробництво пінополіуретану з різним розміром і розподіл їх за розмірами, його просочення шлікерами із різних матеріалів, сушка і термообробка, яка забезпечує одержання високопроникної кераміки. У той же час при випалюванні поліуретанової матриці виділяються отруйні газы, які необхідно знешкоджувати [5].

Метою даної було одержання поруватого біосумісного склокристалічного матеріалу на основі резорбуючого скла системи $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{Li}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{TiO}_2 - \text{MgO}$.

Методика експерименту. Водопоглинання і поруватість визначали з використанням установки для насичування зразків рідиною у вакуумі і терези для гідростатичного зважування [7]. Характер поруватості та розмір пор визначали з використанням оптичного мікроскопу МІН-8.

Експериментальні результати та їх обговорення. В роботі для одержання резорбуючих біосумісних склокристалічних матеріалів була обрана система $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{Li}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{TiO}_2 - \text{MgO}$, синтезовано 11 модельних стекло та досліджено їх кристалізаційну здатність [8].

Для одержання поруватого біосумісного склокристалічного матеріалу було обрано метод дублювання полімерної матриці. Метод складається з стадії вибору матриці, складання шлікеру, заповнення ним матриці, сушки зразку композиту та спікання склоподібної основи шлікеру одночасно з випалюванням полімерної матриці. У якості матриці нами було обрано полімерний матеріал – губка. У якості наповнювача – резорбуючі модельні стекла № 9, 11, які характеризуються наявністю значної кількості NaCaPO_4 після варіння та $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ після термооб-

робки. Для якісного просочування матриці скломатеріалом нами було одержано шлікер з густиною $1,5 \text{ г/см}^3$. Для підвищення міцності шлікеру до його складу було додатково введено 3 мас. % триполіфосфату натрію та 10 мас. % діоксиду циркону для підвищення міцності композиту. Сушіння зразків тривало 1 годину при температурі $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Термообробка композиту з метою випалювання полімерної матриці та кристалізації гідроксіапатиту була проведена при температурі $1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

За результатами дослідження поруватості та водопоглинання зразків встановлено, що найвищими показники відповідно 65 % та 49 % характеризується скло № 9 з вмістом діоксиду циркону 10 мас. %. Високі показники вказаного зразку пов'язані в першу чергу з високою кристалізаційною здатністю скла після термообробки. Тугоплавкість фосфатів кальцію та діоксиду циркону перешкоджає оплавленню скломатриці під дією високих температур, тим самим зберігаючи порувату структуру полімерної матриці в композиті.

Також було досліджено розчинність дослідних зразків в дистильованій воді, фізичному розчині та альбуміні. Найвищими показниками розчинності близько 0,8 – 1 % характеризуються дослідні зразки після витримки в фізичному розчині та альбуміні, що пов'язано з підвищенням агресивності середовища. Було встановлено, що розчинність зразку підвищується зі збільшенням показника його поруватості та водопоглинання.

З використанням оптичного мікроскопу нами були зроблені знімки поверхні одержаних зразків. На фотографіях спостерігаються відкриті каналні пори розміром від 125 до 750 мкм (рис).

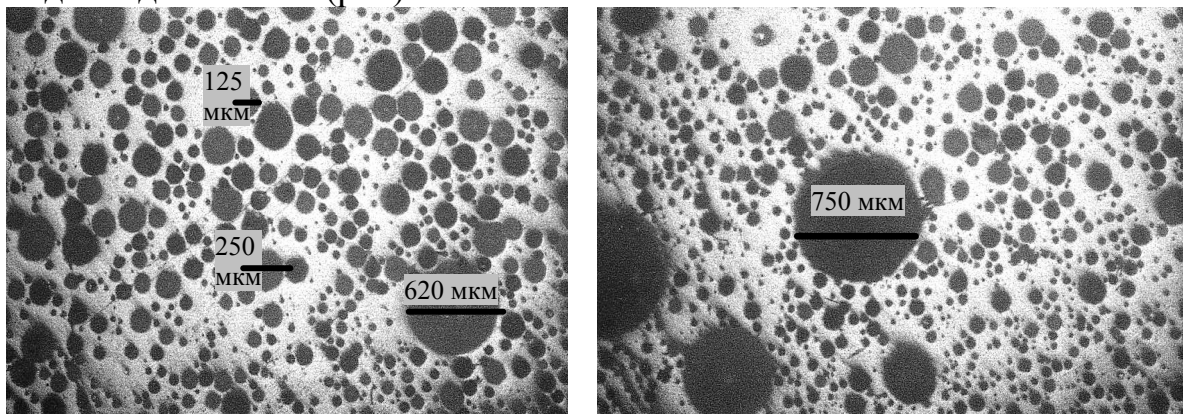


Рис. Знімки поверхні одержаних зразків

Висновки. За результатами проведених досліджень було встановлено перспективність застосування методу дублювання полімерної матриці для одержання поруватих імплантів для кісного ендопротезування. Наявність розвинутої поруватості дослідних зразків в межах 45 – 65 % та відкритих каналних пори розміром від 125 до 750 мкм. дозволить створити в живому організмі єдину клітинно-біоматеріальну структуру та забезпечить високу біосумісність розробленого матеріалу.

Список літератури: 1. Саркисов П.Д. Направленная кристаллизация стекла – основа получения многофункциональных стеклокристаллических материалов. - М.:РХТУ им. Д.И.Менделеева, 1997. – 218 с. 2. Путляев В. И. Современные биокерамические материалы / В. И. Путляев // Соросовский образовательный журнал. – 2004. – Том 8. – №1. – С. 44 – 50. 3. Пористые материалы на основе стекла / [Саркисов П. Д., Строганова Е.Е., Михайленко Н.В., Бучилин Н.В.] //

Стекло и керамика. – 2008. – №10. – С. 13 – 16. 4. Мaстрюкова Д.Л. Стеклокерамика с регулируемой пористой структурой для медицины / Д.Л. Мaстрюкова, Б.И. Белецкий, О.В. Полухина // Стекло и керамика. – 2007. – № 4. – С. 23 – 26. 5. Пористые материалы на основе фосфатов кальция / [Беляков А.В., Лукин Е.С., Сафронова Т.В., Сафина М.Н., Путляев В.И.] // Стекло и керамика. – 2008. – №10. – С. 17 – 19. 6. Бучилин Н.В., Строганова Е.Е. Спеченные стеклокристаллические материалы на основе кальций-фосфатных стёкол // Стекло и керамика. – 2008. – № 8. – С. 8 – 11. 7. Лукин Е.С. Технический анализ и контроль производства керамики / Е.С.Лукин, Н.Т. Андрианов. М. : Стройиздат, 1986. – С.162 – 167. 8. Саввова О.В. Проблемы синтеза стекол систем $R_2O - RO - RO_2 - P_2O_5 - SiO_2$ / О.В.Саввова, Л.Л.Брагіна // Вопросы химии и химической технологии. – 2007. – № 4. – С. 1 – 7.

Надійшла до редколегії 10.09.10

УДК 553.587

В.Ф. МОЇСЄЄВ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», м. Харків

О.М. ФІЛЕНКО, асистент НТУ «ХПІ», м. Харків

А.Ю. МАСІКЕВИЧ канд. техн. наук, доц. Чернівецький філіал НТУ «ХПІ»

ВЗАЄМНИЙ ВПЛИВ ГІДРОДИНАМІЧНИХ І СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ВИСОТУ ГАЗОРІДИННОГО ША- РУ В КОМБІНОВАНОМУ КОНТАКТНОМУ ПРИСТРОЇ

В статті досліджено роботу комбінованого контактного пристрою що працює в режимі підвищеної турбулізації і складається із регулярної рулонної насадки в комбінації із провальними дірчастими тарілками. Розглянуто вплив швидкості руху газу, щільності зрошення, площі вільного перетину решіток та діаметру решіток на висоту газорідного шару. По результатам дослідження виведена розрахункова формула.

В статье исследовалась работа комбинированного контактного устройства которое работает в режиме повышенной турбулизации и состоит из регулярной насадки в комбинации с провальными дырчатыми тарелками. Рассмотрено влияние скорости газа, плотности орошения, площади свободного сечения и диаметра решеток на высоту газожидкостного слоя. По результатам исследования выведена расчетная формула.

У зв'язку з тим, що за останні роки чітко визначився напрямок, пов'язаний з впровадженням екологічно-чистих, високоефективних та не енергоємних технологій, постає питання що до вдосконалення та інтенсифікації уже існуючих дифузійних та подібних до них процесів в інтенсивних режимах розвинутої турбулентності при великих швидкостях газу та рідини. До апаратів що працюють в таких режимах відносяться пінні апарати, насадочні емульгаційні колони, швидкісні масообмінні апарати і подібне обладнання, що дозволяє різко підвищити отримання продукції з одиниці об'єму апарату. Саме турбулізація газорідної системи призводить до збільшення інтенсивності масообмінних апаратів.

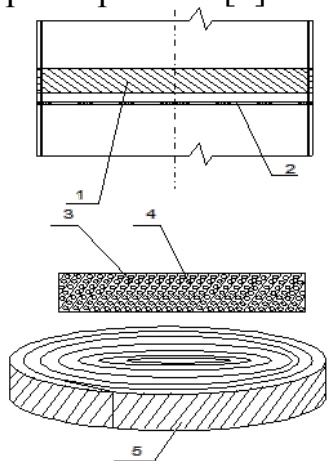
При дослідженні роботи комбінованого контактного пристрою (мал.1) що працює в режимі підвищеної турбулізації і складається із регулярної рулонної насадки в комбінації із тарілками з малими отворами $d_e = 0,005$ м та вільним перетином $S_0 = 0,195$ м²/м², при $w_z = 5$ м/с, та зрошенням $L_0 = 5$ м³/м²год ми спостерігали не значну висоту піни $H = 140-160$ мм. При застосуванні насадки, вдалося отримати однорідну, високотурбулизовану структуру. Це було досягнуто за рахунок скручування газових та рідинних потоків і відповідно рівномірного розподілу по

всій площі перетину апарату, нівелювання розгойдування газорідинного шару, що в свою чергу призвело до зменшення бризків та збільшення поверхні теплома-сообміну.

Дослідження показали, що висота піни в комбінованому контактному пристрої більша ніж на звичайних тарілках при тотожних параметрах.

В дослідженнях авторів [1,2] показано, що залежність $H = f(L_0)$ на решітках із стабілізатором газорідинного шару у вигляді квадратних сот виражається лінією, що йде симбатно такій же лінії аналогічній залежності без стабілізації шару. Його застосування ефективно при малих щільностях зрошення. Також відмічається, що важливий вплив на висоту піни відіграють вільний перетин решітки та її еквівалентний діаметр.

Так, в промисловості за останні десятиліття все частіше застосовувалися тарілки з діаметром $d_e = 0,02 - 0,120$ м. Це можливо пояснити тим, що при введенні стабілізатора піни появляється ефект повторного піноутворення. Висота піни сягає 800-1000 мм у порівнянні із звичайною висотою 200-300 мм. Також покращується структура піни, що призводить до збільшення поверхні контакту фаз за рахунок появи циркуляційних складових газорідинних агрегатів, що рухається з великим прискоренням [1].



Малюнок 1. – Загальний вигляд комбінованого контактному пристрою з насадкою Н1: 1 – регулярна насадка, 2 – дірчаста провальна тарілка, 3 – гофрована перфорована смуга, 4 – отвори, 5 - регулярна насадка.

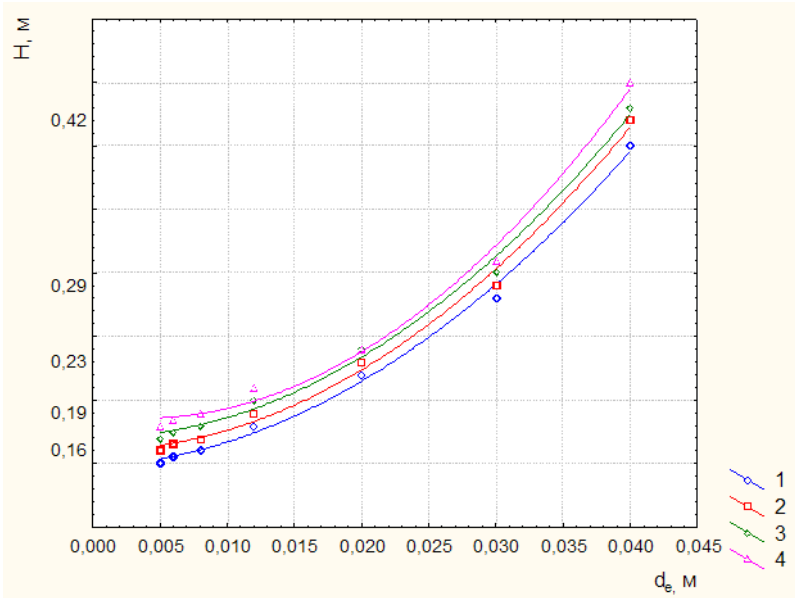
Також необхідно підкреслити, що близько біля площини решітки постійно існують складові з визначеним рухом вихрів. Недоліком роботи таких тарілок є те, що при роботі спостерігається значне бризковіднесення, розгойдування пінного шару, нерівномірний розподіл піни по площині перетину всього апарату.

Для дослідження висоти газорідинного шару в комбінованому контактному пристрої застосовувалась насадка Н1 із такими параметрами на основі попередньо проведених дослідів: висота блоку 50 мм, кут нахилу гофру 45°, кут між гранями гофру 95°, висота грані гофру 30 мм.

При дослідженні комбінованого контактному пристрою із провальними дірчастими тарілками діаметром $d_e = 0,005$ м, 0,012 м та 0,04 м при $S_0 = 0,26$ м²/м можна бачити таку залежність (див. Мал.2).

Відомо, що над площиною решітки в зоні отворів утворюються повітряні подушки висотою до 30 мм, котрі при подальшому прониканню струменя в рідку фазу починають розбиватися. В ядрі струменя має місце інверсія фаз. Спостерігається сильне повздовжнє переміщення, котре обумовлене існуванням не однієї конвективної складової по висоті, а декількох. При цьому утворення та розпадання складових відбувається постійно.

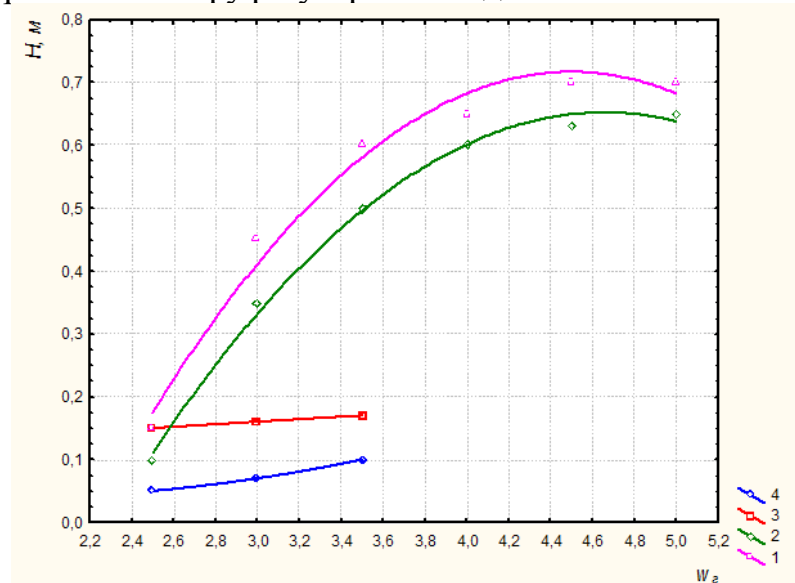
Це обумовлено високою швидкістю газу та нестійкістю газорідинного шару.



Малюнок 2. – Залежність висоти піни від діаметру отворів решітки:
 1 - $w_z=3$ м/с, $L_0 = 7$ м³/м²год, 2 - $w_z=3$ м/с, $L_0 = 10$ м³/м²год,
 3 - $w_z=4$ м/с, $L_0 = 7$ м³/м²год, 4- $w_z=4$ м/с, $L_0 = 10$ м³/м²год.

На мал.2 видно, що завдяки збільшенню розміру отворів в решітці та розташуванню регулярної насадки висота піни збільшується до 400-500 мм.

На мал. 3 зображена залежність висоти піни від швидкості газу при застосуванні в якості стабілізатора пінного шару регулярної насадки та без нього.

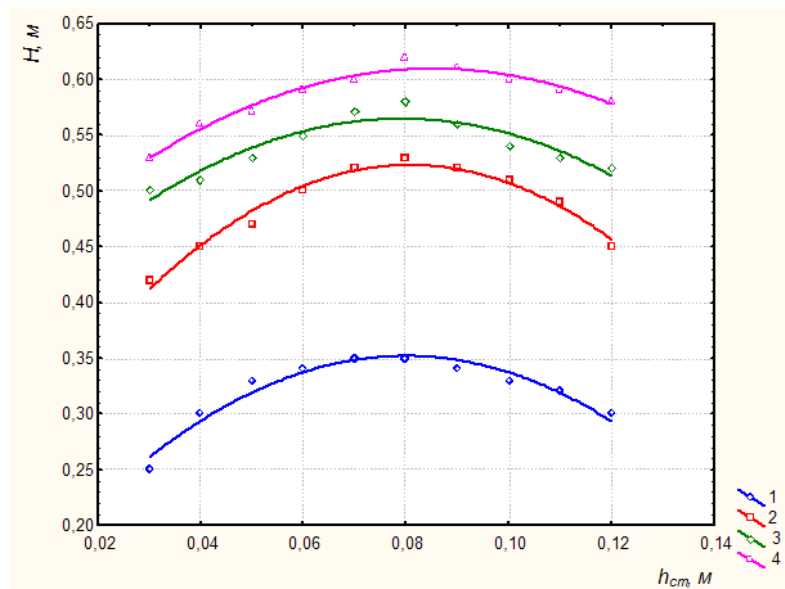


Малюнок 3. – Залежність висоти пінного шару від швидкості газу в повному перетині апарату при застосуванні регулярної насадки (1,3) та без неї.

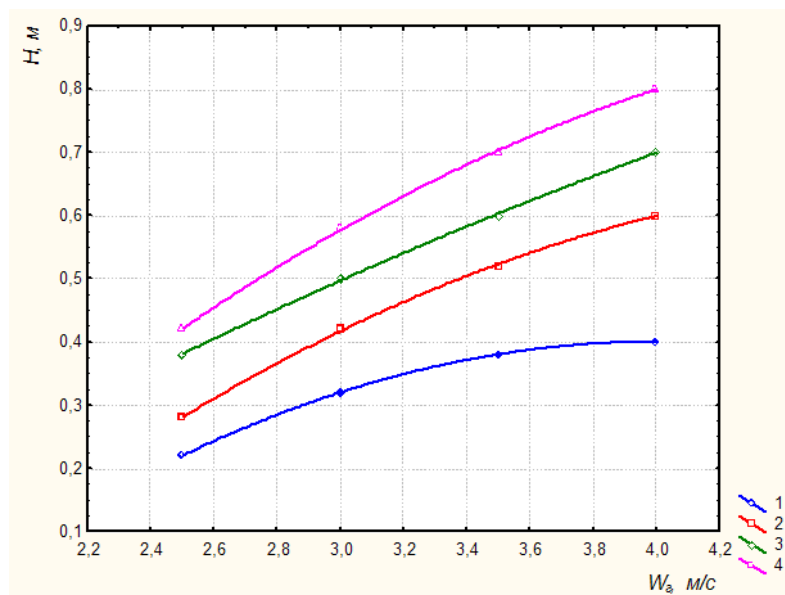
1,2 - $S_0 = 0,33$ м²/м²; $d_e = 0,04$ м, 3,4 - $S_0 = 0,195$ м²/м²; $d_e = 0,005$ м.

В залежності від висоти розташування насадки над полотном тарілки утворюється та чи інша висота піни. Для тарілок із отворами d_e від 0,012 – 0,04 м встановлено, що найкраще насадку розташовувати на відстані 0,075-0,085 м над полотном тарілки, що показано на мал.4.

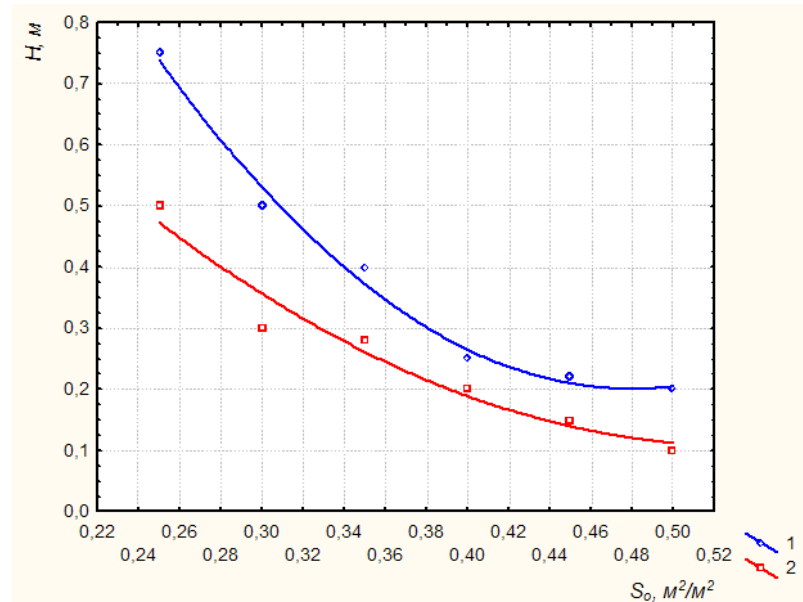
При збільшенні щільності зрошення і швидкості газу в комбінованому контактному пристрої спостерігалось збільшення висоти піни, як показано на малюнку 5, а при збільшенню вільного перетину – зменшувалась (див. Мал. 6).



Малюнок 4. – Залежність висоти пінного шару від розташування насадки над полотном тарілки: $S_0 = 0,33 \text{ м}^2/\text{м}^2$; $d_e = 0,04 \text{ м}$, $L_0 = 2 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{год}$;
 w_c : 1 - 2 м/с, 2- 2,5 м/с, 3 – 3 м/с, 4 – 3,5 м/с.



Малюнок 5. – Залежність висоти пінного шару від швидкості газу в повному перетині апарату:
 $S_0 = 0,33 \text{ м}^2/\text{м}^2$; $d_e = 0,04 \text{ м}$;
 L_0 : 1 – 3 $\text{м}^3/\text{м}^2\text{год}$, 2 - 5 $\text{м}^3/\text{м}^2\text{год}$, 3 – 10 $\text{м}^3/\text{м}^2\text{год}$, 4 – 15 $\text{м}^3/\text{м}^2\text{год}$.



Малюнок 6. – Залежність висоти пінного шару від вільного перетину решітки:
 $w_2 = 3 \text{ м/с}$; $d_e = 0,04 \text{ м}$; L_0 : 1 – $15 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{год}$, 2 – $5 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{год}$

Отже, в результаті проведених досліджень встановлено, що висота пінного шару в комбінованому контактному пристрої залежить від діаметру отворів, швидкості газу, площі вільного перетину та щільності зрошення і виражається такою залежністю:

$$H = 470,3 \times 10^{-4} \cdot \omega_a^{1,5} \cdot L_0^{0,35} \cdot d_a^{0,8} \cdot S_0^{-2,15} \quad (1)$$

Список літератури: 1. Л.Л. Товажнянский, В.Ф. Моисеев, В.Б. Байрачный, В.П. Шапоров. Интенсивные аппараты со стабилизированным слоем пены для очистки отходящих газов: Монография. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2003. 228 с. 2. Э.Я. Тарат, И.П. Мухленов, А.Ф. Туболкин, Е.С. Тумаркина. Пенный режим и пенные аппараты. Л., „Химия”, 1977, 304 с.

И.Н. ДЕМИДОВ, доктор технических наук, проф., НТУ “ХПИ”, г. Харьков
О.В. БЕЛОУС, студент, НТУ “ХПИ”, г. Харьков
А.И. СОКОЛ, аспирант, НТУ “ХПИ”, г. Харьков

ПОЛУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИИ ЭТИЛОВЫХ ЭФИРОВ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ С ПОДСОЛНЕЧНЫМ МАСЛОМ

У статті розглядається спосіб одержання харчових поверхнево-активних речовин за допомогою процесу переетерифікації харчових жирів з продуктами етерифікації молочної кислоти та абсолютного етилового спирту. Проаналізовані результати експерименту. Досліджені властивості отриманих продуктів вивченням стійкості емульсій на їх основі.

В статье рассматривается способ получения пищевых поверхностно-активных веществ с помощью процесса переэтерификации пищевых жиров с продуктами этерификации молочной кислоты и абсолютного этилового спирта. Проанализированы результаты эксперимента. Исследованы свойства полученных продуктов изучением стойкости эмульсий на их основе.

В настоящее время производство поверхностно-активных веществ (в том числе и пищевых) очень актуально и занимает значительный объем среди продуктов «малой химии». Доля таких продуктов каждый год растет, что обусловлено широким диапазоном действия пищевых поверхностно-активных веществ и их применимостью во многих отраслях промышленности. В пищевой индустрии они используются при производстве маргарина различной жирности и функционального назначения (в качестве эмульгатора), в молочной промышленности, в хлебопечении, при производстве мороженого, при производстве кондитерских изделий, в сахарной промышленности (уменьшают пенообразование на разных стадиях производства и интенсифицируют процесс), в пищевконцентратной отрасли и т.д. [1,2]. Наряду с этим пищевые поверхностно-активные вещества применяют и в непищевых производствах: косметическом производстве, в медицине и других.

Такая широкая применимость связана с многогранностью действия поверхностно-активных веществ. Будучи дифильными соединениями, они отвечают за взаимораспределение фаз, которые смешиваются, за консистенцию продукта, его пластичность, вязкость, органолептические свойства. Применение пищевых поверхностно-активных веществ позволяет интенсифицировать технологические процессы, улучшить качество продукции и снизить её себестоимость.

В Украине сейчас нет достаточно мощных предприятий, выпускающих пищевые ПАВ, а производство моноацилглицеролов и их производных отсутствует вообще. Поэтому все отечественные предприятия масложировой, и ряда других промышленности, вынуждены закупать их у зарубежных производителей по достаточно высокой цене.

Представляется обоснованным и целесообразным разработать новые, достаточно простые методы получения пищевых ПАВ на основе ацилглицеролов, с последующим внедрением их в производство. Существующий процесс получения моноацилглицеролов (МАГ) и их производных, включающий в себя глицеролиз жира, последующую молекулярную дистилляцию и химические процессы получения производных МАГ, технологически сложен и требует значительных затрат.

На кафедре технологии жиров и бродильных производств Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» изучаются альтернативные методы получения таких пищевых ПАВ.

На данном этапе исследований была установлена возможность и технологическая целесообразность получения пищевых ПАВ методом алкоголиза жиров этиловым спиртом. Полученный продукт алкоголиза может быть использован как эмульгатор второго рода, например, при производстве маргарина, после отгонки этанола и без дальнейшего разделения на индивидуальные вещества [6]. Отсутствие необходимости разделения на индивидуальные компоненты и использование смеси значительно удешевляет производство, принося прибыль. Были проведены работы по определению поверхностно-активных свойств продуктов алкоголиза пальмового стеарина с этиловым спиртом, полученных при повышенных температурах; установлено влияние различных факторов (количество вводимого в реакцию этилового спирта, температура процесса) на содержание моноацилглицеролов в продукте. Были проведены работы по исследованию реакции получения бутиловых эфиров лимонной кислоты и исследование поверхностно-активных веществ на их основе. Исследованы поверхностно-активные свойства продуктов переэтерификации этиловых эфиров лимонной кислоты с пищевыми жирами [7].

Актуальность этих исследований очевидна, так как разработка отечественных поверхностно-активных веществ такого типа позволит снизить себестоимость продукции. Помимо этого, для того чтобы выдержать конкуренцию и удовлетворить самые высокие потребительские запросы, необходимо получить эмульгатор который бы обеспечивал заданные свойства продукции, а также обладал физиологической ценностью.

В свете этого было выбрано направление для дальнейших исследований. Целью этого исследования является изучение свойств поверхностно-активных веществ, полученных в результате реакции переэтерификации подсолнечного масла и этиловых эфиров молочной кислоты.

Это направление раньше не изучалось, поэтому является новым. Весьма важным преимуществом новой технологии является то, что процессы этерификации и переэтерификации не требуют нового оборудования. Ряд заводов Украины с успехом применяет реакцию переэтерификации как в химическом, так и в ферментативном вариантах. Экономическая целесообразность обусловлена снижением затрат отечественных предприятий, которые освоив предлагаемую технологию сами смогут производить пищевые ПАВ для своих нужд, а не закупать их по высокой цене за рубежом.

Сначала необходимо было получить этиловые эфиры молочной кислоты, а затем провести реакцию переэтерификации этих эфиров с жиром. Для проведе-

ния реакции этерификации был взят абсолютный этиловый спирт. Его выбор обусловлен относительно невысокой стоимостью и возможностью использования его в пищевых целях. Также была взята молочная кислота. Так как молочная кислота выпускается с концентрацией 80 %, перед началом эксперимента влага была удалена отгонкой с циклогексаном, который образует азеотропную смесь с водой в соотношении 91,6 % циклогексана к 8,4 % воды. Такой азеотроп кипит при температуре 69 °С. После удаления влаги, растворитель полностью отгоняли.

Реакция этерификации молочной кислоты абсолютным этиловым спиртом проводилась при температуре 75 °С для предотвращения кипения спирта. Компоненты были взяты в массовом отношении ~1:2 (кислота к спирту). Катализатор в реакции не использовался в связи с тем, что молочная кислота достаточно сильная кислота и сама может выступать катализатором реакции при её неполном израсходовании. Кинетика реакции исследовалась с помощью проверки кислотного и эфирного чисел по известным методикам [4,5]. Результаты проверки приведены на рисунках 1 и 2.



Рис. 1 - Изменение кислотного числа во время протекания реакции этерификации молочной кислоты этиловым спиртом

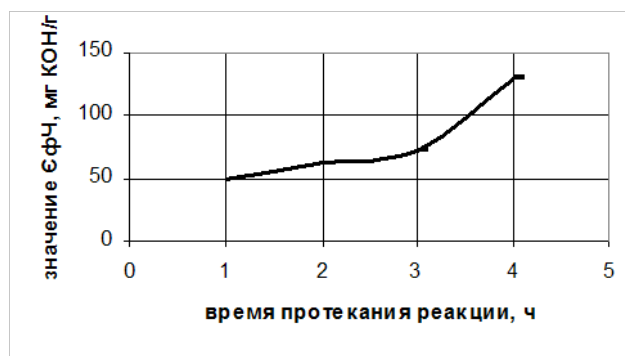


Рис. 2 - Изменение эфирного числа во время протекания реакции этерификации молочной кислоты этиловым спиртом

Как видно из графиков, реакция не проводилась до полного израсходования молочной кислоты, т.к. она выступала катализатором, однако рост эфирного числа свидетельствует о том, что реакция этерификации прошла (~ на 85%) и был получен этиловый эфир молочной кислоты. На последующих стадиях продукт реакции без разделения на компоненты использовался для реакции переэтерификации.

Был проведен полный факторный эксперимент переэтерификации этиловых эфиров молочной кислоты с подсолнечным маслом. Для исследований использовалось масло подсолнечное рафинированное дезодорированное вымороженное марки «П». Соотношение подсолнечного масла к продуктам этерификации 1:2. В качестве катализатора использовалась алкилбензолсульфо кислота.

Данные эксперимента приведены в таблице.

Таблица. План проведения эксперимента и полученные результаты

№ образца	z1, ч	z2, °С	y1, %	y2, %	Y _{ср2} , %
1	3	80	81	95	88
2	3	130	93	89	91

3	7	80	69	65	67
4	7	130	83	85	84
5	5	105	60	51	55.5

В качестве факторов варьирования были выбраны: время проведения реакции (z_1 , ч), температура проведения реакции (z_2 , °С). Как функция отклика исследовалась стойкость водно-жировой эмульсии (y , %), полученной с применением продуктов реакции в качестве эмульгатора.

Уравнение зависимости стойкости эмульсии от начальных параметров имеет вид:

$$y = 80,925 - 3,625z_1 + 0,19z_2$$

Полученное уравнение адекватно описывает исследуемые зависимости, что доказано данными статистического анализа, выполненного в соответствии с [3], а также результатами проверочных экспериментов.

Среди рассмотренных образцов эмульгаторов, наилучшим оказался тот, который был получен при температуре 130 °С и продолжительности реакции 3 часа (образец 2). Система «вода – масло», приготовленная с добавлением данного образца эмульгатора обладает высокой стойкостью.

Безусловно, необходимо уточнять свойства и сферы применения нового эмульгатора, совершенствовать его технологию, но, совершенно понятно, что такой путь получения эмульгатора прост, дешёв, а потому перспективен, и может быть осуществлён на всех отечественных предприятиях использующих процесс переэтерификации.

Выводы.

В результате выполненной работы можно сделать такие выводы:

- установлена возможность получения пищевых ПАВ методом переэтерификации пищевых растительных жиров с продуктами этерификации молочной кислоты и абсолютного этанола;
- результаты свидетельствуют о возможности получения и применения отечественными предприятиями новых пищевых ПАВ взамен импортных.

Список литературы: 1. Л. Ю. Прокофьева, В. А. Панкратов. Использование биоприоритетных ПАВ в пищевых отраслях промышленности // *Масла и жиры*, 2002. - № 4. – С. 1-2. 2. Л. Ю. Прокофьева, В. А. Панкратов. Использование биоприоритетных ПАВ в пищевых отраслях промышленности // *Масла и жиры*, 2002. - № 5. – С. 1-2. 3. Планирование эксперимента в химической технологии (основные положения, примеры и задачи) / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха. – К.: Издательское объединение «Вища школа», 1976. – 184 с. 4. ДСТУ 4350:2004. Олії. Методи визначення кислотного числа. 5. ДСТУ ISO 3657:2004 Жири тваринні і рослинні та олії. Визначення числа омилення. 6. Демидов И.Н. Использование реакции алкоголиза для получения пищевых поверхностно-активных веществ / И.Н. Демидов, А.И. Златкина // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. – 2007. – № 27. – С. 87–92. 7. Демидов І.М. Дослідження поверхнево-активних властивостей продуктів переетерифікації етилових естерів лимонної кислоти із харчовими жирами / І.М. Демидов, Г.І. Златкіна // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – 2008. – № 43. – С. 42 – 46.

Поступила в редколлегию 01.09.2010

УДК 664.3:547

А.П. МЕЛЬНИК, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», г. Харків
С.О. КРАМАРЕВ, аспірант, НТУ «ХПІ», г. Харків
В.А. РУДНЄВ, аспірант, НТУ «ХПІ», г. Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ АЛКІЛІМІДАЗОЛІНІВ З РІПАКОВОЇ ОЛІЇ

Проведено дослідження по отриманню алкілімідазолінів амідуванням ріпакової олії 2-гідроксіетилетилендіаміном. Для отриманих реакційних мас досліджено ІЧ-спектри. Показано, що до складу реакційних мас входять первинні та вторинні аміді імідазоліни, а також аміноестери. Встановлено тенденції зміни площ смуг амідів та імідазолінів з часом реакції.

Investigations on obtaining of alkylimidazolines by amsdation of rapeseed oil by 2-hydrohyethylethy-lendiamine have been carried out. IR spectrum of reaction masses have been investigated. Showed that reaction masses contains primary and secondary amides, imidazolines and aminoesters. Changes of peaks square for amides and imidazolines have been retraced.

Алкілімідазоліни – неіоногенні поверхнево-активні речовини, які використовуються в різних галузях промисловості. Завдяки вмісту двох атомів азоту в своїй молекулі алкілімідазоліни здатні добре адсорбуватися на негативно заряджених поверхнях, що і зумовлює їх широке використання. Їх використовують як інгібітори корозії, компоненти миючих засобів, домішки до дорожніх бітумів, емульгатори, біоциди та ін. [1]. Алкілімідазоліни здатні легко реагувати з кислотами, утворюючи солі, які в свою чергу є катіоноактивними ПАР [2]. Попередніми дослідженнями [3] які спрямовані на пошук оптимальних умов отримання моноацилгліцеринів, показано, що в умовах їх одержання утворюються моно- та діаміді жирних кислот, які є проміжними сполуками [2] при синтезі алкілімідазолінів. А тому дослідження утворення алкілімідазолінів з олій та жирів є актуальними.

Мета роботи полягає в дослідженні змін компонентного складу реакційних мас в реакції амідування тригліцеринів ріпакової олії амінами, а предмет ІЧ-спектри реакційних мас.

Як реагенти використано 2-гідроксіетилендіамін (виробництво Merck, Німеччина, масова доля основної речовини 99,0 %, вологи 0,5 %) та ріпакова олія згідно ГОСТ 8988 (середня молекулярна маса олії 894,15 г/моль, кислотне число – 1,5 мг КОН/г, вміст вологи – 0,05 %).

Як об'єкт дослідження використано реакційні маси, що одержано при взаємодії ріпакової олії з аміном в умовах інтенсивного перемішування при температурі 140°C впродовж 8 годин у присутності каталізатору. Предмет дослідження ІЧ-спектрограми реакційних мас. ІЧ-спктри отримано на спектрометрі Nicolet 380. Для одержання спектрів зразок реакційної маси тонким шаром наносили на «таблетку» з KBr, яку закріплювали в спектрометрі та знімали спектр.

Один з ІЧ-спектрів приведено на рисунку 1, в якому чітко проявляються смуги поглинання при 1640 см⁻¹, 1550см⁻¹. В дослідженнях алкілімідазолінів [2], які отримані з жирних кислот, відмічено поступове зникнення смуг при 1560 см⁻¹ і 1638 см⁻¹ з паралельною появою смуги при 1600 см⁻¹. Відповідно перші смуги характеризують аміді, а остання імідазолінове кільце. При цьому за даними [4] смуги

ги поглинання при 1650-1620 cm^{-1} можуть бути характерними для амідів, що утворені з первинних амінів, а при 1570-1515 cm^{-1} – з вторинних амінів (рис. 2) і змінюються в залежності від структури замісників.

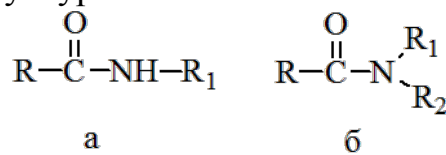


Рис. 1 – Первинні (а) та вторинні (б) аміді

Отже в реакційних масах (рис. 2) присутні тільки аміноаміді при відсутності алкілімідазолінів.

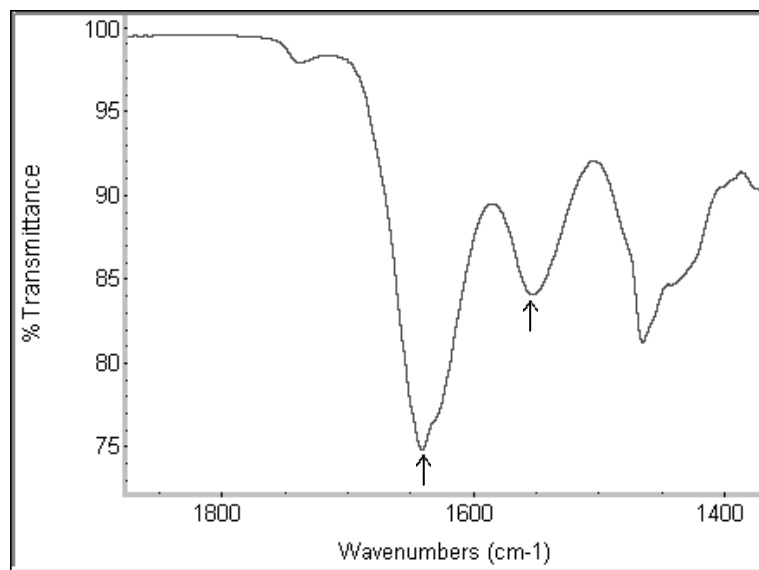
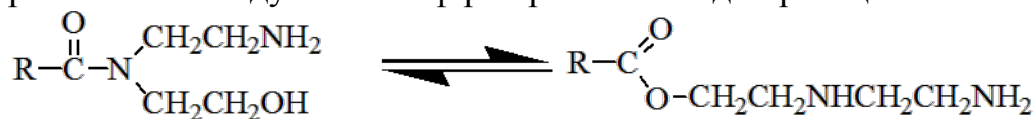


Рис. 2 – ІЧ спектрограма зразку реакційної маси, що містить аміді

При взаємодії триацилгліцеринів з 2-гідроксіетилендіаміном спочатку, як основні сполуки, утворюються амідоаміни, які перетворюються в алкілімідазоліни (рис. 2). Це підтверджується ІЧ спектром реакційної маси, в якій присутня смуга алкілімідазолінів при 1605 cm^{-1} (рис. 3, 4), що є характерною для зв'язку –N= в імідазоліновому кільці. Смуги при 1640 cm^{-1} та 1550 cm^{-1} свідчать про присутність похідних як первинних так і вторинних амінів. Крім того необхідно відзначити і присутність плеча при 1620 cm^{-1} , що може бути віднесено до імідазолінового кільця, а смуга при 1735 cm^{-1} вказує на залишки ефірів в реакційних масах. Порівняння ІЧ спектрів (рис 2 та рис 5) вказує на те, що із збільшенням інтенсивності смуги при 1550 cm^{-1} збільшується інтенсивність смуги при 1735 cm^{-1} з зсувом до 1780 cm^{-1} . Такі зміни свідчать про те, що в реакційних масах протікає реакція перетворення аміноаміду в аміноефір переважно згідно реакції:



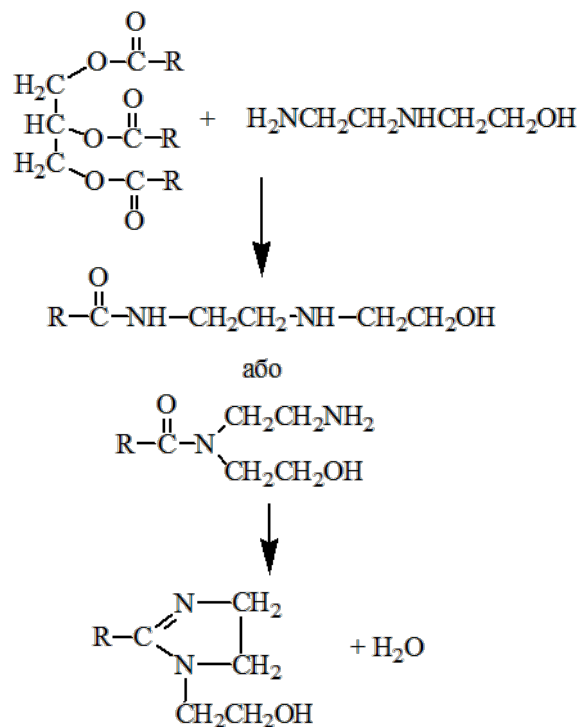


Рис. 3 – Схема взаємодії триацилгліцеринів з 2-гідроксіетилендіаміном

Аналізуючи зміни ІЧ-спектрів реакційної маси (рис 5) порівняно з вихідним спектром (рис 1) видно, що зі збільшенням часу реакції плече при 1620 cm^{-1} проявляється все інтенсивніше з зсувом в короткохвильову зону, перетворюючись у смугу при 1605 cm^{-1} , що чітко підтверджує утворення алкілімідазолінів (рис. 4). При цьому в реакційній масі присутні також амідні (рис. 4)

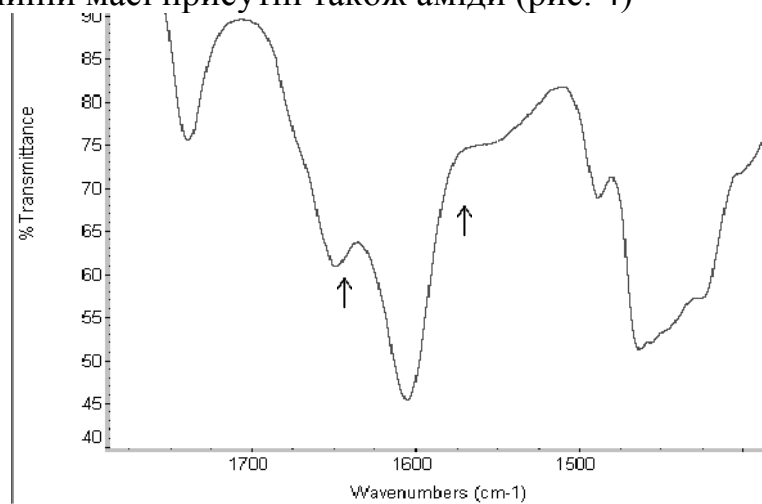


Рис. 4 – ІЧ-спектрограма зразку, що містить імідазоліни

Хід циклізації можна легко прослідкувати за змінами площі та висоти піків при відповідних хвильових числах. На рис. 5 приведені зміни впродовж часу частини спектрів зразків реакційних мас, які отримані амідкуванням ріпакової олії аміноетилетаноламіном при кількості катализатора 10 %.

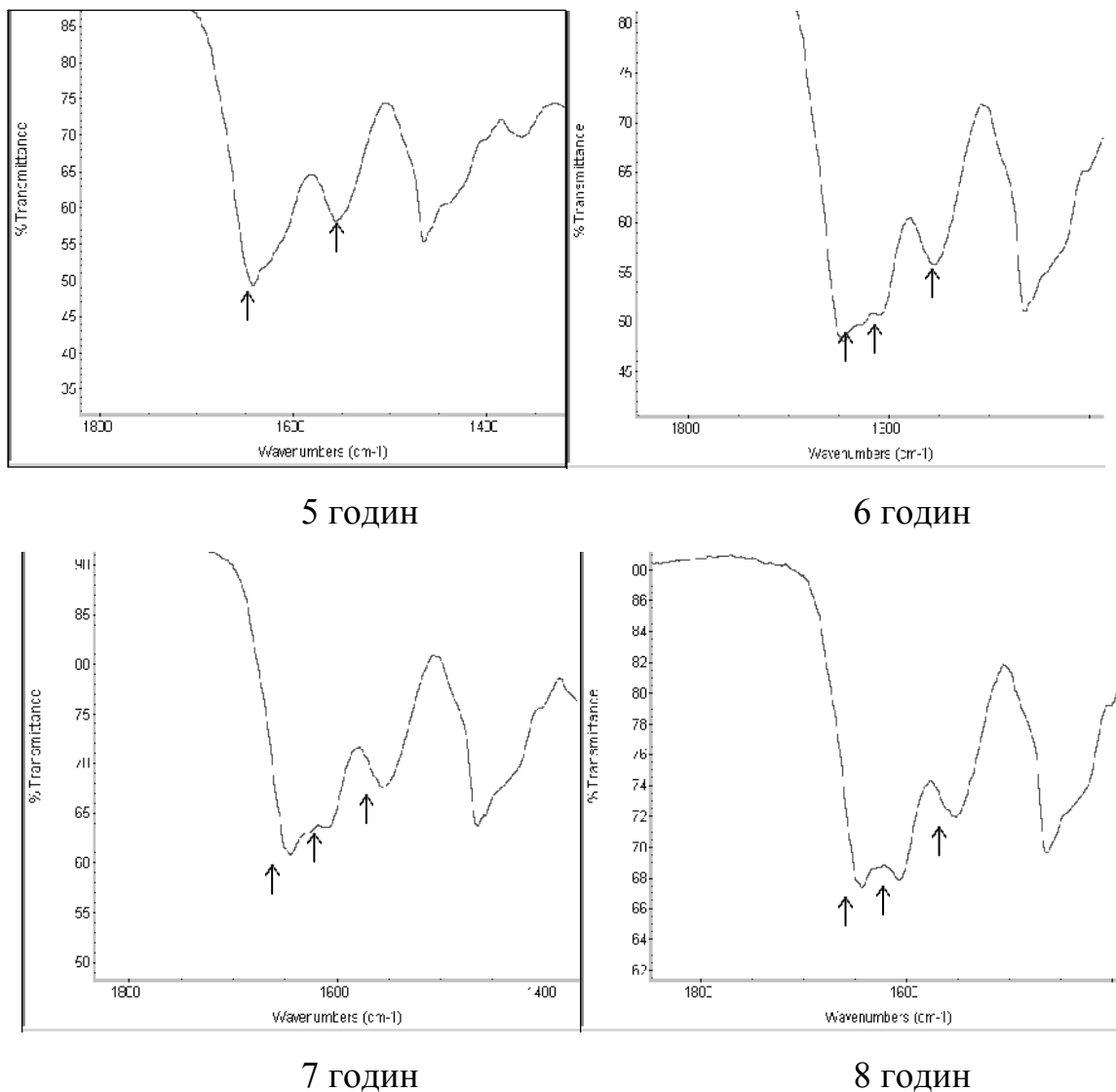


Рис. 5 – ІЧ-спектри реакційних мас впродовж часу при температурі реакції 140°C та кількості каталізатору 10 %

Як видно зі спектрів зменшення висот та площ смуг поглинання амідів при 1640 cm^{-1} і 1550 cm^{-1} є приблизно однаковим, що може свідчити про те, що швидкість утворення алкілімідазолінів як з первинних, так і вторинних амідів приблизно однакова, але це потребує подальших досліджень

В таблиці представлені висоти та площі піків амідів та імідазолінів, що отримані при температурі 140°C та різних кількостях каталізатору впродовж часу.

Як видно з таблиці площі та висоти піків амідів впродовж реакції зменшуються, в той же час площі та висоти піків алкілімідазолінів з'являються та поступово збільшуються. Так при кількості каталізатору 4 % пік імідазоліну з'являється тільки на восьмій годині синтезу, а при збільшенні кількості каталізатору до 10 % пік імідазоліну з'являється вже через 6 годин.

Таблиця – Площі та висоти смуг на ІЧ-спектрограмах реакційних мас.

№	Кількість	Час	Площа смуги	Висота піку
---	-----------	-----	-------------	-------------

	каталізатору, %	реакції, год	1605-1600 см ⁻¹	1650-1640 см ⁻¹	1560-1550 см ⁻¹	1605-1600 см ⁻¹	1650-1640 см ⁻¹	1560-1550 см ⁻¹
1	4	5	-	1256,363	287,614	-	19,73	7,615
2	4	6	-	1013,781	232,781	-	16,649	5,648
3	4	7	-	1198,724	265,084	-	19,882	5,879
4	4	8	10,44	946,050	167,638	4,225	5,119	4,393
5	10	5	-	1489,51	388,516	-	24,566	9,882
6	10	6	25,389	481,934	333,262	1,6	14,651	8,302
7	10	7	30,114	380,84	273,335	1,779	11,882	7,213
8	10	8	56,953	218,057	187,925	3,03	7,65	4,569

При цьому площі піків алкілімідазолінів в присутності 10 % каталізатору менші за піки при використанні 4 % каталізатору, хоча і з'являються раніше. Це може бути пов'язано з тим що реакція утворення алкілімідазолінів є рівноважною, а каталізатор здатен пришвидшувати як пряму та і зворотню реакцію. Разом з тим необхідно відмітити, що в реакційних масах, як площі так і висоти смуг поглинання первинних амідів більші ніж вторинних амідів. Це вказує на більшу реакційну здатність первинної аміногрупи в молекулі аміноетилетаноламіну.

Висновки:

1) Встановлено, що при взаємодії ріпакової олії з аміноетилетаноламіном утворюються не тільки первинні та вторинні аміді жирних кислот, але і алкілімідазоліни, яким в ІЧ-спектрах відповідає смуга поглинання при 1605 см⁻¹;

2) Збільшення тривалості реакції зумовлює перетворення амідів жирних кислот в алкілімідазоліни, що підтверджується зменшенням в ІЧ-спектрах інтенсивності смуг поглинання пр. 1640 см⁻¹ і 1550 см⁻¹ та збільшення інтенсивності смуги при 1605 см⁻¹;

3) Домішки підбраного каталізатору збільшують швидкість реакції утворення алкілімідазолінів в досліджуваних умовах орієнтовно в 1,3-1,4 рази;

4) Показано, що під час реакції в реакційних масах знаходиться менше вторинних амідів, які характеризуються в ІЧ-спектрах смугою поглинання при 1550 см⁻¹ порівняно з первинними амідами, для яких характерною є смуга поглинання при 1640 см⁻¹;

5) Знайдено, що з часом реакції збільшується площа і висота смуги, які характерні для алкілімідазолінів, та зменшуються для первинних та вторинних амідів.

Список літератури: 1. Bajpai D. Fatty imidazolines: chemistry, synthesis, properties and their industrial application / D. Bajpai, V. K. Tyagi // Journal of oleo science/ – 2006. – №55. – p. 319-329 2. Файнгольд С. И. Химия анионных и амфолитных поверхностно-активных веществ / Файнгольд С. И., Кууск А. Э. и Кийк Х. Э. – Таллин: Валгус, 1984. – 290 с. 3. Дітенко К. М. Технологія отримання моноацилгліцеринів амідуюванням ріпакової олії: автореф. Дис. На здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.06 “Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів” / К. М. Дітенко. – Харків, 2008. – 21 с. 4. Електронна база даних

УДК 664.3:547

А.П. МЕЛЬНИК, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», г. Харків
Т.І. МАРЦЕНЮК, хімік, ТОВ «НДЦ водопостачання та якості води»
С.Г. МАЛІК, інженер, НТУ «ХПІ», г. Харків

ОДЕРЖАННЯ МОНО- ДІАЦИЛГЛІЦЕРИНІВ І МОНОЕТАНОЛАМІДІВ АМІДУВАННЯМ СОЄВОЇ ОЛІЇ

Приведені результати амідування соєвої олії моноетаноламіном свідчать про те, що продуктами реакції є як моно- діацилгліцерини, так і моноетаноламід жирних кислот. Запропоновано хімізм реакції.

There are given results of amidation of soybean oil with monoethanolamine. They testify to the effect that reaction products are as mono - diacylglycerols and fatty acid monoethanolamides. It is offered chemism of reaction.

Сьогодні найбільш привабливими з точки зору попиту є виробництво харчових, косметичних продуктів, гігієнічних та миючих засобів. Їх виробництво потребує наявності певної сировини, яка в нашій країні не виробляється, а є імпортованою. Моно -, діацилгліцерини (МАГ, ДАГ) та алкілоламідів відносяться до такої сировини. Завдяки широкому спектру властивостей їх використовують як емульгатори, поверхнево-активні речовини (ПАР), антисептики, стабілізатори, піноутворювачі, тощо [1]. Технології їх одержання достатньо дорогі в зв'язку з високою вартістю сировини, енергоємністю виробництв, складністю устаткування та багатостадійністю процесів одержання [2]. Тому розробка нових, більш простих технологій одержання МАГ та ДАГ є проблемою технології переробки олійної сировини. Сьогодні відомі дослідження, які стосуються розробки теоретичних основ, зокрема кінетики одержання МАГ і ДАГ за новим напрямком амідування олії амінами [3,4]. В цих роботах досліджено реакції взаємодії соняшникової олії з моноетаноламіном та ріпакової олії з етилендіаміном, де встановлено утворення не тільки МАГ та ДАГ, але й азотовмісних продуктів. Разом з тим не відомо протікання реакції амідування соєвої олії, виробництво якої є багатотоннажним [5]. Тому вивчення амідування соєвої олії є актуальною задачею.

Виходячи з актуальності, метою цього дослідження є вивчення утворення моно-, діацилгліцеринів та азотовмісних сполук амідуванням соєвої олії.

Об'єкт дослідження стосується амідування соєвої олії моноетаноламіном, а предмет дослідження полягає в вивченні закономірностей перетворення триацилгліцеринів в моно-, діацилгліцерини і моноетаноламідів (АА) жирних кислот.

В дослідженні використано соєву олію згідно ДСТУ 4534:2006 [6] з наступними характеристиками: кислотне число 0,4 мг КОН/г, ефірне число 190 мг КОН/г, молекулярна маса триацилгліцеринів (ТАГ) 886 г/моль, колірне число 45 мг йоду/г, масова частка вологи та летких речовин 0,1 %, густина 0,92 г/см³; як

моноетаноламін (МЕА) використано продукт з масовою часткою основної речовини 99,8 % та масовою часткою вологи 0,1%.

Реакційні суміші при взаємодії ТАГів соєвої олії з моноетаноламіном одержано у герметичному реакторі типу ідеального змішування як в [3], при постійному перемішуванні і тривалості синтезу 4 години. Вплив мольного відношення ТАГів соєвої олії:МЕА вивчено в інтервалі від 1:0,5 до 1:2 при температурі 423К. Впродовж реакції відбирались зразки реакційної маси для визначення ступеня перетворення аміну і концентрацій МАГів та гліцерину. Ступінь перетворення аміну розраховано за концентрацією аміну, який не вступив в реакцію, його кількість визначена титруванням в пропанолі-2 [7]. Концентрації гліцерину і МАГ визначено методом періодатного окислення згідно [8]. Хроматографію зразків реакційних мас і зразків свідків проведено з використанням хроматографічних пластин "Силуфол" в системі розчинників хлороформ:ацетон:етанол 91:8:0,2.

Порівнянням результатів тонкошарової хроматографії вихідної сировини, моноацилгліцеринів, моноетаноламиду з реакційною сумішшю встановлено, що до її складу входять МЕА, АА, МАГ, ДАГ(1,2;1,3), жирні кислоти (ЖК) (рис.1).

Необхідно підкреслити те, що до складу вихідної олії входять не тільки триацилгліцерини (ТАГ, але й ДАГ та ЖК з відповідними коефіцієнтами сорбуємості (рис.1). Коефіцієнти сорбуємості МЕА і гліцерину дорівнюють 0 і ці речовини знаходяться на лінії старту. Коефіцієнт сорбуємості МАГ дорівнює 0,135, а коефіцієнт сорбуємості моноетаноламиду пальмітинової кислоти – 0,09.

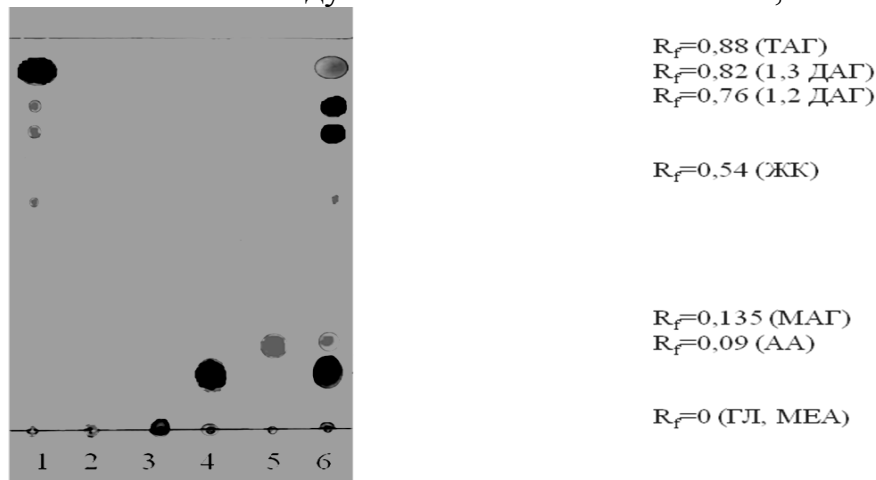
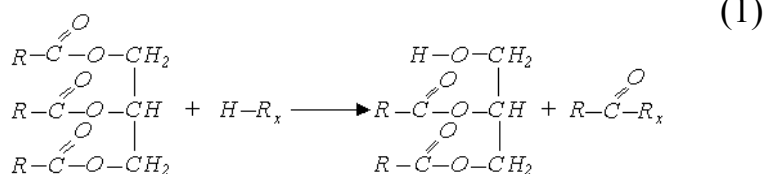
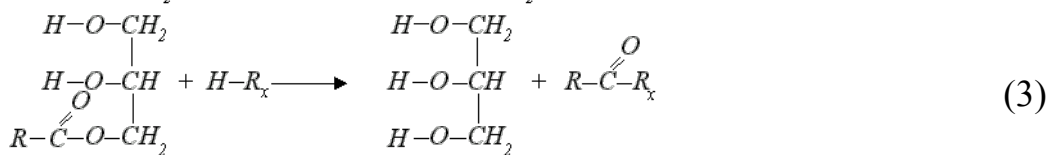
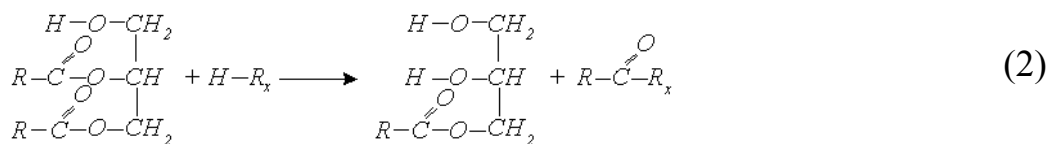


Рис. 1 - Хроматограми зразків-свідків та реакційної суміші, де зліва направо: 1 - соєва олія; 2 - гліцерин; 3 - моноетаноламін; 4 - моноетаноламід пальмітинової кислоти; 5 - моноацилгліцерин; 6 - реакційна суміш, яка отримана взаємодією соєвої олії з моноетаноламіном.

Виходячи з компонентного складу реакційних мас, хімізм амідування ТАГ соєвої олії моноетаноламіном можна представити наступними хімічними реакціями:





де R_x - $-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$;

На основі одержаних поточних концентрацій МЕА, гліцерину, МАГ з врахуванням хімізму і матеріального балансу розраховані концентрації інших компонентів реакційних мас (табл.1), які отримано при мольному відношенні ТАГ:МЕА 1:0,5 і температурі 423 К.

Таблиця 1 – Концентрація компонентів реакції в залежності від часу при температурі 423 К і мольному відношенні ТАГ:МЕА 1:0,5

Час, с	Концентрації компонентів, мольні частки					
	МЕА	ТАГ	АА	ДАГ	МАГ	ГЛ
0	0,332	0,668	0,000	0,000	0,000	0,000
300	0,277	0,638	0,055	0,012	0,012	0,006
600	0,243	0,613	0,089	0,028	0,021	0,007
1200	0,200	0,584	0,132	0,045	0,031	0,008
1800	0,152	0,552	0,180	0,060	0,048	0,008
3600	0,104	0,508	0,228	0,100	0,052	0,008
5400	0,076	0,489	0,256	0,112	0,058	0,009
7200	0,058	0,475	0,274	0,121	0,062	0,009
9000	0,051	0,474	0,280	0,119	0,065	0,010
10800	0,049	0,473	0,282	0,118	0,067	0,010
14400	0,048	0,473	0,284	0,117	0,067	0,011

Зміни концентрації компонентів реакційних мас свідчать про те, що в кінці реакції концентрація ТАГ зменшується з 67 % до 47 %, тобто в реакцію вступає всього 29,2 % ТАГ. Концентрація МЕА зменшується з 33 % до 5 %. Це вказує на те, що на реакцію витрачено 85,5 % взятого МЕА. При цьому утворюється 1 % гліцерину, 6,7 % МАГ, 11,7 % ДАГ та 28,4 % алкілоламіду.

З часом (рис.2) концентрації МЕА і ТАГ плавно зменшуються. При цьому швидкість зникнення реагентів впродовж перших 2000 с. більша, ніж в наступний період. В перший період реакції спостерігається зростання концентрацій МАГ, АА, ДАГ та гліцерину, після чого швидкість реакції їх утворення сповільнюється. Необхідно відмітити, що швидкість зникнення МЕА дещо більша ніж швидкість зникнення ТАГ. Перехід МВ реагентів від 1:0,5 до 1:1 не змінює загальних закономірностей (рис.3). Інтервал більш швидкого періоду взаємодії реагентів і утворення продуктів реакції зміщується ближче до 4000 с. при зменшенні в кінці

реакції концентрації ТАГ на 60 %, МЕА на 92 % з паралельним утворенням 45,7 % АА, 9,6 % МАГ, 16,8 % ДАГ, 3,2 % гліцерину (табл.2). При збільшенні МВ реагентів до 1:2 (рис.4) не відмічено суттєвого впливу на інтервал першого періоду взаємодії ТАГ з МЕА. Разом з тим в кінці реакції спостерігається зменшення концентрації МЕА на 72,5 %, а ТАГ на 98,9 %. При цьому концентрація алкілоламіду збільшується до 48,4 %, ДАГ до 22 %, гліцерину до 4,4 %, МАГ до 6,6 % (табл.2).

Таблиця 2 – Зміни ступеня перетворення (СП) ТАГ і МЕА та концентрацій продуктів при різних МВ реагентів і температурі 423 К.

МВ ТАГ:МЕА	СП, %		Концентрації компонентів, %			
	ТАГ	МЕА	МАГ	ДАГ	АА	Гл
1:0,5	29,2	85,5	6,7	11,7	28,4	1
1:1	60	92	9,6	16,8	45,7	3,2
1:2	98,9	72,5	6,6	22	48,4	4,4

Як видно (табл.2) при зміні МВ реагентів відбувається перерозподіл продуктів реакції в реакційній суміші. Очевидно, що варіюванням МВ реагентів можна скореговувати амідування на отримання в більшій мірі того чи іншого продукту реакції. Різні швидкості реакції на початковій і наступній стадіях дають можливість зробити припущення про те, що на цих стадіях протікають різні реакції, як це й витікає з наведеного хімізму перетворень вихідної сировини.

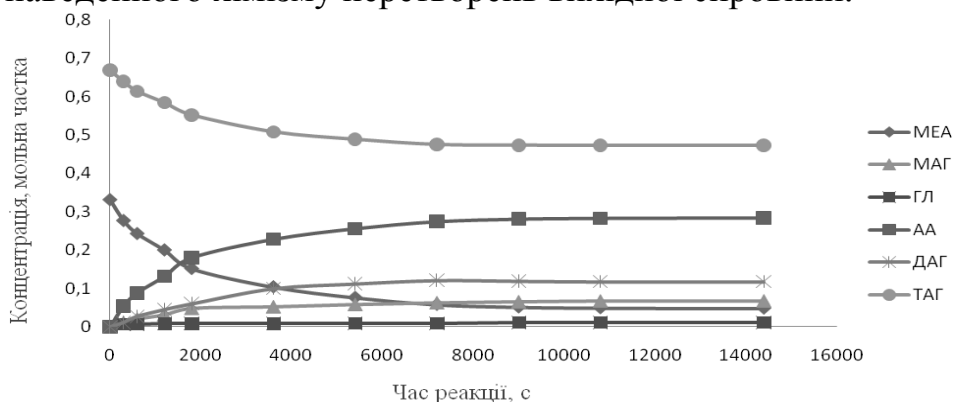


Рис. 2 – Залежність зміни компонентного складу реакційної маси при мольному відношенні ТАГ соєвої олії з МЕА 1:0,5 та температурі 423 К

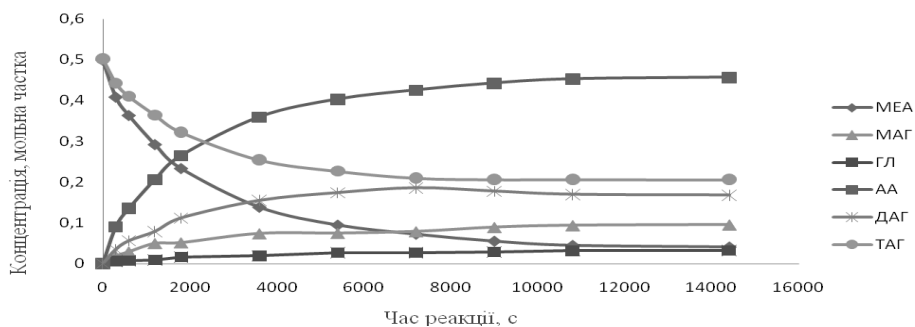


Рис. 3 – Залежність зміни компонентного складу реакційної маси при мольному відношенні ТАГ соєвої олії з МЕА 1:1 та температурі 423 К

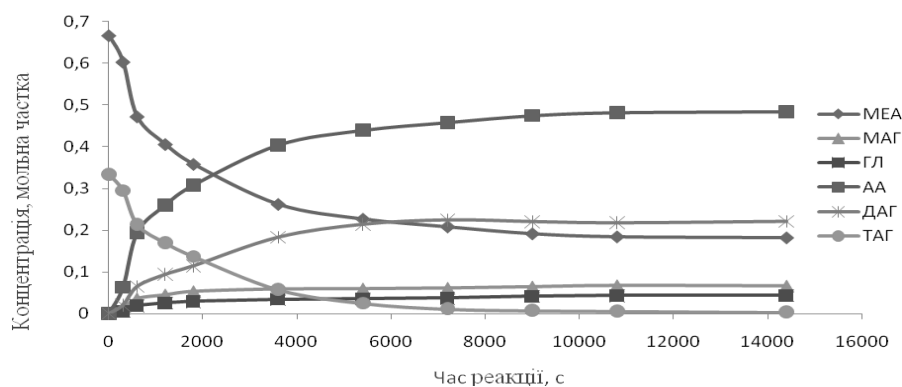


Рис. 4 – Залежність зміни компонентного складу реакційної маси при мольному відношенні ТАГ соєвої олії з МЕА 1:2 та температурі 423 К

Висновки:

1. Вивченням компонентного складу продуктів реакції триацилгліцеринів соєвої олії з моноетаноламіном встановлено утворення моноацилгліцеринів, діацилгліцеринів, моноетаноламідів жирних кислот і гліцерину.
2. Показано, що з часом реакції спостерігається як мінімум два різних періоди, що відрізняються швидкістю зникнення реагентів і утворення продуктів реакції.
3. Доведено, що при збільшенні мольного відношення реагентів збільшується ступінь перетворення триацилгліцеринів, а ступінь перетворення моноетаноламіну характеризується максимумом.
4. Змінами мольного відношення реагентів і часу взаємодії можна скеровувати процес на переважне одержання того чи іншого продукту.

Список літератури: 1. Горяев М.И. Синтез и применение моноглицеридов. – Алма-Ата.:Наука, 1975. – 135 с. 2. Ковалев В.М. Проблемы промышленности моющих и чистящих средств в Украине и других странах СНГ относительно обеспечения ПАВ // Хімічна промисловість України. – 1998. - № 6. – С. 9 – 12. 3. Мельник А.П., Матвєєва Т.В. Технологія отримання моноетаноламідів із олій та жирів. // Вестник НТУ „ХПИ”. – 2002. – № 2, Ч.1. – С. 89-93. 4. Діхтенко К. М. Технологія отримання моноацилгліцеринів амідуванням ріпакової олії: автореф. Дис. На здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.06 “Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів” / К. М. Діхтенко. – Харків, 2008. – 21 с. 5. Тимошенко Л.М., Пирог О.В., Кухаренко А.П. Розвиток світового ринку рослинних олій та перспективи участі на ньому України.// Економічний простір. – 2008. – №13. – С. 26 – 37. 6. ДСТУ 4534:2006. Олія соєва. Технічні умови. Київ: ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2007. – С. 5-9. 7. Мельник А.П., Чумак О.П., Березка Т.О. Практикум з хімії та технології поверхнево-активних похідних вуглеводневої сировини: навч. посібник – Харьков: Курсор, 2004. – 277 с. 8. Сигна С., Ханна Дж. Г. Количественный органический анализ по функциональным группам. – М: Химия, 1983. – С. 149 - 150. 9. Кейтс М. Техника липидологии – М., 1975.

Поступила в редколлегию 01.09.2010

Н.Е. МОВМЫГА, ст. преподаватель, НТУ «ХПИ», г. Харьков
И.В. ЛЮБЧЕНКО, ст. преподаватель, НТУ «ХПИ», г. Харьков
Д.Л. ДОНСКОЙ, к.т.н., доцент, НТУ «ХПИ», г. Харьков

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ МОЛОДЕЖИ И БЖД

У статті дається аналіз проблем сучасної молоді. Основною причиною зростання алкоголізму, куріння, злочинності серед молоді є криза духовної сфери, відсутність виховання духовних орієнтирів в системі сучасної освіти. У статті розглядається роль курсу БЖД у формуванні світогляду молоді людини.

В статье дается анализ проблем современной молодежи. Основной причиной роста алкоголизма, курения, преступности среди молодежи является кризис духовной сферы, отсутствие воспитания духовных ориентиров в системе современного образования. В статье рассматривается роль курса БЖД в формировании мировоззрения молодого человека.

Молодежь сегодня – важнейший интеллектуальный, культурный и профессиональный резерв общества, от качества жизни и развития которого зависит развитие страны.

В условиях социально-экономических и политических изменений, происходящих в обществе, особенно трудно приходится подросткам и молодёжи, с их ещё не устоявшимся мировоззрением, подвижной системой ценностей. Крушение идеалов, предлагаемых молодёжи, обостряет естественный юношеский нигилизм, что порождает у многих молодых людей апатию, безразличие к себе и другим и грозит потерей нравственного и духовного здоровья нации. Это позволяет говорить о данной категории населения как об одной из самых уязвимых.

Выявляя основные проблемы социализации и адаптации молодёжи в обществе, её экономические, возрастные, психологические и социальные особенности, её социальный статус и основные тенденции развития субкультуры в современных условиях, следует подчеркнуть крайнюю необходимость работы высшей школы в отношении этой группы населения.

Условием выживания общества и его перспективой являются позиция и деятельность молодежи в настоящем и недалеком будущем. В данном контексте, учитывая необходимость ориентации на поколение, которому предстоит решать основные проблемы, связанные с глобализацией и интеграцией Украины в мировое сообщество, изучение и анализ проблем, значимых для молодежи, становится приоритетным направлением для утверждения молодежи в качестве полноценного и полноценного субъекта общества.

Проблемы современной молодежи - **социально-экономические**. И самая первая и главная проблема молодежи: **социальное неравенство**. Возможность развития ребенка, молодого человека сегодня напрямую зависит от материального положения его семьи и места проживания (сельские жители практически лише-

ны социальных перспектив). Бедность, нищета влекут за собой множество проблем: невозможность полноценного развития - интеллектуального, физического, психического, эстетического и т.п., невозможность получения качественного образования, отсутствие доступа к эффективной медицинской помощи (а больной ребенок всегда находится в неравном положении по сравнению со здоровым), отсутствие доступа к достижениям культуры, и просто существование в условиях хронического стресса. Это означает, что молодежь из бедных семей обречена жить в атмосфере постоянных семейных скандалов, семейного насилия и семейного пьянства (поскольку алкоголь - это самый дешевый способ временного снятия стресса).

Следующая проблема молодежи - **преступность**. Официальные СМИ признают, что детская и подростковая преступность растет, и вообще преступность у нас в большинстве молодежная, вызванная социальным неравенством, бедностью, доступностью алкоголя и наркотиков. В таких условиях дальнейшее омоложение преступности и увеличение числа жестоких и тяжких преступлений, совершаемых подростками и молодежью - явление естественное и неизбежное.

Еще одна проблема молодежи - **наркомания и алкоголизм**.

Наркомания (включая алкоголизм) - это "болезнь", которые очень сложно вылечить. Наркомания - это не болезнь (по крайней мере, до момента, пока наркотик не встроился в систему обмена веществ организма), это вид зависимости от измененной формы сознания. Измененных форм сознания известно много: гипноз, азарт, религиозный экстаз, религиозные посты, секс, чувство опасности и т.п. Зависимость от них заложена в природе человеческого сознания, так как это прямо связано с познавательной способностью мозга. Говоря иначе, вылечить от наркомании (алкоголизма) нельзя, можно переориентировать наркомана - при условии, что он сам этого хочет и наркотик еще не разрушил физически его организм, не стал ему химически необходим - на другую, общественно безвредную или общественно полезную форму зависимости (такую как спорт или творческая деятельность). [1]

Все перечисленное – это только некоторые социально-экономические проблемы, с которыми сталкивается современная молодежь.

Способность человека защитить себя формируется на основе обучения и формирования определенного типа сознания, создающего потребность в овладении соответствующими навыками и средствами защиты, а также мотивацию деятельности, направленную на получение дополнительной информации, определение соответствующего выбора в сложившейся ситуации и участия в управлении риском на уровне общества. Формирование такого типа сознания базируется на системе знаний о риске, и, в свою очередь, представляет собой некий плацдарм для активных, обдуманных и целенаправленных действий. Таким образом, важнейшая задача в области защиты человека состоит в том, чтобы направить разум людей на достижение цели гармоничного развития человека.

В связи с этим можно констатировать, что перед обществом и государством стоит задача посредством продуманной, научно обоснованной концепции обеспечить благоприятные предпосылки для определения и реализации научного направления БЖД.

Цель БЖД – изучение научных основ взаимодействия человека с биосферой и техносферой для расширения творческих возможностей будущих специалистов при выборе стратегии и тактики безопасной жизнедеятельности, воспитание нового поколения людей с моралью безопасной жизнедеятельности. [2]

Подготовка специалистов по БЖД **в высших учебных заведениях** востребована временем. Специальность "Безопасность жизнедеятельности" закреплена в государственных образовательных стандартах высшего образования. Все большее количество вузов открывает выпускающие кафедры БЖД, которые готовят дипломированных специалистов по вопросам БЖД и укрепляют позиции общепрофессиональной дисциплины БЖД для остальных специальностей.

Сейчас общепрофессиональная дисциплина "Безопасность жизнедеятельности" в большинстве вузов поставлена в зависимость от изменения учебных программ - быть ей в вузовском компоненте учебного плана или нет, сколько времени получают студенты на изучение вопросов БЖД на этом уровне образования. Именно такое положение, определенное Минобразованием Украины, привело к тому, что системность в изучении вопросов БЖД при получении образования нарушается. Это, к сожалению, усугубляет проблемы изучения вопросов БЖД в высшей школе.

Еще одной важной формой развития любого научного направления является СНО (Студенческое научное общество), которое зарождается в студенческой среде при поддержке образовательного учреждения и кураторство со стороны преподавателей. Это логично, поскольку участники СНО представляют ВУЗ на форумах и конференциях различного уровня. Кроме того, СНО может обеспечить образовательное учреждение кадрами, поскольку студенческая наука зачастую прокладывает студентам путь в аспирантуру и преподавательскую деятельность, а многие аспиранты остаются работать в alma mater. Это очевидные плюсы создания и поддержки СНО в вузе.

Одной из форм участия студентов в деятельности СНО является подготовка и участие в конференциях и форумах различных уровней. К данному направлению можно также отнести работу на межвузовских студенческих диспутах, участие в которых требует умения грамотно отстаивать свою точку зрения. Этому студенты обучаются в рамках деятельности СНО. Особого внимания заслуживает возможность попробовать свои силы в научных исследованиях. [3]

Комплексное применение вышеперечисленных методов работы может способствовать профессиональному образованию по БЖД и участию студенческой молодежи в изучении и расширении нового ноосферного мировоззрения и четкого представления современного комплекса проблем безопасности.

Основной задачей воспитательной и культурно-массовой работы высшей школы является необходимость воспитания гармонично-развитой, высокообразованной, социально-активной национально-сознательной и глубоко ответственной личности, наделенной высокими духовными и патриотичными качествами, которые являются носителем наилучших приобретений национальной световой культуры, личности, готовой к саморазвитию и самоусовершенствованию.

Таким образом, проблемы становления ответственного осознания молодежью основ жизни, безопасности жизнедеятельности, состояние физиологиче-

ского, психологического, нравственного и духовного здоровья, а также проблемы формирования основ здорового образа жизни, нормальной и патологической изменчивости, биокультурной адаптации и реабилитации человека в современных условиях, экологического образования на данном этапе актуальны и требуют ответственного и грамотного подхода в высшей школе.

Список литературы: 1. Современная молодежь: проблемы и перспективы развития. Материалы международной межвузовской студенческой научно-практической конференции, посвященной году молодежи. – М.: Институт международных социально-гуманитарных связей, 2009. – 240. 2. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Березуцький В.В., Васьковець Л.А., Вершишина Н.П. та ін. За ред. проф. В.В.Березуцького.-Х.; Факт, 2005.-384 с. 3. Монографія: А.Ю. Парфиненко и С.И. Посохов «Страницы истории студенческой науки в Харьковском университете» (Харьков: НМЦ "МД", 2002. - 116 с.).

Поступила в редколлегию 11.09.2010

УДК 519.62:621.3.038.616

Т.Е.СТЫЦЕНКО, ст. преподаватель, ХНУРЭ, г. Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОЗАЩИТНОГО КОСТЮМА С ПОСТОЯННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ЗАЩИТЫ

В статті розглядається один із методів захисту людини від небажаного впливу електромагнітного випромінювання: індивідуальні засоби захисту- радіозахисний костюм з постійним коефіцієнтом екранування, який забезпечує допустимий рівень випромінювання.

В статье рассматривается один из методов защиты человека от негативного воздействия электромагнитных излучений, индивидуальный метод защиты – радиозащитный костюм с постоянным коэффициентом экранирования, который обеспечивает допустимый уровень излучения.

1. Введение и постановка задачи

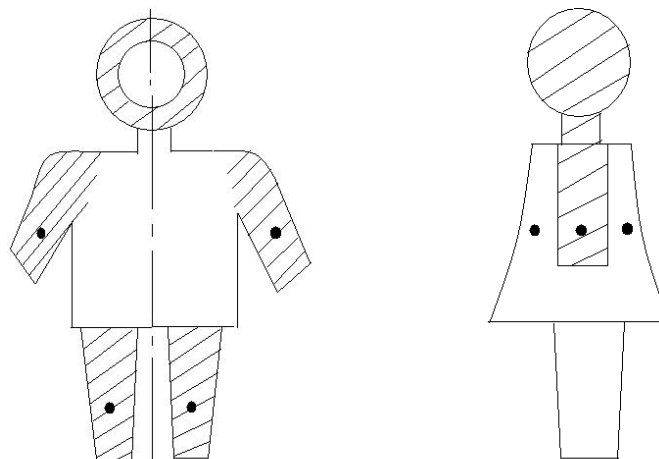
Экранирующая одежда один из способов предотвращения опасности жизни, относится к специальным видам одежды. Показатели качества специальной одежды одно из основных условий защиты организма человека от воздействия вредных и опасных производственных факторов. Хотя эстетические и гигиенические свойства спецодежды немаловажны, главная ее функция – защитная.

В настоящее время широкое применение при воздействии электромагнитных излучений получили индивидуальные средства защиты, в частности радиозащитные костюмы. Костюм можно описать следующими геометрическими фигурами: грудь и спина – плоский экран, рукава и штанины – цилиндр, головной убор, локти и колени при сгибе – сфера. Физическая модель радиозащитных костюмов, изготовленных из ткани с микропроводом или материала с конечной проводимостью можно представить через плоские, цилиндрические и сферические поверхности, которые находятся в соотношении 1:2:3. В этом случае получение постоянного коэффициента экранирования костюма по всему объему или получение эффективной защиты человека возможно за счет уменьшения шага сетки или увеличения проводимости материала различных частей радиозащитного костюма.

2. Разработка радиозащитной одежды с постоянным коэффициентом экранирования

При выполнении работ с радиотехническими средствами (РТС) с высоким уровнем плотности потока энергии (ППЭ), превышающим нормативные, широкое применение нашли радиозащитные костюмы, выполненные из сетчатой ткани с токопроводящими нитями. Костюм состоит из брюк, куртки и средства защиты головы.

Точками представлены те части человеческого тела, для которых необходима улучшенная защита от воздействия электромагнитного излучения.



Принцип работы экранирующей одежды состоит в следующем. Для того, чтобы достиглось ослабление электромагнитного излучения произвольной поляризации, токопроводящая нить в ткани устанавливается таким образом, чтобы образовалась металлическая сетка. Для изготовления экранирующей одежды используют экранирующую ткань.

Эффективность экранирования радиозащитной ткани, содержащей металлическую сетку, выполненную из микропровода, зависит (в заданном диапазоне длин волн) от шага сетки. Если радиозащитная ткань принимает форму цилиндра или сферы, то ее экранирующие свойства ухудшаются, так как увеличивается интенсивность прошедшего через экран излучения.

Реальный защитный костюм имеет сложную форму. При расчетах с приемлемыми допущениями можно заменить сложную форму эквивалентными экранами простейшей формы, т.е. плоскими, цилиндрическими, сферическими. Цилиндрическая поверхность - область рукавов, боков туловища и брюк; сферическая поверхность - при изготовлении средств защиты головы человека.

При экранировании электромагнитного излучения плоскими электропроводящими материалами эффективность экранирования определяется отражением и поглощением электромагнитных волн.

При использовании сетчатых материалов их следует проверять аналогично сплошным экранам с учетом эквивалентной толщины

$$a_s = \frac{\pi r^2}{l} \quad (1)$$

Экранное затухание различных форм экранов можно представить следующим выражением: $S \approx S_{пл} - S_{сф}$, где $S_{сф}$ - составляющая экранного затухания, обусло-

вленная формой экрана и равная 0; 6,0; 9,6 дБ соответственно для плоского, цилиндрического и сферического экранов. Отсюда следует, что для того, чтобы эффективность экранирования цилиндрического экрана была такой же, как и для плоского экрана, необходимо выбрать экранирующий материал для цилиндрического экрана таким, чтобы компенсировал уменьшение эффективности экранирования на 6 дБ. Это, например, можно сделать за счет увеличения толщины материала на величину Δa_y , обеспечивающую увеличение эффективности экранирования на величину 6дБ.

Приращение толщины материала определяем:

$$\Delta a_y = \frac{20 \lg 2}{0,132 \sqrt{fG\mu}} \quad (2)$$

Аналогично для материала, из которого изготавливается сферический экран:

$$\Delta a_{сф} = \frac{20 \lg^3}{0,132 \sqrt{fG\mu}} \quad (3)$$

Если экранирующий материал выполнен из меди, то $G=1$ и $\mu=1$.

В диапазоне СВЧ $f=(300-300000)$ МГц максимальное увеличение толщины будет $f=300$ МГц.

В этом случае, как следует из (2) и (3).

$$\Delta a_y = 2,63 \text{ мкм}, \Delta a_{сф} = 4,2 \text{ мкм}.$$

При использовании медной сетки в качестве экранирующего материала увеличение толщины материала на величину Δa эквивалентно, как следует из формулы (1), уменьшение шага сетки на величину Δl , т.е.

$$\Delta a = \frac{\pi r_1^2}{l - \Delta l} - \frac{\pi r_1^2}{l}$$

Относительное уменьшение шага сетки определяется выражение

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta a}{\Delta a + \frac{\pi r_1^2}{l}}$$

Отсюда с учетом (2) и (3) при изготовлении цилиндрического экрана из медной сетки относительное уменьшение шага сетки для сохранения ее экранирующих свойств равно

$$\frac{\Delta l_y}{l} = \frac{2,63}{2,63 + \frac{\pi r_1^2}{l_y}}$$

А при изготовлении сферического экрана

$$\Delta l_{сф} = \frac{4,2l}{4,2 + \frac{\pi r_1^2}{l_{сф}}}$$

Если проволока латунная, то $G=0.26$.

В этом случае

$$\Delta a_y = \frac{45,6}{\sqrt{0,26f}}; \Delta a_{сф} = \frac{72,3}{\sqrt{0,26f}}$$

А для диапазона СВЧ их максимальные величины равны

$$\Delta a_{ц} = 5,16; \Delta a_{сф} = 8,18.$$

Тогда

$$5,16 + \frac{\pi l}{l}$$
$$\Delta l_{сф} = \frac{8,18 l}{8,18 + \frac{\pi l^2}{l}}$$

Вывод: разработанный радиозащитный костюм позволяет обеспечить постоянный коэффициент экранирования по всей поверхности тела человека, что является особенно важным фактором при обеспечении безопасности при работе с источниками электромагнитного излучения.

Список литературы: 1. Васильева Л.К., Горский А.Н. Электротехнические аспекты влияния низкочастотных электромагнитных полей на человека //Вестн.МАНЭБ.-2000.-№4(28).-С.31-35.-Библиограф.: 1 назв.2. Вахлаков В., Никитина В. Внимание: электромагнитная опасность!//Армейский сборник.-1997.-№1.-С.83-85.

Поступила в редколлегию 01.09.2010

СОДЕРЖАНИЕ

Н.Г. Кокодий, Н.Н. Тимченко, Л.Г. Зайцева, Е.Ю. Николаева Математическое моделирование процесса рассеяния света на малых частицах	3
П.И. Глушко, А.Ю.Журавлёв, В.Л.Капустин, Н.А Семёнов., Н.А.Хованский, В.И.Шеремет, Б.М.Широков, А.В. Шиян Исследование процессов получения эпитаксиальных структур Si-Ge на подложках Si и Si-Ge	6
А.Ю.Андрианов, Д.А.Орлянский Влияние дисперсных модификаторов на адгезионные свойства эпоксидного связующего, используемого в составе конструкционного материала контейнера для изоляции радиоактивных отходов	12
Л. Ф. Головки, В. І. Носуленко, О. С. Чумаченко Характеристики джерел тепла електрофізичних методів розмірної обробки металів	18
В. Г. Неня, С. О. Хованський Оцінка витрат енергії, пов'язаних із нестационарною роботою відцентрового насоса	25
Л. С. Золотарь, О. В. Акимов К вопросу создания литой биметаллической композиции чугуна-титановый сплав	29
С.М. Русалин, В.Л. Юшко, В.В. Кузьмина Содержательное и математическое представление событий в гидравлической системе с кавитатром и резонатором	37
В.К. Лобанов, Г.И. Пашкова, Т.Н. Ковшанова Усилия горячей штамповки биметаллических поршней	46
Э. С. Геворкян, Ю. Г. Гуцаленко	52

Некоторые закономерности и особенности механизма спекания нанопорошков оксида алюминия при горячем прессовании с электронагревом прямым токоподводом

В. Ю. Селівьорстов, О. О. Лоєвська, Ю. В. Доценко, В. П. Доценко 58

Особливості впливу ступеня дисперсності прокатної окалини на міцнісні властивості залізофосфатної ХТС

А.П. Мельник, В.Ю. Папченко 66

Дослідження впливу параметрів реакції амідування на ступінь перетворення діетаноламіну

В.В. Березуцкий, В.В.Макаренко, В.В. Пархоменко, Радван Арафа Биссиуни, Т.С. Бондаренко 69

Исследование опытно-промышленной модели распространения СО и SO₂ на производственном участке с зонами высоких температур, и раскаленными металлическими изделиями

О.В. Саввова 74

Перспективні поруваті кальційфосфатні скломатеріали медичного призначення

В.Ф. Моїсеєв, О.М. Філенко, А.Ю. Масікевич 78

Взаємний вплив гідродинамічних і структурних параметрів на висоту газорідного шару в комбінованому контактному пристрої

И.Н. Демидов, О.В. Белоус, А.И. Сокол 83

Получение поверхностно-активных веществ методом переэтерификации этиловых эфиров молочной кислоты с подсолнечным маслом

А.П. Мельник, С.О. Крамарев, В.А. Руднєв 87

Дослідження утворення алкілімідазолінів з ріпакової олії

А.П. Мельник, Т.І. Марценюк, С.Г. Малік 92

Одержання моно-діацилгліцеринів і моноетаноламідів амідуванням соєвої олії

Н.Е. Мовмыга, И.В. Любченко, Д.Л. Донской Проблемы современной молодежи и БЖД	97
Т.Е.Стыщенко Исследование характеристик радиозащитного костюма с постоянным коэффициентом защиты	100

Наукове видання

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

"Нові рішення в сучасних технологіях"

Випуск №44

Технічний редактор Т.Л. Коворотний

Відповідальний за випуск В.М. Луньова

Обл.-вид. №

Підписано до друку . Формат 60x84/16 Папір офсетний.
Друк різнографічний. Ум.-друк. арк. 8. Зам. №

Надруковано у видавництві "Технологічний центр".
61145 Харків, вул. Новгородська 3а
Тел./факс (057) 750-89-90