

- Прикладная физика и материаловедение

1/5 (61) 2013

Содержание

ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- 4 Синтез термитных кавитационостойких сталей
Ю. Ю. Жигуц
- 6 Фізична модель структури капілярно-пористого середовища на основі орієнтованих волокнистих наповнювачів
О. Є. Колосов, В. І. Сівецький, Л. А. Кричківська, О. П. Колосова
- 9 Нові способи поляризаційного контролю внутрішніх напружень в деталях з оптично прозорих матеріалів
В. П. Маслов
- 13 Теоретичне обґрунтування впливу електричного поля на мастильні середовища
І. Л. Трофімов
- 17 Графоаналитический анализ прогнозирования механических свойств сварных соединений сталей системы Fe-Cr-Ni-Si
С. Н. Попов
- 21 Подавление текстурообразования электроосаждаемых металлов при силовом влиянии противоположно оси текстуры
О. Б. Гирин
- 25 Дослідження процесу виготовлення пакувальної продукції з гофрокартону
О. М. Гумен, С. М. Гумен, П. М. Яблонський
- 29 Генератор чистого водню для полум`яно-іонізаційних газоаналізаторів
В. П. Приміський, А. В. Жужа

- 33 Фотоэлектрические свойства гетеропереходов на основе InSe и ядерный квадрупольный резонанс в исходных материалах
В. А. Хандожко, З. Р. Кудринский, З. Д. Ковалюк
- 38 Формирование отливок со сложными внутренними полостями при помощи металлических стержней
А. А. Бондарь, Ю. М. Дудзинский, Л. И. Солоненко, К. В. Колесник
- 41 Физико-механические свойства слоистых соединений графита
А. Н. Довгаль, А. А. Костиков, А. А. Кузнецов, В. Н. Черномаз
- 45 Формування структури та властивостей термозміцненого арматурного прокату в потоці дрібносортового стану
Д. Ю. Ключев, С. Б. Комлев, С. О. Мацшин
- 48 Получение низкоплотных углеродных карбонизованных материалов
А. В. Карпенко, В. А. Скачков, И. Ф. Червонный
- 51 Дослідження зміни абразивних властивостей будівельних сумішей при роботі диференціальних розчинонасосів
О. С. Васильев
- 53 Вплив агресивного середовища на зношення шин коліс автомобіля
В. Г. Герасименко, В. В. Губа
- 56 Распределение примесей в процессе роста монокристаллов кремния для солнечных элементов
Ю. В. Головки
- 60 Багатоканальна система автоматизації роботи установки вакуумно-дугового напилення
І. В. Смирнов, М. А. Долгов, О. В. Іванченко, М. Л. Огородніча
- 65 Comparative analysis of surface finishes of printed circuit boards
Partinova Simona

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. Б. Бойник

Доктор технических наук, профессор.
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

Т. В. Бутько

Доктор технических наук, профессор.
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

А. В. Гламаздин

Кандидат физико-математических наук
ННЦ Харьковский Физико-Технический институт, УКРАИНА

М. Д. Годлевский

Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

В. Г. Данько

Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

Д. А. Демин

Кандидат технических наук, доцент.
Технологический Центр. УКРАИНА

А. А. Дудников

Кандидат технических наук, профессор.
Полтавская государственная аграрная академия. УКРАИНА

Дж. Кардосо

Professor in Faculty of Science and Technology
of the University of Coimbra. PORTUGAL

М. Д. Кац

Доктор технических наук, профессор.
Восточноукраинский национальный университет им. В. И. Даля. УКРАИНА

Б. В. Клименко

Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

Г. И. Львов

Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

А. А. Пермяков

Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

М. А. Подригало

Доктор технических наук, профессор.
Национальный автодорожный технический университет. УКРАИНА

Л. А. Рыбак

Доктор технических наук, профессор.
Старооскольский технологический институт. РОССИЯ

В. Б. Самородов

Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

В. Н. Самсонкин

Доктор технических наук, профессор.
Государственный научно-исследовательский центр
железнодорожного транспорта Украины. УКРАИНА

Ю. В. Соболев

Доктор технических наук, профессор.
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

О. В. Соболев

Доктор физико-математических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

В. В. Стариков

Кандидат физико-математических наук, доцент.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

Р. Д. Сытник

Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

А. Д. Тевяшев

Доктор технических наук, профессор.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники. УКРАИНА

Т. А. Терещенко

Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт». УКРАИНА

В. Я. Терзиян

Доктор технических наук, профессор.
Университет Ювяскюля. ФИНЛЯНДИЯ.
Харьковский Национальный университет радиоэлектроники. УКРАИНА

И. А. Фурман

Доктор технических наук, профессор.
Харьковский государственный технический университет
сельского хозяйства. УКРАИНА

Главный редактор

И. Г. Филиппенко

Доктор технических наук, профессор.
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

Учредители

ЧП «Технологический Центр»
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта

Атестовано

Высшей Аттестационной Комиссией Украины
Перечень № 12 постановления Президиума ВАК № 1-05.36
от 11.06.03

Аттестовано

Постановлением Президиума ВАК Украины
№ 1-05/2 от 27.05.2009, № 1-05/3 от 08.07.2009.
Бюллетень ВАК Украины № 8, 2009

Рекомендовано

Ученым Советом
протокол № 1 от 29.01.2013 г.

Свидетельство о государственной регистрации журнала
КВ № 17140-5910 ПР от 17.09.2010

Адрес редакции и издательства:

Украина, 61145, г. Харьков, ул. Шатилова дача, 4
Технологический Центр
Тел.: +38 (057) 750-89-90

E-mail: nauka@jet.com.ua

Сайт: <http://www.jet.com.ua>

Подписано в печать 05.02.2013 г. Формат 60 × 84 1/8.

Цена договорная.

Тираж 1000 экз.

Частичное или полное тиражирование любым способом
материалов, опубликованных в этом издании, разрешается
только с письменного согласия редакции

Подписка:

оформляется через подписные агентства
«Идея», «Периодика»
«Саммит», «Меркурий»
или через редакцию

В роботі показано основні шляхи вирішення проблеми отримання кавітаційностійких сталей, розглянуто області використання термітних кавітаційностійких сталей. Синтезовано термітні сталі, проаналізовано результати дослідження їх механічних та службових властивостей

Ключові слова: металотермічний синтез, кавітаційностійка сталь, властивості

В работе показаны основные пути решения проблемы получения кавитационностойких сталей, рассмотрены области использования термитных кавитационностойких сталей. Синтезированы термитные стали, проанализированы результаты исследования их механических и служебных свойств

Ключевые слова: металотермический синтез, кавитационностойкая сталь, свойства

СИНТЕЗ ТЕРМІТНИХ КАВІТАЦІЙНО-СТІЙКИХ СТАЛЕЙ

Ю. Ю. Жигуц

Доктор технічних наук, професор
Кафедра технології машинобудування
Ужгородський національний університет
вул. Підгірна, 46, м. Ужгород, Україна, 88000
Контактний тел.: (0312) 67-17-00
E-mail: yuzhiguts@gmail.com

1. Вступ

Відомо, що в промисловості для виготовлення лопаток турбін й інших деталей, що працюють у рідинах при високих частотах обертання ротора розроблено окремий клас кавітаційностійких сталей. Найчастіше з цього класу використовують сталь 30X10Г10, яка відрізняється високими характеристиками в умовах кавітаційної ерозії та інших варіантів мікроударного зношування [1]. Використання ж металотермічних методів синтезу матеріалів для отримання кавітаційностійкої сталі, дозволяє не тільки виготовляти виливки, але і використовувати синтезований матеріал для термітного зварювання, ремонту і відновлення розмірів зношених поверхонь [2, 3]. Крім цього металотермічні методи мають цілий ряд переваг, а саме високу продуктивність процесу, зручність й універсальність оснащення, відсутність потреби у потужних джерелах електроенергії та можливість їх застосування при терміновому отриманні сплаву (час синтезу триває всього 30...60 секунд). Поєднання металотермічного способу отримання сталі і відомі вже властивості кавітаційностійкої сталі 30X10Г10 поставило завдання – дослідити можливість отримання кавітаційностійкої сталі металотермічним способом із застосуванням зручного дешевого обладнання, розроблення відповідного складу шихти, а також встановлення фізико-механічних і службових властивостей та особливостей синтезованого сплаву.

2. Матеріали і методика проведення експерименту

При взаємодії алюмінію з оксидами металів виділяється багато тепла, внаслідок цього температури суміші-реагента сягає 2400°C. Найпоширеніший залізоалюмінієвий терміт, який містить залізну окалину або збагачену залізну руду та порошок алюмінію

використовують для зварювання та при відливанні сталевих і чавунних деталей. Інколи до складу терміту вводять легуючі присадки і флюси [2-4]. Механізм алюмінотермічної взаємодії головним чином описаний у роботах [2, 3].

Для визначення маси металевого зливка на першому етапі дослідження провели мікроплавлення при масі шихти 250...300 г різним процентним співвідношенням компонентів у суміші. Ініціювання процесу горіння проводили спеціальним термітним сірником. Використані матеріали: сажа ацетиленова (технічний вуглець ТУ 14-7-24-80), порошок алюмінієвий ПА-3...ПА-4 ГОСТ 6058-73, просяне мливо алюмінієвої стружки та ін. Порошкову шихту просували, перемішували і розміщували у внутрішній камері металотермічного реактора. Здешевлювали собівартість виготовлення шихти, замінивши алюмінієвий порошок на мливо алюмінієвої стружки. Корекція хімічного складу шихти виконувалася за результатами аналізу синтезованого сплаву.

Кількість випробувань з урахуванням заданого ступеня точності та надійності оцінки середнього значення показника матеріалу 98-99 % складала 12 термітних плавень.

3. Теоретична частина

Після встановлення складу металотермічної шихти за стехіометричними коефіцієнтами хімічної реакції та корекції її коефіцієнтами засвоєння, виконували розрахунок адиабатичної температури горіння (T_a) [4]. Головні умови розрахунку – T_a повинна бути вище температури плавлення ($T_{пл}$) продуктів реакції і все тепло витрачається на нагрівання шихти, тобто ентальпії вихідних і кінцевих продуктів однакові.

При спрощеній схемі розрахунку T_a визначали без врахування точних значень теплоємностей, а тепло-

вий ефект встановлювали при середній температурі (наприклад, 2400 К). Зміною ж теплового ефекту, коли продукти реакції знаходяться у рідкому стані, можна знехтувати.

При встановлених значеннях ентальпій продукту горіння T_a розраховували за формулою:

$$T_a = T_{пл} + \frac{Q - L - \Delta H(T_{пл})}{C_{рідк}}, \quad (1)$$

де Q – теплота утворення продукту, L – теплота проєкту реакції.

Помилку, пов'язану із екстраполяцією, оцінювали у сто градусів.

Фази, що утворюються в результаті металотермічного синтезу прогнозувалися за допомогою одного з методів геометричної термодинаміки – Жукова-Жиґуца [5].

3. Експериментальна частина

Термітна сталь 30X10Г10 (аналог за хімічним складом промислової) вістила 0,26...0,44% С; 9,5...12% Сг; 7...11% Мп; 0,04% Si і 0,03% Р. При синтезі термітної легованої сталі замість ферохрому для підвищення температури металотермічної реакції та для покращення шлаковідділення використовували оксиди хрому (Cr_2O_3 та CrO_6).

Після синтезу термітної сталі вдалося дослідити механічні властивості та мікроструктуру термітної сталі 30X10Г10 після аустенізації, які вказані в табл. 1 та 2.

Таблиця 1

Механічні властивості термітної сталі 30X10Г10

№ з/п	Охолодження після аустенізації при 1100°C	σ_b	σ_t	δ	ψ	a_n , МПа
		МПа		%		
1	У воді	700-1000	370-490	11-16	14-18	130-250
2	На повітрі	610-670	360-420	7-12	11-17	60-90

Таблиця 2

Вплив швидкості охолодження після аустенізації на ударну в'язкість, твердість та мікроструктуру термітної сталі 30X10Г10

№ з/п	Охолодження з 1100°C	a_n , МПа	НВ	Структура
1	У воді	15,7	230	Легований аустеніт
2	У оливі	11,2	200	
3	На повітрі	10,3	164	Легований аустеніт+легований ферит+карбіди
4	Разом з піччю	8,8	210	

В умовах мікроударних, кавітаційних навантажень термітна сталь 30X10Г10 наклепується значно більше аустенітної сталі X18Н10 і тому відрізняється значно більшою зносостійкістю. Додаткове легування цієї сталі нікелем призводить до стабілізації аустеніту, зменшує її

схильність до наклепування і зносостійкості в умовах мікроударного впливу.

Перші ж дослідження показали, що термітна сталь 30X10Г10 має задовільну зварюваність. У зв'язку з підвищенням її схильності до наклепування її механічна обробка ускладнюється і вимагає використання твердосплавного різального інструменту. Встановлено також, що ця сталь має високу рідкотекучість, значно більшу ніж у литій вуглецевої сталі (приблизно в два рази), що вказано у табл. 3.

Таблиця 3

Рідкотекучість термітної сталі 30X10Г10

№ з/п	Температура рідкої сталі, °С	Показник рідкотекучості, мм	
		30X10Г10	У8
1	1430	435	-
2	1450	520	-
3	1500	680	300
4	1550	760	570

Одночасно виявлено для неї підвищену лінійну усадку (2-3%) та схильність до утворення гарячих тріщин. Останнє особливо суттєво починає проявлятися при збільшеному вмісті вуглецю, сірки або фосфору.

Для підвищення стійкості футерівки і формувальних матеріалів при плавленні термітної сталі 30X10Г10 потрібно використовувати лужне середовище футерівки, що одночасно дозволяє запобігти зневугльцюванню, зменшенню вмісту марганцю і призводить до збільшення вмісту кремнію.

4. Висновки

1. Встановлено мікроструктуру та механічні властивості термітної сталі 30X10Г10.
2. Розроблено технологію синтезу термітної сталі 30X10Г10 та визначено хімічних склад шихти для синтезу вказаної сталі.
3. Виявлені технологічні властивості сталі та її особливості, а саме ливарні властивості та вплив на структуру окремих легуючих елементів.

Література

1. Богачев, И. Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы [Текст] : научное издание [Текст] / И.Н. Богачев. – М.: Металлургия, 1972. – 189 с.
2. Жиґуц, Ю.Ю. Сплави, синтезовані металотермією і СВС-процесами (монографія) [Текст] / Жиґуц Ю.Ю. – Ужгород: Гражда, 2008. – 276 с.
3. Жиґуц, Ю. Ю. Синтез термітних суднобудівних сталей [Текст] / Жиґуц Ю. Ю., Чернега Д. Ф., Левдар Е. Е. // Materiály VII mezinárodní vědecko-praktická konf. “Vědecký pokrok na prelomu tysyačolyti”. Dil 15. Technické vědy: – Praha. Publishing House “Education and Science” s.r.o. – 2011. – С. 43-45.

4. Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу [Текст] / Жигуц Ю., Широков В. // Машинознавство. – Львів. – 2005. – №4. – С. 48-50.
5. Жигуц, Ю. Ю. Обчислення характеру фазових діаграм із використанням методів геометричної термодинаміки [Текст] / Жигуц Ю. Ю. // Тези доп. міжн. наук. конф. „Фізика конденсованих систем та прикладне матеріалознавство”. Львів: НУ „Львівська політехніка”. 2007. – С. 16.

Abstract

The present paper the basic solutions to the problem of obtaining cavitation-resistant steels examined the use of thermite steels, the benefits of combining thermite steels with metallothermic methods of getting is showed. The advantages of metallothermic synthesis methods include: autonomy of processes, independence of energy sources, simplicity of equipment, high-performance process and easy transition from experimental research to industrial production. The need to developed the technology of synthesis thermite cavitation-resistant steels, as a result of aluminothermic reactions and establishment of technological features' of synthesis it all led. At the first phase of the study of chemical composition of the synthesized cavitation-resistant steels is determined. In continuation of studies microstructure, mechanical and technological tests were performed. Technological features of the synthesis process and the impact of components exothermic reaction were revealed. The result of comprehensive research was the development of fusion technology thermite cavitation-resistant steel "30X10Г10", setting of the charge for the synthesis of the specified steel, revealing the microstructure and mechanical properties of thermite steel "30X10Г10", the research of technological properties of steel, namely the casting of properties and effects on the structure of individual alloying elements.

Keywords: metallothermic synthesis, cavitation-resistant steels, properties

Аналізується ефективний підхід до вибору адекватної фізичної моделі капілярно-пористого середовища на основі орієнтованих волокнистих наповнювачів, що надалі використовується для прогнозування технологічних параметрів одержання виробів з композицій епоксиполімерів, зокрема, в процесах просочування

Ключові слова: структура, модель, капіляр, пори, волокнистий наповнювач

Анализируется эффективный подход к выбору адекватной физической модели капиллярно-пористой среды на основе ориентированных волокнистых наполнителей, которая далее используется для прогнозирования технологических параметров получения изделий из композиций эпоксидных полимеров, в частности, в процессах пропитки

Ключевые слова: структура, модель, капилляр, поры, волокнистый наполнитель

УДК 535.024: 620.168: 678.02: 678.5.059

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРИ КАПІЛЯРНО- ПОРИСТОГО СЕРЕДОВИЩА НА ОСНОВІ ОРІЄНТОВАНИХ ВОЛОКНИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ

О. Є. Колосов

Доктор технічних наук, професор*

Контактний тел.: 067- 446-41-12, (044) 236-95-48

E-mail: a-kolosov@ukr.net; a-kolosov@i.ua

В. І. Сівецький

Кандидат технічних наук, професор*

Контактний тел.: (044) 454-92-77, 050-440-98-95

Л. А. Кричківська*

Контактний тел.: (044) 236-95-48

О. П. Колосова

Науковий співробітник**

Контактний тел.: (044) 236-95-48

*Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

**Національний технічний університет України

„Київський політехнічний інститут”

пр. Перемоги 37, корпус 19, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

Для розуміння механізму й успішної розробки просочувальних операцій та реалізуючого їх технологічного устаткування при отриманні намотувальних конструкцій із композитів на основі полімерних матриць і орієнтованих волокнистих наповнювачів (ОВН) у вигляді ровінгів, джгутів, тканин тощо, первинне значення має вивчення всього комплексу «елементарних» явищ перенесення рідини і вологи, які складають фізичну сутність реальних операцій просочення капілярно-пористих середовищ (тіл) [1].

Шукана фізична модель, як правило, надалі використовується для детермінації уточненої математичної моделі технологічного процесу просочування ОВН полімерними рідинами, а саме епоксидними зв'язуючими (ЕЗ), з використанням класичної теорії фільтрації для ламінарної течії в'язкої неньютонівської рідини, що не стискується.

Тому при просочуванні тканих волокнистих наповнювачів розчинами ЕЗ, нанесеними на поверхню наповнювача, відбувається не тільки заповнення великих пор і капілярів ЕЗ (так звана "пенетрація"), але й проникнення його безпосередньо у волокна. Перше явище можна умовно назвати "поперечним" просочуванням (тобто просочуванням перпендикулярно до поверхні тканини), друге — "поздовжнім" просочуванням (тобто просочуванням уздовж капілярів волокон).

Таким чином, прогнозування кінетики технологічного процесу просочування орієнтованих і тканих ВН розчинами ЕЗ базується, перш за все, на аналізі структури ВН, і тому є актуальним для моделювання реального технологічного процесу просочування.

2. Постановка задачі

Метою досліджень є аналіз ефективного підходу до вибору адекватної фізичної моделі капілярно-пористого середовища на основі орієнтованих волокнистих наповнювачів, що надалі використовується для прогнозування технологічних параметрів одержання виробів з композицій епоксиполімерів, зокрема, в процесах просочування.

3. Будова і капілярна структура орієнтованих і тканих волокнистих матеріалів

Капілярну структуру ОВН слід віднести до найважливіших факторів, що впливають на швидкість і повноту процесу просочування. Адже надходження просочувальної рідини в ці матеріали є процесом, яким в основному управляють закони капілярності і в'язкості [1].

Досить очевидно, що у загальному випадку капілярна структура будь-якого волокнистого матеріалу складається із мікроструктури речовини волокна, з якого він складається, а також із макроструктури волокнистого матеріалу. Причому діаметр капілярів обох структур є зовсім різного порядку. Тому доречно розглянути обидві капілярні структури окремо.

Капілярна структура волокон

На рис. 1 наведена схема будови рослинного волокна, яка була запропонована Фрей-Віслінгом [1]. Ця схема враховує деякі морфологічні особливості волокна, а саме: наявність фібрил з діаметром біля 0,4 мкм, що відповідає виокремлюваній здатності мікроскопу, а також більш дрібних мікрофібрил.

Окремі природні текстильні волокна є пучком макроскопічних фібрил, між якими розташовані мікроскопічні капілярні простори (рис. 1). У свою чергу, мікроскопічні фібрили складаються із пучків субмікроскопічних фібрил, між якими знаходяться грубі щілини і пустоти з поперечником (50 – 130) Å, що чергуються з тонкими капілярами, які мають поперечник не більш 10 Å.

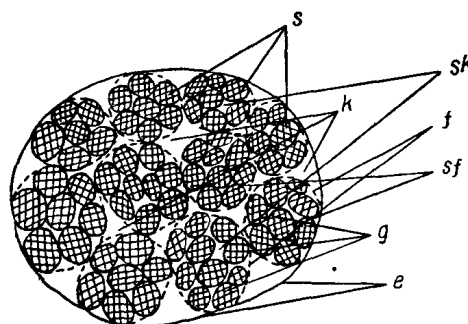


Рис. 1. Схема будови натурального текстильного волокна по Фрей-Віслінгу [1]: *e* – окреме волокно; *f* – мікроскопічні фібрили; *k* – мікроскопічні капілярні простори; *sf* – субмікроскопічні фібрили; *sfc* – субмікроскопічні капілярні простори; *g* – кристалічні просторові ґрати; *s* – щілини між кристалітами

Мікроскопічні і субмікроскопічні капілярні простори обумовлюють всмоктування рідин сухими волокнами при набуханні.

Структура використовуваних хімічних волокон значно простіша, хоча ці волокна в більшості випадків складаються також із пов'язаних між собою кристалітів. Відпадають деякі морфологічні особливості волокна: існування фібрил, наявність центрального каналу тощо.

При цьому на розподіл волокон в перетині реально-го композиту істотний вплив здійснюють такі чинники, як параметри одержання конструкції (зусилля натягнення наповнювача при просоченні і намотуванні при одержанні оболонкових конструкцій, шаг розкладки, швидкість намотування, температурно-часовий режим твердіння і пресування), процентне співвідношення складаючих компонентів, їх властивості й ін.

Потрібно підкреслити, що одного тільки геометричного уявлення про пористість недостатньо для пояснення різної здатності проникнення рідин у волокно. На проникнення рідини у волокно вельми сильно можуть впливати взаємодія рідини з речовиною поверхні стінок (адсорбція), сили електростатичного тяжіння або відштовхування тощо.

Таким чином, проникнення просочувальної рідини в глибину капілярів, що є в окремих волокнах, особливо за ті короткі терміни, протягом яких відбувається просочування, не може бути значним.

Незмірно більше значення для практики має проникнення просочувальної рідини в простори між волокнами (міжволоконний простір чи penetрація) або нитками волокнистого матеріалу, про що йдеться далі.

Будова і капілярна структура тканин

Слід відзначити, що найбільш поширеними видами переплетень тканин, що застосовуються як наповнювач у процесі формування шаруватих пластиків, є полотняне, саржеве, сатинове й атласне. Ці види переплетень здійснюють вплив на капілярну структуру тканин.

Капілярна структура таких матеріалів, як волокнисті полотна і корд, не є постійною, а у великій мірі залежить від умов, в яких знаходяться ці системи, і зокрема, від механічних впливів, яких вони зазнають в різних технологічних процесах (стиснення між направляючими і віджимними роликками, розтягнення в просочувальному агрегаті тощо). Тому нижче буде розглянута капілярна структура тільки тканин, що визначається в основному процесом прядіння і ткацтва, і що є більш або менш постійною.

Значення істинного і уявного об'ємів пор тканини, що непросочилася, дає технологу вказівку на максимальне заповнення пор тканини, якого можна чекати при просочуванні, і дозволяє використати для характеристики міри просочування «коефіцієнт просочування», під яким мають на увазі відношення об'єму пор, заповнених рідиною, до загального об'єму пор тканини.

Крім того, порівняння істинної й уявної пористості до і після імпрегнування (просочування) може дати істотні вказівки і на зміну санітарно-гігієнічних властивостей тканини. Установлення максимального діаметру пор має велике практичне значення, оскільки, як ми побачимо нижче, саме по цих порах відбувається в основному проникнення полімерної рідини в тканину.

Нарешті, дуже важлива для технолога і експериментальна крива розподілу пор по діаметру, оскільки це дозволяє вирішити вельми неясне до цього часу питання про те, наскільки можливі при просочуванні тканини явища, що дозволяють відфільтрувати частки дисперсій розчинів полімерних зв'язуючих, і яким максимальним розміром із цієї точки зору повинні володіти частки дисперсій розчинів полімерних зв'язуючих.

4. Адекватна структурна модель

Усе вищезазначене слугувало до розроблення ефективного підходу до вибору відповідної фізичної моделі. Послідовність припущень при побудові адекватної структурної моделі ОВН в технології просочування, що схематично наведена на рис. 2 (а—д), полягає в наступному.

Від структури ОВН, яка у загальному випадку складається із системи паралельно-звивистих капілярів різних радіусів (рис. 2-а), яку можна детермінувати, наприклад, за допомогою функції розподілу пор радіусом ρ по розмірах $\varphi(\rho)$ [2], переходять за допомогою відповідних співвідношень до осереднення структури ОВН як регулярної структури лінійних капілярів з однаковим поздовжнім перетином (рис. 2-б), схема заповнення просочувальною рідиною яких показана на рис. 2-в і рис. 2-г (поперечний перетин ОВН).

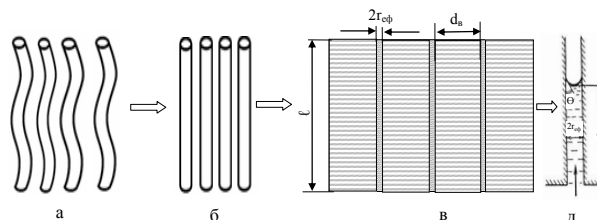


Рис. 2. Послідовність припущень (а—д) при побудові адекватної структурної моделі ОВН в технології їх просочування: d_s — середній діаметр волокна; θ — крайовий кут змочування

Тобто в кінцевому підсумку переходять до схеми просочування одиночного капіляру довжиною ℓ (рис. 2-д), діаметр якого дорівнює $2r_{\text{eff}}$.

Надалі вибрана адекватна фізична модель структури капілярно-пористих тіл використовується для моделювання реального технологічного процесу просочування волокнистих наповнювачів епоксидними зв'язуючими в технології одержання конструкцій із орієнтованих волокнистих композитів [2]. Це відбувається з використанням класичної теорії фільтрації для ламінарної течії в'язкої неньютонівської рідини, що не стискується, на базі застосування відповідної математичної моделі, що враховує інтегральні характеристики волокнистого наповнювача як капілярно-пористого тіла, а саме: пористість, питому внутрішню поверхню, ефективний (еквівалентний) капілярний радіус.

5. Висновки

Описаний ефективний підхід до вибору адекватної фізичної моделі капілярно-пористих тіл в технології одержання конструкцій із орієнтованих волокнистих композитів. Ця фізична модель використовується для детермінації уточненої математичної моделі технологічного процесу просочування волокнистих наповнювачів епоксидними зв'язуючими з використанням класичної теорії фільтрації для ламінарної течії в'язкої неньютонівської рідини, що не стискується.

Література

1. Цыплаков, О.Г. Научные основы технологии композиционно-волоконных материалов. Ч.1 [Текст] / О.Г. Цыплаков. — Пермь, 1974. — 317с.
2. Колосов, О.С. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації [Текст] / Колосов О.С., Сівецький В.І., Панов Є.М., Мікульонюк І.О. та ін. - К.: ВД «Едельвейс», 2012. - 268 с.

Abstract

It is shown that the prediction of the kinetics of impregnation process oriented and woven fibrous fillers epoxy binder solution is based primarily on an analysis of the structure of fibrous fillers. In this case, the capillary structure of fibrous fillers should include the most important factors that affect the speed and completeness of the impregnation process, after impregnating fluid flow in these materials is a process, which is mainly governed by laws of capillarity and viscosity. It is shown that in general the capillary structure of any fibrous material consists of material microstructure fiber from which it is made, as well as macro-fiber material, the diameter of the capillaries of the two structures is a completely different order. Are analyzed that the penetration depth of the liquid in the impregnation of capillaries in individual fibers, especially for those short periods during which there is a treatment, there can be significant. Therefore infinitely more practical importance is the penetration of impregnating fluid in the space between the fibers (interfiber space or penetration) or filaments of fibrous material. Describes an effective approach to the selection of an adequate physical model of capillary-porous bodies in the technology of construction of the oriented fiber composites. This physical model is then used for the determination of refined mathematical model of the process of impregnation of fibrous fillers epoxy bonding using conventional filtration theory of laminar flow of viscous non-Newtonian fluid which is not compressed.

Keywords: structure, model, capillary pores, fiberfill

В даній статті було запропоновано та використано новий високочутливий поляризаційно-модуляційний метод спектрометрії. Спосіб поляризаційно-модуляційної спектрометрії дозволяє з високою чутливістю вимірювати локальні механічні напруження в деталях із оптично прозорих матеріалів, а використання відбитого сонячного випромінювання дозволяє контролювати внутрішні напруження в листовому склі великих габаритів

Ключові слова: внутрішні напруження, поляризаційно-модуляційний метод, монокристалічний сапфір

В данной статье был предложен и использован новый высокочувствительный поляризационно-модуляционный метод спектрометрии. Способ поляризационно-модуляционной спектрометрии позволяет с высокой чувствительностью измерять локальные механические напряжения в деталях из оптически прозрачных материалов, а использование отраженного солнечного излучения позволяет контролировать внутренние напряжения в листовом стекле больших габаритов

Ключевые слова: внутренние напряжения, поляризационно-модуляционный метод, монокристаллический сапфир

УДК 535.15

НОВІ СПОСОБИ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ВНУТРІШНІХ НАПРУЖЕНЬ В ДЕТАЛЯХ З ОПТИЧНО ПРОЗОРИХ МАТЕРІАЛІВ

В. П. Маслов

Доктор технічних наук, професор
Кафедра наукових, аналітичних та екологічних
приладів і систем
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
Контактний тел.: (044) 525-05-55
E-mail: vladmaslov@mail.ru

1. Вступ

Відомо, що в сучасних приладах широко використовується такий унікальний матеріал як сапфір. На прикладі деталей із сапфіру показано можливість вимірювання внутрішніх напружень за допомогою поляризаційних методів контролю. Висока стійкість до механічних, хімічних і температурних впливів, хороша прозорість в оптичному діапазоні від

ультрафіолетового до інфрачервоного випромінювання, яка властива матеріалу, дають можливість виготовляти сапфірові вікна та лінзи для оптичних приладів. Деталі із сапфіру використовують в термоядерних установках при діагностиці термоядерної плазми та аналізі стану поверхні розрядних плазмових камер [1], а також в космічній техніці – для виведення лазерного випромінювання в космічний простір і в системах зв'язку космічних апаратів. Високі електроізолюючі

властивості сапфіру посприяли також успішному його використанню в мікроелектроніці як матеріал-підкладка для структур «кремій на сапфірі» (КНС), а в останній час – для виготовлення на сапфірових підкладках випромінюючих світлодіодів [2].

При вирощуванні злиwkів монокристалічного сапфіру у ньому виникають дефекти у вигляді мікробульбашок, границь блоків та механічні напруження, які суттєво впливають на його властивості. Проблему контролю якості сапфірових структур вирішують багатьма способами, але вони не достатньо чутливі для потреб сучасної фізики або складні у використанні (рентгенівські методи). Традиційний контроль внутрішніх механічних напружень здійснюють візуально на полярископі-поляриметрі ПКС-250, в основу покладений метод подвійного променезаломлення Сенармона [3], проте технічні можливості цього традиційного методу не дозволяють виконувати кількісний контроль якості зразків монокристалів сапфіру з мікронапруженнями. Тому актуальною задачею сучасного приладобудування є розроблення нових методів технічної діагностики та неруйнівного контролю якості деталей із оптично прозорих матеріалів.

2. Поляризаційно-модуляційний спосіб контролю

В роботі [4] досліджувалась можливість використання методу поляризаційно - модуляційної спектроскопії для вирішення поставленої задачі. Цей метод був у свій час детально досліджений та узагальнений в монографії [5]. Всі модуляційні методи поєднує одна і та ж сама функціональна риса, що полягає у фізичному диференціюванні відповідної функціональної характеристики того чи іншого явища. Потреба у такій процедурі продиктована необхідністю подолання труднощів, що виникають при аналізі слабо виражених особливостей досліджуваної характеристики, чи при наявності у ній постійної складової – «фона». Тому процедура диференціювання функціональних залежностей, що виконана на фізичному рівні, а не на етапі математичної обробки експериментальних результатів, є достовірним та додатковим, а деколи і новим високочутливим джерелом інформації про властивості досліджуваного об'єкта.

Однак така характеристика випромінювання як стан поляризації, має з точки зору диференціальної спектроскопії суттєву відмінність від інших способів модуляції. Вона полягає, перш за все, у тому, що поляризація, як просторова характеристика хвилі, виражається сукупністю значень – компонентами вектора Максвелла-Джонса або вектора Стокса. Таким чином, на відміну від модуляцій інших фізичних величин, що оперують з єдиним параметром, поляризаційна модуляція (ПМ) характеризується двомірним впливом на хвилю. Ця, несуттєва на перший погляд, обставина значно ускладнює як техніку експерименту, так і інтерпретацію отриманих за допомогою ПМ результатів. Частково у цьому і полягає причина того, що в період всезагального розповсюдження диференційних методів, коли практично у всіх фізичних науково-дослідних лабораторіях розвивалися модуляційні методики з використанням різноманітних фізичних величин, ПМ залишалася поза увагою. На

рис. 1 показана найбільш ефективна конструкція модулятора поляризації, в якому використаний один із самих надійних способів одержання нероз'ємних безклеювих з'єднань оптичних елементів, а саме глибокий оптичний контакт (ГОК), який заснований на силах молекулярного зчеплення комплектуючих поверхонь [6].

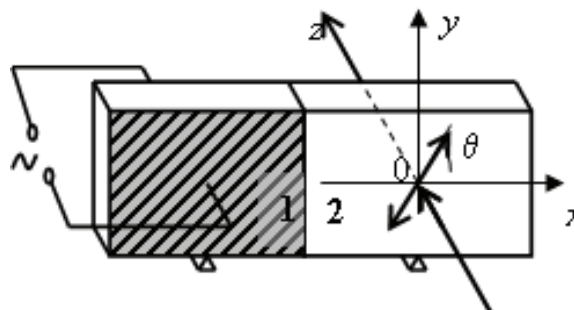


Рис. 1. Модулятор поляризації оптичного випромінювання: 1 – п'єзорезонатор (кристалічний кварц); 2 – динамічна фазова пластинка. Азимут електричного поля хвилі, що модулюється, становить 45° відносно напрямку акустичної хвилі стискування-розтягування

Проведені попередні дослідження [4] показали перспективність поляризаційно - модуляційного метода визначення розподілу мікронапружень у прецизійних вікнах із сапфіру, але в цій роботі не були визначені абсолютні значення локальних мікронапружень в досліджуваних зразках.

В результаті проведеної роботи [4] розроблено методику отримання абсолютних значень внутрішніх механічних напружень з допомогою використання поляризаційно-модуляційної спектроскопії. Чутливість методики від інтенсивності лазера і товщини зразка визначається співвідношенням:

Висока чутливість методу, яка досягає показника в 0,001 Па, дозволила пояснити причину невідповідності досліджених зразків вимогам лазерних систем, а саме: на зміну геометрії фронту лазерного випромінювання, яке пройшло через дані вікна, впливає величина і нерівномірність розподілу внутрішніх мікронапружень по площині цих вікон.

На рис. 2 наведено результати досліджень одного із зразків сапфіру. Всього для досліджень було використано п'ять сапфірових вікон (діаметр 62 мм, товщина 5 мм), які були надані фірмою «Impex Hightech GmbH» (Німеччина). На рисунку бачимо, що зразки сапфіру мають неоднорідну внутрішню структуру розподілу мікронапружень.

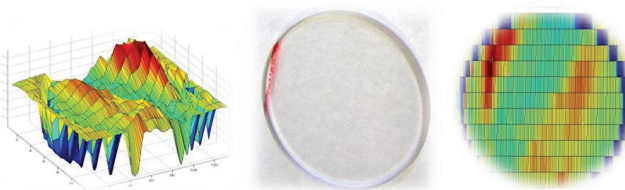


Рис. 2. Результати досліджень промислового зразка №3, які змодельовані з допомогою програмного пакету MatLab

З допомогою використання запропонованої методики визначили максимальну (стиснення) і мінімальну (розтягнення) величину абсолютного значення внутрішніх механічних напружень, які наведені в табл. 1. Проаналізувавши результати досліджень, бачимо, що нерівномірність у використаних зразках сапфірових вікон досягає 1 Па.

Таблица 1

Максимальні (стиснення) та мінімальні (розтягнення) значення внутрішніх механічних напружень в оптичних сапфірових вікнах

№	δ_{max+} (стиснення)	δ_{max-} (розтягнення)
Sample №1	855 Па	- 480 Па
Sample №2	900 Па	- 500 Па
Sample №3	500 Па	- 520 Па
Sample №4	460 Па	- 415 Па
Sample №5	900 Па	- 580 Па

Поляризаційно-модуляційний спосіб дозволяє також контролювати розподіл внутрішніх напружень, що виникають при з'єднанні прецизійних деталей (рис. 3) і оптимізувати технологію з'єднання.

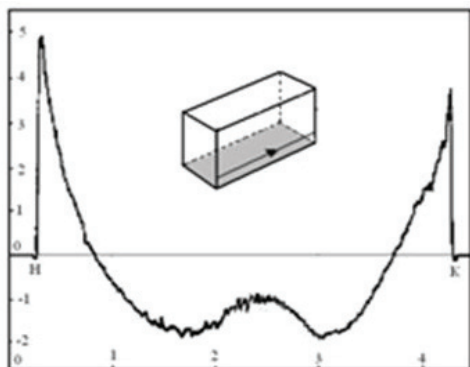


Рис. 3. Розподіл напружень у зразку склокераміки, лінія сканування паралельна площині з'єднувального шва

3. Поляризаційний спосіб контролю великогабаритних деталей

Відомий полярископ-поляриметр ПКС-250 дозволяє проводити контроль внутрішніх напружень в прозорих деталях, розмір яких не перевищує 250 мм. Для вирішення проблеми контролю великогабаритних деталей типу листів загартованого скла запропоновано використовувати спосіб контролю механічних напружень в оптичних матеріалах [5].

Задачею запропонованого способу є реалізація можливості простого, мобільного контролю великогабаритних зразків у виробничих умовах. Поставлена задача досягається тим, що у відомому оптичному способі контролю механічних напружень в оптичних матеріалах, який полягає в освітленні досліджуваного зразка поляризованим світлом з наступною обробкою інформації з використанням аналізатора, який

відрізняється тим, що як аналізатор використовуються поляризаційні окуляри, а аналіз інформації проводить безпосередньо оператор візуально. При цьому як джерело поляризованого світла може бути використане відбите сонячне світло.

При необхідності документації, візуальна інформація може бути сфотографована на цифрову камеру з поляризаційним фільтром.

На рис. 4 показана фотографія загартованого скла, сфотографоване на цифрову камеру Olympus з поляризаційним фільтром.

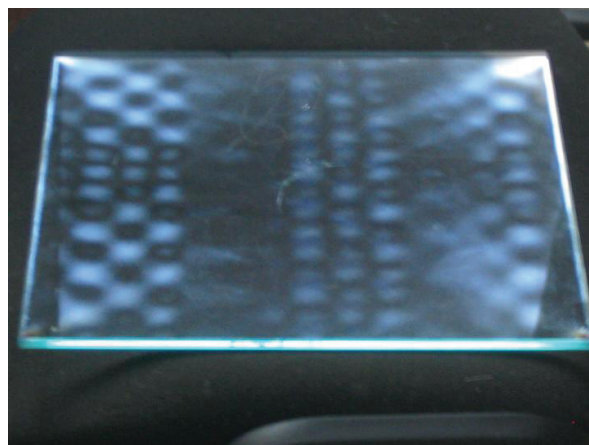


Рис. 4. Зображення загартованого листового скла 500x500x5 мм

Можна побачити напруження, що виникло в наслідок локального обдуву форсунками при загартуванні нагрітого скла.

4. Використання дисплейних екранів, як джерела поляризованого світла

Через те, що наявність та інтенсивність сонячного світла залежить від погодних умов, виникла необхідність розроблення великогабаритних енергозберігаючих джерел поляризованого світла. В результаті проведених досліджень було запропоновано [6] використання в якості джерела поляризованого світла рідкокристалічного дисплею.

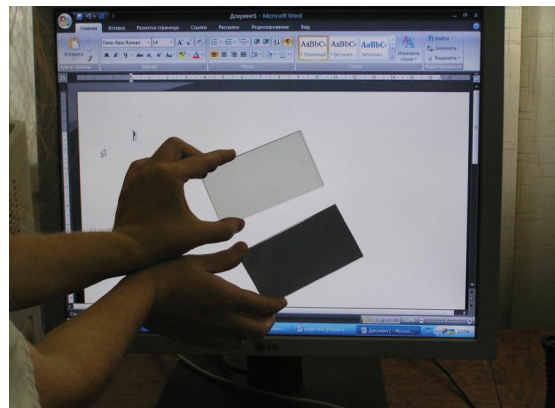


Рис. 5. Поляризація випромінювання дисплейного екрану (верхній аналізатор в положенні пропускання, нижній в положенні «вимкнення»)

На рис. 5 показано, що дисплейний екран комп'ютера має надійний поляризаційний ефект, тому, що два однакових плівкових аналізатора показують дві крайні позиції – повне пропускання світла та його «вимикання».

5. Висновки

1. Спосіб поляризаційно-модуляційної спектроскопії дозволяє з високою чутливістю

вимірювати локальні механічні напруження в деталях із оптично прозорих матеріалів.

2. Використання відбитого сонячного випромінювання дозволяє контролювати внутрішні напруження в листовому склі великих габаритів.
3. Вперше запропоновано використання рідкокристалічного дисплею в якості джерела поляризаційного світла.

Література

1. Иванов, Л.И. Состав и морфология поверхности сапфира после импульсной обработки высокотемпературной плазмой [Текст] / Л.И. Иванов И.В. Боровицкая, А.И. Дедюрин, С.А. Масляев, О.Н. Крохин, В.Я. Никулин, А.А. Тихомиров, И.В. Яминский, О.В. Синицына, // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №1. - С.32-37.
2. Добровинська, Е.Р. Енциклопедія сапфіру [Текст] / Е. Р. Добровинська, Л.А. Литвинов, В.В. Піщік – Х. : Інститут монокристалів, 2004. - 508 с.
3. Зубаков, В.Г. Технология оптических деталей [Текст] / В.Г. Зубаков, М. Н. Семибратов, С.К. Штандель - М. : Машиностроение, 1985. – 414 с.
4. Маслов, В.П. Комплексні дослідження якості сапфірових оптичних вікон сучасними неруйнівними методами [Текст] / В.П. Маслов, Б.К. Сердега, І.С. Матяш, П.М. Литвин, С.М. Кущовий // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2012. - №43. – С. 54-60.
5. Пат. 37067 України. Спосіб контролю механічних напружень в оптичних матеріалах [Текст] / Гаврилов В.О., Качур Н.В., Маслов В.П., Родічев Ю.М.; заявник ІФН ім. В.Є.Лашкарьова НАН України. Опубл. 10.11.2008, Бюл. № 21/2008. – 4 с. : іл.
6. Заявка на пат. № U 2012 08312 України. Спосіб контролю механічних напружень в конструкційних елементах літаків [Текст] / Венгер Є.Ф., Маслов В.П., Семенець О.І., Качур Н.В., Кущовий С.М. Від 06.07.2012.

Abstract

The article deals with the problem of the new ways of polarization control of internal stresses in the optically transparent materials details.

During the process of growing, the optically transparent materials, such as mono-crystal sapphire ingots, may obtain some defects, e.g. micro-bubbles or the grain boundaries, as well as the mechanical stresses that affect their properties significantly.

The aim of this work was to study the new ways to control the polarization of the internal stresses in the optically transparent materials details. In order to implement this task we used a new highly polarized - modulation spectrometry method. This method allows us to measure the local mechanical stresses in the optically transparent materials details with high sensitivity, and the usage of the reflected sunlight enables to control the internal stresses in the sheet glass of a large size. As such, the usage of the LCD as a source of light polarization was introduced for the first time. The point is that the intensity of sunlight depends on the weather conditions, and that factor affects the results of the research

Keywords: internal tension, polarized - modulation method, mono-crystal sapphire

Отримано математичні залежності, що описують вплив електричного поля на трибологічні властивості мастильних середовищ та встановлюють взаємозв'язок між основними фізичними параметрами трибосистем і електричним полем. Теоретично обґрунтовано застосування цих залежностей для моделювання процесів, що відбуваються в мастильних середовищах під впливом електричного поля

Ключові слова: мастильні середовища, трибологічні властивості, електричне поле, математичні залежності

Получены математические зависимости, которые описывают влияние электрического поля на трибологические свойства смазывающих сред и устанавливают взаимосвязь между основными физическими параметрами трибосистем и электрическим полем. Теоретически обосновано применение этих зависимостей для моделирования процессов, которые происходят в смазывающих средах под влиянием электрического поля

Ключевые слова: смазывающие среды, трибологические свойства, электрическое поле, математические зависимости

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТОВАННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА МАСТИЛЬНІ СЕРЕДОВИЩА

І. Л. Трофімов

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра екології

Національний авіаційний університет

пр. Космонавта Комарова, 1,

м. Київ, Україна, 03058

Контактний тел.: 097-238-28-89

1. Вступ

Дослідження, про які йдеться у статті відносяться до галузі машинобудування. Скорочення запасів нафти, зріст витрат на її добування та переробку, а також наростаюча шкода від забруднення навколишнього середовища обумовлюють всевітнє скорочення витрат нафтопродуктів. В цей же час у зв'язку з різким подорожчанням природних ресурсів, підвищення експлуатаційних властивостей мастильних середовищ (МС) стає актуальною науково-технічною проблемою. Тому питання щодо підвищення експлуатаційних властивостей робочих рідин, зокрема електричним полем, є одними із складових при розгляді пріоритетних напрямів забезпечення надійності роботи моторної техніки та вузлів тертя.

На сьогодні існують досить високі вимоги до мастильних матеріалів (ММ), режимів і властивостей їх роботи в різних умовах, що визначає необхідність підвищення трибологічних властивостей існуючих матеріалів та необхідність пошуку нових методів створення МС для вузлів тертя машин і механізмів, що є також актуальним.

2. Постановка проблеми. Мета і задачі дослідження

Питання щодо фізики та теоретичного обґрунтування впливу електричного поля на трибологічні властивості робочих рідин на сьогодні залишається відкритим. Мета роботи полягала в отриманні математичних залежностей, що описують

вплив електричного поля на трибологічні властивості МС.

3. Основна частина. Аналіз літературних джерел за темою дослідження

Як відомо, властивості МС нафтового походження забезпечуються характером взаємодії атомів в молекулах і молекул між собою. До складу похідних вуглеводнів - жирних кислот, спиртів, ефірів входить кисень. У МС для поліпшення трибологічних властивостей додають інші хімічні елементи, які при з'єднанні вступають в дію з певними функціональними групами. Комбінацією доданих в МС функціональних груп, які мають різні хімічні елементи, набувають потрібних властивостей робочого середовища, можливість керувати процесами набуття цих властивостей у відповідності з тими функціями, для яких вони призначені [1, 2].

Виходячи з аналізу робіт [1, 2] проведених різними науковими школами з дослідження експлуатаційних властивостей МС можна зробити висновок, що термін їх роботи обмежений з причин старіння в результаті окиснення і спрацьовування присадок.

У роботі [1] показано, що для стабілізації трибологічних властивостей МС електричним полем потрібне порушення або відновлення зв'язків в молекулах МС між окремими функціональними групами. А для впровадження процесу розділення молекули МС на частини необхідне, щоб зовнішня енергія направ-

лена на розрив зв'язків, перевищувала енергію зв'язків молекул.

Як відомо, роз'єднанні кінці в осколках зруйнованої молекули завжди проявлятимуть активність, оскільки вони мають ненасичені енергетичні зв'язки. При першій же нагоді хімічно активні кінці частин молекули насичатимуться, тобто приєднаються до себе подібних, або до ще активніших функціональних груп.

З аналізу праць [1 – 3] видно, що головним компонентом МС, який дозволяє сформувати адсорбційні шари на поверхні металів, є поверхнево-активні речовини (ПАР). Основна властивість ПАР полягає в тому, що центри тяжіння позитивних і негативних зарядів їх молекул не збігаються, і завдяки такій структурі молекула ПАР має постійний дипольний момент. Під час дії на неї електричним полем постійні дипольні моменти мають орієнтуватися за напрямом напруженості електричного поля. За рахунок цього, молекули ПАР повинні переорієнтуватися так, що найменші фізичні елементи об'єму ПАР набудуть дипольні моменти. Така поляризація значно інтенсивніша, ніж поляризація, що індукується електричним полем. Молекули ПАР набувають напрямку за вектором напруженості зовнішнього електричного поля і в міру її зростання дедалі більша кількість цих молекул стає напрямлена за вектором напруженості електричного поля та за певної напруги настає момент, коли майже всі молекули ПАР займають це положення [1, 2]. Це може привести до того, що збільшиться імовірність їх взаємодії між собою, а крім того, упакованість молекул (густина на одиницю довжини поверхні) буде вищою у разі розташування на поверхні металу.

Варто також згадати і про продукти зношування поверхонь тертя. Всі частинки зношування поверхонь тертя належать до провідників. При накладенні електричного поля на МС продукти зношування також опиняються в ньому і за вектором напруженості поля в них перерозподіляються заряди. Позитивні заряди будуть розташовані з одного боку, а негативні – з іншого. Якщо уявити частинку зношування у вигляді кулі, то на її поверхні напруженість локального поля буде більшою порівняно із зовнішнім полем. Під впливом електричного поля навколо продуктів зношування дипольні моменти молекул ПАР набудуть його напрямку, а оскільки частинка зношування – метал, то молекули ПАР адсорбуватимуться на такій поверхні із середовища базового МС.

Таке локальне поле за обсягом впливу перевищує електромагнітне поле звичайного металу, тому на поверхнях таких частинок зносу утворюватиметься полімолекулярний шар молекул ПАР.

Дія електричного поля на базове МС (як приклад, розглянемо оливи). За своїм складом вони належить до неполярного діелектрика. У разі накладення зовнішнього поля на оливи відбувається процес поляризації, оскільки позитивні заряди прагнуть рухатись за напрямком вектора напруженості, а негативні – протилежно. У результаті молекули базової оливи набувають дипольного моменту і мастильне середовище поляризується. Описана фізична картина дії електричного поля на базову оливу не змінює його структури [1, 2]. Його молекули в цьому випадку взаємодіятимуть з вуглеводневим радикалом ПАР і утворять додатково напрямлений шар своїх молекул по вектору напру-

женості. Такий зв'язок може сприяти підвищенню в'язкості ММ. Завдяки дії зовнішнього електричного поля, ММ набувають структури, яка як за рахунок зростання кількості молекул ПАР у вигляді мономерів, так і внаслідок їх взаємодії з молекулами базового середовища має сприяти зростанню в'язкості, що в свою чергу зумовлюватиме зростання товщини змащувального шару.

Такий механізм дає змогу отримати високу локальну концентрацію молекул ПАР прямо на поверхні тертя, що дозволить створити змащувальний шар більшої товщини, а отже, безпосередньо взаємодія виступів поверхонь тертя зменшиться, що призведе до зниження інтенсивності їх зношування. Крім того, частинки зношування, оточені молекулами ПАР, заповнюючи шорсткості поверхонь, знижують питомий контактний тиск між ними, що теж призводить до зниження зносу. При процесах експлуатаційних взаємодій пар тертя слід очікувати адсорбційного пластифікування поверхонь тертя, і, як наслідок, зниження коефіцієнта тертя навіть в умовах граничного змащування.

На основі аналізу літературних джерел встановлено, що основним фізичним параметром, що визначає взаємодію молекул базових МС (олив) та молекул ПАР із електричним полем, є електричний дипольний момент їх атомів і молекул. Використовуючи саме цей фізичний параметр, розглянемо молекулу оливи (або ПАР), на яку впливає електричне поле.

Відомо, що напруженість E електричного поля залежить від напруги U в електричному полі і відстані h , на якій діє ця напруга. У цьому випадку оброблюємо МС електричним полем (метод оброблення та пристрій описані в [4]), подаючи напругу U постійного струму до пристрою підвищення властивостей паливно-мастильних матеріалів. Таким чином,

$$E = \frac{U}{h}. \quad (1)$$

Із термодинаміки відомо [5], що повна енергія системи має вигляд:

$$U' = H - T \frac{dH}{dT}, \quad (2)$$

де H – вільна енергія; $T \frac{dH}{dT}$ – зв'язана енергія.

За літературним джерелом [5] у разі ізотермічної зміни величини поверхні (наприклад рідини) на 1 см^2 затрачується (у разі розтягування) чи віддається (у разі стискування) механічна робота, яка чисельно дорівнює поверхневому натягу σ . Отже, ця робота виражає зміну вільної енергії поверхні при ізотермічному збільшенні або зменшенні поверхні на 1 см^2 . Тобто $H = \sigma$. Згідно з цим рівняння (2) набуде вигляду:

$$U' = \sigma - T \frac{d\sigma}{dT}, \quad (3)$$

де σ – поверхневий натяг, а також вільна енергія одиниці поверхні, erg/cm^2 .

Величина $T \frac{d\sigma}{dT}$ може бути знайденою, якщо відома залежність $\sigma = f(T)$. Ця залежність може бути прийнятою в широкому інтервалі температур [5]:

$$\sigma = \sigma_0 - \beta t, \rightarrow \frac{d\sigma}{dt} = -\beta, \rightarrow U' = \sigma + \beta T. \quad (4)$$

У залежності (4) σ_0 – поверхневий натяг за нульової температури. Отже, з підвищенням температури поверхневий натяг знижується, оскільки збільшується середня відстань між молекулами і їхня міжмолекулярна дія слабшає.

Із рівнянь (3), (4) виходить, що повна енергія поверхневого шару не залежить від температури, оскільки $\frac{d\sigma}{dT} = -\beta$ то $\frac{d^2\sigma}{dT^2} = 0$. З іншого боку, з рівняння (3)

витікає, що $\frac{dU'}{dT} = -T \frac{d^2\sigma}{dT^2}$, отже, $\frac{dU'}{dT} = 0$, що відповідає $U' = \text{const}$.

У розглядуваному випадку можна припустити, що енергія, з якою електричне поле діє на одиничну поверхню ММ, і буде виражати повну енергію U' одиниці поверхні. Тобто:

$$U' = \sigma + \beta T = U. \quad (5)$$

Із формул (1), (4) і (5) можна отримати такі залежності:

$$U = Eh = \sigma + \beta T \rightarrow \sigma = Eh - \beta T. \quad (6)$$

Із формули (6) отримуємо, що поверхневий натяг σ має залежати від напруженості електричного (електростатичного) поля E . Тобто ми отримали залежність $\sigma = f(E)$. Ця залежність експериментально перевірена у праці [6], в якій встановлено, що для авіапалива ТС-1 поверхневий натяг порівняно з вимірами у базовому середовищі та після оброблення електричним полем зменшився у 1,3 разу, для дизельного палива у 1,2 разу. Встановлено, що зі збільшенням напруженості електричного поля, інтенсивніше зменшується значення величини поверхневого натягу авіапалива ТС-1 та дизельного палива.

Розглянемо також поведінку молекул щодо їх динаміки, якщо на мастильні середовища впливає зовнішнє електричне поле. У разі накладення зовнішнього поля (E) постійні диполі молекул як базового середовища, так і ПАР матимуть тенденцію до орієнтації своїх електричних моментів паралельно вектору напруженості поля \vec{E} .

За таких умов підвищується можливість притягування та злипання молекул ММ між собою. Для теоретичного обґрунтування впливу зовнішнього електричного поля на процес переорієнтації осей молекул ПАР буде доцільно використати молекулярно-статистичний підхід.

Допустимо, що в звичайному стані дипольний момент молекули має кут α , тоді енергія диполя буде пов'язана з потенціалом силового поля рівнянням:

$$U = -\vec{P}\vec{E} = -EP\cos\alpha, \quad (7)$$

де $\vec{P} = g\vec{l}$ – електричний дипольний момент молекул; \vec{E} – напруженість електричного поля.

Із залежності (7) видно, що потенціал силового поля залежить від кута напрямку між ним і дипольним моментом та напруженості E . Використовуючи залежності (1), (5) та (7), виведемо таке рівняння потенціалу силового поля, що діє на одиницю поверхні ММ:

$$U = -\vec{E}\vec{P} = (\sigma + \beta T)\cos\alpha. \quad (8)$$

Використовуючи рівняння (8) та враховуючи функцію розподілу молекул ММ за кутом у силовому полі (відому функцію Максвелла – Больцмана), отримаємо:

$$f(\alpha) = e^{-\frac{U}{KT}} \rightarrow f(\alpha) = Ce^{-\frac{(\sigma + \beta T)\cos\alpha}{KT}}, \quad (9)$$

де K – постійна Больцмана; T – температура МС; C – константа.

Константу C знаходимо з умови нормування:

$$2\pi C \int_0^\pi \sin\alpha e^{-\frac{(\sigma + \beta T)\cos\alpha}{KT}} d\alpha = C \frac{2\pi KT}{(\sigma + \beta T)} \left(e^{-\frac{(\sigma + \beta T)}{KT}} - e^{\frac{(\sigma + \beta T)}{KT}} \right) = 1. \quad (10)$$

Функцію розподілу можна записати у вигляді:

$$f(\alpha) = \frac{(\sigma + \beta T)}{4\pi KT} \cdot \frac{e^{-\frac{(\sigma + \beta T)\cos\alpha}{KT}}}{\text{sh}\left(\frac{(\sigma + \beta T)}{KT}\right)}, \quad (11)$$

де $\text{sh}\left(\frac{(\sigma + \beta T)}{KT}\right)$ – гіперболічний синус від аргументу

$$\frac{(\sigma + \beta T)}{KT}.$$

У випадку відсутності зовнішнього електричного поля E ($E \rightarrow 0$), $f(\alpha) \rightarrow \frac{1}{4\pi}$. Важливо при цьому знати,

чи будуть молекули взаємодіяти між собою (злипатись, поєднуватись), чи ні. Для цього введемо імовірність об'єднання молекул $P_{об.}(\alpha)$, причому середнє за кутом α значення імовірності $\bar{P}_{об.}$.

$$\bar{P}_{об.} = 2\pi \int P_{об.}(\alpha) \sin\alpha d\alpha. \quad (12)$$

За аналогією вводим середню імовірність розпаду молекул $\bar{P}_{розп.}$. Тоді процес утворення обох видів молекул ПАР буде описуватись системою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dn_0}{dt} = \bar{P}_{розп.} n_M - \bar{P}_{об.} n_0; \quad (13)$$

$$\frac{dn_M}{dt} = \bar{P}_{об.} n_0 - \bar{P}_{розп.} n_M, \quad (14)$$

де n_0 – кількість однакових молекул; n_M – кількість макромолекул.

Як видно з рівнянь (13, 14), у випадку ($\frac{d}{dt} = 0$) отримуємо:

$$n_M = n_0 \frac{\bar{P}_{об.}}{\bar{P}_{розп.}}. \quad (15)$$

За появи електричного поля можна очікувати збільшення імовірності злипання молекул. Густина розподілу імовірності злипання молекул в залежності від α можна записати у вигляді такого виразу:

$$P_{об.}^E(\alpha) = f(\alpha)W(\alpha), \tag{16}$$

де $W(\alpha)$ – вірогідність злипання (об'єднання) 2-ох молекул під дією поля \vec{E} ; α – кут орієнтації їх осей при зіткненні.

Очевидно, що $W(\alpha)$ є суттєвою лише за малих кутів α . Допустимо, що імовірність злипання молекул підкоряється закономірності

$$W(\alpha) = \frac{1 + \cos \alpha}{2}. \tag{17}$$

Тоді середнє за кутами значення імовірності злипання молекул ПАР (аналогічно базової оливи) $\ddot{P}_{об.}^E$ буде визначатися за залежністю:

$$\begin{aligned} \ddot{P}_{об.}^E &= \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\pi C e^{-\frac{(\sigma+T)\cos\alpha}{KT}} \sin\alpha W(\alpha) d\alpha = 2\pi \int_0^\pi C e^{-\frac{(\sigma+T)\cos\alpha}{KT}} \left(\frac{\sin\alpha}{2} + \frac{\cos\alpha}{2} \sin\alpha \right) d\alpha = \\ &= 2\pi \int_0^\pi C e^{-\frac{(\sigma+T)\cos\alpha}{KT}} \frac{\sin\alpha}{2} d\alpha + \int_0^\pi C e^{-\frac{(\sigma+T)\cos\alpha}{KT}} \frac{\cos\alpha}{2} \sin\alpha d\alpha. \end{aligned} \tag{18}$$

Для спрощення виразу введемо заміну змінних $\cos\alpha = t$, $dt = -\sin\alpha d\alpha$ і у цьому випадку отримаємо:

$$\begin{aligned} \ddot{P}_{об.}^E &= \frac{1}{2} + 2\pi \int_1^{-1} C e^{-\frac{(\sigma+\beta T)t}{KT}} \frac{t}{2} (-dt) = \left[\frac{1}{2} + \frac{C}{2} 2\pi \left(\frac{te^{-\frac{(\sigma+\beta T)t}{KT}}}{\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}} - \frac{e^{-\frac{(\sigma+\beta T)t}{KT}}}{\left(\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}\right)^2} \right) \right]_{-1}^1 = \\ &= \frac{1}{2} \left[1 + C 2\pi \left(\frac{2\text{ch}\left(-\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}\right)}{\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}} - \frac{2\text{sh}\left(\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}\right)}{\left(\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}\right)^2} \right) \right]. \end{aligned} \tag{19}$$

З урахуванням залежностей (17) і (18) підставимо значення константи в рівняння (19) і отримаємо:

$$\begin{aligned} \ddot{P}_{об.}^E &= \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2\pi(\sigma+\beta T)}{4\pi KT \text{sh}\left(\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}\right)} \left(\frac{2\text{ch}\left(-\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}\right)}{\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}} - \frac{2\text{sh}\left(\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}\right)}{\left(\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}\right)^2} \right) \right] = \\ &= \frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{\text{ch}\left(-\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}\right)}{\text{sh}\left(\frac{(\sigma+\beta T)}{KT}\right)} - \frac{KT}{(\sigma+\beta T)} \right) \right]. \end{aligned} \tag{20}$$

Для розрахунку середнього значення імовірності злипання молекул ПАР (для прикладу як ПАР візьмемо мурашину кислоту) залежно від поверхневого натягу (вільної енергії одиниці поверхні) беремо такі вхідні дані: K – постійна Больцмана, $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$,

Дж/т, або $K = 1,38 \cdot 10^{-16}$, ерг/г; $\sigma_{мур.кис}$ – поверхневий натяг мурашиної кислоти за температури 60°C (табличне значення [5]), становить $33,3$ ерг/см²; T – температура МС, $T = 333\text{K}$; $\beta = 0,152$ (табличне значення для мурашиної кислоти).

Для виконання розрахунків значенням $\sigma_{мур.кис}$ варіюємо в межах $30 - 35$ ерг/см², оскільки числові значення більші чи менші від інтервалу варіювання, це табличні значення поверхневого натягу вже за інших температур, а ми задали робочою температурою МС – 60°C і ($T = \text{const}$). Виконавши розрахунки за залежністю (20), результати зводимо в табл. 1.

Таблица 1

Результати розрахунку $\ddot{P}_{об.}^E f(\sigma)$

$\sigma_{мур.кис}$, ерг/см ²	30	31	32	33,3	34	35
$\ddot{P}_{об.}^E$	0,975	0,968	0,956	0,798	0,670	0,550

Таблиця показує, що зі зменшенням поверхневого натягу збільшується імовірність ефекту злипання зорієнтованих у напрямку напруженості електричного поля молекул ПАР. При цьому доцільно також згадати про вплив напруженості зовнішнього поля на дипольні моменти молекул як базового середовища, так і ПАР. Із збільшенням напруженості E молекули мають більш інтенсивно орієнтуватися за напрямком поля.

4. Висновки

Теоретично обґрунтовано вплив електричного поля на трибологічні властивості МС. Міркування про механізм взаємодії молекул МС і їхніх окремих частин під дією електричного поля викладено на підставі проаналізованих робіт й аналізу результатів власних досліджень зміни властивостей робочих рідин під впливом накладених зовнішнього електричного та природного електростатичного полів.

Отримано модельні залежності, що пояснюють взаємозв'язок між основними фізичними параметрами трибосистем і електричним полем:

$$\begin{aligned} \sigma &= f(\vec{E}, \vec{P}, T), \\ P_{об.}^E &= f(E, \sigma). \end{aligned}$$

Література

1. Кравец, И. А. Репаративная регенерация трибо систем [Текст] / И. А. Кравец – Т.: Издательство Бережанского агротехнического института, 2003. – 284 с.

2. Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей : монография [Текст] / Е. Е. Александров, И. А. Кравец, Е. П. Лысиков, О. В. Соловьев, А. А. Тропина. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2006. – 544 с.
3. Сканави, Г.И. Физика диэлектриков (Область слабых полей) [Текст] / Г.И. Сканави. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 253 с.
4. Трофімов, І. Л. Метод підвищення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів дією електростатичного поля [Текст] / І. Л. Трофімов // Вісник Національного технічного університету України „КПІ” (Машинобудування), – 2008. – вип. №53/2008, ч.1 – С. 134–144.
5. Ахматов, А. С. Молекулярная физика граничного трения [Текст] / А. С. Ахматов. – М.: Физ. гиз., 1963. – 472 с.
6. Трофімов, І. Л. Підвищення триботехнічних властивостей палив і олів електричним полем [Текст] / І. Л. Трофімов // Вопросы химии и химической технологи. – №3/2010. – С. 132–137.

Abstract

The article concerns the application of the electric field to ensure the stabilization of operational properties of the lubricating media and presents the results of our research in this area. The main purpose of this research is the theoretical justification of influence of the electric field on the tribological properties of the lubricating media and formation of the mathematical dependences, which describe the influence. The high specifications for the lubricating media define the need to improve the tribological properties of the existing lubricating media, and to find new methods and technologies for production of the lubricating media for machinery. The article justifies the ideas concerning the mechanism of interaction of molecules of the lubricating media and their parts under the influence of external electric and natural electrostatic fields, on the basis of the analyzed works and results of our research. The presented theoretical justification of the influence of the electric field on the working fluids permitted to obtain the mathematical dependences, to analyze and model the influence of the electric field on the tribological properties of the lubricating media, and to obtain the explanation of the relation between the main physical parameters of tribosystems and the electric field. The results of this work can be used to improve the performance properties of the working fluids, in particular anti-wear properties by means of the electric field. The research results can be applied by tribologists, chimnotologists, as well as by specialists in the sphere of operation of fuel and lubricating systems of ground and aviation equipment

Keywords: *lubricating media, tribological properties, electric field, mathematical dependences*

УДК 621.791.052:669.14

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЕЙ СИСТЕМЫ Fe-Cr-Ni-Si

С. Н. Попов

Доктор философских наук, профессор
Кафедра "Оборудование и
технология сварочного производства"

Запорожский национальный технический университет
ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, Украина, 69063

Контактный тел.: 050-341-72-17

E-mail: spopov@zntu.edu.ua

В роботі розглянуті можливості застосування графоаналітичного методу досліджень для аналізу прогнозування механічних властивостей зварних з'єднань жароміцних сталей системи Fe-Cr-Ni-Si, що був проведений на базі активного експерименту

Ключові слова: *фізико-механічні властивості, зварювальний вузол, оптимізація, деформація, тугоплавкі елементи, поверхня відгуку*

В работе рассмотрены возможности применения графоаналитического метода исследований для анализа прогнозирования механических свойств сварных соединений жаропрочных сталей системы Fe-Cr-Ni-Si проведенного на базе активного эксперимента

Ключевые слова: *физико-механические свойства, сварочный узел, оптимизация, деформация, тугоплавкие элементы, поверхность отклика*

1. Введение

Жаропрочные стали и сплавы, применяемые для изготовления деталей, которые работают при высоких температурах в условиях сложнапряженного состояния в течение заданного периода времени, должны выдерживать напряжение, вызывающее заданную деформацию, не приводящую к разрушению.

$$HV = 373,4 + 6564 \cdot C + 102 \cdot Cr + 52,88 \cdot Ni - 1,23 \cdot T - 5628,8 \cdot C^2 - 1,86 \cdot Cr^2 - 0,86 \cdot Ni^2 - \left. \begin{aligned} &- 211,74 \cdot C \cdot Cr - 220,4 \cdot C \cdot Ni - 1,2 \cdot C \cdot T - 0,91 \cdot Cr \cdot Ni - 0,004 \cdot Cr \cdot T + 0,03 \cdot Ni \cdot T + \\ &+ 9,7 \cdot C \cdot Cr \cdot Ni + 0,107 \cdot C \cdot Cr \cdot T - 0,024 \cdot C \cdot Ni \cdot T - 0,001 \cdot Cr \cdot Ni \cdot T \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В зависимости от условий эксплуатации применяют различные жаропрочные материалы [1-3]. До температур 300°C ограничиваются в применении специальных сталей. Наиболее целесообразно в этом случае использовать конструкционные углеродистые стали, после термической обработки с высокой прочностью. Для работы при температурах до 565°C необходимо применять низко- и среднелегированные стали перлитного класса, обычно называемые теплоустойчивыми, а для изделий энергомашиностроения, работающих при температурах 580-610°C – высокохромистые жаропрочные стали, содержащие около 12% хрома. Дальнейшее повышение температуры до 700-750°C вызывает необходимость в использовании сталей аустенитного класса. При более высоких температурах до 1400°C целесообразно применять высоколегированные сплавы (кобальтовые и никелевые), сплавов на основе тугоплавких элементов, а также стали, легированные алюминием (Fe-Cr-Al).

Жаропрочные стали нашли широкое распространение в турбинах электростанций, судов и авиационных двигателей, рабочих и направляющих лопатках, деталях камер сгорания, арматуре термических печей, другом печном оборудовании. Вследствие воздействия высоких температур и большой нагрузки это оборудование имеет малый срок службы из-за появления дефектов, связанных с растрескиванием и отслоением на рабочей поверхности деталей (рис. 1). Рациональным в данном случае является проведение ремонтных работ методами сварки и наплавки.

3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является оптимизация химического состава наплавленного жаропрочного металла для арматуры термических печей, нахождение материала с максимальными эксплуатационными характеристиками, а также изучение распределения механических характеристик по сечению сварного соединения и околошовной зоне из жаропрочных аустенитных и аустенитно-ферритных сталей.

4. Экспериментальные данные и их обработка

Ранее авторами проведено планирование эксперимента с целью оптимизации химического состава жаропрочного сплава, работающего при высоких

температурах. Полученные уравнения регрессии [4], отражающие влияние содержания углерода (C), хрома (Cr) и никеля (Ni), а также температуры (T) на физико-механические свойства позволяют прогнозировать механические свойства сталей системы Fe-Cr-Ni-Si при различных температурных градиентах:

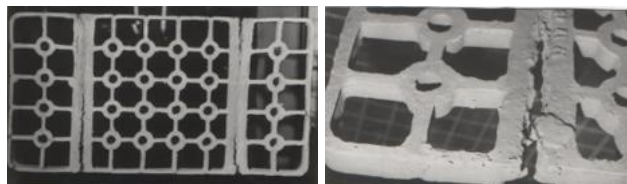


Рис. 1. Дефекты, выводящие из строя арматуру термических печей (поддоны весом 200 кг)

Для нахождения материала с оптимальными эксплуатационными характеристиками проведено графоаналитическое исследование полученных уравнений регрессии. Расчет и построение поверхностей и сечений к ним проводили с помощью разработанной в Microsoft Excel программы.

Анализ полученных регрессии показывает, что углерод (C), хром (Cr) и никель (Ni) входят в уравнение со знаком плюс, повышая физико-механические свойства сплава. Это объясняется тем, что никель расширяет γ -область в системе Fe-Cr, способствуя образованию сталей с аустенитной структурой в широком интервале температур [3]. Хром увеличивает энергию связи атомов кристаллической решетки γ -твердого раствора, несколько повышая жаропрочные характеристики [3]. Однако по парное их влияние (C-Cr, C-Ni, Cr-Ni) негативно сказывается на его эксплуатационных свойствах, что может быть связано с неоднозначным механизмом влияния углерода, хрома и никеля в повышении физико-механических характеристик, поскольку при кристаллизации сварочной ванны происходят различные процессы как карбидообразования, так и образования интерметаллидов, которые перераспределяют количество легирующих элементов, участвующих в образовании того или другого соединения. Совместное же их влияние углерода, хрома и никеля (C-Cr-Ni) в заданных пределах варьирования ведет к повышению как твердости HV и временного сопротивления разрыва σ_b (предела прочности) так и относительного удлинения δ . Однако, это повышение ограничено наличием в уравнении квадратичных членов за (C^2 , Cr^2 , Ni^2) с отрицательным вкладом, что свидетельствует о возможном наличии локальных экстремумов на поверхности отклика. Учитывая то, что значения физико-механических свойств могут принимать только положительные значения, уравнение было проверено в точках факторного пространства, ограниченного нижним и верхним уровнями варьирования. Отрицательных значений не зарегистрировано. Анализируя парные взаимодействия, можно сделать предположение, что они оказывают двойное влияние

на эксплуатационные характеристики металла, поскольку в одном случае присутствуют в регрессионной зависимости со знаком «+», а в другом со знаком «-».

Вхождение в уравнения регрессии температуры (Т) со знаком «-» негативно сказывается на физико-механических свойствах сплавов. В зависимости от величины температурного градиента структура металла сварного соединения различна [5]. Так в интервале температур между линиями солидуса и ликвидуса металл находится в твердожидком состоянии, что вызывает перераспределение легирующих элементов между сварочной ванной и основным металлом. Хотя протяженность этого участка небольшая, но характер кристаллизации металла может оказывать влияние на свойства всего сварного соединения. В интервале температур от 1100-1150°C до температур линии солидуса (рис. 2) металл полностью переходит в состояние аустенита.

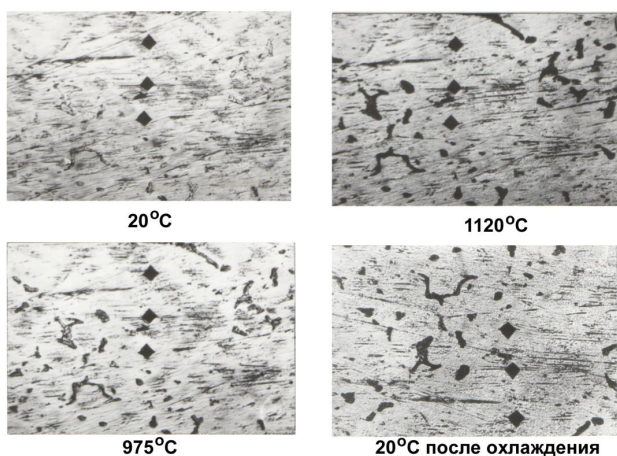


Рис. 2. Микроструктура стали 16X25H10C2 при различных температурах, x280

При этом происходит рост зерна, размеры которого увеличиваются тем более, чем выше нагрет металл выше температуры точки A_3 . После охлаждения это может привести к образованию неблагоприятной видманштеттовой структуры. На участке нормализации 750-800°C до температуры 1100-1150°C металл имеет мелкозернистую структуру с высокими механическими свойствами. На участке неполной перекристаллизации металл нагревается до температур между точками A_1 и A_3 , поэтому этот участок характеризуется почти неизменившимися первоначальными ферритными, перлитными и аустенитными зернами и более мелкими зернами феррита и перлита после перекристаллизации, а также сфероидизацией перлитных участков. На участке рекристаллизации металл нагревается в интервале температур от 500 до 550°C до температуры точки A_1 , и поэтому по структуре он незначительно отличается от основного. При значительной выдержке при этих температурах может произойти значительный рост зерен. Механические свойства металла этого участка могут несколько снизиться вследствие разупрочнения из-за снятия наклепа. При нагреве металла в интервале от 100 до 500°C (участок синеломкости) его структура в процессе не претерпевает видимых изменений. Однако металл на этом

участке может обладать пониженной пластичностью и несколько повышенной прочностью.

На основе полученных уравнений регрессии были построены пространственные математические модели (рис. 3-6), характеризующие влияние углерода, хрома и никеля, а также температуры на физико-механические свойства (твердость) жаропрочного сплава.

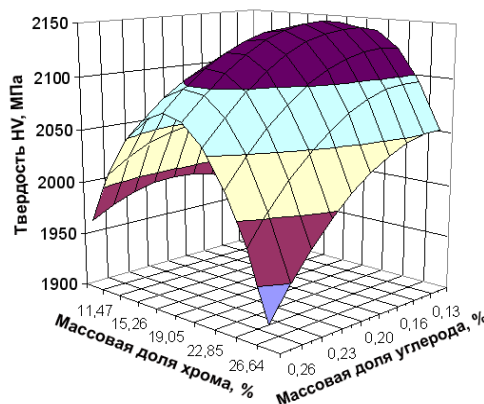


Рис. 3. Поверхность отклика функции HV при Ni = 15,95%; T = 20°C, Ni = 15,95%

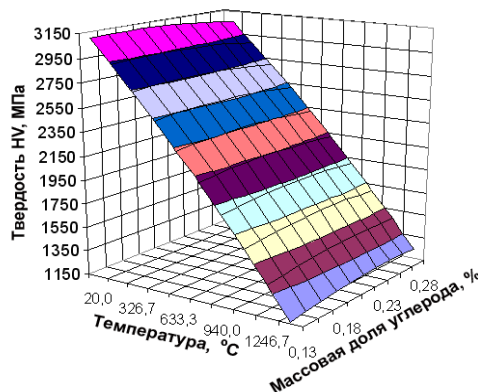


Рис. 4. Поверхность отклика функции HV при Cr = 20,95%

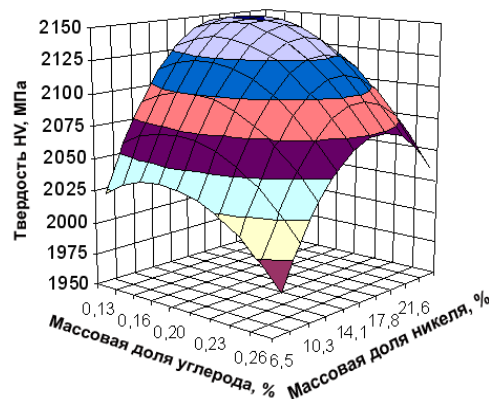


Рис. 5. Поверхность отклика функции HV при Cr = 20,95%; T = 20°C

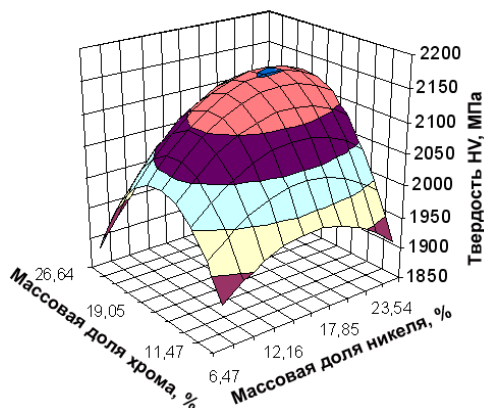


Рис. 6. Поверхность отклика функции HV при $C = 0,16\%$; $T = 20^\circ\text{C}$

В тоже время, аналитическое решение уравнения оказалось затруднительным, вследствие полного набора парных взаимодействий входящих в регрессионные модели. Поэтому было проведено исследование поверхности отклика на основе ее графического отображения в виде пространственных диаграмм и их сечений. На рис. 3 – 6 представлены пространственные модели. Полученную зависимость оптимизировали методом пошагового координатного спуска с дифференцированным заданием погрешности вычисления ($R=0,1$) и шага поиска ($\Delta X=0,01$) по каждой переменной при выполнении граничных условий, не позволяющих выйти за пределы реализованного факторного пространства.

Обработка результатов исследования целевой функции твердости (HV) показала наличие экстремумов в данной области варьирования факторов (рис. 3, 5, 6). Рассматривая их в сечениях можно утверждать, что оптимальные значения твердости достигаются при значениях легирующих элементов: $C = 0,14-0,19\%$, $Cr = 21-23\%$, $Ni = 17-20\%$.

5. Выводы

1. Теоретически доказана возможность исправления дефектов арматуры термических печей методами сварки и наплавки.
2. Проведен графоаналитический анализ математических моделей в виде уравнений регрессии, описывающих совместное влияние легирующих элементов (C, Cr, Ni) и температурного градиента (T) на физико-механические свойства (твердость HV) жаропрочных сталей и сплавов. Установлены оптимальные значения содержания легирующих элементов, при которых достигаются оптимальные значения физико-механических свойств наплавленного металла: $C = 0,14-0,19\%$, $Cr = 21-23\%$, $Ni = 17-19\%$.
3. Показано, что дальнейшие исследования необходимо провести с учетом расчетов, которые учитывают прекращения действия источника нагрева путем введения понятий фиктивного источника теплоты и фиктивного стока теплоты.

Литература

1. Каховский, Н. И. Сварка высоколегированных сталей [Текст] / Н. И. Каховский. – Киев. : «Техніка», 1975. – 376 с.
2. Масленков, С. Б. Жаропрочные стали и сплавы [Текст] : справочное издание / С. Б. Масленков. – М. : Металлургия, 1983. – 192 с.
3. Химушин, Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы [Текст] / Ф. Ф. Химушин. – М. : Металлургия, 1969. – 752 с.
4. Forecasting of mechanical properties of weld connections after the thermodeformation cycle on the basis of the mathematical regression analysis [Text] / S. N. Popov, V. V Naumik., T. V. Popova, D. A. Antonyuk // Нові матеріали та технології в металургії та машинобудуванні. – №1. – 2004. – С.150-156.
5. Теория сварочных процессов [Текст] / Под ред. В. В. Фролова. – М. : «Высшая школа», 1988. – С.490-491.
6. Лебедев, Б. Д. Розрахунки в теорії зварних процесів [Текст]: навч. посібник / Б.Д. Лебедев. – К. : НМК ВО, 1992. – 320 с.

Abstract

The article discusses the possibility of using the graph-analytical method for the analysis of prediction of the mechanical properties of the welded joints of heat-resistant steels Fe-Cr-Ni-Si. The heat-resistant steels and alloys, used for the manufacture of parts, which operate at high temperatures under a hard-intense state for a specified period of time, should withstand the tension, causing the deformation that does not lead to destruction. The aim of the work is to optimize the chemical composition of the welded heat-resistant metal for fittings of thermic furnaces, to find the material with maximum performance characteristics, and to study the distribution of the mechanical properties (HV hardness) on section of welded joint and heat-affected zone from heat-resistant austenitic and austenitic-ferritic steels.

Theoretically we have proved the possibility of correction of the defects of fittings of thermic furnaces by welding methods. We have held the graphic-analytical analysis of mathematical models in the form of regression equations, describing the joint influence of the alloying elements (C, Cr, Ni) and temperature gradient (T) on the physical and mechanical properties (HV hardness) of the heat-resistant steels and alloys. The optimal values for the content of the alloying elements were determined; they can provide the optimal values of the physical and mechanical properties of the welded metal: $C = 0,14-0,19\%$, $Cr = 21-23\%$, $Ni = 17-19\%$.

Keywords: physical and mechanical properties, welding joint, optimization, deformation, high-melting elements, response surface

Проведено дослідження особливостей формування текстури електроосаджуваних металів при силовому впливі протилежно осі текстури. Встановлено ефект стримування процесу текстуроутворення електроосаджуваних металів аж до повного розупорядкування кристалічних решіток зерен під дією відцентрової сили у напрямку, протилежному осі текстури. Одержаний результат доводить достовірність явища фазоутворення електроосаджуваних металевих матеріалів через стадію рідкого стану

Ключові слова: текстура, електроосаджуваний метал, відцентрова сила

Проведено исследование особенностей формирования текстуры электроосаждаемых металлов при силовом влиянии противоположно оси текстуры. Установлен эффект подавления процесса текстурообразования электроосаждаемых металлов вплоть до полного разупорядочения кристаллических решеток зерен под действием центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры. Полученный результат доказывает достоверность явления фазообразования электроосаждаемых металлических материалов через стадию жидкого состояния

Ключевые слова: текстура, электроосаждаемый металл, центробежная сила

ПОДАВЛЕННЯ ТЕКСТУРООБРАЗОВАНИЯ ЕЛЕКТРООСАЖДАЕМЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ СИЛОВОМ ВЛИЯНИИ ПРОТИВОПОЛОЖНО ОСИ ТЕКСТУРЫ

О. Б. Гирин

Доктор технических наук, профессор
проректор по научной работе, заведующий кафедрой
Кафедра материаловедения
Украинский государственный
химико-технологический университет
пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина 49005
Контактный тел.: (0562) 46-13-21
E-mail: girin@ua.fm

1. Введение

В работе [1] установлены закономерные изменения характеристик точечных, линейных и поверхностных дефектов кристаллического строения металлов с увеличением степени переохлаждения при их электроосаждении. Полученные результаты подтверждают достоверность явления фазообразования электроосаждаемых металлических материалов через стадию жидкого состояния.

Цель данной работы состояла в дальнейшей экспериментальной проверке достоверности открытого явления.

2. Идея работы

Известно, что текстурообразование металла при его затвердевании происходит путем ориентированной кристаллизации в направлении, перпендикулярном фронту кристаллизации [2]. С другой стороны известно, что кристаллографическая текстура электроосажденного металла является аксиальной текстурой роста с осью, перпендикулярной поверхности электроосадка

[3]. Если допустить, что кристаллографическая текстура электроосаждаемого металла возникает в результате ориентированной кристаллизации постоянно обновляемой металлической жидкости, то действие центробежной силы, направленной перпендикулярно фронту кристаллизации и противоположно оси текстуры, будет препятствовать формированию текстуры.

В результате такого действия центробежной силы будет кристаллизоваться металл с более рассеянной текстурой, а дальнейшее увеличение значений центробежной силы может привести даже к хаотичной ориентировке зерен электроосаждаемого металла. В этой связи доказательством достоверности обсуждаемого явления будет служить подавление процесса текстурообразования электроосаждаемых металлов под действием центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры.

3. Материал и методика исследования

Исследование особенностей формирования ориентированной структуры электроосаждаемых металлов в поле центробежной силы проводили на образцах

меди и никеля с использованием установки, схема которой описана в работе [4]. Установка обеспечивала влияние на процесс электрокристаллизации металлов центробежной силы, пропорциональной нормальному ускорению kg , где k – коэффициент перегрузки. Значения центробежной силы изменяли ступенчато, варьируя число оборотов ротора центрифуги в минуту от 0 до 3000 об/мин через каждые 500 об/мин, что соответствовало нормальному ускорению величиной 1g, 35g, 140g, 314g, 558g, 872g и 1256g.

Катод закрепляли на дне ячейки перпендикулярно ее оси, поэтому при вращении ячейки катод располагался перпендикулярно радиусу ротора. Так как центробежная сила при вращении направлена по радиусу ротора от центра окружности, а ось текстуры осадка ориентирована вдоль нормали к его поверхности в направлении роста от катода к внешним слоям, то при таком расположении катода обеспечивалось силовое воздействие на электроосаждаемый металл противоположно оси текстуры.

Состав электролитов меднения и никелирования, а также режимы и условия осаждения металлов в поле центробежной силы представлены в работе [4]. Вследствие выхода металлов по току 99,5-100 % и невозможности движения электролита относительно катода в ячейке в процессе электроосаждения [4] было полностью исключено влияние выделения водорода и движения электролита на текстуру осаждаемых образцов.

Рентгенотекстурный анализ образцов электроосажденных металлов выполняли согласно способу [5] на автоматизированном и модернизированном рентгеновском дифрактометре ДРОН-2. Текстуру электроосадков определяли методом комбинации прямых полюсных фигур [6]. Для количественной оценки степени текстурованности электроосадков использовали средний угол рассеяния аксиального компонента текстуры.

4. Результаты исследования

В результате проведенных исследований установили, что текстура никеля, электроосажденного при 1g, описывается следующими компонентами: основной аксиальный компонент [210], вспомогательный аксиальный компонент [221] и неупорядоченный компонент. При этом оси [210] и [221] аксиальных компонентов текстуры никеля ориентированы перпендикулярно поверхности электроосадков в направлении роста от катода к внешним слоям.

Действительно, наличие текстурного максимума аксиальной ориентировки с осью [210] под углом 39,2° и текстурных максимумов аксиальной ориентировки с осью [221] под углами 15,8 и 54,7° на полюсной фигуре (111) электроосажденного никеля (рис. 1, а) позволили сделать этот вывод. А наличие текстурного максимума аксиальной ориентировки с осью [210] под углом 26,6° и текстурного максимума аксиальной ориентировки с осью [221] под углом 48,2° на полюсной фигуре (100) (рис. 1, б) – подтвердили его.

Полученный результат согласуется с данными работы [7], в которой аксиальный компонент [210] был установлен как основной компонент текстуры никеля, электроосажденного в аналогичных условиях.

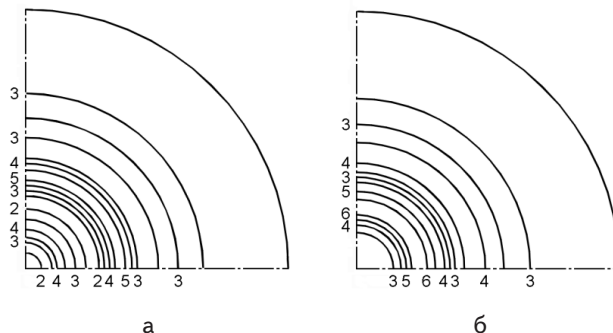


Рис. 1. Полюсные фигуры (111) (а) и (100) (б) никеля, электроосажденного при 1g (исходное состояние): 2-6 – уровни одинаковой интенсивности дифракционных рентгеновских лучей

Из сравнения текстурных кривых никеля, электроосажденного под действием центробежной силы, направленной противоположно оси текстуры, следует, что с увеличением силового воздействия происходит разупорядочение текстуры (рис. 2) и при перегрузке 1256g формируются никелевые электроосадки с хаотичной ориентировкой зерен. Этот факт свидетельствует о том, что под действием центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры, происходит подавление процесса текстурообразования электроосаждаемого никеля.

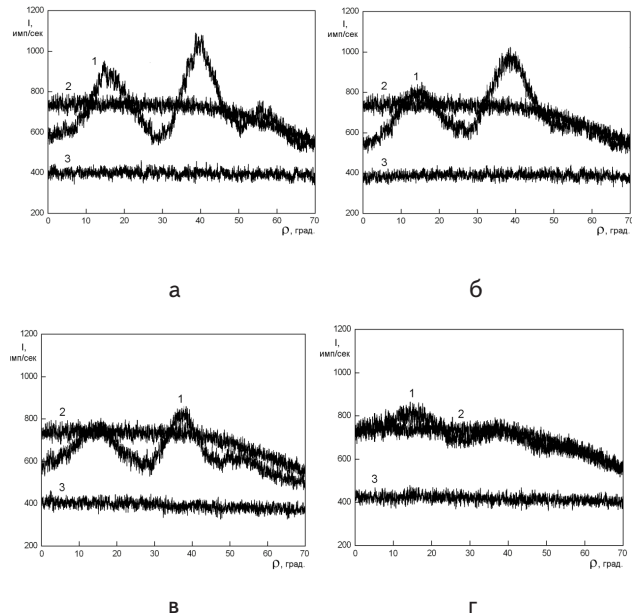


Рис. 2. Текстурные кривые никелевых электроосадков, демонстрирующие подавление процесса текстурообразования электроосаждаемого никеля под действием центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры: 1 и 2 – кривые текстурной записи интерференции (111) образца и эталона соответственно, 3 – линия фона; а – сила пропорциональна ускорению 1g (исходное состояние), б – 35g, в – 314g и г – 872g

Сравнение значений среднего угла рассеяния аксиальных ориентировок зерен никеля, электроосажденного при различных перегрузках (рис. 3), под-

тверждает сделанный вывод. Так, из рис. 3 видно, что увеличение коэффициента перегрузки при действии центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры, приводит к возрастанию степени рассеяния аксиальных ориентировок с осями [210] и [221]. Причем характер влияния перегрузки на аксиальные компоненты текстуры никеля одинаков: сначала значительное увеличение угла α (примерно в два раза при увеличении коэффициента k от 1 до 314), а затем постепенный его рост в пределах нескольких процентов (при дальнейшем увеличении значений k до 872).

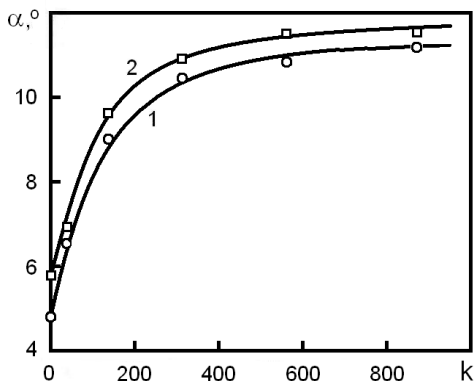


Рис. 3. Изменение среднего угла рассеяния α аксиальных компонентов [210] (кривая 1) и [221] (кривая 2) текстуры никелевых электроосадков в зависимости от коэффициента перегрузки k при действии центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры

Особенно интенсивное рассеяние текстуры электроосажденного никеля обнаружено при небольших перегрузках (до $k = 140$). При этом даже незначительное увеличение значений k (от 1 до 35) сопровождается существенным ростом значений угла α (примерно на полтора градуса) (рис. 3).

Установленный эффект подавления процесса текстурообразования электроосаждаемых металлов под действием центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры, наглядно подтверждается экспериментальными данными по исследованию формирования текстуры меди, электроосаждаемой в силовом поле. Так, при обычных условиях электроосаждения (т.е. при $1g$) в медном покрытии образуется аксиальная текстура с осью [110], перпендикулярной его поверхности (рис. 4,а), и средний угол рассеяния этой текстуры составляет $9,8^\circ$.

Если же воздействовать центробежной силой на формирующийся медный осадок, то уже незначительная перегрузка ($35g$) в направлении, противоположном оси текстуры, приведет к практически полному подавлению преимущественной ориентации кристаллических решеток зерен в направлении [110]. Как видно из рис. 4,б, в результате такого воздействия формируется слабо текстурованное покрытие, очень близкое к эталону, т.е. образцу с хаотичной ориентировкой зерен. Дальнейшее увеличение перегрузки в направлении, противоположном оси текстуры, приводит к электроосаждению медных образцов с хаотичной ориентировкой зерен.

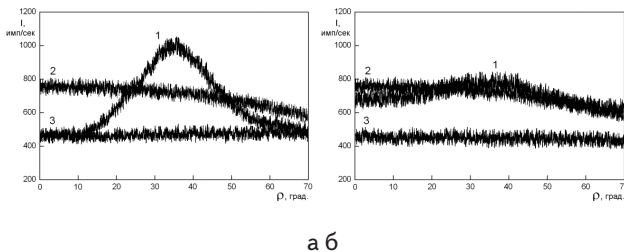


Рис. 4. Тектурные кривые медных электроосадков, иллюстрирующие подавление процесса формирования текстуры электроосаждаемой меди под влиянием центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры: 1 и 2 – кривые текстурной записи интерференции {111} образца и эталона соответственно, 3 – линия фона; а – сила пропорциональна ускорению $1g$ (исходное состояние) и б – $35g$

Известно, что для разориентировки зерен текстурованных материалов требуются существенные деформации, необходимые для протекания пластического скольжения в различно ориентированных кристаллографических плоскостях [8]. Если предположить, что фазообразование электроосаждаемого металла происходит без участия металлической жидкости, то действие центробежной силы должно обеспечить возникновение в металле напряжения сжатия, достаточного для протекания такой пластической деформации. Напряжение, необходимое для начала пластической деформации материала, оценивается как условный предел текучести [9].

Определим величину напряжения сжатия σ , которое испытывает медный осадок в процессе электроосаждения под действием центробежной силы, приводящей к разупорядочению кристаллических решеток зерен. В результате несложных преобразований получим:

$$\sigma = \gamma \cdot h \cdot k \cdot g, \tag{1}$$

где γ – плотность электролита меднения, $кг/м^3$; h – высота столба электролита над осадком, м; k – коэффициент перегрузки, g – ускорение свободного падения, равное $9,81 м/с^2$.

Значения γ , h и k равны соответственно $1,165 \cdot 10^3 кг/м^3$, $0,06 м$ и 35 . Подставляя найденные значения в соотношение (1), получим $\sigma = 0,02 МПа$. Это значение напряжения несоизмеримо по величине с пределом текучести меди, равным $62 МПа$ [10]. Даже, если принять максимальное значение коэффициента перегрузки, достигнутое в поставленных экспериментах ($k = 1256$), то напряжение, создаваемое центробежной силой в электроосаждаемом медном осадке, составит всего лишь $0,86 МПа$, что явно недостаточно для начала пластической деформации твердого медного электроосадка.

Величина напряжения сжатия в электроосаждаемом никеле, которое создается центробежной силой максимальной величины (при $k = 1256$), также не превышает $1 МПа$ (для сравнения предел текучести никеля составляет $83 МПа$ [10]). Следовательно, разупорядочение в преимущественной ориентировке кристаллических решеток зерен металлов, электроо-

саждаемых при влиянии центробежной силы, направленной против оси текстуры, не может быть объяснено пластическим деформированием металлов, находящихся в твердом состоянии.

Чтобы убедиться в справедливости выдвигаемой концепции прохождения электроосаждаемыми металлами стадии жидкого состояния, провели следующие модельные эксперименты. Образцы меди и никеля электроосаждали в обычных условиях (т.е. при перегрузке 1g). Затем эти образцы помещали в ячейку с электролитом и подвергали воздействию центробежной силы максимальной величины (при перегрузке 1256g) без включения тока осаждения. В этих случаях центробежная сила воздействовала на твердый медный или никелевый осадок уже после процесса электроосаждения. Сравнение исходных и подвергнутых силовому воздействию образцов не выявило различий.

Обнаруженный эффект подавления процесса текстурообразования электроосаждаемых металлов под действием центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры, может быть объяснен на основании установленного явления фазообразования электроосаждаемых металлических материалов через стадию жидкого состояния [11, 12]. Это жидкое состояние электроосаждаемого металлического материала обусловлено очень быстрым (взрывным) характером его выделения вследствие цепной реакции электрохимического образования атомов [11]. При этом в течение одного акта взрывного роста образуется в среднем 40-60 атомов.

В связи с очень быстрым протеканием акта взрывного роста (примерно 10^{-7} с) атомы не успевают сформировать структуру с дальним порядком в их расположении [11]. Множество таких кластеров атомов, выделяющихся лавинообразно в различных местах на поверхности катода или растущего осадка, и в дальнейшем объединяющихся в более крупные образования, представляют собой жидкую фазу электроосаждаемого металлического материала.

Поскольку жидкая фаза обладает очень малой сдвиговой прочностью [13], то затвердевание жидких

кластеров атомов, деформированных центробежной силой, приведет к разориентировке кристаллических решеток формирующихся зерен электроосадка. Формирование преимущественной ориентации кристаллических решеток зерен электроосаждаемого металла будет подавляться тем больше, чем больше значение центробежной силы, действующей в направлении, противоположном оси текстуры. Поэтому центробежная сила, действующая на формирующийся электроосадок против оси текстуры, будет препятствовать процессу текстурообразования, что и наблюдали экспериментально.

Возможно, для металлов, которые осаждаются при небольших степенях переохлаждения, действие центробежной силы может не только подавить образование текстуры, которая возникает при обычных условиях, но и способствовать формированию новой текстуры.

Таким образом, установленный эффект подавления процесса текстурообразования электроосаждаемых металлов вплоть до полного разупорядочения кристаллических решеток зерен под действием центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры, доказывает достоверность обсуждаемого явления.

5. Выводы

1. На основании модельных экспериментов установлен эффект подавления процесса текстурообразования электроосаждаемых металлов вплоть до полного разупорядочения кристаллических решеток зерен под действием центробежной силы в направлении, противоположном оси текстуры.
2. Полученный результат доказывает достоверность явления фазообразования электроосаждаемых металлических материалов через стадию жидкого состояния.

Литература

1. Гирин, О. Б. Особенности образования дефектов кристаллического строения электроосаждаемых металлов [Текст] / О. Б. Гирин, И. М. Ковенский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/5. – С. 44-47.
2. Вассерман, Г. Текстуры металлических материалов [Текст] : монография / Г. Вассерман, И. Гревен ; пер. с нем. В. Я. Агароника. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1969. – 654 с.
3. Кочергин, С. М. Образование текстур при электрокристаллизации металлов [Текст] : монография / С. М. Кочергин, А. В. Леонтьев – М. : Металлургия, 1974. – 184 с.
4. Гирин, О. Б. Увеличение плотности электроосаждаемых металлов под действием центробежной силы [Текст] / О. Б. Гирин, И. Д. Захаров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 5/5. – С. 4-7.
5. Способ рентгеновского дифрактометрического анализа текстурованных материалов [Текст] : пат. 1629828 Рос. Федерация: МКИ5 G 01 N 23/20 / Гирин О. Б., Воробьев Г. М., ; заявитель и патентообладатель Днепропетровский металлург. ин-т. – №4618592/25 ; заявл. 12.12.88 ; опубл. 23.02.91, Бюл. № 7. – 2 с.
6. Girin, O. V. Nonconventional X-ray Diffraction Techniques for Coating Characterization [Text] / O. V. Girin // Solidification 1998. – Warrendale : The Minerals, Metals & Materials Society, 1998. – P.161-169.
7. Гирин, О. Б. Текстура и анизотропия тонкой структуры в электроосажденном никеле [Текст] / О. Б. Гирин // Металлы. – 1990. – № 5. – С. 113-119.
8. Вишняков, Я. Д. Теория образования текстур в металлах и сплавах [Текст] : монография / Я. Д. Вишняков, А. А. Бабарэко, С. А. Владимиров, И. В. Эгиз ; под ред. Н. В. Агеева. – М. : Наука, 1979. – 343 с.

9. Золоторевский, В. С. Механические свойства металлов [Текст] : учебник / В. С. Золоторевский. – 2-е изд. – М. : Металлургия, 1983. – 352 с.
10. ASM metals reference book [Text] / editor M. Baucio. – 3rd ed. – Materials Park, OH : ASM International, 1997. – 614 p.
11. Girin, O. B. Phenomenon of Precipitation of Metal Being Electrodeposited, Occurring via Formation of an Undercooled Liquid Metal Phase and its Subsequent Solidification. Part 1. Experimental Detection and Theoretical Grounding [Text] / O. B. Girin // Materials Development and Processing. – Weinheim : WILEY-VCH, 2000. – V. 8. – P. 183-188.
12. Girin, O. B. Phenomenon of Precipitation of Metal Being Electrodeposited, Occurring via Formation of an Undercooled Liquid Metal Phase and its Subsequent Solidification. Part 2. Experimental Verification [Text] / O. B. Girin // Materials Development and Processing. – Weinheim : WILEY-VCH, 2000. – V. 8. – P. 189-194.
13. Оно, А. Затвердевание металлов [Текст] / А. Оно ; пер. с англ. Э. В. Захарченко. – М. : Металлургия, 1980. – 152 с.

Abstract

The aim of the work was the experimental verification of the validity of the phenomenon of phase formation through a stage of liquid state in metallic materials being electrodeposited. For that the features of formation of crystallographic texture in metals (copper and nickel) being electrodeposited under the influence of centrifugal force in the direction opposite to the texture axis was investigated. The value of overload was varied stepwise from 1g to 1256g.

Quantitative estimation of the degree of texturing of electrodeposited metals shows that the increase of overload at the influence of centrifugal force in the direction opposite to the texture axis causes the growth of the degree of dispersion of the axial orientations with the axes [210] and [221] in nickel deposits and with the axis [110] in copper deposits. At that, even minor overload (35g) in the direction opposite to the texture axis causes significant disordering in preferred orientation of crystal lattices of metal grains.

The effect of suppression of the process of texture formation in metals being electrodeposited up to the complete disordering of crystal lattices of grains under the influence of centrifugal force in the direction opposite to the texture axis was found. The obtained result proves the validity of the phenomenon of phase formation through a stage of liquid state in metallic materials being electrodeposited

Keywords: *texture, metal being electrodeposited, centrifugal force*

УДК 655.1.011

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАКУВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ГОФРОКАРТОНУ

У роботі розглядається спосіб виготовлення гофрованого картону, з'ясовуються причини, що можуть впливати на його якість, способи їх усунення, а також подається блок-схема виробництва тришарового гофрокартону і розробляється алгоритм процесу виготовлення з нього пакування

Ключові слова: *гофрований картон, пакувальна продукція, контроль якості*

В работе рассматривается способ изготовления гофрированного картона, выясняются причины, которые могут влиять на его качество, способы их устранения, а также подается блок-схема производства трехслойного гофрокартона и разрабатывается алгоритм процесса изготовления из него упаковки

Ключевые слова: *гофрированный картон, упаковочная продукция, контроль качества*

О. М. Гумен

Доктор технічних наук, професор*

Контактний тел.: 066-744-28-89

E-mail: gumens@ukr.net

С. М. Гумен

Кандидат технічних наук, старший викладач

Кафедра репрографії**

Контактний тел.: 063-490-91-94

П. М. Яблонський

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: 063-490-91-95

*Кафедра нарисної геометрії, інженерної та

комп'ютерної графіки

**Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут”

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

Від якості пакувальної продукції напряду залежить якість доставленого до кінцевого споживача упакованого продукту. Детальний аналіз виробничих процесів при виготовленні пакувань дозволяє скоротити час на підготовчому етапі, спростити процес виготовлення продукції, значно збільшити його ефективність, підвищити якість і зменшити матеріаломісткість.

Тому тема, пов'язана із дослідженням процесу виготовлення пакувальних матеріалів та пакування високої якості, є актуальною і повністю відповідає загальним потребам і практичним завданням сучасних підприємств з випуску поліграфічної продукції такого типу.

2. Постановка проблеми

На сьогоднішній день поліграфічну пакувальну продукцію виготовляють з найрізноманітніших сортів паперу та картону. Широким попитом нині користується картонне та гофрокартонне пакування високої якості, адже в першу чергу споживач звертає увагу на вигляд упаковки.

Останнім часом надається перевага упаковкам з гофрокартону та мікрогофрокартону. Хоча матеріал, з якого буде виконана упаковка, в першу чергу, залежить від продукції, що буде знаходитися в ній, та її характеристик. Найбільш поширеним пакувальним матеріалом нашої сучасності є картон. Особливе місце серед різних видів цього матеріалу займає картон з гофрованим профілем (гофрокартон).

3. Аналіз останніх досліджень

Гофрований картон – це матеріал, який використовується в пакувальній галузі як для транспортної тари, так і для споживчої упаковки. До найбільш поширених видів цього матеріалу можуть бути віднесені дво-, три- і п'ятишаровий гофрокартон [3].

Двошаровий гофрокартон типу «Д» складається з одного шару гофрованого паперу (флютингу), склеєного з плоским шаром картону (лайнера). Тришаровий гофрокартон типу «Т» складається з двох плоских шарів – лайнерів, що приклеюються до третього гофрованого шару – флютингу. П'ятишаровий гофрокартон типу «П», відповідно, складається з трьох лайнерів і двох флютингів, семишаровий – три флютинги і чотири лайнери.

Роль лайнерів полягає в збереженні гофрованого картону як єдиного цілого. Саме від якості лайнера багато в чому залежать властивості гофрованого картону як при навантаженнях в практичному використанні, так і в ставленні до зовнішнього вигляду виготовленої з нього упаковки. В якості лайнера використовується картон для плоских шарів масою, залежно від марки, від 125 до 350 г/м². Конструкція гофрокартону зображена на рис. 1. Витрата картону на 1 м² одного шару становить 1,04 м² [3].

Призначення флютинга полягає в необхідності надання гофрованому картону більшої жорсткості. В

якості флютинга використовується папір для гофрування масою, залежно від марки, від 80 до 160 г/м². Витрата паперу на 1 м² одного шару гофри, становить 1,56 м² [1].

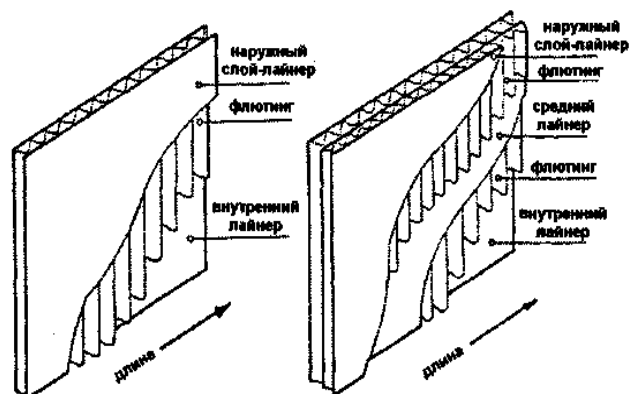


Рис. 1. Конструкція гофрокартону

Цікавість до даного матеріалу підтверджується багатьма останніми публікаціями [1-6], проте продовження дослідження способів контролю якості в процесі виготовлення досі є актуальним, оскільки якість гофрокартону, особливо тришарового, що широко використовується для пакувань, впливає на цілісність та зовнішній вигляд готової продукції.

4. Формулювання цілей статті

Цілі статті – розглянути спосіб виготовлення гофрованого картону і з'ясувати можливі причини, які будуть впливати на якість у подальшому, та способи їх усунення, побудувати блок-схему процесу виготовлення тришарового гофрокартону, а також розробити алгоритм процесу виготовлення пакування з гофрованого картону.

5. Основна частина

При формуванні тришарового картону з гофрованим профілем, флютинг зі станції розмотування подається на підігрівач для попередньої обробки теплом і паром, завдяки чому набуває здатності до гофрування. Одночасно, таким же чином, перший шар лайнера попередньо нагрівається і зволожується, до тієї ж самої міри, що й флютинг. Потім флютинг, проходячи через зубчасті вали гофропреса, набуває заданий хвилеподібний профіль. Клей за допомогою клейових валів наноситься на гребені хвиль флютинга, який об'єднується з попередньо обробленим лайнером в двошаровий гофрокартон [3].

Гофрокартон трьох і більше шарів не згинається ні по одній з осей, і остаточне термосклеювання і видалення вологи відбувається під натиском валів між плоскими конвеєрними стрічками і плитами сушки. Далі відрізаються кромки, здійснюється поздовжнє різання, прорізання і готовий гофрокартон нарізується на листи (двошаровий може намотуватися на рулон) необхідної довжини і ширини.

Розглянемо процес виготовлення тришарового гофрокартону (рис. 2) від підготовки матеріалів до отримання готової продукції.

Проблеми, що можуть виникнути в процесі обробки готового гофрокартону: пошкодження (продавлювання, розтріскування) під час бігування чи фальцювання – така проблема виникає у випадках занадто сухого картону, невірно підбраного лайнера; розслоювання шарів, спричинене поганою якістю клею.

Деформація картону відбувається під дією вологи. Причому картон деформується як у вологому кліматі, так і в занадто сухому. На рис. 3 зображено, яким чином впливають кліматичні умови на картон [3].

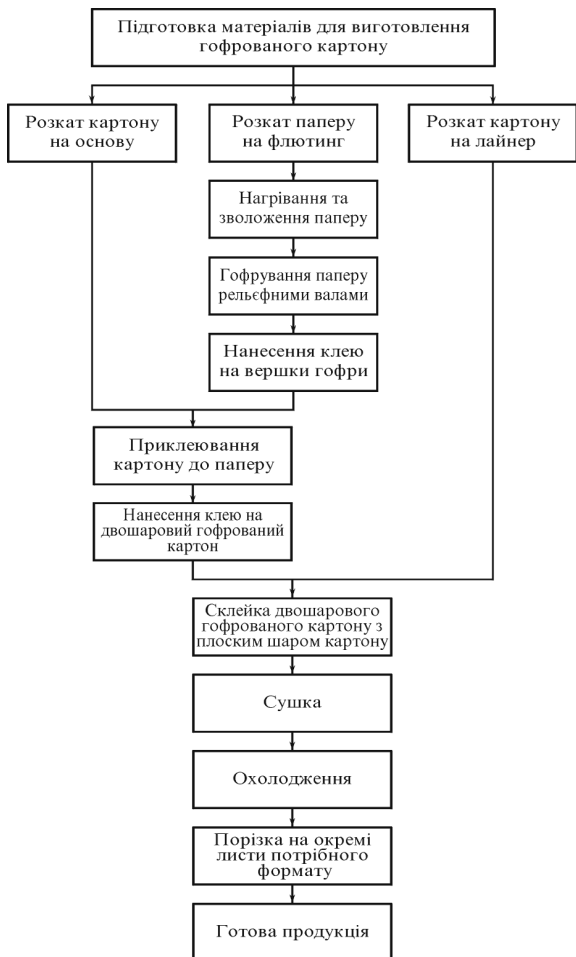


Рис. 2. Блок – схема процесу виготовлення тришарового гофрокартону



Рис. 3. Деформація картону в різних умовах

Для того щоб уникнути ряду проблем, слід здійснювати контроль якості продукції поетапно [5].

До традиційних методів перевірочних випробувань необхідно віднести:

- випробування на продавлювання, при якому гумова мембрана вдавлюється в покривний шар картону до тих пір, поки він (лайнер) не прорветься;
- випробування на бічний стиск – в цьому випадку на зразок гофрокартону впливає зростаюче вертикальне навантаження до тих пір, доки зразок не буде пошкоджений;
- випробування на опір площинному стисненню, яке схоже з випробуванням на бічне стиснення, за винятком того, що тепер зразок знаходиться в плоскому стані;
- випробування на опір пробивання, при проведенні якого визначається ступінь протидії гофрокартону до ударних навантажень.

Існує також метод визначення якості, при якому гофрокартон повинен витримувати без руйнування не менше 10 подвійних перегинів на 180 градусів по лінії прорізання [5].

Проблеми склеювання, не будучи вирішальними для гофрокартону, стають особливо важливими, якщо пакувальна лінія автоматизована і швидкості операцій високі та вимагають проведення випробувань оцінки міцності склеювання [4], можливі варіанти яких зображені на рис. 4.



Рис. 4. Варіанти оцінки міцності склеювання

Критерієм оцінки здатності до склеювання є поведінка картону при роздиранні клейового шва між лицьовою поверхнею, покритою пігментним шаром, і зворотним боком картонної заготовки [5]. Ідеальним варіантом є міцний картон з хорошими властивостями поверхні і поглинальною здатністю, відповідним типом використаного клею. Передбачувана та надійна здатність до склеювання створюється за допомогою ретельного підбору проклейки поверхні, зв'язків між шарами та пігментного покриття.

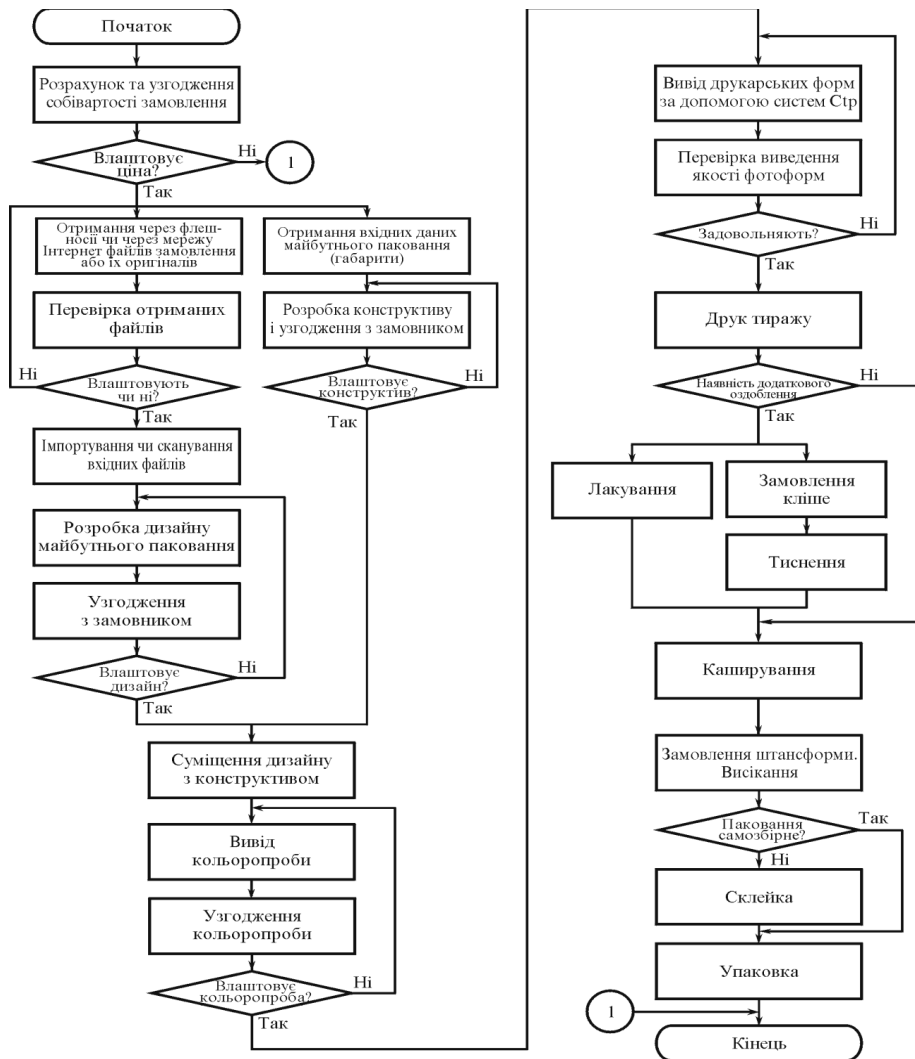


Рис. 5. Алгоритм процесу виготовлення пакування з гофрованого картону

Так як гофрокартон часто використовується для пакувальної продукції, розробимо алгоритм виготовлення упаковки (рис. 5).

6. Висновки

Розглянувши спосіб виготовлення гофрованого картону, у даній роботі була побудована блок-схема процесу виготовлення тришарового гофрокартону та розроблений алгоритм процесу виготовлення паку-

вання з гофрованого картону, а відслідковування кожного етапу виробничого процесу дозволяє з'ясувати, що може впливати на якість у подальшому, та знайти оптимальні способи усунення цього.

Щоб забезпечити продукцію належною упаковкою, необхідно проаналізувати, які матеріали та тип оздоблення необхідні для виготовлення пакування. Якість виготовлення продукції необхідно контролювати поетапно. Такий контроль якості дозволяє усунути можливі проблеми в процесі виготовлення з найменшими втратами.

Література

1. Упаковка (2011), Доступ з: <http://www.packaging.kiev.ua/rus/content/magazine/article/54> (6 травня 2011).
2. Бумага и жизнь (2006), Доступ з: http://paperandlife.com/journal/onlinejournal/2006/may/first_swallow/ (22 травня 2011).
3. Жидецький, Ю.Ц. Поліграфічні матеріали [Текст] / Ю.Ц. Жидецький, О.В. Лазаренко та ін. – Львів, Афіша, 2001. – 328 с.
4. Романо, Ф. Современные технологии издательско-полиграфической отрасли [Текст] / Ф.Романо. – М.: Принт-Медиа бизнес, 2006. – 457 с.
5. Семенова А.А. Контроль рабочих свойств полиграфических материалов [Текст] / А.А. Семенова. – Минск: Книга, 1964. – 488 с.
6. Кривошей, В.М. Упаковка в нашем житті [Текст] / В.М. Кривошей. – К.: ІАЦ Упаковка, 2001. – 160с.

Abstract

Recently it has been preferred packaging of corrugated cardboard and cardboard. Although the material of the packing will be made depending on the product that will be in it, and its characteristics. Nowadays the most common packaging material is cardboard. Notable among different types of this material is corrugated paperboard profile (corrugated cardboard).

Modern printed packaging products are made from various grades of paper and paperboard. Great demand today is cardboard and corrugated packaging quality, primarily because consumers pay attention to the type of packaging.

To ensure proper packaging of products, it is necessary to analyze the materials and the type of required packaging products and manufacturing quality control stages. Such quality control can eliminate potential problems in the manufacturing process with minimal losses.

After considering the method of manufacturing of corrugated cardboard in this paper was built a block diagram of the process of manufacturing three-layer corrugated board and developed an algorithm for the process of manufacturing of corrugated cardboard packaging. Proper tracking of each stage of the manufacturing process allows us to determine what quality may suffer in the future, and to find the optimum how to fix this.

Keywords: corrugated cardboard, packaging, quality control

Чистий водень широко використовується в аналітичному, екологічному приладобудуванні. Водень є необхідної складовою для роботи, полум'яно-іонізаційних детекторів і газоаналізаторів, хроматографів. В публікації розглядаються принципи побудови генераторів чистого водню з застосуванням твердого полімерного електроліту. Електролізери з твердим полімерним електролітом - це нове покоління обладнання для проведення електрохімічного процесу

Ключові слова: приладобудування, хроматограф, полум'яно-іонізаційний детектор, водень, газоаналізатор, генератор, електролізер

Чистый водород широко используется в аналитическом, экологическом приборостроении. Водород является необходимой составляющей. В публикации рассматриваются принципы построения генераторов чистого водорода с применением твердого полимерного электролита. Электролизеры с твердым полимерным электролитом - это новое поколение оборудования для проведения электрохимического процесса

Ключевые слова: приборостроение, хроматограф, пламенно-ионизационный детектор, водород, газоанализатор, генератор, электролизер

УДК 543.271.3

ГЕНЕРАТОР ЧИСТОГО ВОДНЮ ДЛЯ ПОЛУМ'ЯНО- ІОНІЗАЦІЙНИХ ГАЗОАНАЛІЗАТОРІВ

В. П. Приміський

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент*

Контактний тел.: 044-521-64-04, 050-352-82-11

E-mail: avtoeko@faust.net.ua

А. В. Жужа

Аспірантка

Контактний тел.: 099-144-44-16

E-mail : allazhuzha@gmail.com

*Кафедра наукових, аналітичних, екологічних приладів і систем

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

Водень, як технічний продукт широко застосовується в науці, техніці та в багатьох інших галузях промислового виробництва. Водень потрібний при синтезі мінеральних добрив, ядерній енергетиці та ракетних двигунах [1, 2].

Широко застосовується водень і в вимірювальній техніці для живлення полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів (ПІД-метод газового аналізу), хроматографів та інших аналітичних приладів, з допомогою яких визначаються концентрації вуглеводнів у викидах автотранспортних засобів (міжнародні Прави-

ла ЄЕК ООН і нормативи Євро) літаків (Норми ІКАО), морських і річних теплоходів (Норми MARPOL). Різноманітні аналітичні лабораторії оснащені цими приладами, їх також широко застосовують санітарні та екологічні інспекції. Найчастіше для цих цілей використовують водень в балонах під тиском або водневолужні генератори водню, застосування яких створює вибухонебезпечну обстановку на робочих місцях та труднощі в автоматизації вимірювального процесу, потребує жорстких правил експлуатації балонів, їх безпечного транспортування і зберігання. Актуальним питанням на сьогодні є пошук надійного генератору водню.

2. Мета

Джерело водню (генератор) повинно забезпечувати високу чистоту водню надійність в роботі, мати невелику вагу та габарити, спрощене керування та експлуатацію, можливість швидкого переходу в робочий стан і головне - гарантувати безпеку персоналу.

3. Аналіз електролізерів за схемою та принципом роботи

Електролізери з твердим полімерним електролітом

Таким вимогам відповідає генератор водню побудований на принципі електрохімічного розкладу води (застосуванням твердого полімерного електроліту (іонообмінною полімерною мембраною). Електролізери з твердим полімерним електролітом (ТПЕ) це нове покоління обладнання для проведення електрохімічного процесу, яке прийшло на зміну воднево - лужним електролізерам [3, 4].

Електролізери з ТПЕ відрізняються від традиційних воднево - лужних , низькими енерговитратами (для 4,3 - 4,5 квт. год. на 1 м³ водню), меншими габаритами, високою чистотою водню. При електролізі з ТПЕ в якості початкового реагента використовується деіонізована вода, що забезпечує високу ресурсність та простоту експлуатації. Електрофізичні характеристики полімерних матеріалів, дають можливість при виконанні визначених умов, застосовувати їх в електролізному процесі в якості твердого полімерного електроліту. Ці полімерні мембрани повинні мати такі характеристики :

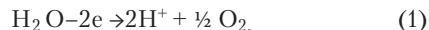
- високу механічну стійкість;
- еластичність;
- низьку газову проникливість;
- низький опір;
- хімічну та електричну стабільність;
- подовжений ресурс роботи при щільностях струму більше 1 А/см²;
- 100% катіонну провідність.

В цьому проекті для одержання водню передбачається використовувати мембрану, синтезовану на основі високополімерних смол, до складу яких входять фторовані сульфокислоти. По ряду властивостей така мембрана близька до тефлону, а при набуханні в воді вона еквівалентна 10 % сірчистій кислоті. Набухла у воді мембрана стає проникною для гідратованих іонів водню.

Особливістю електролізерів з ТПЕ, є те, що в них між електродами (колекторами) в якості електроліту використовується мембрана товщиною всього 0,2 мм на сторонах якої нанесені високодисперсні електрокаталізатори (ЕК) катодного і анодного процесів. Електрокаталізатори контактують з тонкими колекторами струму, виготовленими з пористого титану. Така щільно упакована конструкція є одне ціле і називається мембранно - електродним блоком (МЕБ), який і являється основним елементом електролізної чарунки.

В якості початкового реагента в електролізерах з ТПЕ використовується деіонізована вода, яка подається в анодну камеру електролізера. Далі вода проходить

через пори колектора струму і попадає на анодний ЕК, де проходить реакція :



де e - заряд електрона іони водню H⁺ переносяться через ТПЕ на катодний ЕК під впливом електричного поля міжелектродного потенціалу, але іони водню гідратовані і переміщуються до катоду разом з молекулою води в вигляді іону гідроксонія H₃O⁺. На катодному ЕК протікає реакція



Утворений водень через пори колектора струму виходить в катодну камеру електролізера. Таким чином кисень утворюється на одній стороні мембрани, а водень - на другій схематично процес, який протікає на межі системи: мембрана - електрод, приведено на рис.1

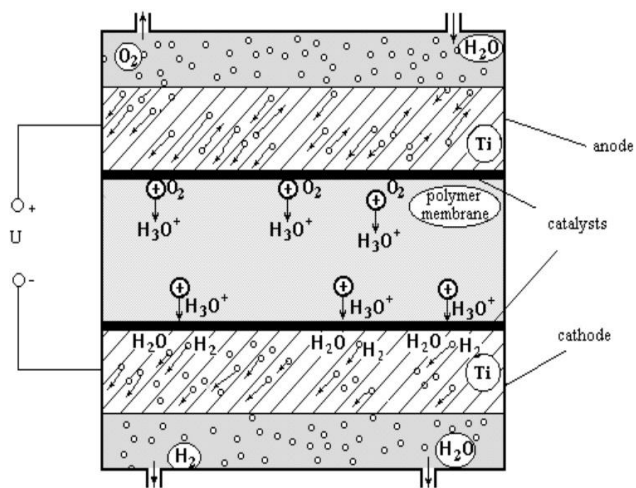


Рис. 1. Схема процесу мембрана-катод

Висока механічна стійкість та низька газопроникливість ТПЕ разом з каталітичними якостями електродів забезпечує повне подавлення взаємної дифузії отриманих газоподібних продуктів (H₂ і O₂), безпеку роботи електролізера. Слід нагадати, що в водно-лужних електролізерах розподільча діафрагма між катодною і анодною камерами виконана із матеріалу, який має високу газопроникливість, що і є джерелом підвищеної вибухонебезпечності цих електролізерів [5-6].

4. Формування цілей та задач

Загалом можна відмітити такі основні переваги електролізерів ТПЕ :

- високу ступінь розвиненості поверхні електрокаталізаторів ;
- малу відстань між електродами 0,1...0,2 мм;
- низький опір електроліту ≈ 10-20 ом/см;
- відсутність додаткової сепарації газів;
- низькі омичні втрати між електродами;
- високу енергетичну ефективність, що дозволяє вести процес при щільностях струму 1-2 А/см² (в водно-лужних - ця цифра становить 0,2 - 0,3 А/см²);

— питомі затрати становлять 4,3 - 4,5 квт год. на виробництво 1 м³ водню (в водно -лужних - 5,6 квт. год. на 1 м³ водню) ;

— можливість одержати водень на виході під тиском безпосередньо, без додаткових енергетичних затрат;

— відносно малі габарити і маса в перерахуванні на об'єм генерованого Н₂.

Ці і ряд інших переваг дозволяють застосовувати електролізні системи з твердополімерним електролітом як в області промислового виробництва й енергетики , так і в ряді інших областей.

Ціллю даної статті є задача знайти генератор водню, який би мав переваги в автоматичній стабілізації масового видатку та тиску водню, високий ступінь чистоти водню та безпечну роботу.

Для вирішення цієї мети, розглянемо функціональну схему і принципи побудови генератора водню.

Функціональна схема подана на рис.2 [7-8].

Одержання водню відбувається в такий спосіб. Вода з ємкості С через клапан YA і деіонізатор D надходить на електролізний модуль SPE, у якому відбувається розкладання води на водень і кисень за реакціями, які описані вище. Кисень, що утворився на аноді, захоплюючи воду, надходить знову в ємкість С, далі в атмосферу. Водень, що утворився на катоді, захоплюючи воду, пройшовши через сепаратор катодних продуктів SC, де відбувається відділення краплинної вологи, термовисушувач HD, де відбувається попередня осушка вологого водню, і через пристрій очищення SD, де відбувається фінішна глибока осушка й очищення від мікродомішок, надходить на вихід до споживача.

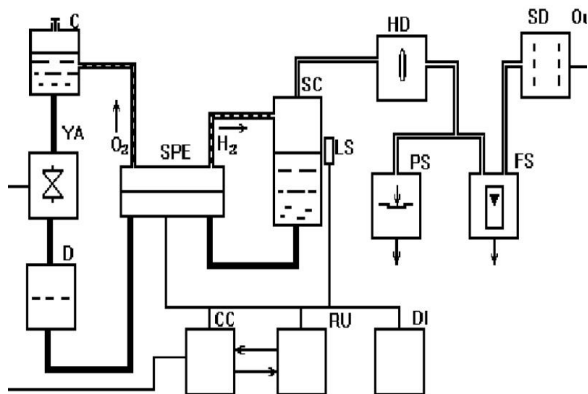


Рис. 2. Функціональна схема генератора водню:

S - ємність для води , що живить; YA - електромагнітний клапан; D - деіонізатор; SPS - електролізний модуль; HD - сепаратор катодний; LS - датчик рівня; HD - термоосушувач; SD - сорбційний осушувач; PS - датчик тиску; FS датчик витрати; CC - регулятор струму; RU - блок керування; DI - дисплей

Електричне живлення електролізного модуля SPE здійснюється регулятором струму CC. На дисплеї D відображається інформація про тиск, витрат та сервісна інформація. Керує і контролює роботу генератора пристрій керування YA.

Як відзначалося вище, з анода на катод разом з іонами водню переноситься вода, що згодом накопичується в сепараторі SC. Коли вона досягне визначеного рівня, спрацює датчик рівня LS і через пристрій керування клапан YA перекриває по-

дачу води , що живить анод. З цього моменту живлення модуля SPE водою відбувається за рахунок води , що знаходиться в катодному сепараторі, тобто повинен бути здійснений обернений потік води з катода на анод. Цей потік обумовлений різницею концентрацій води в катодній і анодній зонах. Очевидно, умовою нормального ведення електролізного процесу в цьому випадку є постачання води з катода на анод у такій кількості , щоб компенсувати витрати води на виробництво кисню і водню і компенсувати потік води, який виноситься з анода іонами Н⁺ . У протилежному випадку відбудеться ефект "сушки " мембрани, підвищення її опору, погіршення електро - фізичних характеристик, аж до припинення процесу електролізу. Отже мембрана повинна мати високу дифузійну спроможність для води. За умови рівності прямого й оберненого потоків води можна розраховувати теоретичну щільність потоку, при якому почнеться висушування мембрани. Її розмір для різних типів мембран коливається в межах 1,2...1.5 А/см². У якості робочих щільностей потоку в електролізних модулях із катодною й анодною подачею води варто вважати значення 0,5...0,7 А/см².

Для ведення електролізу потрібна дуже чиста вода, тому що іони важких металів , що знаходяться у воді, в процесі електролізу, створюючи малорозчинні з'єднання й накопичуючись у тілі мембрани і на її поверхні можуть призводити до появи в ній мікророзривів, блокування обмінних груп у мембрані, закупорці пір електродів. Це призводить до зниження виходу по струму, збільшення напруги на електролізному модулі й утруднення при відводі газових продуктів із зони їх утворення. Таким чином, для довгострокової роботи твердо полімерного електролізера без погіршення його технічних характеристик необхідна очищена від іонів вода - деіонізована . Крім того всі трубопроводи і деталі пристроїв, що стикаються з водою повинні виконуватися з чистої пластмаси або з корозійностійких металів, наприклад, титану. Для додаткового очищення води в схемі генератора встановлений деіонізатор D.

Електролізний модуль SPE являє собою суцільну конструкцію з чотирьох чарунк, електрично послідовно сполучених між собою. Виходи газових продуктів кожної чарунки сполучені паралельно. Продуктивність модуля визначається законом Фарадея і залежить від кількості чарунк, розмірів їхньої робочої площі й обраної щільності струму.

Регулювання і стабілізація встановлених розмірів витрати і тиску водню здійснюється автоматичним регулятором струму за допомогою датчиків витрати FS і датчика тиску PS.

Безпека забезпечується, по-перше, тим, що, як указувалося вище, водень і кисень фізично розділені між собою , по-друге, водень виробляється тільки тоді, коли він споживається - тобто він ніде не накопичується, у третій, дуже малими обсягами елементів і пристроїв, установлених по тракту водню, у четвертих , здійсненніям постійного контролю за відпливом водню і його тиском і подачею попереджувального і блокуючого сигналів. Сигнал відпливу утворюється порівнянням розмірів витрати вироблюваного (його точне значення визначається за законом Фарадея) і вимірюного на виході генератора. У випадку розбіжності цих розмірів робота генератора водню припиняється автоматично.

Обсяг ємкості для утримання води, що живить, розрахований на 30 - добовий режим безупинної роботи без доливання води.

На основі твердополімерних елекролізерів і по розглянутій функціональній схемі налагоджено випуск промислових генераторів водню. Генератор водню українського виробництва «Градент» (www.analytica.com.ua) має такі технічні характеристик генератора водню наступні табл. 1.

Генератор чистого сухого водню "Градент" призначений для газового живлення, газоаналізаторів та інших аналітичних приладів. Водень в генераторі виходить шляхом розкладання бидистиллированной води на твердому електроліті з подальшою (каталітичний реактор і композиція сорбентів) очищенням і осушенням газу.

Заправка генератора проводиться бидистилірованою водою (з баку об'ємом 1 л отримують 1000 л водню) і допускає доливку води в процесі роботи. Обслуговування генератора полягає в регенерації патроноподібних осушувачів, яка виконується шляхом їх прогріву при температурі близько 200 ° С без продувки протягом 6 - 8 ч. Періодичність обслуговування - 500 год при максимальних навантаженнях. Генератор допускає цілодобову роботу з дозаправкою водою «на ходу». Безпечний, встановлюється в звичайних лабораторних і виробничих приміщеннях.

4. Висновки

Генератор водню побудований на принципі електрохімічного розкладу води з застосуванням твердого полімерного електроліту (іонообмінною полімерною мембраною) має наступні переваги :

- автоматичну стабілізацію масового видатку водню;
- автоматичну стабілізацію тиску водню;
- високий ступінь чистоти водню;
- безпеку роботи;
- уніфікацію функціональних вузлів та конструктивних рішень.

Такі технічні підходи - основа повної серії генераторів водню ультрависокої чистоти різної продуктивності, як для аналітичного приладобудування, так інших сфер застосування.

Таблица 1

Технічні характеристики

Чистота виробляється водню (по сухому газу), %	99,9999
Обводненість водню, не більше,	ppm 10
Вихідний тиск водню,	атм 6
Продуктивність за воднем,	л / год 12
Марка виробляється водню	"А"
Габарити, не більше,	мм 185x360x480
Маса, не більше, кг 15	-
Потужність, споживана від мережі, не більше	ВА 250
Електроживлення, В / Гц	220/50
Контроль обводнення	+

Література

1. Колачев, Б. А. Сплавы-накопители водорода: справ./ Б. А. Колачев, Р. Е. Шалин, А. А. Ильин М : Металлургия, 1995.
2. Антропов, Л. И. Теоретическая электрохимия / Л. И. Антропов : Высшая школа, 1975.
3. Водородородные свойства. Получение. Справочник. М : Химия, 1989.
4. Primisky V. F. Hydrogen Materials Science and Chemistry of Metal Hydrides, ICHMS 7th Int. Confer. " Abstract of pure hydrogen generatora ". Alushta-Crimea-Ukraine, 2001, 16 - 22. 09.
5. Primisky V. F., Kossonovich F. U. , Cuknova L. A. , kopulova L. I. Hydrogen generator applaing in the gas analysis instrument [primenenenie generatora vodoroda v gasoanaliticheskom priborostroenii]. *Trudu Megdunarodnoj NTK "Vodorodnoe materialovedenie i chimiya yglevodorodnuh anomaterialov"*(Proc.Int.Scient.Technol. Conf. "Hydrogen materials and hydrocarbon's nanomaterials chemie").Sudak,Crimia, 2003. pp.1094.
6. Primisky V.F., Cukanova L.A. Sources of the pure hydrogen[istochniki chistogo vodoroda].*Trudy naychno-technicheskoy konferencii KPI " Pruladobydyvamnya: stan I perspectivu"* (Proc. Scient.Techn.Confer. "Instrument Making: satus and prospects"). Kiev, 2002.
7. Патент 62545 А України, МПК G01N. Пристрій для здобуття водню[Текст]/ Приміський В.П. , Шаталов М.Г. , Коссонович Ф.Ю. , Цуканова Л. А. (Україна). - Бюл. №12, 2003
8. Патент 62544 А України, МПК G01N. Автоматична система виробництва чистого водню [Текст] / Приміський В.П., Шаталов М. Г., Коссонович Ф. Ю., Цуканова Л. А.(Україна). - Бюл. №12, 2003
9. Патент 70050 А України, МПК G01N. Система генерування чистого водню [Текст] / Приміський В. П., Шаталов М. Г., Коссонович Ф. Ю., Цуканова Л. А.(Україна). - опубл. 15. 09. 04, Бюл. №9

Abstract

Pure hydrogen is widely used in analytical and environmental instrument making. Hydrogen is a necessary component for operation of the flame-ionization detectors and gas analyzers, and chromatographs. The article concerns the principles of construction of the pure hydrogen generators using the solid polymer electrolyte. The electrolyzers with a solid polymer electrolyte represent a new generation of equipment for the electrochemical process. The electrolysis module is a solid construction of four meshes; the electrolyte is represented by the membrane with thickness of 0.2 mm, the sides of which are covered with the fine-grained electrocatalysts of

cathodic and anodic processes. The efficiency of the module is determined by the law of Faraday and depends on the number of meshes, size of their active area and the chosen current density. The regulation and stabilization of the fixed sizes of flow and the pressure of hydrogen are realized by the automatic regulator of current by means of flow sensors and pressure sensors

Keywords: instrument making, chromatograph, flame-ionization detector, hydrogen, gas analyzer, generator, electrolyzer

Досліджено вплив низькотемпературного відпалу вихідних монокристалів InSe на фотоелектричні властивості гетеропереходів n-InSe-p-InSe. Знайдено, що максимальне поліпшення фотоелектричних параметрів гетеропереходів n-InSe-p-InSe спостерігається при температурах відпалу 150 – 200°C. Підвищення якості монокристалічних зразків після відпалу підтверджується мультиплетністю спектрів ЯКР, які відображають упорядкування в системі політипії шаруватої структури InSe

Ключові слова: шаруваті напівпровідники, гетеропереходи, відпал кристалів, спектри ЯКР, структурні дефекти, фотоелектричні властивості

Исследовано влияние низкотемпературного отжига исходных монокристаллов InSe на фотоэлектрические свойства гетеропереходов n-InSe-p-InSe. Найдено, что максимальное улучшение фотоэлектрических параметров гетеропереходов n-InSe-p-InSe наблюдается при температурах отжига 150 – 200°C. Повышение качества монокристаллических образцов после отжига подтверждается мультиплетностью спектров ЯКР, которые отражают упорядочение в системе политипов слоистой структуры InSe

Ключевые слова: слоистые полупроводники, гетеропереходы, отжиг кристаллов, спектры ЯКР, структурные дефекты, фотоэлектрические свойства

УДК 621.315.592:539.143.43

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ НА ОСНОВЕ INSE И ЯДЕРНЫЙ КВАДРУПОЛЬНЫЙ РЕЗОНАНС В ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ

В. А. Хандожко

Аспирант

Кафедра радиотехники и информационной безопасности

Физический факультет

Черновицкий национальный университет

им. Юрия Федьковича

ул. Коцюбинского, 2, г. Черновцы, 58012

Контактный тел.: (03722) 4-24-36

E-mail: khand@chv.ukrpack.net

З. Р. Кудринский

Аспирант*

Контактный тел.: (0372) -52-51-55

E-mail: zakhar.kovalyuk@gmail.com

З. Д. Ковалюк

Доктор физико-математических наук, профессор

Руководитель Черновицкого отделения Института проблем

материаловедения им. И.Н.Францевича НАН Украины*

Контактный тел.: (0372) -52-51-55

E-mail: zakhar.kovalyuk@gmail.com

*Институт проблем материаловедения

им. И.Н.Францевича НАН Украины

Черновицкое отделение

ул. Ирины Вильде, 5, г. Черновцы, Украина, 58001

1. Введение

В современных оптоэлектронных приборах значительную роль играют выпрямляющие структуры с гетеропереходами (ГП). Развитие данного направления электроники требует расширения класса используемых материалов. Как показывают исследования [1-4], слоистые кристаллы группы $A^{III}B^{VI}$, типичным представителем которых является моноселенид индия (InSe), являются перспективными материалами современной оптоэлектроники. Во-первых, слабая

ван-дер-ваальсовая связь между слоями данных полупроводников позволяет достаточно легко получать пластины этих соединений любой, вплоть до микронной, толщины с практически идеальной зеркальной поверхностью. Они не нуждаются в дополнительной обработке, и потому с практической точки зрения являются удобными для изготовления ГП. Во-вторых, поверхность этих кристаллов имеет низкую концентрацию дефектов, высокую степень инертности. А главное, что «атомная» гладкость сколотой поверхности позволяет использовать ме-

тод посадки на оптический контакт [5, 6], который в сочетании с предыдущими двумя особенностями, приводит к созданию резких ГП.

Фотопреобразователи видимого и ближнего инфракрасного (ИК) диапазонов на основе гетеропереходов $n\text{-InSe-p-InSe}$ привлекают внимание исследователей, в первую очередь, ввиду их высокой радиационной стойкости [7, 8].

Однако известно, что слоистые кристаллы, а особенно InSe, обладают большим количеством структурных дефектов, в том числе, дефектами упаковки и наличием плоских дислокаций [9]. Чрезмерное количество этих дефектов негативно влияет на фотоэлектрические характеристики ГП, а соответственно и на приборы изготовленные на их основе.

Исследования ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) в слоистых соединениях типа A^3B^6 [10-12] показали, что данная область радиоспектроскопии эффективно может быть использована для оценки совершенства кристаллов из группы GaS. Последнее обусловлено чувствительностью квадрупольных моментов атомных ядер галлия и индия к малейшим изменениям их электронного окружения. Это дает возможность бесконтактным способом оперативно контролировать дефектность кристалла по состоянию политипной структуры, которая является характерной для слоистых полупроводников.

В данной статье показана возможность улучшения электрических и фотоэлектрических параметров ГП $n\text{-InSe-p-InSe}$ за счет снижения дефектности и сопротивления объемных материалов путем подбора режимов низкотемпературной обработки в вакууме как исходных кристаллов, так и структур на их основе. Позитивное влияние низкотемпературного отжига на качество кристаллической матрицы подтверждается упорядочением в системе политипов, что наблюдается по спектрам ЯКР.

2. Методика эксперимента

а) приготовление и контроль исходных материалов

Монокристаллы селенида индия выращивались методом Бриджмена из нестехиометрического состава компонент ($In_{1.03}Se_{0.97}$). Нелегированные кристаллы имели n -тип проводимости с концентрацией электронов $n \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью основных носителей $\mu_n = 800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ при комнатной температуре. С целью изменения типа проводимости кристаллы легировались кадмием в количестве 0.1% по массе. Монокристаллы $p\text{-InSe}$ характеризовались подвижностью основных носителей $\mu_p = 100 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ и концентрацией дырок $p = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре. Подвижность и концентрацию свободных носителей заряда определяли из холловских измерений.

Морфология поверхности таких образцов исследовалась при помощи атомно-силового микроскопа (АСМ) Nanoscope IIIa Dimension 3000 SPM (Digital Instruments, USA)

Гетеропереходы $n\text{-InSe-p-InSe}$ изготавливались методом «посадки на оптический контакт» тонких ($\sim 50 \text{ мкм}$) пластинок $n\text{-InSe}$ на толстые ($\sim 200 \text{ мкм}$) подложки $p\text{-InSe}$ [5, 6]. Все операция проводились исклю-

чительно на свежих сколах. Контакты изготавливались путем сплавления чистого индия. Площадь структур составляла $\sim 0.25 \text{ см}^2$. Последовательная термическая обработка осуществлялась в вакуумированных до $10^{-4} \text{ мм рт. ст.}$ ампулах при температурах 150, 200 и 250°С на протяжении 4 ч.

Измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) и частотной зависимости импеданса проводились при комнатной температуре с помощью амплитудно-частотного анализатора Solartron FRA 1255, совмещенного с аналого-цифровым преобразователем Solartron EI 1286. Исследования темнового поперечного импеданса осуществлялись в диапазоне частот $10^{-1} - 10^6 \text{ Гц}$.

Спектры фоточувствительности изготовленных гетеропереходов исследовались при помощи монохроматора МДР-23 с разрешающей способностью 2.6 нм/мм. Все спектры нормировались относительно количества падающих фотонов.

б) приготовление и контроль исходных материалов

Для исследования ЯКР в слоистых полупроводниках использовался радиоспектрометр импульсного типа с Фурье-преобразованием сигналов ядерной спиновой индукции. Для резонансноактивных ядер ^{115}In со спином $I=9/2$ в электрическом поле кристалла реализуются 4 спиновых перехода, которым отвечают средние частоты резонансов: 10,25; 20,55; 30,75; 41 МГц. Мультиплетные спектры сложной формы наблюдались на всех четырех переходах, однако для текущего контроля использовался инструментально удобный второй спиновый переход, для которого спектр ЯКР наблюдается в диапазоне 20,45 – 20,75 МГц. Возбуждение сигнала ядерной спиновой индукции осуществлялось подачей в приемный контур с образцом высокочастотного импульса длительностью $\tau=3 \text{ мкс}$ и мощностью $P=200 \text{ Вт}$. Для обработки отклика ядерной спиновой системы с целью извлечения спектра ЯКР путем быстрого Фурье-преобразования использовалась программное обеспечение цифрового осциллографа «BORDO-421».

Из работы [12] следует, что низкотемпературный отжиг улучшает качество монокристалла InSe. Последнее видно из повышения разрешающей способности спектра ЯКР после процедуры отжига. В результате отжигов наблюдается более четкая форма линий и увеличение их интенсивности, что может свидетельствовать о упорядочении структурных дефектов – политипов. В настоящей работе методом импульсной радиоспектроскопии изучены спектры ЯКР отожженных материалов. Проверка качества монокристаллического образца InSe, легированного Cd, была проведена после двухэтапного отжига: 150°С и 200°С длительностью по 4 часа. Наличие политипных модификаций в кристалле InSe приводит к мультиплетным спектрам ЯКР ^{115}In . Именно это обстоятельство вызывает сложную форму сигнала ядерной спиновой индукции после действия возбуждающего высокочастотного импульса (рис.1). Длительность спада сигнала отражает характерное время спин-спиновой релаксации (T_2^*) и, соответственно, ширину резонансных линий.

Для БПФ сигнала спиновой индукции в качестве весовой функции выбрано прямоугольное окно, ширина которого устанавливается автоматически согласно числу выборок исследуемого сигнала. Это дает воз-

возможность получить наиболее правдоподобный спектр, приближающийся к реальному. В результате преобразования сигнала спиновой индукции получен спектр из первообразных линий резонансного поглощения ЯКР, интенсивность которых отображает количество неэквивалентных ядер ^{115}In в элементарной ячейке кристаллической решетки InSe (рис.2). Высокое разрешение линий в спектре после отжига указывает на отсутствие заметных искажений периодичности кристаллического поля InSe за счет дислокаций или наличия отдельных кристаллических блоков. Для сопоставления приведен спектр ЯКР для монокристалла, который хранился около 10 лет при комнатной температуре (рис. 3). Состаренный нелегированный монокристалл InSe за счет низкотемпературного самоотжига имеет четкий набор резонансных линий и применяется в качестве контрольного образца при выборе заготовок для гетеропереходов. Наблюдаемый спектр является характерным для смеси политипов ϵ - γ - модификаций в InSe. Из сопоставления спектров ЯКР (рис.2 и рис.3) следует, что выращенный кристалл после двух этапов низкотемпературного отжига по качеству идентичен контрольному нелегированному образцу. Время для наблюдения спектра ЯКР и реализации БПФ составило всего около 10 секунд. Спектры наблюдались при температуре $T = 297^\circ\text{C}$.

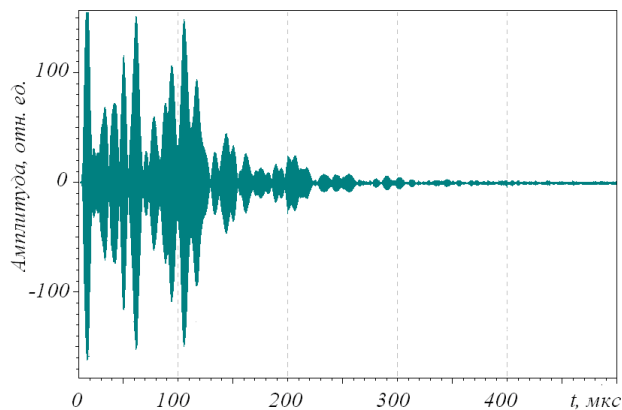


Рис. 1. Временная зависимость амплитуды сигнала спиновой индукции ядер ^{115}In в InSe, следующий сразу после действия высокочастотного импульса на образец на частоте 20,8 МГц

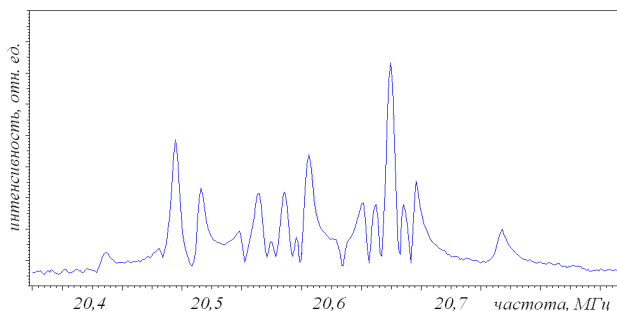


Рис. 2. Распределение интенсивности линий в спектре в зависимости от частоты для ЯКР ^{115}In в монокристаллическом InSe<Cd> после двухэтапного низкотемпературного отжига ($T=150^\circ\text{C}$, 200°C по 4 часа)

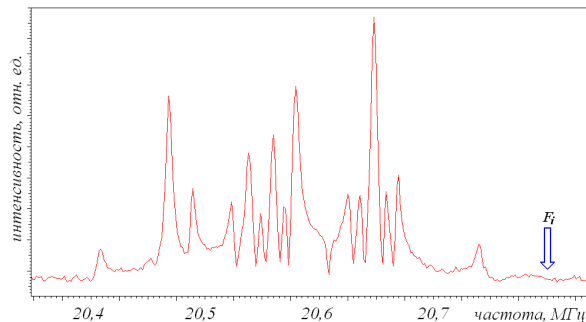


Рис. 3. Распределение интенсивности линий в спектре в зависимости от частоты для ЯКР ^{115}In в нелегированном монокристалле InSe после длительного самоотжига при комнатной температуре. F_i - частота приложенного возбуждающего импульса

3. Структура n -InSe- p -InSe

АСМ-изображения поверхности слоистых кристаллов n -InSe и p -InSe показаны на рис. 4. Исследуемая поверхность скола (0001) характеризовалась низкой плотностью поверхностных состояний ($\leq 10^{10} \text{ см}^{-2}$), а среднearифметическое значение шероховатости составляло $\sim 0.053 \text{ нм}$ для n -InSe и $\sim 0.089 \text{ нм}$ для p -InSe. Полученные данные позволяют считать эти поверхности фактически атомарно-гладкими. Такое высокое качество поверхности скола слоистых кристаллов InSe дает возможность исключить проведение каких-либо дополнительных операций перед созданием гетеропереходов. На основе этих поверхностей формировались n -InSe- p -InSe структуры.

Для исследования отбирались гетеропереходы со среднестатистическими значениями U_{xx} и $J_{\text{кз}}$. Исследуемые гетероструктуры n -InSe- p -InSe обладали четкими выраженными диодными характеристиками, о чем свидетельствует величина коэффициента выпрямления исходных образцов, которая при комнатной температуре и смещении 0.6 В достигала значения $K=120$. На рис. 5 показана динамика изменения темновых ВАХ гетероперехода n -InSe- p -InSe с отжигом.

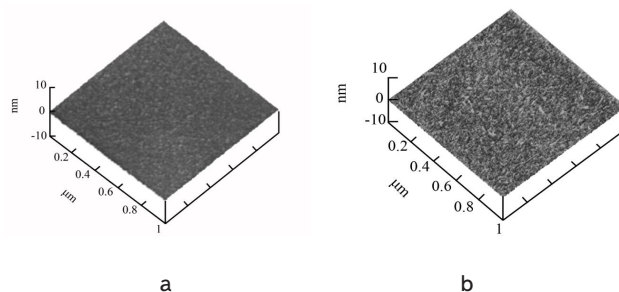


Рис. 4. Трехмерные изображения поверхности скола (0001) n -InSe (a) и p -InSe (b), полученные с помощью атомно-силового микроскопа

Прямые ветки ВАХ отвечают подключению положительного полюса внешнего источника тока к электроду со стороны p -InSe. В результате отжига происходит рост крутизны и сдвиг прямых ветвей ВАХ

влево, что может указывать на уменьшение удельного сопротивления контактирующих полупроводников.

С отжигом также наблюдается увеличение коэффициента выпрямления гетеропереходов *n*-InSe–*p*-InSe (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость коэффициента выпрямления гетеропереходов *n*-InSe–*p*-InSe от температуры и времени отжига

Температура отжига, °С	Время отжига, ч	$K_{\text{вып}}$ (при 0.6 В)
Без отжига		120
150	4	340
200	4	950

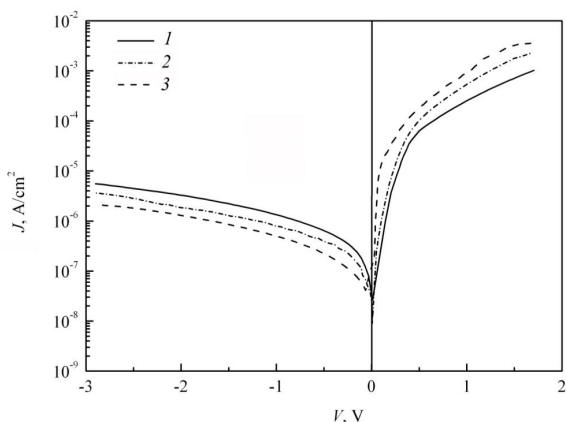


Рис. 5. Зависимость плотности тока от приложенного напряжения для структуры *n*-InSe–*p*-InSe при различных температурах отжига *T*, °С: 1 – исходный образец, 2 – 150, 3 – 200

Для более детального изучения процессов, которые происходят при отжиге в кристаллах была исследована частотная зависимость импеданса $Z^* = Z' - jZ''$, где Z' и Z'' действительная и мнимая части соответственно. На рис. 6 и 7 представлены диаграммы Найквиста образцов монокристаллов *n*-InSe и *p*-InSe, соответственно, которые подвергались низкотемпературным отжигам. Как видно из диаграмм, в обоих случаях, отжиги приводили к существенному уменьшению сопротивления вдоль оси с. Максимальное изменение активного сопротивления образцов селенида индия обоих типов наблюдалось при температуре отжига $T=200$ °С.

Для выяснения механизма влияния температуры отжига на фотоэлектрические характеристики исследовалась спектральная зависимость квантовой эффективности фототока (фотоотклик) структуры *n*-InSe–*p*-InSe (рис. 8). Видно, что с отжигом происходит увеличение амплитуды низкоэнергетического края, что свидетельствует об улучшении спектральной зависимости фотоотклика исследуемой структуры. Следует также отметить, что для всех образцов в InSe при $E_{\text{ex}} = 1.25$ эВ наблюдается экситонный пик, величина которого с отжигом растет и достигает максимума при температуре 200 °С, что можно связать с упорядочением структуры дефектов. Известно [13], что в несовершенных слоистых кристаллах экситонное поглощение не наблюдается.

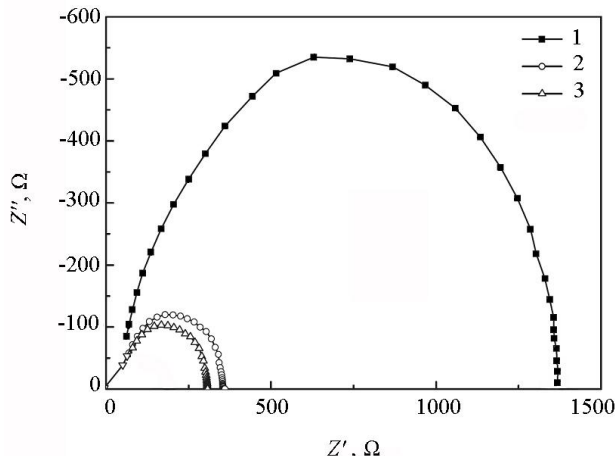


Рис. 6. Зависимость мнимой части импеданса от действительной части для монокристалла *n*-InSe, измеренная вдоль кристаллографической оси С при разных температурах отжига *T*, °С: 1 – исходный образец, 2 – 150, 3 – 200

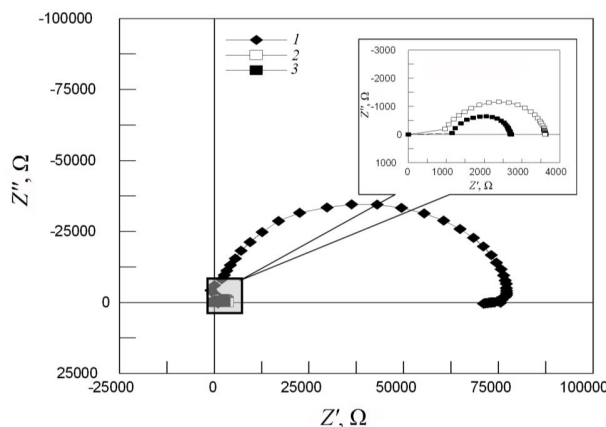


Рис. 7. Зависимость мнимой части импеданса от действительной части для монокристалла *p*-InSe<Cd>, измеренная вдоль кристаллографической оси С при разных температурах отжига *T*, °С: 1 – исходный образец, 2 – 150, 3 – 200

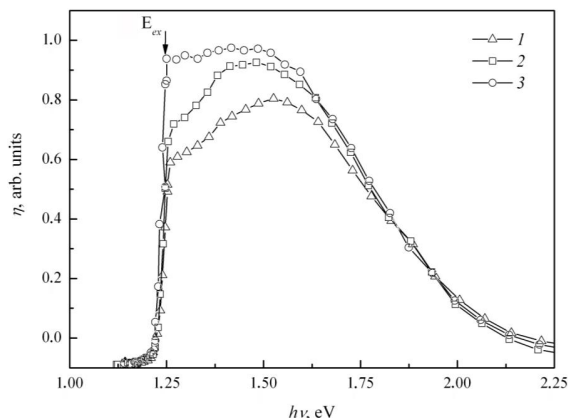


Рис. 8. Зависимость относительной квантовой эффективности структуры *n*-InSe–*p*-InSe от энергии фотонов ($h\nu$) при разных температурах отжига *T*, °С: 1 – исходный образец, 2 – 150, 3 – 200

Исходная структура *n*-InSe–*p*-InSe характеризовалась средними значениями фотоэлектрических пара-

метров: $U_{xx} = 0.29$ В и $J_{kз} = 350$ мкА/см². С отжигом их изменения имеют свои особенности (табл. 2).

Таблица 2

Изменение фотоэлектрических параметров структуры *n*-InSe–*p*-InSe в зависимости от температуры и времени отжига

Температура отжига, °С	Время отжига, ч	U_{xx} , В	$J_{kз}$, мкА/см ²	S_I , мА/Вт	S_V , В/Вт
Без отжига		0.29	350	120	$10,8 \cdot 10^3$
150	4	0.51	610	190	$13,2 \cdot 10^3$
200	4	0.56	840	227	$13,4 \cdot 10^3$
250	4	0.48	510	135	$6,8 \cdot 10^3$

Наблюдается позитивная тенденция по росту как тока короткого замыкания $J_{kз}$, так и напряжения холостого хода U_{xx} . Максимальное улучшение фотоэлектрических параметров наблюдалось после отжига при температуре 200 °С. Например, рост U_{xx} составил 93%, а $J_{kз}$ – 140%. Также увеличивались монохроматическая ампер-ваттная S_I и вольт-ваттная S_V чувствительности (табл. 2), которые вычислялись как отношение фототока (фотонапряжения) к мощности монохроматического потока излучения на длине волны $\lambda = 0.98$ мкм, вызвавшего появление этого фототока (фотонапряжения). Максимальный рост ΔS_I достиг

89%, а ΔS_V – 24%. Последующий отжиг при температуре 250 °С приводил к падению U_{xx} на ~14% и $J_{kз}$ на ~39%, хотя в сравнении с начальными значениями все равно можно говорить о росте U_{xx} на ~65% и $J_{kз}$ на ~46%.

Возрастание тока короткого замыкания $J_{kз}$ связывается с уменьшением сопротивления материалов *n*-InSe и *p*-InSe при отжиге, а напряжения холостого хода U_{xx} – с изменением концентрации дефектов в прилегающих областях гетероперехода.

4. Выводы

Исследовано влияние низкотемпературного отжига на электрические и фотоэлектрические характеристики гетеропереходов *n*-InSe–*p*-InSe. Установлено, что оптимальными температурно-временными режимами отжига, которые приводят к максимальному улучшению параметров гетеропереходов, являются 150–200 °С на протяжении 4 часов. Улучшение качества монокристаллов InSe после отжига подтверждается мультиплетными спектрами ЯКР, которые отражают упорядочение в системе политипов. С отжигом наблюдается позитивная тенденция по росту тока короткого замыкания ~140% и напряжения холостого хода ~93%. Также происходит увеличение амплитуды низкоэнергетического края спектра фотоотклика.

Литература

1. Катеринчук, В.Н. Получение гетероструктур окисел–*p*-InSe с улучшенными фотоэлектрическими характеристиками [Текст] / В.Н. Катеринчук, З.Д. Ковалюк // ФТП. – 2004. – Т. 38, № 4. – С. 417-421.
2. Катеринчук, В.Н. Размерный оптический эффект в наноструктурированных пленках In₂O₃ [Текст] / В.Н. Катеринчук, З.Р. Кудринский // ФТП. – 2013. – Т. 47, № 3. – С. 320-323.
3. Katerinchuk V.N., Kovalyuk M.Z. InSe *p-n* homojunction diodes. Phys. stat. sol. (a), 1992, Vol.133, № 1, pp. K45-K48.
4. Ковалюк, З.Д. Характеристики гетеропереходов окисел–*p*-InSe в условиях рентгеновского облучения [Текст] / З.Д. Ковалюк, В.Н. Катеринчук, О.А. Политанская, Н.Д. Раранский // ФТП. – 2006. – Т. 40, № 8. – С. 940-943.
5. Бакуменко, В.Л. Электрические свойства оптических контактов слоистых полупроводников [Текст] / В.Л. Бакуменко, В.Ф. Чишко // ФТП. – 1977. – Т. 11, № 10. – С. 2000-2002.
6. Бакуменко, В.Л. Исследование гетеропереходов InSe-GaSe, приготовленных посадкой на оптический контакт. II. Характеристики переходов с освещенным слоем [Текст] / В.Л. Бакуменко, З.Д. Ковалюк, Л.Н. Курбатов, В.Г. Тагаев, В.Ф. Чишко // ФТП. – 1980. – Т. 14, № 8. – С. 1573-1577.
7. Ковалюк, З.Д. Влияние гамма-облучения на свойства InSe-фотодиодов [Текст] / З.Д. Ковалюк, В.Н. Катеринчук, О.А. Политанская, О.Н. Сидор, В.В. Хомяк // Письма в ЖТФ. – 2005. – Т.31, №9. – С. 1-5.
8. Ковалюк, З.Д. Влияние нейтронного облучения на фотоэлектрические параметры структур *n*-*p*-InSe [Текст] / З.Д. Ковалюк, О.А. Политанская, П.Г. Литовченко, В.Ф. Ластовецкий, О.П. Литовченко, В.К. Дубовой, Л.А. Поливцев // Письма в ЖТФ. – 2007. – Т.33, №18. – С. 14-22.
9. Blasi C., Manno D., Mongelli S. The stacking of polytypes in InSe crystals. Phys. stat. sol. (a), 1985, Vol.90, No.1, pp. K5-K6.
10. Bastow T.J., Cambell I.D., Whitfield H.J. A ⁶⁹Ga, ¹¹⁵In NQR study of polytypes of GaS, GaSe and InSe. Sol. St. Com., 1981, V. 39, pp. 307-311.
11. Bastow T.J., Whitfield H.J. Nuclear Quadrupole Resonance of ⁶⁹Ga and ¹¹⁵In in Chalcogenides MX and M₂X₃. Journal of Magnetic Resonance, 1975, V.20, pp. 1-10.
12. Ластивка, Г.И. Влияние отжига на спектры ЯКР и характеристики гетерофотодиодов GaSe-InSe [Текст] / Г.И. Ластивка, О.Н. Сидор, З.Д. Ковалюк, А.Г. Хандожко // Восточно - Европейский Журнал передовых технологий. – 2010. – №4/5(46). – С. 28-34.
13. Abay B., Guder H.S., Efeoglu H., Yogurtcu Y.K. Excitonic absorption and Urbach-Martienssen's tails in Er-doped and undoped *n*-type InSe. J. Phys. D: Appl. Phys, 1999, Vol.32, No. 22, pp. 2942-2948.

Abstract

The article studies the effect of low-temperature annealing of source single crystals InSe on the photoelectric

properties of the heterojunctions *n-InSe-p-InSe*. It was found that the maximum improvement of the parameters of the heterojunctions was observed at annealing temperatures of the source material 150 - 200 ° C and the duration of 4 hours. The improvement of the quality of single-crystal samples after annealing was confirmed by multiplicity of NQR spectra, which reflect the collating in the system of polytypes of layered structure of InSe.

Reduction of defects, including stacking and flat dislocations defects during annealing had had positive effect on the photoelectric parameters of the heterojunctions. The latter follows the dynamics of the current-voltage characteristics and the growth of photoresponse of the heterostructure *n-InSe-p-InSe*. The improvement of the characteristics of the heterojunction was connected with the change of concentration of defects near the heterojunction boundary and the decrease of the impedance in the volume of the sample along the *c* axis. For the annealed materials the structure *n-InSe-p-InSe* is characterized by an increase of the intensity of the exciton peak, the growth of the open-circuit potential from 0.29 to 0.56 V and the growth of the short-circuit current from 350 to 840 mA/sm². The maximum growth of the conversion factor according to the photocurrent and photovoltage at a wavelength of $\lambda = 0,98$ mkm after annealing was $\Delta SI = 89\%$, and $\Delta SV = 24\%$, respectively.

Keywords: layered semiconductors, heterojunctions, annealing of crystals, NQR spectra, structural defects, photoelectric properties.

УДК 621.74

ФОРМИРОВАНИЕ ОТЛИВОК СО СЛОЖНЫМИ ВНУТРЕННИМИ ПОЛОСТЯМИ ПРИ ПОМОЩИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ

А. А. Бондарь

Кандидат технических наук, доцент*

Контактный тел.: 097-337-57-27

E-mail: andrey-bondar@rambler.ru

Ю. М. Дудзинский

Доктор физико-математических наук, профессор**

Л. И. Солоненко

Аспирант*

К. В. Колесник*

Контактный тел.: 097-285-63-62

E-mail: kristykrista@mail.ru

*Кафедра технологий управления литейными процессами

**Кафедра физики

Одесский национальный политехнический университет
пр. Шевченко, 1а, г. Одесса, Украина, 65044

Розглянута технологія формування відливок зі складними внутрішніми порожнинами, які не потребують подальшої механічної обробки за допомогою стрижнів з теплозахисною оболонкою

Ключові слова: стрижні, оболонки, металеві, що виплавляються

Рассмотрена технология формирования отливок со сложными внутренними полостями, не требующих последующей механической обработки, при помощи металлических стержней с теплозащитной оболочкой

Ключевые слова: стержни, оболочки, металлические, выплавляемые

1. Введение

В современных условиях развития литейной промышленности существует необходимость производства готовых изделий, не требующих дополнительной обработки. Это особенно актуально при получении качественных полостей сложной формы в таких деталях, как поршни двигателей внутреннего сгорания, детали гидроаппаратуры и др. Так как изготовление сложных полостей механической обработкой встречает ряд трудностей из-за невозможности подведения реза

к внутренним частям детали, то мы вынуждены выполнять указанные детали сварными из двух и более частей, что, в свою очередь, снижает технологические свойства готовых изделий и вызывает дополнительные финансовые и трудовые затраты.

2. Постановка проблемы

Формирование таких внутренних полостей при помощи песчано-глинистых стержней на основе раз-

личных связующих встречаются сложности, связанные в основном с трудоемкостью удаления стержней их готового изделия и высокой шероховатостью внутренней поверхности отливки. Последний факт опять ставит вопрос о механической доводке деталей. В связи с этим, свое применение нашли выплавляемые металлические стержни.

При изготовлении выплавляемых металлических стержней основное значение имеет способ изготовления, материал и конструкция выплавляемого стержня.

3. Методы решения

Металлические стержни можно получать известными традиционными способами литья - литьем под давлением, в кокиль, центробежным способом литья [1, 2]. Иногда отливки стержней подвергаются дополнительной механической обработке или полностью изготавливают механическим путем.

Наиболее важной характеристикой материала стержня является температура его плавления. Она является главным параметром, - по которому подбираются пары «отливка – выплавляемый стержень». Составы применяемых выплавляемых стержней представлены в табл. 1.

Таблица 1

Составы применяемых выплавляемых стержней

Материал стержня	Химический состав									Температура плавления, °С
	Zn	Al	Si	Cu	Sn	Pb	Sb	Cd	Bi	
Цинк	100	---	---	---	---	---	---	---	---	419,5
Цинковый сплав ЦА4	96	4	---	---	---	---	---	---	---	390
Цинковый сплав ЦАМ6-3	91	6	---	3	---	---	---	---	---	395
Сплав №1	85	12,5	2,5	---	---	---	---	---	---	400
Сплав №2	89	7	---	4	---	---	---	---	---	390
Сплав №3	50	50	---	---	---	---	---	---	---	535
Сплав №4	---	---	---	---	3	85	12	---	---	160
Сплав №5	---	---	---	---	43	43	---	---	14	270
Сплав №6	27,7	---	---	---	---	---	---	72,3	---	290
Сплав №7	---	---	---	---	67,7	---	---	32,3	---	90

Поскольку металлические выплавляемые стержни изготавливаются из материала с температурой плавления значительно ниже температуры плавления материала отливки, в которой оформляется полость, при непосредственном контакте такого стержня с жидким металлом может произойти его преждевременное оплавление, т.е. он может начать плавиться до того, как в отливке со стороны стержня наморозится корка достаточной толщины. Вследствие этого могут произойти смешивание металла отливки с металлом стержня, искажение геометрии внутренней полости отливки, образование наплывов на ее внутренней поверхности, что приводит к браку. Чтобы этого избежать, рабо-

чую поверхность выплавляемого стержня покрывают теплозащитным покрытием. Применение покрытий, защитных или теплозащитных, на рабочей поверхности выплавляемых стержней значительно расширяет возможности их использования, позволяет решить одну из главных проблем при литье с выплавляемыми стержнями – предупреждение преждевременного расплавления стержня. При заливке жидкого металла теплозащитное покрытие уменьшает тепловой удар на стержень и позволяет управлять его расплавлением. Оно необходимо также для того, чтобы регулировать скорость отвода тепла от отливки к стержню, а следовательно, и скорость ее затвердевания.

Теплозащитные покрытия на выплавляемые стержни могут наноситься многими известными способами: пламенным, детонационным, электрофорезом, оксидированием, с помощью распылителей и другими [3, 4].

При электролитическом формировании защитного покрытия на стержень методом гальванопластики наносится оболочка, такой толщины, которая обеспечивала бы тепловую защиту легкоплавкого материала стержня, по крайней мере, в первый период после начала затвердевания отливки. Поскольку процесс нанесения такой оболочки длительный и энергоёмкий, следует подбирать материалы стержня с такой температурой плавления, чтобы для их защиты понадобилась оболочка толщиной не более 1 мм.

При применении тугоплавких теплозащитных оболочек, которые мы наносим на выплавляемый стержень, возникает проблема, связанная с удалением самой оболочки из готовой отливки.

Одним из способов решения этой задачи является использование тугоплавких оболочек как конструктивных элементов готовой отливки, т.е. после заливки оболочка не удаляется из отливки, а оформляет полученную полость. Таким образом, получается литой биметалл с высокой степенью чистоты поверхности.

При нанесении электролитического покрытия на металлический стержень нужно учитывать, что диффузионная связь между основной стержня и гальваническим осадком наносимой оболочки должна быть минимальной, чтобы при выплавлении стержня поверхность полости, оформленной оболочкой, имела хорошую чистоту поверхности. Для этого стержень перед нанесением оболочки покрывают, например, мелкоизмельченным графитовым порошком [5].

Если внутренние полости - это каналы охлаждения, то использование данной технологии имеет еще такие преимущества, как защита детали от воздействия охлаждающей жидкости. Это обусловлено тем, что, подбывая материал оболочки, мы можем учитывать его стойкость по отношению к охлаждающей жидкости.

При этом между материалом оболочки и материалом отливки диффузионная связь должна быть обязательно, в противном случае процесс передачи тепла от детали к охлаждающей жидкости будет затруднен [6].

Чтобы обеспечить хорошую диффузионную связь между материалом оболочки и материалом отливки, на поверхность стержня наносим сплав, содержащий более 50 % молибдена, так как он при температуре плавления диффундирует почти во все металлы [7].

Наиболее эффективную защиту от коррозии и теплопередачу обеспечивают оболочки, изготовленные из титана, латуни, цинка и хрома.

Однако, не все эти материалы рационально использовать для изготовления оболочки. Так, например, титан обладает высокой антикоррозионной стойкостью, однако его нанесение на металлический стержень встречает ряд трудностей, в первую очередь, из-за большой склонности его к пассивированию и высокого отрицательного потенциала восстановления ионов титана [8].

Латунирование широко применяется для защиты деталей от воздействия коррозии во влажной среде, однако оно имеет недостаток, связанный с тем, что при нанесении покрытия может образоваться неоднородный слой.

Недостатком цинковых покрытий в нашем случае является низкая температура плавления, что не позволяет использовать такую оболочку в качестве защиты при заливке стержня металлом [9].

В данном исследовании наилучшим образом зарекомендовали себя хромовые оболочки. Они обладают высокой коррозионной стойкостью и достаточной температурой плавления, чтобы использовать его как теплозащитную оболочку для легкоудаляемого стержня [10]. Вместе с этим хром можно нанести на металлическую

основу (в нашем случае цинковый стержень) методом гальванопластики или другим известным способом.

4. Выводы

1. Рассмотрена технология получения отливок со сложными полостями при помощи металлических легкоплавких стержней. И обоснована необходимость применения защитной оболочки на таких стержнях;
2. Предложена технология, по условиям которой тугоплавкая защитная оболочка остается в отливке и оформляет там внутреннюю полость, тем самым получаем биметаллическую отливку с повышенными технологическими свойствами;
3. Предложен оптимальный вариант защитной оболочки, который в состоянии защитить металлический легкоплавкий стержень в начальный момент заливки расплавом, и кроме этого, является защитой от коррозии и других факторов.

Литература

1. Зуев, А. Б. Выплавляемые стержни при литье под давлением [Текст] / А.Б. Зуев, А. В. Масюкевич, Б. Б. Гуляев // Литейное производство. – 1966. - №5. – С. 5-6.
2. Караник, Ю. А. Изготовление кокильных отливок с выплавляемыми стержнями [Текст] / Ю. А. Караник // Литейное производство. – 1976. - №12. – С. 34-35.
3. Хасуй, А. Техника напыления [Текст] / А.Хасуй. – М.: Машиностроение, 1975. – 287 с.
4. Самсонов, Г. В. Тугоплавкие покрытия [Текст] / Г.В. Самсонов, А.П. Эпик. – М.: Металлургия, 1973. – 400 с.
5. Одноралов, Н. В. Занимательная гальванотехника [Текст] / Н.В. Одноралов. – М.: Просвещение, 1979. – 106 с.
6. Бокштейн, Б. С. Диффузия в металлах [Текст] / Б.С. Бокштейн. – М.: Металлургия, 1978. – 246 с.
7. Катц, Н. В. Металлизация распылением [Текст] / Н.В. Катц. - М.: Машиностроение, 1965. – 197 с.
8. Беленький, М. А. Электроосаждение металлических покрытий [Текст] / М.А. Беленький, Ф. А. Иванов. – М.: Металлургия, 1985, 152 – 288 с.
9. Ильин, В. А. Цинкование, кадмирование, оловянирование и свинцевание [Текст] / В.А. Ильин. - Л.: Машиностроение, 1983. - 87 с.
10. Богорад, Л. Я. Хромирование [Текст] / Л.Я. Богорад. – Л.: Машиностроение, 1984. – 97 с.

Abstract

Nowadays, there is a significant demand for molded pieces, which do not require subsequent machining. Especially it is topical for complex internal cavities of high quality. On the one hand, it is impossible to obtain the cavities of such quality by means of the sandy-argillaceous rods without subsequent machining, on the other hand, such mechanical treatment is complicated, because it is impossible to bring the cutting tool to the work surface.

The article suggests the technology of production of the complex internal cavities by means of the fusible metal rods of high quality. This approach allows us, besides the above, to provide improvement of the operating abilities, such as, corrosion resistance, due to the casing on the internal cavity.

This technology can be used in the production of cooled pistons of internal combustion engines, hydraulic equipment, etc. The article also discusses and suggests the best choices of the materials for the casing

Keywords: rods, casings, metal, fusible

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГРАФИТА

У цій статті досліджується вплив різних факторів на деякі фізико-механичні, теплофізичні властивості шаруватих сполук графіту, які є найбільш важливими для застосування в ливарному виробництві, а саме для утеплення додатків при литті великих відливок, а також при литті металів та сплавів з великим коефіцієнтом усадки

Ключові слова: шаруваті сполуки графіту, інтеркаляція, акцепторні сполуки графіту, галогеніди

В данной работе исследовалось влияние различных факторов на некоторые физико-механические, теплофизические свойства слоистых соединений графита, которые наиболее важны для применения в литейном производстве, а именно для утепления прибылей при литье крупных отливок, а также при литье металлов и сплавов с большим коэффициентом усадки

Ключевые слова: слоистые соединения графита, интеркаляция, акцепторные соединения графита, галогениды

А. Н. Довгаль*

А. А. Костиков

Кандидат физико-математических наук, доцент*

Контактный тел.: 067-702-59-82

E-mail: al_kost_63@mail.ru

А. А. Кузнецов

Кандидат химических наук, доцент

Контактный тел.: 050-597-45-46

В. Н. Черномаз

Кандидат физико-математических наук, доцент,

заведующий кафедрой

Контактный тел.: 0626-41-69-56

E-mail: pm@dgma.donetsk.ua

*Кафедра прикладной математики

Донбасская государственная

машиностроительная академия

ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск,

Донецкая обл., Украина, 84313

1. Введение

Многие соединения с анизотропными слоистыми структурами (типичным представителем которых является графит), в которых силы связи между частицами внутри слоя намного больше, чем между слоями, способны образовывать соединения нового типа за счет внедрения различных веществ в межслоевые пространства.

В настоящее время известно много веществ (металлов, сплавов, галогенидов металлов, оксидов), способных внедряться в решетку графита с образованием новых соединений, которые называются слоистыми соединениями графита (ССГ).

ССГ катализируют различные процессы в химическом производстве [1, 2]; они являются хорошими проводниками электричества, могут применяться в качестве катодных материалов в химических источниках тока [3]. Перспективным является использование ССГ в системах, предназначенных для хранения тепловой энергии (в качестве теплоизоляторов жидкого металла и других материалов, работающих при температурах 2000°C [4]), применение их в качестве добавок для улучшения физико-механических свойств некоторых видов абразивных материалов и порошковых сталей [5].

2. Методика и результаты исследований

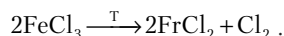
В качестве объектов исследования физико-механических свойств были взяты ССГ акцепторного типа, в

которых интеркалантами являлись серная и азотная кислоты, аммиак, а также ССГ, в которых интеркалантами являлись галогениды некоторых переходных металлов [6]. Наибольший интерес при применении ССГ в литейном производстве представляют следующие физико-механические параметры: относительное удлинение, коэффициент термического расширения (КТР) образцов ССГ при различных температурах, а также влияние температуры на коэффициент теплопередачи ССГ.

Очень важным является исследование влияния температуры на относительное удлинение ССГ. Однако следует отметить, что ССГ акцепторного типа, в которых в качестве интеркалантов находятся вещества, способные при термоударе приводить к разрушению образцов, не представляют значительного интереса для исследования относительного удлинения образцов ССГ при различных температурах. Поэтому нами в качестве объектов исследования были выбраны ССГ, в которых интеркалантами являлись галогениды некоторых переходных металлов, а именно хлориды меди и железа. Результаты исследования представлены на рис.1. Полученные результаты свидетельствуют о том, что с повышением температуры относительное удлинение образцов ССГ, содержащих галогениды металлов, резко возрастает до температуры порядка 650-700°C. Дальнейшее повышение температуры приводит к заметному изменению зависимости относительного удлинения от температуры для ССГ с FeCl_3 и CuCl_2 . Для слоистого соединения графита общей формулы $\text{C}_{77}\text{FeCl}_3$ при температуре выше 700°C наблюдается

максимальное относительное удлинение образца ССГ, свидетельствующее о невозможности дальнейшего расширения вследствие полного выхода интеркаланта из межплоскостного пространства образца графита.

Для образцов ССГ, содержащих в качестве интеркаланта FeCl₃, характер изменения относительного удлинения образца от температуры связан с тем, что при температурах выше 600⁰С в межплоскостном пространстве ССГ протекает реакция, сопровождающаяся выделением газообразных продуктов:



Выделение газообразного продукта приводит к частичному разрушению образца и соответственно к уменьшению относительного удлинения в осевом направлении.

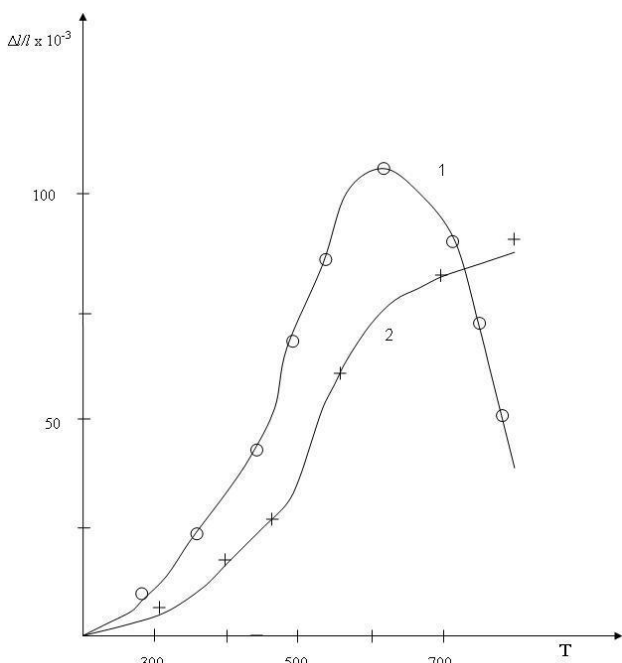


Рис. 1. Зависимость относительного удлинения Δl/l в осевом направлении образцов ССГ от температуры: 1 – FeCl₃; 2 – CuCl₂

Из полученных данных следует, что возможно использовать ССГ для литейных стержней при литье металлов с большим коэффициентом усадки, так как эти стержни являются податливыми и будут способствовать снижению внутренних напряжений в металле отливки, возникающих при кристаллизации данных металлов и сплавов. Однако следует заметить, что в качестве интеркаланта в данных ССГ следует использовать те галогениды переходных металлов, которые при высоких температурах не образуют газообразных веществ, например CuCl₂.

Далее нами было исследовано влияние различных факторов на коэффициент термического расширения. Для данных исследований были использованы ССГ двух типов: акцепторного типа с интеркалантами, образующими газообразные продукты при термоударе и ССГ с галогенидами переходных металлов. Исследовалось влияние следующих факторов: природы ин-

теркаланта, концентрации окислителей при синтезе интеркалантов акцепторного типа, размера частиц графита и температуры.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов термического расширения некоторых ССГ с хлоридами металлов.

Таблица 1

Коэффициенты термического расширения некоторых ССГ с хлоридами металлов

Соединение	Степень	Коэффициент термического расширения	Температура
C ₇₇ FeCl ₃	1	70	530-590
	2	19,7	600-820
C ₆₅ CuCl ₂	1	11,7	290-540
	2	26,5	550-590

В зависимости от ступеней насыщения слоистых соединений графита интеркалантами можно различать соединения ССГ первой, второй, третьей и так далее ступеней. На рис. 2 приведена схема образования слоистых соединений графита различных ступеней.

Как видно из табл. 1, чем более вещества интеркалировано в пространство между слоями кристаллической решетки графита тем больше степень расширения ССГ при термическом ударе.

Увеличение коэффициента термического расширения способствует улучшению теплоизоляционных свойств этого материала. Полученные данные свидетельствуют о том, что для получения ССГ с высоким коэффициентом термического расширения лучше использовать в качестве интеркалантов соединения, способные при высоких температурах выделять газообразные вещества, например FeCl₃.

Нами было экспериментально определено значение коэффициента теплопроводности для ССГ, который оказался равный 0,016-0,022 Вт/(м.град.) Если сравнить эти данные с данными по другим теплоизоляционным материалам, то видно, что ССГ при вспенивании имеют коэффициент теплопроводности на порядок меньше, чем например для вспученного перлита. Основным параметром, влияющим на технологические свойства теплоизолирующих присыпок является коэффициент термического расширения. Поэтому мы в основном исследуем влияние различных параметров на коэффициент термического расширения слоистых соединений графита. Большое значение имеет размер частиц исходного графита. Наибольший коэффициент термического расширения характерен для слоистых соединений графита, полученных из крупно-кристаллического графита. Полученные данные приведены в табл. 2. Анализ данных показывает, что у крупнокристаллического графита меньше дефектов кристаллической структуры и интеркаланты легко проникают в межплоскостное пространство кристаллической решетки графита.

При содержании частиц графита меньше 0,05 мм коэффициент термического расширения слоистых соединений графита резко уменьшается.

Существенное влияние на коэффициент термического расширения ССГ имеет и концентрация окислителя, используемого при синтезе. Нами исследовалось влияние концентрации окислителя на коэффициент

термического расширения ССГ акцепторного типа. Для этой цели нами были синтезированы ССГ с серной кислотой в качестве интеркаланта и различным содержанием окислителя – хромового ангидрида CrO₃. Коэффициент термического расширения полученных образцов определялся при температуре 900⁰С. На рис. 3 приведено влияние концентрации шестивалентного хрома, в пересчете на CrO₃ на коэффициент термического расширения.

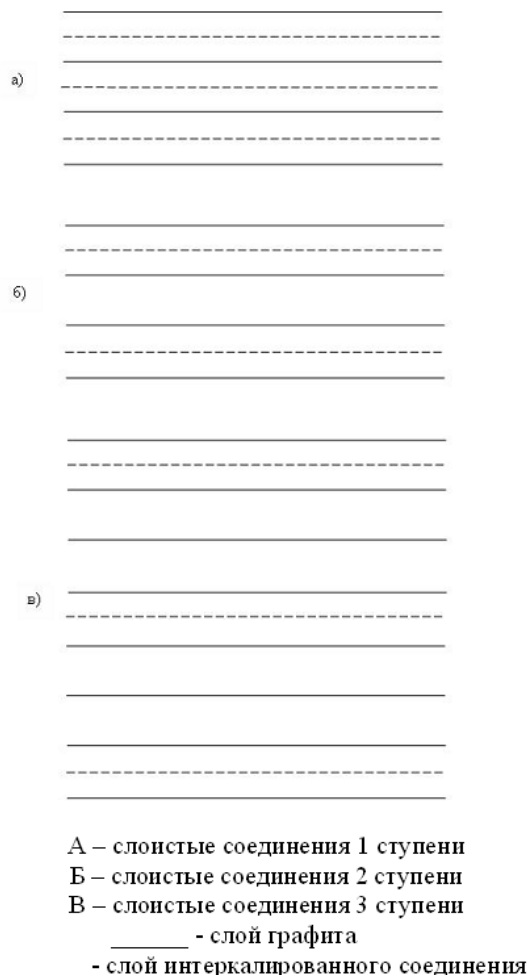


Рис. 2. Схема строения слоистых соединений графита различных ступеней насыщения

Таблица 2

Влияние размера частиц исходного графита на коэффициент термического расширения ССГ

Размер частиц графита, мм	Коэффициент термического расширения. см ³ /г
0,315-0,2	22
0,2-0,16	18
0,16-0,1	16
0,1-0,063	8,4
0,063-0,05	3,2
Менее 0,05	1,5

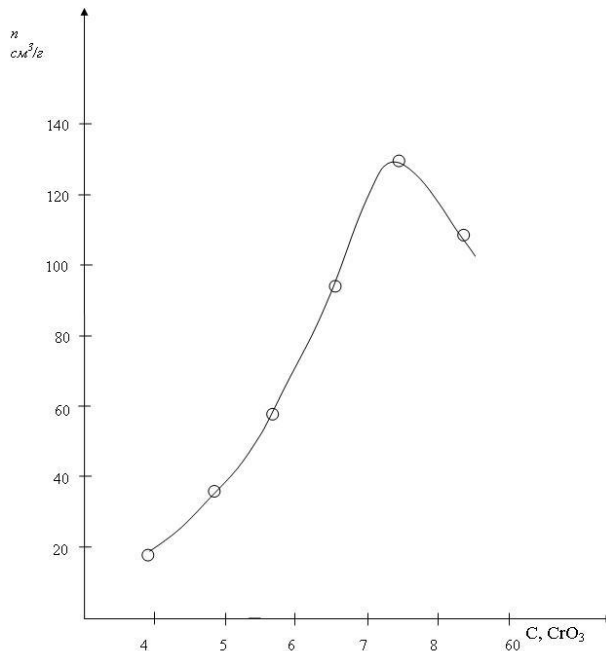


Рис. 3. Зависимость коэффициента термического расширения от концентрации окислителя

Как видно из рисунка, эта зависимость проходит через максимум. Увеличение окислителя вначале способствует увеличению интеркаланта в графите, так как при окислении последнего образуются на кристаллической решетке различные функциональные группы (карбонильные, спиртовые альдегидные и др.) которые способствуют удержанию различных соединений в межплоскостном пространстве графита. При больших концентрациях окислителя происходит глубокое окисление графита, приводящее к разрушению кристаллической решетки последнего.

Для нейтрализации избытка серной кислоты при синтезе бисульфата графита (ССГ с интеркалантом H₂SO₄) используется оксид магния. Изменение расхода магнетита также существенно отражается на расширяющей способности ССГ. Зависимость коэффициента термического расширения от расхода магнетита описывается кривой, аналогичной изображенной на рис.3, с максимумом в области 40 ± 2 г. на 100 г. графита. Уменьшение значений коэффициента расширения при расходе магнетита более 40г. обусловлено вероятно тем, что на поверхности частиц графита при этом присутствует некоторое количество свободной серной кислоты, при нейтрализации которой поднимается температура на поверхности графита, что приводит к выбросу интеркаланта в окружающую среду. Судя по имеющимся в литературе данным коэффициент термического расширения ССГ зависит от конечной температуры его вспенивания.

В табл. 3 приведена зависимость коэффициента расширения ССГ от температуры.

Эти данные показывают, что чем выше температура металла, на который засыпается ССГ, тем выше теплоизолирующие свойства засыпки.

Проведенные исследования по изучению влияния различных факторов на коэффициент термического расширения показали также, что для слоистых соединений акцепторного типа существенное значение

имеют условия хранения ССГ. Как видно из рис.4 , при хранении образцов ССГ на открытом воздухе резко падает коэффициент термического расширения при воздействии на образец ССГ высокой температуры, в то время как при хранении ССГ в герметической таре сроки хранения практически не влияют на коэффициент термического расширения ССГ при термоударе. Это связано с тем, что в данных соединениях ССГ химическая связь между молекулами интеркаланта и атомами углерода в межплоскостном пространстве графитовой сетки довольно слаба, что способствует постепенному уходу газообразных молекул интеркаланта в атмосферу, т.е. превращению ССГ в обычный графит.

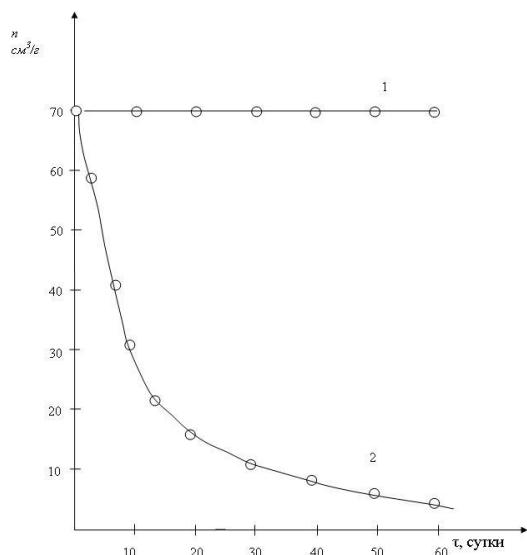


Рис. 4. Зависимость коэффициента термического расширения от времени хранения ССГ: 1) при хранении в герметичном состоянии; 2) при хранении на открытом воздухе

Таблица 3

Влияние температуры на коэффициент расширения ССГ

Температура °С	500	700	900	1100	1200	1280
Коэффициент термического расширения, см³/г	2	25	50	70	90	100

В то же время в герметичной таре также протекает процесс перехода газообразных интеркалантов из плоскостного пространства ССГ. В результате этого над ССГ образуется некоторое избыточное давление интеркаланта, которое смещает равновесие в сторону образования ССГ, т.е. прекращает выход интеркаланта из межплоскостного пространства.

3. Выводы

1. Проведенные исследования показали, что наиболее перспективными ССГ для применения в литейном производстве являются ССГ акцепторного типа вследствие более высокого коэффициента термического расширения.
2. Для противопригарных покрытий наибольший интерес представляют ССГ с галогенидами металлов, имеющими значительно меньший коэффициент термического расширения, так как слишком большое выделение газообразных продуктов при разрушении ССГ может приводить к образованию газовых раковин на теле отливки.
3. ССГ любого типа, которые могут найти применение в литейном производстве, следует хранить в герметической таре вследствие выхода молекул интеркаланта в атмосферу.

Литература

1. Шулепов, С.В. Физика углеграфитовых материалов [Текст] / С.В.Шулепов. – М. : Металлургия, 1972. – 256 с.
2. Убеллоде, А.Р. Графит и его кристаллические соединения [Текст] / А.Р. Убеллоде, Ф.А.Льюис. – М. : Мир, 1965. – 265 с.
3. Вольгин, М.Е. Вопросы механизма каталитического действия слоистых соединений графита [Текст] / М.Е.Вольгин, Ю.Н.Новиков // Механизм катализа. Ч.2. Методы исследования каталитических реакций. – Новосибирск ; Наука, 1984. – С.100-112
4. Вейнова, О.А. Способ теплоизоляции зеркала металла прибылей крупных стальных отливок [Текст] / О.А.Вейнова, А.А.Костиков, А.А.Кузнецов // Литейное производство. – 2011. – №9 – С.9-11.
5. Новиков, Ю.Н. Синтез и исследование слоистых соединений графита с переходными металлами и их солями : автореф. дис. ... канд. хим. наук. – М.,1971. – 19 с.
6. Довгаль, А.Н. Слоистые соединения графита [Текст] / А. Н. Довгаль, А. А. Костиков, А. А. Кузнецов, В. Н. Черномаз // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №6/5(60) – С.32-39.

Abstracts

In this paper physical, mechanical and thermophysical properties of lamellar graphite compounds with various intercalants have been studied as a function of temperature and oxidants.

The focus of the study was the influence of various factors on lamellar graphite compounds parameters, namely: elongation of samples, thermal expansion coefficient, thermal conductivity. The following factors have been considered: oxidant concentration in the synthesis of lamellar graphite compounds, the particle size of graphite, temperature of thermal expansion, nature of the intercalant.

It has been shown that in foundry, namely in the heat insulation of casting heads and destruction of molding sand the acceptor graphite compounds are the most perspective (namely, bisulphate graphite and ammoniate).

While preparation of mold core for metal casting with a large shrinkage lamellar graphite compounds with halides are the most prospective. The applying of lamellar graphite compounds in the foundry decreases metal consumption, improves core knockout and quality of metal with a large shrinkage

Keywords: lamellar graphite compounds, intercalation, acceptor graphite compounds, halides

УДК 669.017: 621.77

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕРМОЗМІЦНЕНОГО АРМАТУРНОГО ПРОКАТУ В ПОТОЦІ ДРІБНОСОРТОВОГО СТАНУ

В статті описані дослідження структури та властивостей термозміцненого арматурного прокату марки СтЗТРпс у потоці безперервних прокатних станів з використанням способу переривистого гартування. Обґрунтовані можливості використання термічного зміцнення для вдосконалення технології виготовлення арматурного прокату

Ключові слова: структура, термозміцнений арматурний прокат, переривисте гартування

В статье описано исследование структуры и свойств термоупрочненного арматурного проката марки СтЗТРпс в потоке непрерывных прокатных станом с использованием способа прерывистой закалки. Обоснованы возможности использования термического упрочнения для усовершенствования технологии изготовления арматурного проката

Ключевые слова: структура, термоупрочненный арматурный прокат, прерывистая закалка

Д. Ю. Ключев

Кандидат технічних наук

Кафедра металургійних технологій*

Контактний тел.: +38 (097) 582-44-55

С. Б. Комлев

Заст. начальника цеху з технології, СПЦ №2 ПАТ «АМКР»

м. Кривий Ріг, вул.Орджонікідзе, 1

Контактний тел.: +38(056)4993333

С. О. Мацишин

Аспірант, асистент кафедри

Кафедра обробки металів тиском та

металургійного обладнання*

Контактний тел.: +38 (067) 190-52-31

E-mail: sergej.macyshin@inbox.ru

*ДВНЗ «Криворізький національний університет»

вул. 22-ого Партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027

1. Вступ

Підвищення якості продукції є одним з основних завдань металургійного виробництва, послідовне вирішення якого здатне забезпечити його продукції необхідну конкурентоспроможність. Вирішення цих завдань міститься в розробці та освоєнні нових та вдосконалених існуючих технологій термозміцнення прокату, що забезпечать підвищення керованості процесом формування фізико-механічних та споживчих властивостей продукції металургійного виробництва.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Аналіз літератури свідчить про те, що існує багато інформації стосовно термічного зміцнення прокату [1-5]. Однак, щодо формування структури та властивостей термозміцненого арматурного прокату із застосуванням переривистого гартування у сучасній літературі

освітлено недостатньо. Відсутність даних, що визначила ся останнім часом стосовно закономірності формування структури та властивостей при розпаді переохолодженого аустеніту, після переривання інтенсивного охолодження, при використанні способів переривистого гартування арматурного прокату, стало чинником, стримуючим розвиток технології виробництва цього виду прокату.

У зв'язку з цим проведення досліджень є завданням актуальним, оскільки це дає можливість досягти нових технологічних рішень при виробництві арматурного прокату, що забезпечують як підвищену керованість процесом формування структури і властивостей прокату, так і можливість надання йому додаткових споживчих властивостей.

3. Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи є дослідження структури та властивостей термозміцненого арматурного прокату

у потоці безперервних прокатних станів з використанням способу переривистого гартування та можливості використання термічного зміцнення для вдосконалення технології та отримання арматурного прокату із заданим розподілом мікроструктури по його перетину.

4. Експериментальні дані та їх обробка

Дослідження закономірностей формування мікроструктури арматурного прокату, що термічно зміцнюється в потоці безперервного стану виконували на арматурній сталі марки СтЗТРпс. Хімічний склад наведений в табл. 1. Мікроструктурний аналіз виконували за допомогою мікроскопу «NEOPHOT-21». Для виявлення мікроструктури виконували травлення полірованої поверхні зразків 4%-вим спиртовим розчином азотної кислоти. Механічні випробування на розтягування проводили на машині INSTRON TT-DM-L відповідно до вимог ГОСТ 1497-84. Випробування натурних зразків арматури діаметром 12 мм на розтягування проводили на машині INSTRON 1200KN.

З метою отримання арматурного прокату з заданим розподілом мікроструктури по його перетину, термічно оброблених із застосуванням способів переривистого гартування, були розроблені режими термічного зміцнення арматурного прокату, які наведені в табл. 2. У табл. 3 наведені механічні властивості готового прокату, термічнозміцненого за розробленими режимами.

Таблиця 1

Вміст хімічних елементів в сталі, що застосовується при проведенні досліджень

Марка сталі	Вміст елементів %						
	C	Mn	Si	Ni	Cr	S	P
СтЗТРпс	0,18	0,57	0,09	0,19	0,18	0,019	0,029

Таблиця 2

Експериментальні режими термічного зміцнення арматурного прокату

Марка сталі	Номер режиму	Тиск води по секціям, МПа								Швидкість прокату, м/с
		1	2	3	4	5	6	7	8	
СтЗТРпс	1	0,8	0,6	0,6	0	0	0	0	0	11,8
	2	1,5	0,6	0,6	0	0	0	0	0	11,8

Таблиця 3

Механічні властивості арматурного прокату, термічно зміцненого за різними режимами

Марка сталі	Номер режиму	Механічні властивості		
		σ_r , Н/мм ²	σ_b , Н/мм ²	δ_5 , %
СтЗТРпс	1	405	515	28,0
	2	550	635	22,

До наведених в табл. 2 режимам необхідно додати, що при виконанні режимів зміцнення 1 та 2 в трасу вводили перші три секції установки. Отже, при швидкості 11,8 м/с тривалість перебування арматурного прокату у термотрасі складала 1,4 с.

Режим 1 розроблений з метою перевірки можливості здобуття в потоці прокатки термічнозміцненого прокату, в якому замість безперервного мартенситного шару безпосередньо до поверхні прилягали шари з мікроструктурою, одним з основних елементів якої є квазіевтектоїд. Наведені на рис. 1 мікроструктури термічнозміцненого арматурного прокату діаметром 12 мм із сталі СтЗТРпс підтверджують реальність здобуття прокату з подібними структурами. При цьому слід зазначити, що для того, щоб колонії квазіевтектоїду, що формуються в структурі прокату, не втрачалися серед мартенситних або бейнітних структур, які можуть формуватися при другому періоді інтенсивного охолодження, цей режим містить лише один з періодів такого охолодження.

Рис. 1, а свідчить про те, що після використання зазначеного режиму мікроструктура шарів арматурного прокату, що знаходяться навіть в безпосередній близькості від поверхні, складається переважно з колоній квазіевтектоїду зі стрижневою будовою цементиту, що міститься в них. У складі представленої мікроструктури є видимими також ділянки структурно повільного фериту. Але їх кількість тут мала.

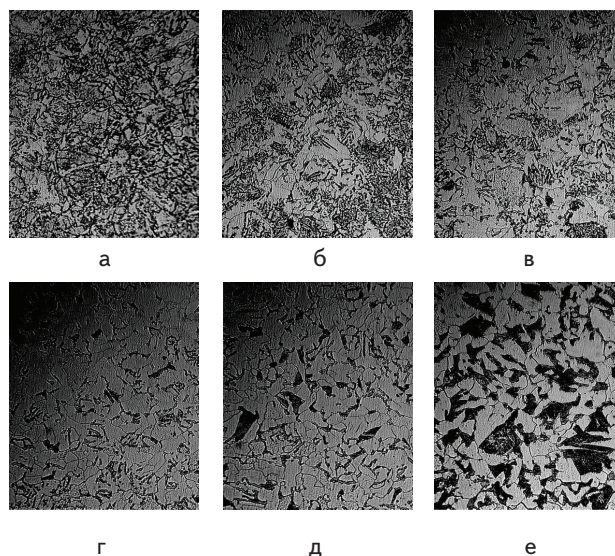


Рис. 1. Мікроструктури арматурного прокату зі сталі СтЗТРпс, термічно- зміцненого за режимом 1 в шарах, що знаходяться на різних видаленнях від поверхні (×500): а – 0,1 мм; б – 0,8 мм; в – 1,8 мм; г – 2,6 мм; д – 3,0мм; е – 6,0 мм

При видаленні від поверхні колонії квазіевтектоїду збільшуються, збільшуються також розміри та число ділянок надлишкового фериту (рис. 1, б). Серед останніх починають бути видимими дуже дрібні перлітні колонії з пластинчастим перлітом (рис. 1, в). При видаленні від поверхні на 2,6 мм в арматурному стрижні розташовуються шари, в яких кількість та розміри колоній квазіевтектоїду різко зменшуються, а ділянки надлишкового фериту збільшуються (рис. 1, г). Збільшується також і кількість колоній пластинчастого перліту, але вони залишаються дуже дрібними. При ще більших видаленнях (рис. 1, д) зникають останні дрібні колонії квазіевтектоїду і структура стає ферито-перлітною з переважним вмістом в структурі надлишкового фе-

риту. Проте при наближенні до центру перетину доля пластинчастого перліту в структурі збільшується до 40 – 45 % (рис. 1, е).

Зміни мікроструктури, що виявляються по перетину термічнозміцненого арматурного прокату за режимом 1, пояснюються змінами температури. Так, найбільший вміст в структурі квазівтектоїду та найменша кількість надлишкового фериту в прилеглих до поверхні шарах пояснюється тим, що ці шари порівняно з віддаленими від поверхні знаходилися найбільший час в межах температурного інтервалу, обмеженого низу температурою початку бейнітного перетворення, а зверху - A_{c1} та найменше – в межах температурного інтервалу A_{c1} - A_{c3} .

Також був випробуваний в потоці прокатки режим 2 (табл. 2). Метою було підтвердження можливості здобуття при відповідному забезпеченні температурних умов для розвитку фазових перетворень аустеніту арматурного прокату з бейнітними структурами, що починають формуватися, починаючи з шарів, прилеглих безпосередньо до його поверхні. Мета була досягнута шляхом термічного зміцнення прокату в трьох послідовно розташованих секціях, що охолоджували, перша з яких знижувала температуру поверхні з надкритичною швидкістю до значень, близьких до температури бейнітного перетворення, а наступні дві забезпечували додаткове пониження температури поверхні з швидкістю, що не перевищує критичну. Саме при останній швидкості охолодження в прилеглих до поверхні шарах мало місце бейнітне перетворення переохолодженого аустеніту.

Рис. 2 підтверджує, що в поверхні, і на відстані від неї на глибині 1,3 мм структура арматурного прокату була представлена лише бейнітом.

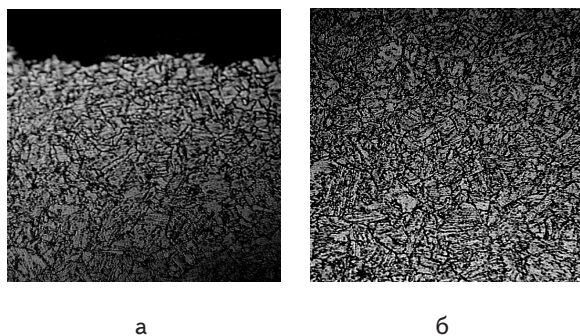


Рис. 2. Мікроструктура арматурного прокату, термічно зміцнюваного за режимом 2 ($\times 500$): а – у поверхні прокату; б – на відстані 0,6 мм від поверхні

У шарах, що знаходяться на віддаленнях від поверхні більших, ніж глибина поширення безперерв-

ного бейнітного шару, структура, що формується, повністю була однотипною з тією, яка утворюється в прокаті при розпаді аустеніту після переривання інтенсивного охолодження по закономірностях, які були встановлені у роботі. При цьому вочевидь, що при вживанні другого періоду інтенсивного охолодження, досить легко можуть бути досягнуті умови, при яких структура арматурного прокату складалася б з бейніту у всьому його перетину.

Наведені вище результати, отримані в результаті експериментів в потоці прокатки дрібносортового стану 250-1 ПАТ «АМКР» підтвердили можливість отримання нових даних про особливості розвитку фазових перетворень аустеніту та формування структури по перетину арматурного прокату, що термічно зміцнюється із застосуванням способів переривистого гартування для здобуття прокату з такими особливостями макрота мікроструктури, можливість досягнення яких при термічному зміцненні в потоці прокатки раніше практично не була відома.

Виробництво термозміцненої арматурної сталі діаметром 12 мм на клас міцності А800 зі СтЗТРпс за способом переривистого гартування у потоці дрібносортових станів 250 показало, що такі показники якості, як міцність та пластичність відповідають сучасним вимогам вітчизняних та міжнародних стандартів.

5. Висновки

Застосування способів переривистого гартування арматурного прокату забезпечує можливість розробки нових технологій термічного зміцнення в потоці прокатки безперервних станів з підвищеною здібністю до керування процесом формування структури. Показано, що обов'язковою умовою для виділення зерен надлишкового фериту або колоній перліту в заданих шарах термічно зміцнюваного арматурного прокату із застосуванням способу переривистого гартування, яке необхідно враховувати при розробці режимів термічного зміцнення, є досягнення в цих шарах температур між критичного або підкритичного інтервалів. Отримання прокату із заданим розподілом мікроструктури по його перетину, термічно обробленого із застосуванням переривистого гартування забезпечує придбання арматурним прокатом додаткових до відомих споживчих властивостей. Термічне зміцнення арматурного прокату № 12 зі СтЗТРпс на клас міцності А800 з використанням переривистого гартування показало, що показники міцності та пластичності відповідають сучасним вимогам вітчизняних та міжнародних стандартів.

Література

1. Высокопрочные арматурные стали. [Текст] / А.П. Гуляев, А.С. Астафьев, М.А. Волкова и др. – М.: Металлургия, 1966. - 138 с.
2. Термическое упрочнение проката. [Текст] / К.Ф. Стародубов, И.Г. Узлов, В.Я. Савенков и др. – М.: Металлургия, 1970. - 368 с.
3. Савенков, В.Я. Технологические основы и оборудование для термического упрочнения непрерывнодвижущегося мелко-сортового профиля [Текст] / В.Я. Савенков // Упрочняющая термическая и термомеханическая обработка проката. - Вып. 1, Киев. - 1968. - С.7-14.
4. Стародубов, К.Ф. Влияние скорости охлаждения на свойства термически упрочненной арматурной стали [Текст] / К.Ф. Стародубов, В.Я. Савенков, В.И. Спиваков // Термическая обработка проката. - Вып. 36. - М.: Металлургия. – 1970. - С. 9-14.

5. Гуль, Ю.П. Влияние способа термического упрочнения на низкотемпературную прочность стержневой арматурной стали [Текст] / Ю.П. Гуль, А.С. Гулевский, А.П. Ярмоленко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1973. – Вып. 5. – С. 31-32.

Abstract

The article presents the results of our studies in heat strengthening. Although there are many works, investigating heat strengthening of a reinforcing bar, modern literature could not provide sufficient information on formation of the structure and properties of reinforcement by broken hardening. To obtain the reinforcement with necessary distribution of the microstructure on the cross section, we have developed two modes of heat strengthening, varying by water pressure, supplied to the first section (mode 1 - 0.8 MPa, mode 2 - 1.5 MPa). The water pressure in the second and third sections, and the speed of rolling at two modes were similar and were equal to 0.6 MPa and 11.8 m/s respectively. The microstructures analysis showed that after the first mode of heat strengthening the structure consisted of colonies of quasieutectoid and rod cementite. After the second mode the structure consisted of bainite over the entire section.

The above results, obtained from experiments in the flow of jobbing mill 250-1 produced by public company «АМКР», confirmed the possibility of obtaining new data on the features of the phase transformations of austenite and the formation of such structure on the cross section of the reinforcement, which was little known. The use of broken hardening showed that such mechanical properties as strength and flexibility met the requirements of international standards. This improves handling of the process of the formation of structure and properties of bar, as well as adds to it additional consumer properties.

Keywords: structure, heat-strengthened reinforcing bar, broken hardening.

Представлено результати досліджень по створенню низкощільного вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу методом введення органічних пороутворювачів, що дозволяє одержувати матеріал із заздалегідь заданими властивостями. Матеріал, що одержують, з успіхом може бути використаний у якості теплоізоляції для електровакуумної техніки

Ключеві слова: вуглець-вуглецевий композиційний матеріал, карбонізація, пороутворювач, щільність, теплоізоляція

Представлены результаты исследований по созданию низкоплотного углерод-углеродного композиционного материала методом введения органических порообразователей, позволяющих получать материал с заранее заданными свойствами. Получаемый материал с успехом может быть использован в качестве теплоизоляции для электровакуумной техники

Ключевые слова: углерод-углеродный композиционный материал, карбонизация, порообразователь, плотность, теплоизоляция

УДК 620.22:661.666

ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКОПЛОТНЫХ УГЛЕРОДНЫХ КАРБОНИЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. В. Карпенко

Ассистент*

Контактный тел.: 050-534-59-19

E-mail: abkarpenko@mail.ru

В. А. Скачков

Кандидат технических наук, доцент*

И. Ф. Червонный

Доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой*

Контактный тел.:(061) 223-82-61, 050-637-01-21

E-mail: rot44@yandex.ru

*Кафедра металлургии цветных металлов

Запорожская государственная инженерная академия

пр. Ленина 226, г. Запорожье, Украина, 69006

1. Введение

Создание новых современных углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) имеет важное значение для развития различных отраслей

промышленности, повышения эффективности и качества выпускаемой продукции. Особую роль при этом приобретает технология изготовления указанных материалов [1].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Низкоплотные материалы могут быть получены двумя способами: высадкой из водной суспензии и введением порообразователей в заготовку карбонизируемого УУКМ. В первом случае плотность получаемого материала достигает $0,25 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, но структуру такого материала трудно регулировать [3].

Проблема формирования карбонизованных углеродных композиционных материалов с заданной структурой и физико-механическими свойствами является актуальной, а методы расчета технологических режимов таких материалов представляют несомненный научный интерес.

Цель и задачи исследования сводятся к созданию низкоплотного углерод-углеродного композиционного материала методом введения органических порообразователей позволяющих получать материал с заранее заданными свойствами.

Одним из эффективных методов создания в объеме карбонизованных углеродных материалов заданной пористости с регулируемой формой и расположением пор является введение порообразователей. Порообразователи должны иметь низкий коксовый остаток, форму и расположение в объеме углеродных композиционных материалов, соответствующие требуемой пористости. В процессе сокарбонизации углеродных волокон, феноло-формальдегидной матрицы и порообразователей, формируется требуемая структура карбонизованных углеродных композиционных материалов.

При карбонизации заготовок из углепластика феноло-формальдегидная матрица изменяет свои физико-механические характеристики. Для исследования преобразований в феноло-формальдегидных смолах изготавливались образцы по следующей технологической схеме:

- получение форполимера (нагрев до температуры $80 \pm 10^\circ\text{C}$ с выдержкой);
- приготовление пресспорошка (размол форполимера до порошка);
- прессование заготовок образцов;
- механическая вырезка.

Процесс карбонизации проводили в среде защитного газа (азот) при температуры 900°C . Усадки образцов определяли периодически через каждые 100°C .

На рис. 1 представлены объемные и линейные усадки феноло-формальдегидной смолы на основе СФ-010 и уротропина.

Как видно из представленного графика объемные и линейные усадки ФФС при карбонизации имеют три характеристические температуры. При карбонизации смолы до 400°C идет незначительное увеличение значений усадки, с повышением температуры до 600°C идет резкое увеличение значений величины усадки. При дальнейшем повышении температуры карбонизации до 900°C усадка ФФС происходит более плавно.

Углеродные волокна в процессе карбонизации заготовок УУКМ термохимических преобразований не претерпевают [4].

В качестве порообразователей предполагается использовать органические материалы с низким коксовым остатком. Введение органических порообра-

зователей позволяет получать УУКМ по обычной технологической схеме плотностью от $0,4 \dots 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. В зависимости от выбранного порообразователя в конечном материале образуются поры различного размера, формы и назначения [3].

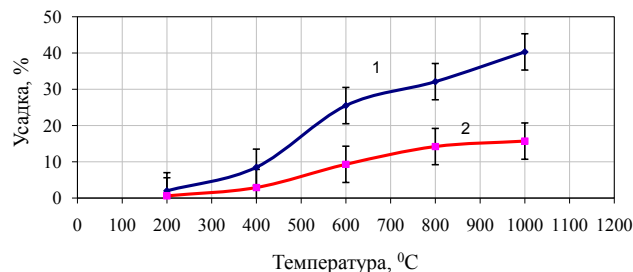


Рис. 1. Усадки феноло-формальдегидной смолы в зависимости от температуры обработки: 1 – объемные усадки; 2 – линейные усадки

Исследовали органические материалы – порообразователи имеющие низкий коксовый остаток: хлопок, полистирол, полиэтилен, древесные волокна, полиуретан, вискозу, древесные опилки. Исследования по определению коксового остатка проводили в лабораторной печи без доступа кислорода при температуре 850°C (табл. 1). В процессе карбонизации происходят сложные физико-химические превращения в объеме полимерной матрицы и порообразователей с образованием коксового остатка. При этом выделяются летучие газообразные вещества различного состава и реализуются процессы термохимической усадки, температурного расширения и порообразования. Такое многообразие процессов обуславливает образование микротрещин, микропор и формирование поля структурных напряжений.

Таблица 1

Свойства исследуемых материалов - порообразователей

Материал	Плотность $10^3, \text{ кг/м}^3$	Потеря массы, %
Хлопок	1,54...1,56	81,0
Полистирол	1,05	83,0
Полиэтилен	0,90	82,0
Древесные волокна	0,30	90,9
Вискоза	1,30	83,5
Древесные опилки	0,40	84,4

Расчет теоретической плотности ρ_m карбонизованного материала с порообразователем осуществляли с использованием следующей зависимости:

$$\rho_m = \sum_{i=1}^N q_i \cdot \rho_i \cdot k_i, \quad (1)$$

где q_i – объемное содержание i -го компонента в композиции;

ρ_i – плотность i -го компонента системы;

k_i – углеродный остаток каждого из компонентов.

Для изготовления образцов были взяты углеродные волокна на основе вискозы. В качестве связующего выбрана фенол-формальдегидная смола СФ-010 с уротропином в качестве отвердителя, традиционно используемая при получении УУКМ [1].

Таблица 3

Физико-механические свойства низкоплотного УУКМ

Показатели	Значения
Плотность материала (кажущаяся), 10^3 кг/м^3	0,45...0,75
Разноплотность материала по высоте заготовки, %	до 0,3
Открытая пористость, не менее %	60
Коэффициент температурного линейного расширения, $1/\text{K}$	$(5,5...6,1) \cdot 10^{-6}$
Предел прочности при изгибе, МПа не менее	90
Предел прочности при сжатии: перпендикулярно плоскости прессования, МПа	60...80
параллельно плоскости прессования, МПа	85...105
Содержание серы, % масс	0,2
Содержание углерода, не менее % масс	99,6
Теплопроводность, не более Вт/м·К	0,43

Общая схема получения низкоплотного УУКМ с порообразователем проходит по традиционной технологии прессования пластика на основе фенольного связующего [3]:

1. Подготовительные операции:
- приготовление углеродных волокон;
- приготовление связующего.
2. Приготовление пресс-массы материала.
3. Прессование заготовок.
4. Карбонизация.
5. Определение плотности и пористости.

Образцы были изготовлены традиционным методом горячего прессования с добавлением порообразователя по предложенным рецептурам (табл. 2).

На формирование пористой структуры УУКМ существенное влияние оказывают технологические параметры получения того или иного наполнителя, а также особенность его молекулярной структуры.

Таблица 2

Рецептуры для получения низкоплотного материала с ожидаемой плотностью материала

Вид порообразователя	Содержание компонентов системы, %			Плотность материалов до карбонизации 10^3 , кг/м^3	Расчетная плотность материалов после карбонизации 10^3 , кг/м^3	Экспериментальная плотность материала 10^3 , кг/м^3
	УВ	ФФС	Наполнитель			
Полиэтиленовое волокно	8	32	60	1,08	0,62	0,51
	5	36	59	1,15	0,75	0,67
	15	39	46	1,19	0,89	0,73
	10	40	50	1,25	1,02	0,97
Вискозное волокно	10	30	60	0,75	0,52	0,44
	5	39	59	0,85	0,67	0,52
	20	35	45	1,01	0,83	0,71
	10	40	50	1,15	0,98	0,86
Хлопковое волокно	10	40	50	1,66	0,51	0,42
	5	35	60	1,78	0,67	0,49
	15	40	45	0,98	0,83	0,73
	8	32	60	1,19	0,98	0,84
Древесная мука	10	40	50	0,88	0,55	0,46
	10	30	60	0,95	0,7	0,59
	15	40	45	1,06	0,85	0,71
	5	35	60	1,18	0,99	0,79

Так, при введении наполнителя волокнистой структуры поры после карбонизации приобретают линейный характер, то есть становятся транспортными. При добавлении порообразователя в виде гранул или порошка после карбонизации образуются поры сферической формы. Наличие пористости в углеродных материалах оказывает существенное влияние на их физико-механические свойства (прочность, модуль упругости, электросопротивление, теплопроводность и др.).

Заготовки карбонизовали при 1000°C , в инертной или восстановительной атмосфере. Карбонизация обеспечивает деструкцию фенол-формальдегидной смолы и переход ее в твердую углеродную матрицу. На этой стадии технологии происходит выделение летучих продуктов пиролиза, образование закрытой и открытой пористости, усадка заготовки.

Полученные по предложенной схеме низкоплотные материалы обладают следующими физико-механическими свойствами (табл.3):

3. Выводы

Применение УУКМ с низкой плотностью (до $0,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$), термической устойчивостью до 3000°C и теплопроводностью до $0,4 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ позволит в 2...5 раз снизить тепловые потери электропечей по сравнению с агрегатами, оснащенными экранной теплоизоляцией на основе тугоплавких металлов.

Рассмотренный подход к реализации процесса карбонизации углеродных композитов с порообразователями позволяет разрабатывать рациональные технологические режимы производства профильных изделий различных геометрических размеров и формы. Разработаны рецептурные составы и технологии изготовления композитов данного типа, применяемых для систем теплозащиты, силицированных УУКМ для антифрикционных узлов и высоконагруженных конструкций.

Литература

1. Фиалков, А. С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе [Текст] / А. С. Фиалков - М. : Аспект Пресс, 1997. - 714 с. - Библиогр. : с. 662-711. - 2000 экз. - ISBN 5-756701907.
2. Мармер, Э. Н. Электропечи для термовакуумных процессов [Текст] / Э. Н. Мармер, С. Г. Мурованная, Ю. Э. Васильев; 2-е изд. перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1991. - 232 с. - Библиогр. : с. 219-229. - ISBN 5-283-00597-6.
3. Карпенко, А.В. Формирование заготовок углерод - углеродных композиционных материалов из водных суспензий [Текст] / В.А. Скачков., С.С. Кудиевский, А.В. Карпенко, Р.А. Шаповалов // Металлургия : сб. науч. трудов. - Запорожье : ЗГИА, 1999. - Выпуск №2. - С. 82-87.
4. Конкин, А. А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы [Текст] / А. А. Конкин. - М. : Химия, 1974. - 376 с.

Abstract

The formation of carbonized carbon-carbon composite materials with a specified structure and physico-mechanical properties is an important task; and the methods of calculation of technological modes of obtaining such materials are of great scientific interest. The study aims to create the low-density carbon-carbon composite material based on carbon fibers and phenol-formaldehyde binder with the introduction of organic expanding agents. The use of the organic expanding agents permitted to produce the composite materials with controlled density of $0,4 \dots 0,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. The basic technological properties of the expanding agents were studied and the formula to produce carbon materials with predetermined properties was recommended. This approach of carbonization of the low-density carbon-carbon composite materials with the expanding agents permits to develop rational modes of production of products of different dimensions and forms, used for heat-insulation of electrovacuum equipment

Keywords: carbon-carbon composite material, carbonization, expanding agent, density, heat insulation

УДК 691.53: 621. 65. 004.68

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ АБРАЗИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ ПРИ РОБОТІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РОЗЧИНОНАСОСІВ

О. С. Васильєв

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра будівельних машин та обладнання
ім. Олександра Онищенка
Полтавський національний технічний
університет ім. Юрія Кондратюка
Пр. Першотравневий, 24, м. Полтава, Україна, 36011
Контактний тел.: 050-598-03-14

Проведено дослідження зміни абразивних властивостей розчинних будівельних сумішей при багаторазовому проходженні через робочі камери диференціальних розчинонасосів

Ключові слова: розчинонасос, абразивні властивості, частинки піску

Проведено исследование изменения свойств растворимых строительных смесей при многократном прохождении через рабочие камеры дифференциальных растворонасосов

Ключевые слова: растворонасос, абразивные свойства, частицы песка

1. Вступ

Шлях від розробки розчинонасосів, їх модернізації і вдосконалення до серійного виготовлення на виробництві обов'язково супроводжується періодичним проведенням ресурсних випробувань на довговічність. Для цієї мети, як правило, використовують спеціальні випробувальні стенди, які складаються з розчинозмішувача із механічною мішалкою, розчинонасоса, що випробовується, і навантажувального пристрою для створення тиску на виході з розчинонасоса. Бункер змішувача, як правило, не перевищує по обсягу $100 - 300 \text{ дм}^3$, а пристрій, що навантажує, найчастіше являє собою гумовотканинний або металевий розчинопрвід певної довжини.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій та виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми

Тискподачів процесі випробувань розчинозмішувачів звичайно не перевищує 1 МПа [1]. Для створення більш

високого тиску необхідно мати трубопроводи значної довжини. Створювати ж підвищений тиск шляхом защемлення гумовотканинного рукава не можна, оскільки при створенні такого місцевого опору будівельний вапняно-піщаний розчин розшаровується з утворенням "пробки" і подальша подача розчину по трубопроводу стає неможливою [2]. Крім того, з огляду на тривалість ресурсних випробувань, при високому тиску подачі довелось б затратити значну кількість електроенергії [3, 4]. При ресурсних випробуваннях на стенді перекачується розчин, що рухається по замкнутому колу, тобто надходить із бункера змішувача в розчинонасос і, пройшовши через його робочі камери й кульові клапани, вертається по трубопроводу назад у змішувач [5].

3. Формулювання цілей статті

Метою даного дослідження є встановлення зміни абразивних властивостей розчинних будівельних сумішей при перекачуванні по замкнутому колу.

4. Вклад основного матеріалу

Накопичений в ПолтНТУ багаторічний досвід виробничої експлуатації й стендових ресурсних випробувань розчинонасосів різних конструкцій показує, що довговічність тертьових деталей, що перебувають у безпосередньому контакті з розчином, що перекачується (гільз поршня й штока, ущільнень і т.п.), при випробуванні на стенді значно нижче, ніж при роботі на будівельному майданчику. Хоча, як здається на перший погляд, умови роботи розчинонасоса на будівництві більш жорсткі, ніж у лабораторії, тому що тиск подачі на будівельному майданчику найчастіше значно вищий, ніж при випробуваннях на стенді.

Для пояснення зазначеного явища нами було висловлене припущення про те, що при роботі на виробництві будівельний розчин, приготовлений на основі річкового піску, проходить через розчинонасос тільки один раз, і тому незруйновані частки піску мають добре обкатану округлу форму без гострих ребер. Такі частки незначним чином дряпають тертьові деталі поршневої групи розчинонасоса. У той же час при випробуванні на стенді будівельний розчин багаторазово проходить через робочі камери й клапани розчинонасоса. При цьому в момент спрацьовування кульових клапанів на закриття окремі частки піску попадають між пасками гнізд клапанів і сферичних поверхонь куль і руйнуються при ударах останніх об їхні гнізда. Оскільки ці процеси у двох кульових клапанах відбуваються з великою частотою, у розчині, що перекачується, швидко накопичується помітна кількість дробленого піску з надзвичайно гострими кромками. Такий пісок, на відміну від вихідного, повинен мати підвищені абразивні властивості.

З метою перевірки зазначеного припущення нами було проведено таке дослідження.

Були взяті дві порції піску, з якого приготували вапняно-піщаний будівельний розчин для стендових випробувань. Першу порцію становив вихідний пісок з розчину після його перекачування на іспитовому стенді протягом 30 годин. Обсяг розчину в бункері змішувача становив 160 дм³, подача розчинонасоса – 4 м³/год. Тобто розчин за час роботи стенда пройшов через розчинонасос близько 750 разів. Розчин для одержання другої порції піску був багаторазово відмитий водою таким чином, щоб у ньому збереглися дрібні частки. Після промивання пісок був висушений.

Обидві порції піску були насипані на темну поверхню й ретельно розглянуті за допомогою спеціального мікроскопа Т03-1-002-87к ОСТ 17-296-75, що має ціну поділки 0,01 мм, для визначення розмірів розглянутих об'єктів та підсвічування. При цьому встановлено, що всі частки вихідного піску (рис. 1, а) мають переважно симетричну форму із чітко округленими ребрами. Розміри піщинок різні, але їхня мінімальна величина становить не менше 0,11 мм. Очевидно, піщинки менших розмірів рухаються разом з річковою водою і в піску не накопичуються. У другій порції піску (рис.1, б) поряд з піщинками, характерними для першої порції, спостерігалися великі дроблені часточки з гострими кромками по контуру поверхні зламу, а також значна кількість дуже дрібних часток розміром від 10 до 100 мкм різної форми й гострими кромками, які виходять у результаті дроблення кулями клапанів більших часток піску.

Таким чином, результати експерименту повністю підтвердили припущення про те, що багаторазове пере-

качування розчину, виготовленого на основі піску, приводить до дроблення частини піщинок з утворенням як великих, так і дуже дрібних часток з гострими кромками, причому дрібних часток стає набагато більше ніж у вихідному піску. При цьому абразивні властивості розчину, що перекачується, істотно зростають.

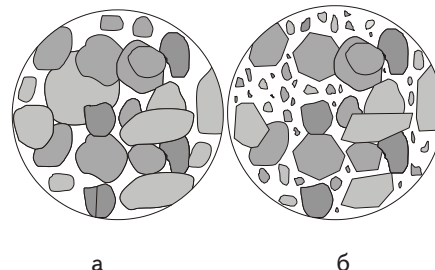


Рис. 1. Форма й розміри часток піску: а – у вихідному піску, б – у піску розчину після перекачування (× 50)

Таблиця 1

Вплив кількості перекачувань на абразивні властивості піску

Кількість циклів перекачування суміші	Кількість подрібнених часток піску у суміші, шт/см ²	Кількість подрібнених часток піску у суміші (%)
100	8	5
250	24	15
500	55	35
750	70	45

Оскільки твердість піску, як правило, вище твердості гільз поршня й штока, піщинки з гострими кромками при роботі бездіафрагменного розчинонасоса наносять на дзеркало гільз поздовжні подряпини, з утворенням яких між ущільненнями поршня (штока) і дзеркалом гільз виникають місцеві зазори. У ці зазори легко проникають абразивні частки дробленого піску малих розмірів і сильно прискорюють зношування тертьових деталей.

Із сказаного вище правомірно зробити висновок, що умови роботи тертьових деталей циліндропоршневої групи, що перебувають у контакті з будівельним розчином, що перекачується, при стендових випробуваннях більш жорсткі, ніж при експлуатації розчинонасосів на будівельному майданчику.

Для більшого наближення умов стендових випробувань розчинонасосів до виробничих можна рекомендувати наступні способи: значно збільшити ємність бункера змішувача в іспитовому стенді; частіше робити заміну розчину в бункері змішувача в ході випробувань; застосовувати в розчинонасосах кульові клапани, облицьовані еластичними матеріалами, що не викликають дроблення часток піску при спрацьовуванні клапанів на закриття; установлювати на гніздах клапанів захисні кільця з еластичних матеріалів.

5. Висновки

Стенові випробування без застосування зазначених способів для ресурсних випробувань тертьових деталей поршневої групи бездіафрагмених розчинонасосів варто вважати прискореними.

Література

1. Онищенко А.Г. Поиск технических решений при создании эффективной конструкции растворонасоса / А.Г. Онищенко, В.У. Устьянцев, А.В. Васильев // Вибрации в технике и технологиях. – 1999. – № 2. – С. 65-67.
2. Онищенко О.Г. Стенд для ресурсних випробувань розчінонасосів / О.Г. Онищенко, О.С. Васильев // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков, 2004. – Вып. 27. – С. 154-156.
3. Баладинський В.Л. Будівельна техніка: підручник / В.Л. Баладинський, І.І. Назаренко, О.Г. Онищенко. – Київ-Полтава: КНУБА-ПДТУ, 2001. – 463 с.
4. Добровольский А.Г. Абразивная износостойкость материалов / А.Г. Добровольский, П.И. Кошеленко: Справ. пособие. – К.: Техника, 1989. – 128 с.
5. Николич А.С. Поршневые буровые насосы / А.С. Николич. – М.: Недра, 1973. – 225 с.

Abstract

In the design of mortar pumps it is necessary to perform a functional test of assembly units, life tests inclusive. Thereto different workbenches, in which building mortars are applied as objects for transportation, are used. The analysis of operating conditions of details in the pump body revealed that the worst wear occurs just between the rubbing parts. Having undertaken the study, we established the dependence of abrasivity on sand particles' shape; herewith multiple pass through valve units strengthens them. The reason is that the sand is exposed to crushing. And the longer the use of mortar mix the closed circuit of the workbench is, the more minor parts and sharp parts (which enhance the abrasiveness) appear. This property should be considered when designing and testing mortar pumps, as well as during accelerated life tests

Keywords: mortar pump, abrasivity, sand particles

Розглянуто питання впливу агресивного середовища на зношення протектора шин коліс автомобіля, від експлуатаційного стану верхнього шару дорожнього покриття

Ключові слова: зношення протектора, дорожнє покриття, агресивне середовище

Рассмотрен вопрос влияния агрессивной среды на износ протектора шин колес автомобиля, от эксплуатационного состояния верхнего слоя дорожного покрытия

Ключевые слова: износ протектора, дорожное покрытие, агрессивная среда

УДК 625.76.033

ВПЛИВ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЗНОШЕННЯ ШИН КОЛІС АВТОМОБІЛЯ

В. Г. Герасименко

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (0624) 55-20-26

E-mail: inst@adi.gorlovka.net

В. В. Губа

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (0624) 55-20-26

E-mail: inst@adi.gorlovka.net

*Кафедра будівництва і експлуатації автомобільних доріг
Автомобільно-дорожнього інституту
«Донецький Національний технічний університет»
вул. Кірова, 51, м. Горлівка, Україна, 84646

1. Вступ

Практика експлуатації дорожніх покриттів показує, що максимальна шорсткість шару покриття дозволяє знизити небезпеку виникнення «мильного ефекту» в зоні проходження «бігової доріжки», особливо в момент осідання на поверхні покриття туману чи зливових вод. Це відбувається через те, що пиловаті часточки шкідливих викидів осідають та затримуються в більш великих заглибленнях мікропрофілю дорожнього одягу. Таке осідання часточок може бути умовою виникнення дорожньо-транспортних пригод, або збільшити умови їх виникнення.

2. Мета статті

Метою – є удосконалення умов роботи водія, властивості гуми, поперечних та поздовжніх похилів покриття з врахуванням кліматичних та екологічних умов при щорічній експлуатації автомобільної дороги та автомобіля.

3. Аналіз останніх дослідів і публікацій

Дослідами встановлено, що коефіцієнт зчеплення та коефіцієнт тертя ковзання приймають найбільші зна-

чення при оптимальній щільності виступів шорсткості верхніх шарів дорожнього одягу. Взаємодія колеса з мокрим дорожнім покриттям супроводжується як динамічними, так і в'язкими діями води й визначається середнім радіусом та щільністю виступів шорсткості покриття [1, 2, 3]. В той же час, при ковзанні в одному напрямку, по мокрій поверхні з тупими виступами, приводить до прослизання колеса та зношенню автомобіля в цілому. Це небезпечно при підвищенній інтенсивності руху в «час пік» та приводить до дорожньо-транспортних пригод.

4. Головний розділ

Експлуатація шин автомобіля, при русі по шорсткому покриттю автомобільних доріг, приводить до зношення протектора шин колеса автомобіля. Інтенсивність зношення шин автомобіля, при русі по дорогах із загостреними вершинами нерівностей, наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Інтенсивність зносу шин при русі по асфальтобетонному покриттю

Фракція щебня, мм	1500 км шляху зносу, мм			
	Граніт	Доломіт	Шлаковий щебінь	Гладке покриття
5–10	0,21	0,11	0,15	0,11
10–20	0,24	0,12	0,16	0,10
15–25	0,25	0,14	0,18	0,09
20–40	0,26	0,13	0,20	0,07

Основною характеристикою гуми протектора шин, що визначає опір зносу, є число циклів деформації, що витримують до руйнування в даних умовах. Ці умови включають складний характер напруги, температуру в зоні тертя, характер шкідливих викидів та багато інших факторів.

Якщо шар зносу виконаний із твердих кам'яних матеріалів (граніт, сієніт, базальт та інші), края яких протягом тривалого часу мають загострення, то на поверхні протектора з'являються руйнування у вигляді розривів, подовжених подряпин та порізів. У цих умовах переважає абразивне зношення, особливо внаслідок різких гальмувань й прискорень та поворотів, при цьому спостерігається імовірність зношення за допомогою скочування. При експлуатації пневматичних шин автомобіля спостерігається наявність усіх трьох руйнувань.

Для гуми протектора існують деякі критичні значення зсувових напруг $T_{крит}$, які визначаються за формулою:

$$T_{крит} = f_{крит} \cdot p, \tag{1}$$

де $f_{крит}$ – критичне зношення гуми шини, мм;
 p – тиск в шині колеса автомобіля, МПа.

У верхньому шарі будуть виникати розрізи й тріщини, якщо дійсні зсувові напруги T переходять у $T_{крит}$. У випадку, коли $T < T_{крит}$ – буде переважати втомлений механізм зносу, а при $T > T_{крит}$ – знос за допомогою скочування (на гладких поверхнях) чи абразивний

знос (на грубих поверхнях з гострими виступами на верхньому шарі покриття).

На рис. 1 показано залежність стирання гуми протекторних шин від коефіцієнта тертя. 1 – область втомленого зношення, 2 – область абразивного зношення за допомогою скочування

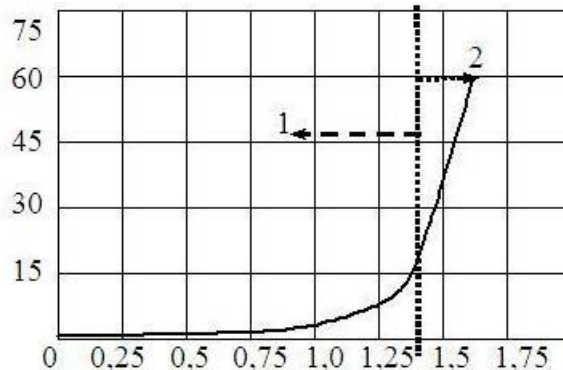


Рис. 1. Залежність стирання гуми протекторних шин від коефіцієнта тертя: 1 – область втомленого зношення, 2 – область абразивного зношення за допомогою скочування

На рисунку видно, що $f_{крит} \approx 1,25 \dots 1,5$. Вище цього значення інтенсивність стирання дуже висока, на поверхні гуми з'являються явні ознаки стирання.

Поява стирання приводить до додаткового зношення, що може бути значним у визначених умовах (часті зупинки, спуски, перехрестя вулиць й доріг, трамвайні та залізничні переїзди). Це видно при розгляді вертикального розрізу зразка (рис. 2), на поверхні якого видно характер стирання.

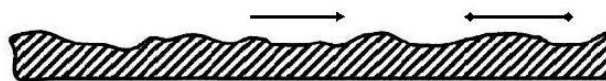


Рис. 2. Вертикальний розріз зразка гуми, що має на поверхні «рисунок стирання»

Пилоподібний профіль перетину має напрямок «зубців», протилежний напрямку ковзання. Під час руху зразка, «зубці» прогинаються назад і абразив підрізає їх. У той же час частина поверхні захищена від стирання в задній частині «зубця». Після ряду підрізань гребені відокремлюються від поверхні гуми. Спостерігається великий розбіг в розмірі стертих частинок при наявності рисунка і при характерному зношенні.

При іспиті пневматичних шин в умовах гальмування, прискорення і бокового відведення, в задній частині зони контакту, виникає велика область ковзання. Стирання в цій зоні відбувається в умовах сухого тертя. У передній частині зони контакту існує також мікроковзання й у малій ступені зношення. Коли стирання по напрямку збігається з ковзанням, воно розглядається, як «корисне», тому що воно прямо впливає на силу зчеплення «бігової доріжки» шини з покриттям, що перешкоджає ковзанню. З іншого боку, коли напрямок стирання відрізняється від напрямку ковзання елементів протектора шини, стирання може розглядатися як «шкідливе», тому що воно не має ніякого впливу на ефект тертя в зоні контакту шини із шаром зносу. При вільному коченні шини виникають поперечні зсувові

напруги в зоні контакту, вони спрямовані назовні від подовжньої осьової лінії площі контакту. Вони обумовлюють бічні сили, що можуть досягати великих значень, рівних по величині й протилежно спрямованих. Виникнення бічних сил викликають бічний знос «шкідливого» типу, тому що він не впливає на коефіцієнт тертя кочення, а величина зносу при цьому є значною [1, 2, 3]. На рисунку 3 показано зсувні напруги, які виникають в зоні контакту при вільному коченні.

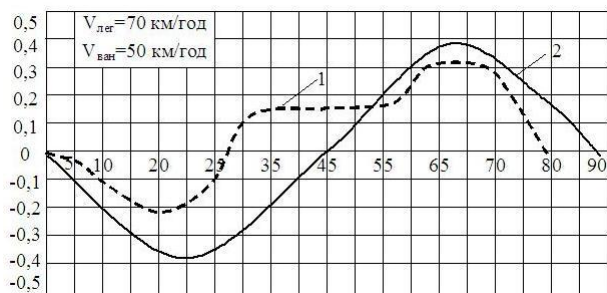


Рис. 3. Зсувна напруги в зоні контакту: 1 – діагональ, шини легкових автомобілів; 2 – шина з металевим кордом вантажних автомобілів

На рис. 3 видно, що поперечні зсувні напруги для шин діагональної конструкції значно вище, ніж для шин радіальної конструкції. Застосування металевого корду замість текстильного в радикальних шинах дозволяє ще значно більше знизити бічні сили в умовах даної швидкості кочення й внутрішнього тиску в шинах. Вони показують, що пробіг радіальних шин і їх загальна працездатність значно вище, ніж діагональних. При зменшенні «шкідливого» зносу і зниженні жолобоутворення радіальних шин можуть мати той же коефіцієнт тертя кочення при значно меншому загальному зношенні.

Ступінь гальмувань, прискорень й бокового відведення звичайно позначається на ковзанні, що характеризує кочення шини. Ковзання визначається, як відношення (%) середньої швидкості ковзання елемента рисунка (зношення) протектора, щодо дорожньої поверхні та швидкості руху автомобіля і визначається за формулою:

$$S = \frac{V}{V_{авт}} \cdot 100\% , \quad (2)$$

де V – швидкість ковзання елемента протектора, км/год;

$V_{авт}$ – швидкість руху автомобіля, км/год.

Якщо використовувати часовий фактор, то отримаємо:

$$S_1 = \frac{L}{L_k} \cdot 100\% , \quad (3)$$

де L – середній шлях ковзання елемента протектора при вільному коченні, км,

L_k – загальна довжина контакту вільного кочення, км.

Якщо профіль дороги має чітку макрошорсткість, то переміщення елементів рисунка протектора шин,

щодо окремих виступів поверхні дороги викликає нерівномірні пружні деформації при коченні колеса в рівномірному режимі.

За умов вологих доріг розриви на «біговій доріжці» забезпечують проникнення виступів покриття через плівку води та встановлення сухого контакту між ними. Поверхня з гострими виступами не буде мати на вершинах виступів плівку води, тому що пружний тиск буде перевищувати максимум гідродинамічного тиску, що виникає в області клина на похилах виступів ковзання. На поверхні яка має закруглену форму, виникає значно менший пік пружного тиску.

Мікροшорсткість дорожнього покриття, з перших днів експлуатації дороги, розподілена нерівномірно. Процес зміни форми мікропрофілю дуже різноманітний його зміни відбуваються поступово та залежать від багатьох факторів:

- виду та фракції щебня, який застосовано у верхніх шарах дорожнього покриття автомобільної дороги;
- інтенсивності руху й складу транспортного потоку;
- якісного регулювання руху транспорту в «час пік»;
- кліматичних й геокліматичних факторів (сувора й волога зима та осінь, круті підйоми й спуски);
- екологічних умов в яких знаходиться дорога (промислові підприємства зі шкідливим виробництвом) та інше.

Від якості текстури верхнього шару залежить ступінь стійкості транспорту, що рухається. Пік тиску на кожному виступі швидко збільшується в залежності від середнього похилу виступів до критичного значення. Максимальна шорсткість дозволяє знизити небезпеку виникнення «мильного ефекту» у зоні проходження «бігової доріжки», особливо в момент початку осідання на поверхню покриття тумана чи зливових вод.

Характеристики автомобіля, властивості гуми шин, поперечний й поздовжній похил дорожнього покриття, а також кліматичні й екологічні умови, групуються як окремі фактори. Перелічені фактори у сумі визначають вимоги до мікροшорсткості шару зносу в щорічному періоді експлуатації автомобільної дороги. Дослідження показали, що середня довжина хвилі текстури верхнього шару зносу обумовлена головним чином водовідштовхувальною здатністю дорожнього покриття дороги.

5. Висновки

Кожний шар зносу має текстуру неупорядкованого профілю й вимагає спеціальної оцінки. Тому зроблені обмеження, визначаються в такий спосіб:

- у ряді випадків неупорядковані профілі текстури характеризуються неперіодичністю. Таким чином, довжина профілю досить велика для того, щоб провести статистичну оцінку в межах даного локального поширення. Цього недостатньо для усіх локальних профілів, якщо не виконуються зазначена вимога;
- профіль поверхні, обумовлений для даного локального положення стосовно деякої середньої

лінії, проведеної у визначеному напрямку, повинний бути однаковим в усіх напрямках, проведених через дану точку;

- розмір й форма виступів та відстань між ними в даному місці не повинні відрізнятися від сусід-

ніх ділянок поверхні. Повинен існувати – виступ для усієї поверхні дороги;

- з погляду водозбірної здатності поверхонь, необхідно, щоб відвідні канали були не занадто довгими й у той же час не занадто глибокими.

Література

1. Павлюк, Д. О. Визначення залежності коефіцієнта зчеплення від швидкості [Текст] / Д. О. Павлюк, С. С. Кизима, С. І. Андреев // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1988. – Вип. 42 – С. 99–101.
2. Немчинов, М. В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобилей [Текст] / М. В. Немчинов. – М.: Транспорт, 1985. – 231с.
3. Білятинський, О. А. Проектування капітального ремонту і реконструкції доріг [Текст] : підручник / О. А. Білятинський, В. П. Старовойда ; – К. : Вища освіта, 2003. – 343 с. – ISBN 966-8081-13-7.

Abstract

Operation of roadway surfaces shows that the maximum roughness of a surface layer reduces the possibility of emergence of the "soap effect" in the zone of "treadmill", especially during the deposition of fog or storm water on the surface. Such deposition of particles may be a reason of accidents or may enlarge the conditions of their occurrence. The article concerns the question of improvement of a driver's working conditions, the properties of tires, transverse and longitudinal sloping of the surface at annual operation of roads and a car. Operation of car tires leads to wear of a tread of a car wheel. Galling leads to additional wear, which can be significant in certain conditions (frequent stops, drops, crossroads, tram and railway crossings). The process of reshaping of a microprofile is very diverse and its changes occur gradually and depend on many factors. Each layer of wear requires special assessment on the following: static evaluation within local profile, taking into account the midline, which takes into account size and shape of surface appearances

Keywords: wear of a tread, roadway surface, aggressive environment

Наведено експериментальні дані про величину ефективних коефіцієнтів розподілу домішок бору, кисню та вуглецю на різних стадіях процесу вирощування монокристал кремнію за методом Чохральського. Показано, що зміна величини ефективних коефіцієнтів розподілу цих домішок по ходу спрямованої кристалізації є наслідком зміни співвідношення їхньої концентрації в розплаві та монокристалі, яке впливає на процес комплексоутворення

Ключові слова: кремній, монокристал, ефективний коефіцієнт розподілу домішки

Представлены экспериментальные данные о величине эффективных коэффициентов распределения примесей бора, кислорода и углерода на различных стадиях процесса роста монокристалла кремния по методу Чохральского. Показано, что изменение величины эффективных коэффициентов распределения этих примесей в ходе направленной кристаллизации является следствием изменения соотношения их концентраций в расплаве и монокристалле, которое влияет на процессы комплексообразования.

Ключевые слова: кремний, монокристалл, эффективный коэффициент распределения примеси

УДК 621.315.592

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ РОСТА МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ю. В. Головки

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра физической и

биомедицинской электроники

Запорожская государственная

инженерная академия

пр. Ленина 226, г. Запорожье, Украина, 69006

Контактный тел. (0612) 52-14-69, 067-584-47-02

E-mail: derek-50@bk.ru

1. Введение

Исследования, о которых идет речь в статье, относятся к областям материаловедения и технологии полупроводниковых материалов, к разделу направленной кристаллизации кремния из расплава.

Управление концентрацией примесей в процессе выращивания монокристаллов кремния, предназначенных для солнечной энергетики, является одной из актуальных задач их производства.

2. Особенности процесса выращивания монокристалла кремния по методу Чохральского

Монокристаллы кремния для солнечной энергетики выращивают из расплава по методу Чохральского, который относится к методам направленной кристаллизации и заключается в непрерывном вытягивании из расплава затравки вместе с растущим на ней монокристаллом. Расплав кремния находится в кварцевом тигле. Резистивный нагреватель и подставка для кварцевого тигля изготовлены из графита, а тепловые экраны – из материалов на основе графита.

Монокристаллический кремний – один из самых чистых современных материалов. Концентрация неконтролируемых примесей в нем менее 10^{-9} %, однако монокристаллы кремния загрязняются в процессе выращивания по методу Чохральского двумя фоновыми примесями – кислородом и углеродом. Основным источником поступления этих примесей в монокристалл является исходное сырьё (поликристаллический кремний полупроводниковой чистоты). Дополнительные источники – поступление в расплав кислорода за счёт частичного растворения в нём внутренней поверхности кварцевого тигля, а углерода – в форме пыли и газообразных его оксидов, выделяющихся деталями графитового оснащения плавильной камеры. Монокристаллы кремния для солнечной энергетики легируют акцепторной примесью – бором, концентрация которой определяет p -тип электропроводности монокристалла и величину электрического сопротивления, которое должно отвечать заданному потребителем диапазону.

Согласно современным требованиям [1], в монокристаллах кремния для солнечных элементов содержание кислорода не должно превышать $1 \cdot 10^{18}$ ат·см $^{-3}$, углерода – $(2 \dots 4) \cdot 10^{16}$ ат·см $^{-3}$, а наиболее нежелательной металлической примеси железа – 5×10^9 ат·см $^{-3}$. Эти три примеси участвуют в процессах комплексообразования в монокристаллическом кремнии [2].

Цель настоящей работы – исследование распределения примесей бора, кислорода, углерода и железа между жидкой и твердой фазами в ходе роста монокристаллов кремния в условиях промышленного их производства.

При выращивании по методу Чохральского примеси попадают в растущий монокристалл кремния из расплава. Соотношение между содержанием примеси в твердой и жидкой фазах в условиях кристаллизации, отличных от равновесных, характеризуют эффективным коэффициентом её распределения k [4]

$$k = \frac{C_{\text{тв}}}{C_{\text{ж}}} \quad \text{или} \quad k = \frac{\gamma_{\text{ж}}}{\gamma_{\text{тв}}} \cdot \frac{N_{\text{тв}}}{N_{\text{ж}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{тв}}$ и $C_{\text{ж}}$ – концентрация примеси соответственно в монокристалле и расплаве, % $_{\text{ат}}$; $N_{\text{тв}}$ и $N_{\text{ж}}$ – плотность атомов примеси соответственно в монокристалле и расплаве, ат/м 3 ; $\gamma_{\text{ж}}$ и $\gamma_{\text{тв}}$ – плотность соответственно жидкого и кристаллического кремния, кг/м 3 .

На основе уравнения баланса атомов примеси в каждый момент процесса выращивания ранее были разработаны [3-5] математические модели распределения:

$$\text{бора} \quad \frac{N_{\text{твБ}}(g)}{k_{\text{Б}} \gamma_{\text{тв}}} (1-g) + \frac{1}{\gamma_{\text{тв}}} \int_0^g N_{\text{твБ}}(g) dg = \frac{N_{\text{твБ}}(0)}{\gamma_{\text{ж}}}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \text{кислорода} \quad \left[\frac{N_{\text{твО}}(0)}{k_{\text{О}}(0)} - \frac{N_{\text{твО}}(g)(1-g)}{k_{\text{О}}(g)} \right] + \\ & + \frac{1}{v_p(g)} \int_0^g v_{\text{О}}(g) \left[\left(\frac{R^2}{r^2} + \frac{2m_0}{\gamma_{\text{ж}} \pi r^2 R} \right) - \frac{2m_0}{\gamma_{\text{ж}} \pi r^2 R} g \right] dg - \\ & \frac{(R^2 - r^2)}{r^2 v_p(g)} \int_0^g w_{\text{О}}(g) dg = \int_0^g N_{\text{твО}}(g) dg, \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{углерода} \quad \frac{N_{\text{твС}}(g) \cdot (1-g)}{k_{\text{С}}(g)} - \left(\frac{R^2}{r^2} - 1 \right) \times \\ & \int_{g_{\text{к}}}^g \frac{v_{\text{постС}}(g)}{v_p(g)} dg = \frac{N_{\text{твС}}(0)}{k_{\text{С}}(0)} - \int_{g_{\text{к}}}^g N_{\text{твС}} dg, \quad (4) \end{aligned}$$

где $N_{\text{тв}}(0)$ и $N_{\text{тв}}(g)$ – плотность атомов соответствующей примеси в монокристалле кремния на начальной стадии его роста и на момент кристаллизации доли расплава g , соответственно, ат/м 3 ; $k(0)$ и $k(g)$ – эффективный коэффициент распределения той же примеси на начальной стадии роста и на момент кристаллизации доли расплава g , соответственно; v_p – скорость роста монокристалла, м/с; $v_{\text{О}}$ – скорость поступления атомов кислорода в расплав вследствие растворения кварца тигля, ат/см 2 ·с; $w_{\text{О}}$ – скорость испарения атомов кислорода с поверхности расплава, ат/м 2 ·с; $v_{\text{постС}}$ – скорость поступления углерода в расплав из пространства плавильной камеры, ат./м 2 ·с.; R и r – радиус соответственно тигля и монокристалла, м.

Из величин, входящих в уравнения (2)-(4): $N(0)$, $N_{\text{тв}}(g)$, v_p , R , r , g – определяются экспериментально, $\gamma_{\text{ж}}$ и $\gamma_{\text{тв}}$ – табличные величины. Неизвестными являются: для (2) – одна величина – $k_{\text{Б}}$, для (3) – три величины – $k_{\text{О}}$, $v_{\text{О}}$, $w_{\text{О}}$, для (4) – две величины – $k_{\text{С}}$ и $v_{\text{постС}}$. Для нахождения значений $k_{\text{С}}$ и $v_{\text{постС}}$ составляется система из двух уравнений, для $k_{\text{О}}$, $v_{\text{О}}$, $w_{\text{О}}$ – система из трех уравнений путем подстановки в (2) и (4) табличных и экспериментально определенных величин для двух последовательных значений доли закристаллизовавшегося расплава g_i и g_{i+1} , а в (3) – соответственно трех последовательных значений g_i , g_{i+1} и g_{i+2} . Разрешив полученные системы уравнений относительно k , находим значения эффективного коэффициента распределения каждой из этих примесей на разных стадиях выращивания монокристалла (при разных значениях g_i). Основным достоинством моделей (2)-(4) является то, что при их

построении величины эффективного коэффициента распределения $k(g)$, скорости поступления в расплав кислорода v_O и углерода $v_{\text{осм}}(g)$, скорости испарения атомов кислорода w_{OC} с поверхности расплава, а также скорости выращивания монокристалла из расплава $v_p(g)$ рассматриваются как функции закристаллизовавшейся доли расплава g , которая является опосредованным показателем всего комплекса технологических факторов, изменяющихся на протяжении процесса выращивания монокристалла. Кроме того в них не используются физические параметры, которые нельзя измерить в конкретных условиях промышленного производства. Приведенные модели позволяют по данным стандартного контроля качества монокристалла кремния определить реальные для промышленных условий его выращивания величины эффективных коэффициентов распределения всех основных примесей.

3. Анализ распределения основных примесей в процессе роста монокристалла кремния

Монокристалл кремния с кристаллографической ориентацией $\langle 100 \rangle$, диаметром 100 мм был выращен по методу Чохральского в промышленных условиях с использованием установки типа «Редмет-30». Концентрацию бора определяли по величине удельного электросопротивления [7], кислорода и углерода - стандартными методами поглощения инфракрасного излучения [8, 9]. Для определения на основании экспериментальных данных величины k для основных примесей в монокристалле кремния, легированного бором (концентрация $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$), использованы математические модели (2)-(4). Результаты измерений концентрации и оценок эффективных коэффициентов примесей приведены на рис. 1.

Как видно из рис.1, концентрации всех четырех примесей в расплаве изменяются по мере кристаллизации. Причины таких изменений различны для каждой из примесей. Вследствие того, что величины коэффициентов распределения примесей бора (равновесный коэффициент распределения $k_0 = 0,8$) и железа ($k_0 = 6 \cdot 10^{-5}$) меньше единицы, в процессе кристаллизации происходит постепенное их накопление в расплаве по причине отталкивания их атомов от фронта кристаллизации в расплав. В результате происходит увеличение концентрации примесей бора и железа как в расплаве, так и в растущем из него монокристалле в течение процесса кристаллизации. Равновесный коэффициент распределения кислорода также меньше единицы ($k_0 = 0,5$) и по этой причине его концентрация в расплаве постепенно растет. Одновременно в расплав поступает дополнительное количество атомов кислорода (вследствие растворения кварца тигля) и испарение части атомов кислорода с поверхности расплава в составе образующихся там молекул монооксида кремния SiO . Практика показывает, что испарение атомов кислорода с поверхности расплава преобладает над их накоплением в расплаве из-за отталкивания от фронта кристаллизации и

дополнительного поступления в расплав [5]. Поэтому концентрация кислорода уменьшается как в расплаве, так и в растущем из него монокристалле в течение процесса кристаллизации. Равновесный коэффициент распределения углерода $k_0 = 1$ [5], то есть его концентрация в процессе кристаллизации кремния должна была бы оставаться неизменной, однако вследствие непрерывного поступления его атомов в расплав через атмосферу плавильной камеры от графитовых деталей теплового узла она постепенно растет. На рис.1, а видно также, что относительное изменение концентрации разных примесей различно. Следовательно, соотношение концентраций легирующей примеси бора и комплексобразующих примесей кислорода, углерода, железа в процессе кристаллизации непрерывно изменяется и особенно сильно - особенно на поздних стадиях кристаллизации. Как видно из рис. 1, б, именно на этой стадии наблюдаются заметные изменения эффективных коэффициентов распределения примесей в кремнии.

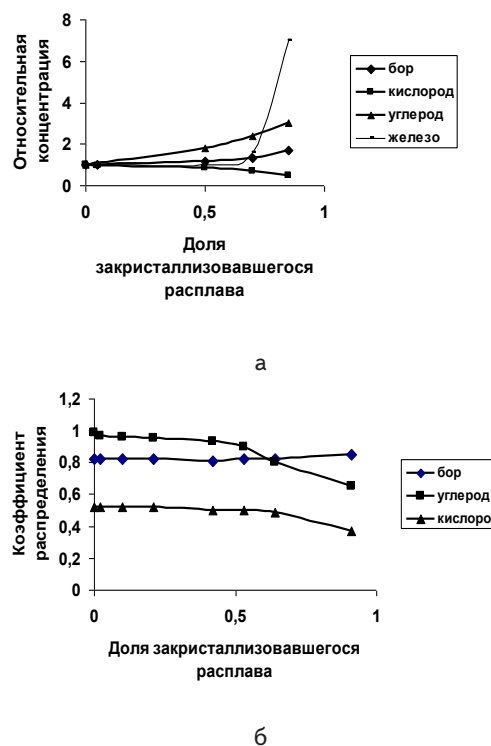


Рис. 1. Изменение относительной концентрации и эффективного коэффициента распределения примесей при кристаллизации кремния: а) доля закристаллизовавшегося расплава от относительной концентрации; б) доля закристаллизовавшегося расплава от коэффициента распределения

4. Выводы

По ходу направленной кристаллизации при выращивании монокристалла кремния вследствие изменения соотношения концентрации легирующей примеси

бора и комплексообразующих примесей кислорода, углерода, железа изменяется величина эффективных коэффициентов распределения примесей.

Литература

1. Проспект фирмы MEMC, 1994-1995. – 12 с.
2. Wijaranacula W. Numerical modeling of the point defect aggregation during the Czochralski silicon crystal growth / W. Wijaranacula // Journal of electrochemical society. – 1992. - Vol. 139, № 2. - P. 604-616.
3. Швец, Е.Я. Моделирование распределения примеси бора в процессе выращивания монокристаллов кремния / Швец Е.Я., Головки О.П., Баев В.С., Головки Ю.В. / Металургія. Збірник наукових праць ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2007. – Вип. 16. – С. 59 – 63.
4. Швец, Е.Я. Исследование массообмена кислорода в процессе выращивания монокристаллов кремния по методу Чохральского // Е.Я. Швец, Ю.В. Головки / Теория и практика металлургии, 2008. - № 4-5 (65). – С.3-7.
5. Швец, Е.Я. Исследование распределения углерода между расплавом, твердой и газовой фазами в процессе выращивания монокристаллов кремния / Е.Я. Швец, Ю.В. Головки / Металургія. Збірник наукових праць ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – Вип. 17. – С. 104-108.
6. F 723. Standard Practice for Conversion Between Resistivity and Dopant Density for Boron-Doped, Phosphorus-Doped, and Arsenic-Doped Silicon // Annual Book of ASTM Standards.Vol.10.05 (1997).
7. ASTM F1188. Test method for interstitial atomic oxygen content of silicon by infrared absorption // Annual Book of ASTM Standards.Vol.10.05 (1997).
8. ASTM F1391. Standard test method for substitutional atomic carbon content of silicon by infrared absorption // Annual Book of ASTM Standards.Vol.10.05 (1997).

Abstract

The article represents the experimental data on the study of the distribution of the main impurities between the liquid and solid phases in the course of growing of the silicon single crystal by the Czochralski method. The mathematical models of the distribution of boron, oxygen, carbon impurities, based on the balance equation of the impurity atoms at each moment of growing, were presented. The main advantage of the developed models is the fact that in their construction, the effective distribution coefficient of impurities is considered as a function of the crystallized fraction of the melt, which is a proxy indicator of the whole complex of technological factors, which vary throughout the process of growing of a single crystal. In addition they do not use physical parameters that can not be measured in specific industrial environments. The suggested models permit to determine the real effective coefficients of distribution of the main impurities, according to the data of the standard quality control of silicon single crystal. The models are used to determine, according to the experimental data of the impurity concentration in the silicon single crystal with a crystallographic orientation <100> and the diameter 100 mm, the values of the effective coefficients of distribution of impurities of boron, oxygen, carbon, at various stages of growing

Keywords: *silicon, single crystal, effective coefficient of distribution of impurity*

УДК 620.178

БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИ УСТАНОВКИ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО НАПИЛЕННЯ

У даній роботі представлено автоматизовану систему для вакуумно-дугового нанесення покриттів на дрібні деталі, побудовану на сучасній елементній базі за модульним принципом. Вивчені режимні параметри технологічного процесу напилення і їх вплив на якість покриття. Система має підвищену заводо захищеність і забезпечує нанесення покриттів із визначеними показниками якості

Ключові слова: вакуумно-дугове напилення, покриття, стандарт OPC, SCADA

В роботі представлена автоматизована система для вакуумно-дугового нанесення покриттів на мелкі деталі, побудована на сучасній елементній базі за модульним принципом. Изучены режимные параметры технологического процесса напиления и их влияние на качество покрытия. Система обладает повышенной помехозащищенностью и обеспечивает нанесение покрытий с заданными показателями качества

Ключевые слова: вакуумно-дуговое напиление, покрытие, OPC стандарт, SCADA

І. В. Смирнов

Доктор технічних наук, доцент
Кафедра інженерії поверхні
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
вул. Дашавська, 6/2, м. Київ, Україна, 03056
Контактний тел.: (044) 454-92-56
E-mail: smirnovkpi@gmail.com

М. А. Долгов

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Лабораторія поверхневого зміцнення елементів конструкцій
Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка НАН України
вул. Тимірязєвська, 2, м. Київ, Україна, 01014
Контактний тел.: (044) 286-69-57
E-mail: coating@ipp.kiev.ua

О. В. Іванченко

Кандидат технічних наук, доцент *
Контактний тел.: (066) 806-35-45
E-mail: kmcc@knutd.com.ua

М. Л. Огородніча *

Контактний тел.: (063) 030-50-01
E-mail: prinston@pochta.ru

*Кафедра мерології, стандартизації і сертифікації
Київський національний університет технологій та дизайну
вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ, Україна, 01011

1. Вступ

Покриття, що напилюються у вакуумі, дозволяють вирішити ряд проблем в інженерії поверхні, пов'язаних з захистом деталей машин, елементів конструкцій та окремих вузлів від зношування, впливу високих температур і агресивних корозійно-ерозійних середовищ. Як свідчить досвід проведення таких робіт, особлива увага приділяється вакуумно-дуговому методу [1–3]. Даний метод, дозволяє в широкому діапазоні керувати параметрами процесу та властивостями конденсатів за рахунок наявності високоіонізованої складової в продуктах ерозії катоду. Використовуючи катоди з різних металів, і змінюючи склад середовища в робочому просторі та режими роботи вакуумної установки можна створювати багатопарові, градієнтні та наноструктурні покриття.

Тому завдання автоматизації роботи установок для нанесення вакуум-дугових покриттів слід вважати актуальною науково-технічною задачею. Мета роботи полягає в розробці багатоканальної системи автоматизації роботи установок для нанесення вакуумно-дугових покриттів.

Система побудована на сучасній елементній базі і дозволяє проводити довготривалі безперервні вимірювання, струму дуги, залишкового тиску у вакуумній камері, температури деталей, напруги зміщення, проводити моделювання процесу напилення і визначати оптимальні значення підконтрольних параметрів, а також накопичувати і зберігати результати вимірювань.

Розвиток систем автоматичного збору і обробки інформації дозволяє повністю автоматизувати процес вимірювання і управління технологічним процесом нанесення покриття. Модульний принцип

побудови системи гарантує гнучкість експерименту і досягнення необхідної точності вимірювань. Приклади реалізації такого підходу до побудови систем описані в роботах [4, 5].

Типові системи автоматичного збору і обробки інформації включають в себе:

- технічні засоби: інтелектуальні прилади (датчики і виконавчі механізми), контролери, комп'ютерні робочі станції та інформаційні мережі;

- прикладні програмні засоби: SCADA – програми (програми збору і візуалізації технологічної інформації) і засоби програмування контролерів.

Інтеграція і взаємозв'язок систем подібного класу, які складаються із різномірних компонентів, реалізуються шляхом використання ряду способів [6].

2. Опис установки

В процесі експлуатації установки вакуумно-дугового наплення вивчені режимні параметри і їх вплив на якість покриття. Встановлено, що найважливішими параметрами є струм вакуумно-дугового розряду, остаточний тиск реакційного газу, потенціал зміщення на деталях. Крім того, на етапі іонного очищення і в процесі наплення необхідним є контроль температури поверхні деталей, в залежності від чого здійснюється корекція режимних параметрів. Для контролю власне процесу нанесення покриття вимірюють тривалість відкачування вакуумної системи, час затрачений на очищення, наплення та охолодження виробів, що обробляються. Таким чином, для отримання заданих значень властивостей покриття (товщина, мікротвердість, міцність зчеплення та ін.) на основі моделей управління визначають оптимальні значення режимів наплення.

Ситуація ускладнюється коли в якості об'єктів металізації є дрібні деталі, наприклад метизи, кріплення, дрібний різальний інструмент, порошкові матеріали та ін. [7]. В цьому випадку висуваються більш жорсткі вимоги до підтримки та контролю режимів наплення. Для нанесення покриттів на дрібні деталі, що мають вид сипучої маси призначена установка АНГА-1, яка оснащена спеціальним пристроєм барабанного типу для перемішування деталей в процесі наплення. За умови отримання якісного покриття, оброблювана поверхня повинна бути рівною або випуклою без різких переходів та мікротріщин, і мати не менше 7 класу чистоти.

Для швидкісного відкачування і перезавантаження вакуумної камери, в установці використовується трьохступінчаста система відкачування, яка складається з форвакуумного агрегату АВР-50 і паромасляного насосу НВДМ-400. В агрегаті АВР-50 застосовується два типи насосів – пластинчасто-роторний і двороторний насос з лемінікатними профілями (насос Рутса).

Загальний вид установки та функціональна блок схема наведені на рис. 1 і рис. 2 відповідно.

Функціональна схема вакуумної системи установки АНГА-1 наведена на рис. 3.



Рис. 1. Загальний вид установки АНГА-1 для вакуумно-дугового наплення покриттів

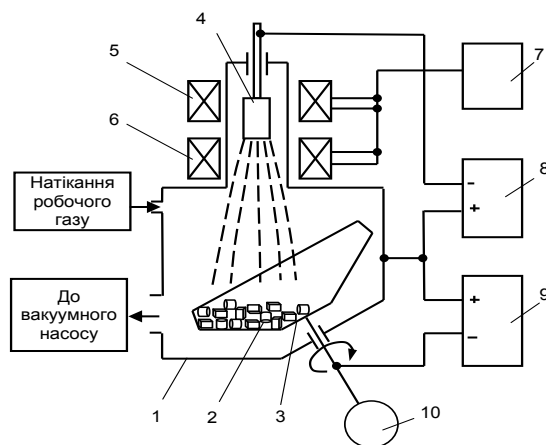


Рис. 2. Блок-схема установки. 1 – вакуумна камера; 2 – дрібні деталі, що покриваються; 3 – завантажувальний барабан; 4 – катод; 5 – стабілізуюча котушка; 6 – фокусуєча котушка; 7 – блок живлення стабілізуючої і фокусуєчої котушок; 8 – блок живлення випаровувача ВДУЧ-315; 9 – високовольне джерело живлення; 10 – двигун обертання завантажувального барабану

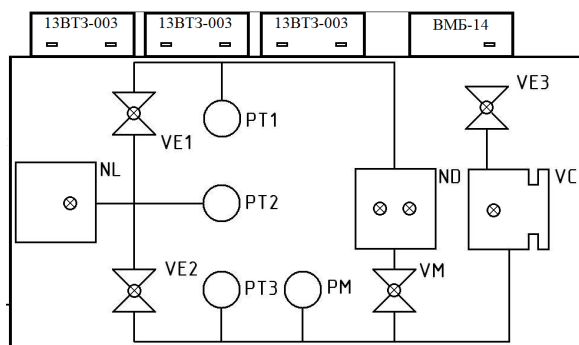


Рис. 3. Функціональна схема вакуумної системи установки АНГА-1ND – дифузійний насос (НВДМ-400); NL – механічний насос (агрегат АВР-50); VC – вакуумна камера; VE1, VE2, VE3 – електромагнітні клапани ДУ-25; VM – вакуумний затвор; PT1, PT2, PT3 – перетворювачі манометричні ПМТ-6-3; PM – перетворювач манометричний ПММ-32-1

4. Вимірювальні прилади

Вимірювання тиску в вакуумній системі установки АНГА-1 проводиться за допомогою трьох вакуумметрів 13ВТЗ-003 і магнітного електророзрядного блокувального вакуумметра ВМБ-14. Вакуумметр 13ВТЗ-003, який призначено для роботи в діапазоні тисків $10^{-1} \dots 10^5$ Па, працює з перетворювачем тисків ПМТ-6-3. Відлік тисків ведеться по шкалі мікроамперметра і градувальних графіків. Вакуумметр має релейний блок, який забезпечує автоматичну сигналізацію про досягнення двох заданих рівнів тиску по двом незалежним каналам.

Вакуумметр ВМБ-14 призначений для вимірювання тиску в діапазоні $10^{-7} \dots 1$ Па в автоматизованих вакуумних системах. Цей прилад працює в комплекті з магнітним електророзрядним перетворювачем тиску ПММ-32-1. Відлік тиску відображається на світлоцифровому індикаторі і реєструється універсальним реєструючим блоком АЦП. У вакууметрі передбачені вихід аналогового сигналу $0 \dots 10$ В, який пропорційний тиску, що вимірюється у відповідності з градувальною характеристикою, світлова сигналізація про несправності перетворювача, а також сигналізація по двом незалежним каналам про досягнення заданого рівня тиску. Температура поверхні деталі контролюється пірометром ППТ із вторинним вимірювальним перетворювачем, який має на виході сигнал постійного струму $4 \dots 20$ мА.

Структурна схема технологічного процесу обробки деталі приведена на рис. 4. Вимірювальна частина системи побудована по модульному принципу, що гарантує ряд переваг при експлуатації і технічному обслуговуванні. Структурна схема вимірювальної частини системи приведена на рис. 5.

Модулі аналогового вводу мають розширений динамічний діапазон і роздільну здатність, яка відповідає 16 бітам. Підключення модулів організовано за допомогою універсальної витой пари провідників, електроживлення — від джерела напруги постійного струму $10 \dots 30$ В.

Вибір використовуваних модулів і їх розташування визначаються користувачем і можуть бути змінені шляхом додавання чи видалення модулів. Використання цифрового промислового інтерфейсу RS-485 для зв'язку з комп'ютером управління і передачі даних забезпечує підвищену заводозахисність всієї системи.

Модулі збору даних мають гальванічну розв'язку по колу живлення і сигнальним лініям, що особливо важливо з точки зору заводозахисності і іскробезпеки. Число під'єднаних до лінії (витой пари) модулів

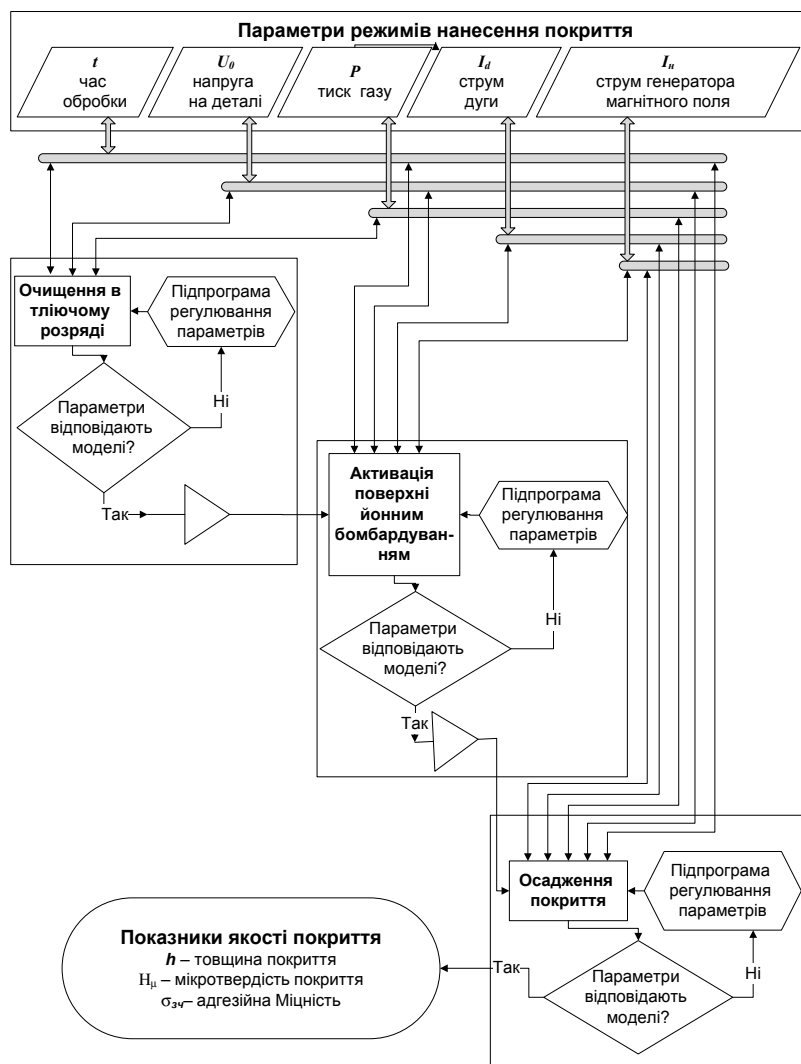


Рис. 4. Структурна схема технологічного процесу нанесення покриття

може досягати 32 од. без додаткового обладнання. При необхідності подальшого розширення системи число модулів збільшують, встановлюючи спеціальний блок розширення, так званого повторювача (Repeater). Модулі дозволяють проводити збір вимірювальної інформації на відстані до 1 км від персонального комп'ютера, а використання блоків Repeater збільшує відстань на 1 км на кожен блок.

Взаємодія між комп'ютером управління і модулями збору інформації реалізується шляхом формування простих команд в форматі ASCII. Архітектура системи побудована по стандарту OPC, що дозволяє використовувати вимірювальні модулі різних виробників.

Встановлене на комп'ютері управління прикладне програмне забезпечення виконує наступні функції:

- обмін даними між комп'ютером управління і пристроями для вимірювання (контролерами, модулями вводу-виводу, аналоговими датчиками, пірометром) по каналам вводу-виводу, із підтримкою протоколів обміну;
- ведення бази даних реального часу для вимірюваних параметрів;

- архівування історії зміни вимірюваних параметрів;
- відображення значень вимірюваних параметрів на моніторі комп'ютера управління у вигляді динамічних елементів мнемосхем, а також в числовому, табличному і графічному видах;
- обробка подій, розрахунок швидкості конденсації, швидкості зміни температури деталі, остаточного тиску та ін.

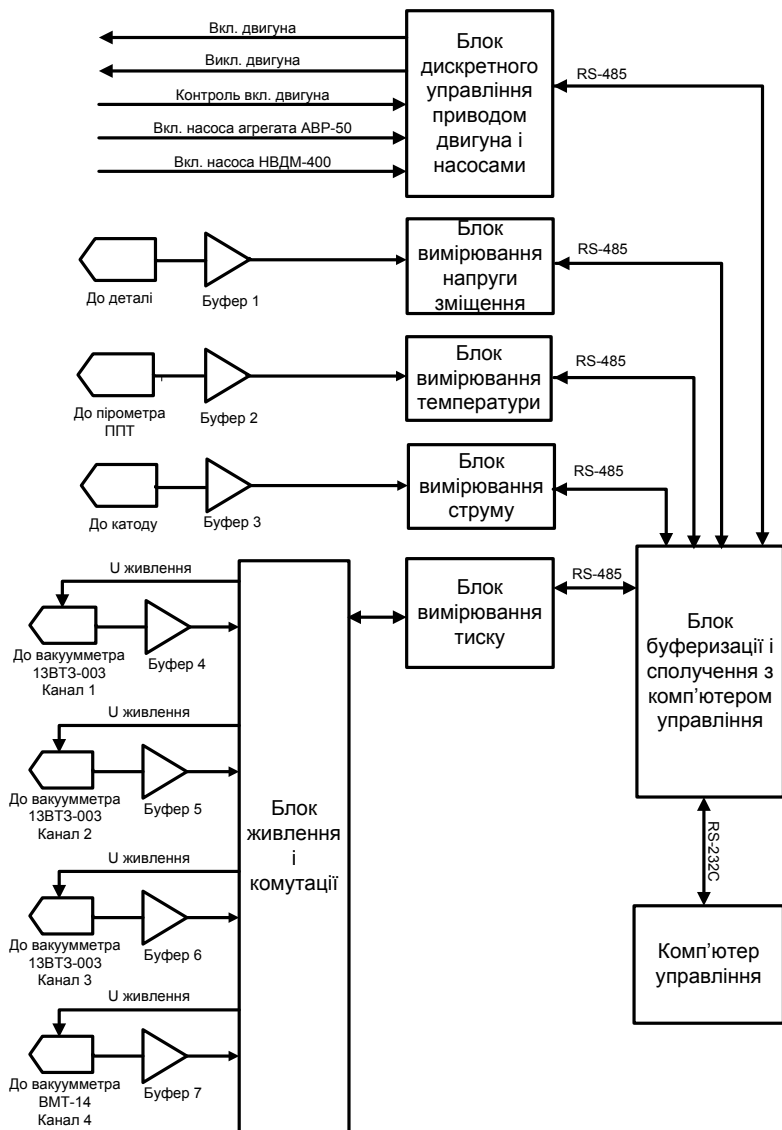


Рис. 5. Структурна схема вимірювальної частини системи

5. Висновки

Розроблено автоматизовану систему для вакуум-дугового нанесення покриттів.

1. Розроблено дванадцятиканальну автоматизовану систему для вакуум-дугового нанесення покриттів.
2. Система розроблена на сучасній елементній базі і дозволяє проводити вимірювання параметрів

процесу вакуум-дугового нанесення покриттів, а саме:

- тиск в вакуумній камері на етапі підготовки установки до роботи і в робочому циклі;
 - струм вакуумно-дугового розряду на катоді;
 - напругу зміщення;
 - температуру деталей.
3. Система дозволяє обчислити оптимальні параметри технологічного процесу і генерувати відповідні впливи управління режимами напilenня покриттів для забезпечення встановлених показників якості покриття.

В майбутньому планується використання системи для дослідження і відпрацювання технологічного процесу плакування порошків вакуумно-дуговим методом.

Література

1. Mitterer, C. Thermal stability of PVD hard coatings [Текст] / С. Mitterer, P.H. Mayrhofer, J. Musil // Vacuum. – 2003. – V. 71, No 1 – 2. – P. 279 – 284.
2. Carvalho, N. Stress analysis and microstructure of PVD monolayer TiN and multilayer TiN/(Ti,Al) N coatings [Текст] /N. Carvalho, E. Zoestbergen, B.J. Kooi, et al. // Thin Solid Films. – 2003. – V. 429, No 1. – P. 179 – 189.
3. Копейкина, М. Ю. Повышение работоспособности режущих инструментов, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, вакуумно-дуговыми покрытиями [Текст] / М. Ю. Копейкина, С. А. Клименко, Ю. А. Мельничук, В. М. Береснев // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 5. – С. 87 – 97.
4. Стухляк, П. Д. Теорія інформації (інформаційно-вимірювальні системи, похибки, ідентифікація) [Текст] / П. Д. Стухляк, О. В. Иванченко, А. В. Букетов, М. А. Долгов. – Херсон: Айлант, 2011. – 371 с.
5. Булгаков, Э. Б., Голованов В. В., Климов А. В. Информационно-измерительная система контроля состояния авиационных и общемашиностроительных редукторов, приводов и коробок передач [Текст]. – М.: ЦИАМ, 1990. – 28 с.
6. Ицкович, Э. Л. Способы взаимосвязи и интеграции отдельных систем автоматизации на предприятиях [Текст] / Э. Л. Ицкович // Датчики и системы. – 2004. – №1 (56). – С. 56 – 62.
7. Смирнов, И. В. Некоторые особенности ионно-плазменной металлизации керамических порошков [Текст] / И. В. Смирнов // Современная электрометаллургия. – 2011. – № 2. – С. 56 – 60.

Abstract

The developed automated system for vacuum-arc dusting is based on the modern element base and allows the long-term continuous measurement of the arc current, of the residual pressure in the vacuum chamber, of the temperature of parts, of voltage, of the simulation of dusting, as well as determination of the optimal values of controlled parameters and accumulation and storage of measurement results.

During the operation of a vacuum-arc dusting unit, the process parameters and their impact on the quality of coating were studied. The measurement of pressure in the vacuum system of the unit was performed using three vacuum gauges 13BT3-003 and magnetic-discharge locking vacuum gauge ВМБ-14. The countdown of pressure was displayed on a computer monitor and recorded by the universal registration unit with the ADC. Temperature of the surface of details was controlled by a pyrometer BSA with secondary measurement transmitter.

The application of the digital industrial interface RS-485 for connection to a control computer and for data transmission provides increased noise immunity of the entire system. The system architecture is based on standard OPC, which allows the application of measuring modules of different manufacturers.

The automated system allows the measurement of parameters of the vacuum-arc dusting, as well as the calculation of the parameters of the process and generation of the appropriate control influences by modes of dusting

Keywords: vacuum-arc dusting, coating, standard OPC, SCADA

Друкowana плата – це пластина з діелектрика, на якій з'єднані між собою компоненти електронних приладів. Один з кінцевих етапів виробничого процесу – забезпечення покриття поверхні відкритих частин плати. Покриття поверхні відіграє важливу роль з двох причин: воно захищає мідне покриття підкладки від корозії, а також створює поверхню, до якої припадають компоненти наступних етапів складання

Ключові слова: покриття поверхні, друкowana плата, вирівнювання припою гарячим повітрям, імерсійне золочення по підшару нікеля, органічне захисне покриття

Печатная плата – это пластина из диэлектрика, на которой соединяют между собой компоненты электронных приборов. Один из конечных этапов производственного процесса – обеспечение покрытия поверхности открытых частей платы. Покрытие поверхности играет важную роль по двум причинам: оно защищает медное покрытие подложки от коррозии, а также создает поверхность, к которой припаиваются компоненты следующих этапов сборки

Ключевые слова: покрытие поверхности, печатная плата, выравнивание припоя горячим воздухом, иммерсионное золочение по подслою никеля, органическое защитное покрытие

УДК 004.89

COMPARATIVE ANALYSIS OF SURFACE FINISHES OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

Partinova Simona
PhD Student
Faculty of Electronic Engineering and Technologies,
Technical University - Sofia,
8 Kliment Ohridski Blvd.
1000 Sofia, Bulgaria,
E- mail: simona34@abv.bg

1. Introduction

Surface finishes on printed circuit boards are applied in the production process of PCBs to pads and other elements of the outer layers, not covered with protective mask.

Purpose of the application of such finishes is to provide adequate soldering surface for assembly on the PCB copper layers and to protect from oxidation and wear.

The choice of an appropriate finish is determined by the technology of assembly in the process of population of bare boards and main parameters for such choice are solderability and finish's compatibility with the solder paste. If this finish is subject to mechanical damage, one must carefully select its coefficient of friction, wear resistance, and mechanical strength. When there are

pads and other non-covered electrically conductive areas that would provide for various functions on a single board, various finishes can be applied, or only one as a compromise in regard to reliability.

There is a number of standards that define surface finishes and among most important of them are:

- J-STD-003 "Solderability Tests for Printed Boards": This standard prescribes test methods, defect definitions and illustrations for assessing the Solderability of printed board surface conductors, attachment lands, and plated-through holes; [1]
- IPC 2221 "Generic Standard on Printed Board Design": This standard is intended to provide information on the generic requirements for printed board design. [2];

- IPC-7095A “Design and Assembly Process Implementation for BGAs”: focuses attention on the design of PCBs using BGA packages [3].

In summary, the main purpose of surface finishes is to protect the copper surface of the pads from oxidation and wear, and to provide high quality soldering of electronic components. This purpose leads to the following requirements: good material coverage with a solder paste, long life of solderability, good resistivity to moisture.

Main materials used for surface finishes are metals and their alloys. The only exception is OSP which is special not only because it is organic, but also because of his ability to dissolve and form a bond in the process of soldering.

The following five surface finishes are considered as the most popular at the present moment:

2. HASL (Hot Air Solder Leveling)

Tin-lead HASL has been the standard surface finishing method used in the manufacture of double-sided and multi-layer boards due to its excellent solderability during assembly.

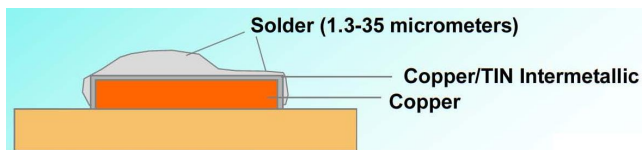


Fig. 1. Tin-lead HASL

Until recently, this type of finish was primarily used in the covering of printed circuit boards due to the excellent performance of the soldering tin-lead alloy and its relatively low price. Recently it lost its relevance because of increasing use of lead-free boards and because of increasing demands on the density and size of the contact pads for components.

As a result of this process pads are covered with eutectic alloy layer of lead and tin.

Typical coating thickness specifications are:

- 2.5 μm to 25 μm with an average;
- 1.3 μm to 2.5 μm on discrete pads (average around 2 μm);
- 3.8 μm to 10 μm coverage on large surface like ground plane. [4]

During the HASL process, solder mask-coated boards are first cleaned and etched to prepare the contact surfaces for the solder. Following the application of flux to a board, a layer of solder is applied to the copper surfaces by submersing the panel in molten solder. The excess solder is then blown away from the board by an air knife, leaving a thin, protective layer of solder on the exposed circuitry. [5]

The process can be operated either in a horizontal, conveyorized mode, or in a vertical, non-conveyorized system. During vertical mode process the panel is immersed vertically in molten solder at a temperature of $\sim 260^\circ\text{C}$, then rapidly removed and any redundant solder is removed with a blow coming from hot air jets known as "air knife".

Finishes of pads with an orientation different from the airflow are with different thickness: those perpendicular to the "air knife" are thinner than those parallel to it, as the airflow blows board's plane at 90° angle. In this process, the bottom of the board remains in the bath of molten solder for 4-5 seconds longer than the nominal time, but this acceler-

ates the diffusion of copper and can lead to contamination of the solder. Usually this method is applied only for boards that do not provide for SMT components placement. [6]

During the horizontal mode tinning process, as the boards move along conveyor and passes through the solder bath, then it is blown with air jet. Uniform thickness of coating is provided here by the location of the conveyor plate and the hot air knife angle of 45° .

Flux selection is critical to the result of this process. The flux is responsible for creating the surface conditions required to achieve a high quality solder deposit on the PCB. Fluxes are available in a variety of formulations with differing characteristics such as viscosity, foam level, acidity, volatile content, and type of activator. The type of HASL flux ultimately selected will depend on the type of chemicals and processes used in previous manufacturing stages, on the type of solder mask, and the solder deposit characteristics required.

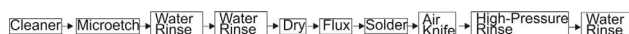


Fig.2 Horizontal mode tinning process

The main advantages of this process are excellent solderability, low price, and long shelf life.

A major disadvantage of the HASL surface finish however is its varying thickness and non-flat pads caused by the accumulation of solder, especially on large metal areas. Using HASL is not recommended when designed board contains components smaller than 0603. [7]

The HASL process in non- RoHS compliant.

3. Electroless Nickel/Immersion Gold (ENIG)

The Electroless Nickel/Immersion Gold finish consists of a relatively thick layer of nickel (1-8 μm) followed by a thin ($\sim 0,05-0,2 \mu\text{m}$) protective layer of gold.

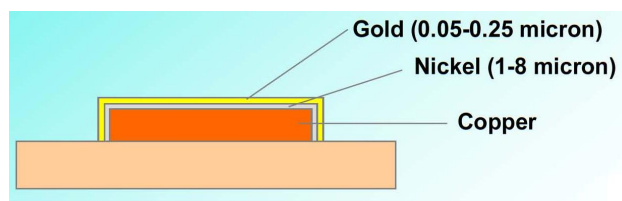


Fig.3 The Electroless Nickel/Immersion Gold finish

The Nickel/Gold process is applied through the deposition of an initial layer of nickel followed by a thin, protective layer of gold, onto the exposed copper surfaces of a PCB. Nickel characteristics such as hardness, wear resistance, solderability, and uniformity of the deposit make this a desirable surface finish. The thin layer of immersion gold preserves the solderability of the finish by preventing oxidation of the highly active nickel surface. Nickel/Gold finishes typically can withstand thermal excursions (heating cycles) without losing solderability.

Immersion gold can be applied to cleaned copper or to a previously applied sub-layer of nickel. Nickel-plating is done in slightly acidic solution that allows the deposit of corrosion-resistant alloy of nickel and phosphorus (8-10% phosphorus). Tin-less grainy and low-porous layer of gold applied to the surface provides good solderability and

protects nickel from oxidation. The nickel serves as a barrier between the gold and copper at preventing their mutual diffusion and subsequent oxidation of copper.

After the application of ENIG, the use of an organic flux or such one that does not require washing after soldering is recommended.

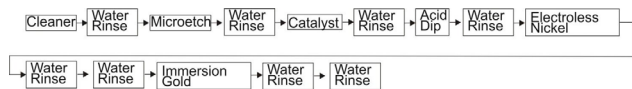


Fig.4. The Nickel/Gold process

The process is performed in a vertical, non-conveyorized mode which reduces productivity and increases production cost.

The application of gold over nickel-plated surface is possible due to the controlled oxidation of nickel (exchange reaction). Due to the difficulty in controlling corrosion of nickel, corrosion could penetrate deeper and closer to the copper layer. This should create problems with solderability and durability at the solder joint. As shown in tests done on BGA packages, solders based on tin-lead alloy and applied onto a copper surface are more resistant and stable than solders based on nickel compounds [8].

Due to the different coefficients of thermal expansion, especially when working with large sizes packages can be obtained stress in solder joints, which can destroys the solder joints. The designer selects the PCB material should bear this in mind that if the device contains BGA or other large component size, the nickel layers should be avoided.

- The main advantages of this finish are:
- Excellent corrosion resistance;
- Good for aluminum wire bonding;
- Excellent flatness for fine-pitch technology;
- Excellent solderability;
- Excellent shelf life.

It should be noted that most materials applied by chemical or electrochemical method is suitable for lead-free soldering, thereby meeting the RoHS Directive. But a major disadvantage is that the condition of high temperature and humidity makes solder joints easily destroyable.

The most common defects observed in the PCB, using ENIG process is the formation of porous gold-plating, “fragile” failures on large BGA packages, extraneous nickel plating and the effect of gold called “black pads” which is brittle solder joints.

The formation of a porous layer of finish takes place when the gold atoms do not form a solid crystal lattice, thereby allowing nickel atoms to migrate and reduce the quality of solder joints.

“Fragile gold” occurs when in the outside copper layers of the board are dissolved large amounts of gold, which forms brittle intermetallic compound $AuSn_4$, at which borders solder joints are easily broken. This usually can be controlled by maintaining level of gold in binder not to exceed 4% by weight and thickness should not be greater than 0,064 μm . The way to avoid this problem is reported in standard J-STD-001. When a component with leads covered with Sn/Au alloy is to be soldered, the technological process of board assembly must include a preliminary step before soldering - dipping component’s leads in solders until partial dissolution of gold.

The problem was first identified on BGA components. An open or fractured solder joint sometimes occasionally

appears after board assembly on a BGA pad. The solder had wet and dissolved the gold and formed a weak intermetallic bond to the nickel. This weak bond to the nickel readily fractures under stress or shock, leaving an open circuit. The incidence of this problem appears to be very sporadic and a low ppm-level problem, and its occurrence has been very unpredictable. The problem has occurred on solder joints of other types of components, such as QFP’s. In spite of their dissimilar features, leads on the QFP components, the solder joint does not experience the same stress as on BGA joints, but defect can still occur. The solder joints can be touched-up without removing the component and the defect may not manifest. A BGA solder joint cannot be touched-up without the component being removed. After the BGA component is removed, a ‘black pad’ is observed at the affected pad site. This black pad is not readily solderable, but it can be repaired. “Black pads” defect appears to occur more frequently on boards on finer pitched components with smaller pads, than on larger pads. [9]

Unfortunately, the mechanisms leading to this defect are not adequately studied, but studies show that it occurs in the presence of residual phosphorus in the galvanizing bath.

According to an article by Dewey Benson, published in the journal “Solid State Technology” [9], the use of limited soldermask is recommended in the design of boards with BGA components (non solder mask defined pads - NSMD).

4. Immersion Silver (ImAg)

The Immersion Silver finish consists of a silver layer and a protective organic coating.

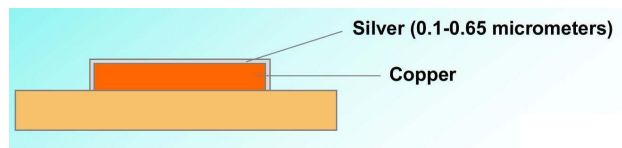


Fig.5. Immersion silver finish

The Immersion Silver finish is produced by the selective displacement of copper atoms with silver atoms on the exposed metal surface of the PCB. To minimize silver tarnishing, an organic inhibitor is co-deposited to form a hydrophobic layer on top of the silver.

Technology consists of double pre-cleaning and a silver bath. To prevent migration of silver on the PCB, silver is applied together with an organic compound, which not only protects it from migrating, but also from oxidation as it plays the role of antioxidant preservative coating.

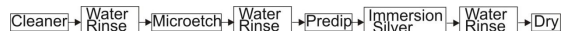


Fig. 6. The Immersion Silver finish process

The thickness of the silver coating is usually in the range 0,08 to 0,65 μm , which is achieved by keeping the board in a silver bath for 1-4 minutes. The small thickness of this finish decreases production costs. In the process of placing components on the board, silver completely dissolves in solder paste creating homogeneous alloy of Sn/Pb/Ag directly onto copper surface, which gives very good solder reliability, including when soldering BGA components. [10]

The reliability of this finish exceeds that of the OSP, but is lesser than that of ENIG.

During their storage and use, already assembled boards can acquire a yellowish tinge, which is the result of environment pollution with sulfates or chlorides. This does not affect boards' properties.

The main advantages of Immersion Silver finish are:

- Excellent flatness for assembling components with fine-pitch technology;
- Do not contains nikel;
- High Stability;
- Long shelf life;
- Process control simplicity;
- Replenishable Reduced make-up costs.

The disadvantages are high coefficient of friction and discoloration due to reaction with sulfur in the air which doesn't impact solderability.

5. Immersion Tin (ImSn)

The Immersion Tin finish displaces surface copper.

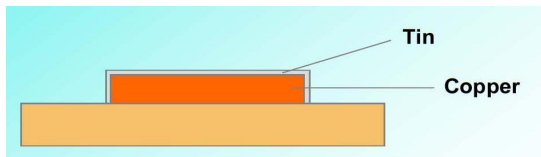


Fig.7. The Immersion Tin finish

The Immersion Tin process utilizes a displacement reaction between the board's copper surface and stannous ions solution to reduce a layer of tin onto the copper surfaces of the PCB. The process may use a conveyerized system or it may be used in a vertical, non-conveyerized mode. Immersion Tin surfaces are compatible with SMT, flip chip, BGA technologies, and typical through-hole components, but it is not a wire-bondable finish.

There are a number of different Immersion Tin systems available, including those based on methane sulfonic acid, sulfate, chloride, and fluoborate compounds. Tin surfaces are compatible with all solder masks, have a shelf life of at least one year, and can typically withstand a minimum of five thermal excursions during assembly.

The process of applying immersion tin is another alternative to HASL and it is a process similar to those used in finishes with immersion silver, with the exception of the long residence time in the bath (about 10-15 minutes). We also conducted additional cleansing to flush away tinned electrolytes. Same as with the case of bath used with ENIG plating process, so is the bath for tin-plating an unfavorable environment for a protective mask on the PCB, so the process of applying these masks should be the last application of immersion tin. Layer thickness is in the range 0,6 - 1,5 μm. There is need to perform tests for solderability of the finish. The tin is a good soldering surface for SMT components, but the amount of heating cycles should be limited. The duration of the process of applying immersion tin is about 35 minutes.

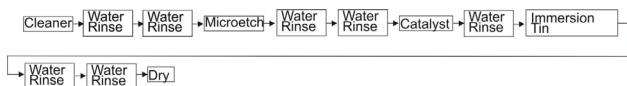


Fig. 8. The Immersion Tin process

The tin used as finish is characterized with two main issues: the formation of so-called “whiskers” of tin and the ability to form intermetallic layers which grows with time and heat cycles.

Tin “whiskers” (length 150 μm) are thin crystal fibers, which can provoke occurrence of bridges on electrical board layers. The process of formation has not been completely studied and there is no simple answer to the question about their origin or how to prevent their occurrence. It could be said that the main cause for whiskers appearance is increased tension in the layer of tin, which occurs as the result from the formation of intermetallic structures, oxidation, and corrosion, cyclic changes in temperature or mechanical stress. [11]

The formation of intermetallic compounds such as Cu_xSn_y can cause worsening solderability. Usually, into the solder joints, intermetallic layers act as a mechanical connection, but since the thickness of the tin coating is not greater than 1,5 μm, in the formation of these compounds, this thin layer is rapidly absorbed. To avoid these disadvantages, a technology for the application of different barrier underlayers, such as metalloorganic is used. These underlayer burn during soldering.

Other serious problems are limited capability of high density boards and limited endurance to multiple assembly/disassembly of components.

6. Organic Solderability Preservative (OSP)

The OSP finish is an organic (non-metallic) film that bonds to exposed copper.

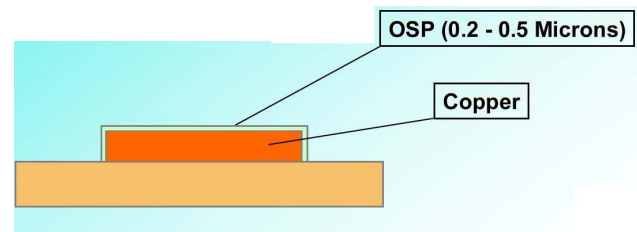


Fig.9. The OSP finish

The OSP finish is an anti-oxidant film applied to exposed copper surfaces that reacts with copper to form an organometallic layer. This coating is nearly invisible, and may be applied either as a thick benzimidazole (4 to 20 microinches / 0.1 to 0.5 microns) or thin imidazole [monomolecular (30 to 100 angstroms)] layer.

OSP, consisting of an organic layer located on the copper surface of the outside layers of the boards and protecting them from oxidation are used as an alternative to metal finishes. [12]

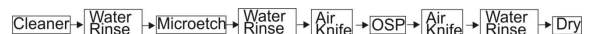


Fig. 10. The OSP process

The OSP process typically is operated in a horizontal, conveyerized mode but can be modified to run in a vertical, non-conveyerized mode. OSP processes are compatible with SMT, flip chip, and BGA technologies, and with typical through-hole components, but the OSP finish

cannot be wirebonded. OSP surfaces are compatible with all soldermasks and have a shelf life of up to one year.

The advantages of this finish are:

- Lower cost.
- Reduced safety and environmental concerns;
- No board warp or twist. Higher yields;
- Process/thickness control. Higher yields;
- Applicable to a wide range of assembly requirements;

Fast, economical installation. Multiple Final Finish capability in a single line.

This finish has some disadvantages though, such as degradation at high temperature and because of this, limited amount of solder cycles; sensitivity to improper storage and transportation (can be easily scratched, and is sensitive to fingerprints), limited choice of flux, sensitivity to solvents used to clean the boards in case of incorrect application of the binder paste (alcohol-based solvent wash off 75% of the coverage, while those based on water wash off 15%).

Reference

1. Standart: J-STD-003 "Solderability Tests for Printed Boards";
2. Standart IPC 2221 "Generic Standard on Printed Board Design";
3. Standart IPC-7095A "Design and Assembly Process Implementation for BGAs" ;
4. "Alternative Technologies for Surface Finishing" Pollution Prevention Information Clearinghouse and U.S. Environmental Protection Agency, website: www.epa.gov/opptintr/library/ppicdist.htm
5. Beauvillier, Luc; Holle Galyon; Matt Stevenson; Darren Hitchcock – "PWB Surface Finishes" –SMTA Meeting, March 16th, 2005;
6. Kermit Aguayo. "Selection of PWB finish" - Process Sciences Inc., 2008
7. Beauvillier, Luc – "The Quest for the Ultimate Surface Finish". Published in "Printed Circuit Design" magazine; Jun 2002, Vol. 19, Issue 6, p 27;
8. F. D. Bruce Houghton. "Solving the ENIG Black Pad Problem: An ITRI Report on Round 2" PWBRC;
9. Duane Benson. "Black Pad – And Then Some SMT", smt.pennnet.com;
10. "The Quest for the Ultimate Surface Finish", printed circuit design – June, 2002. www.merix.com;
11. "Surface Finish Options" Merix Corporation. www.merix.com;
12. Solberg, Vern. "Specifying Base Materials for SMT Circuit Boards", Part 3 SMT – September, 2005

Abstract

This article describes surface finishes which are the most common and well-established at present time at the assembly operations of electronic products. The process of further improvement of these finishes is continuing, and actively develops unlike their less common counterparts - different finishes based on palladium and galvanically deposited NiSn and SnAg finishes. Outside of the scope of this article remain important issues, such as a detailed examination of a number of lead-free coatings and methods for solderability testing, measuring the surface resistance of the coating and the shear strength of solder joints in compliance with international standards. These issues will be covered in future articles on these subjects.

Key words: surface finishes, PCB, HASL, ENIG, OSP

ОТ АВТОРА

Я, Лебедев Владимир Владимирович, автор статьи "Ударопрочные композиции на основе полидициклопентадиена", опубликованной в «Восточно-Европейском журнале передовых технологий» №5/10(59) (с. 21-23) приношу свои извинения Аширову Роману Викторовичу (Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия) в связи с тем, что в названной статье не было указано его авторство в отношении результатов экспериментальных данных. Прошу считать этот факт недостаточной внимательностью при подготовке мною статьи для опубликования.

Прошу рассмотреть возможность подачи статьи в новой редакции, после согласования мною всех неучтенных аспектов с Ашировым Романом Викторовичем - представителем коллектива учёных Национального исследовательского Томского политехнического университета, принимавших участие в проведении экспериментальных работ и получении результатов экспериментов, приведенных в опубликованной статье.