

что молекулы присадки подвергаются деструкции с разрывом связей Si–O, в результате чего образуются низкомолекулярные структуры, способные к уплотнению и термодеструкции. Установлено, что образуются кислородсодержащие соединения в результате окисления всех типов углеводородов и деструкции молекул антипенной присадки.

**Ключевые слова:** антипенная присадка, старение масла, деструкция молекул, кислородсодержащие соединения, окисление углеводородов.

*Кузнецова Елена Яковна, доктор педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой теоретической та прикладной фізики, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: elena2055@ukr.net.*

*Кузнецова Елена Яковлевна, доктор педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической и прикладной физики, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.*

*Kuznetsova Olena, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: elena2055@ukr.net*

УДК 622.785:629.5

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51426

Казимиренко Ю. О.,  
Лебедева Н. Ю.

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТЯ З ПОРОШКІВ БРОНЗИ ТА БАБІТУ МЕТОДОМ ГАРЯЧОГО ПРЕСУВАННЯ

*Досліджено можливість формування покриття з порошків бронзи та бабіту на поверхні сталевого виробу методом гарячого пресування. Розроблено експериментальну установку, досліджено структуру та властивості покриття. Розроблений спосіб на відміну від інших дозволяє використовувати в якості сировини здрібнену стружку та може бути застосований для виготовлення та ремонту одиничних виробів суднової запірної арматури.*

**Ключові слова:** гаряче пресування, порошки бронзи, стружка бабіту, покриття.

### 1. Вступ

Застосування порошкових покриттів є одним з перспективних напрямів відновлення зношених виробів. Протягом експлуатації запірні арматури вантажних систем суден-хімовозів, плавучих споруд, які призначені для збирання та зберігання небезпечних речовин, піддається інтенсивному зношуванню, що може призвести до аварійних ситуацій [1, 2]. Из-за зростання цін на енергоносії та металопродукцію стає необхідним впровадження нових ремонтних технологій, які зможуть забезпечувати економію матеріально-технічних витрат.

### 2. Аналіз досліджень та публікацій

Традиційно для виготовлення запірних клапанів, фланців, кранів, вентилів застосовують литі деталі з міді (марки М1, М2, М3), мідно-нікелевих сплавів типу МНЖ, бронзи (марки Бр.АМц9-2, Бр.О10, Бр.О19) [3]. Серед перспективних методів виготовлення арматурних виробів у суднобудуванні основна перевага надається технологіям з'єднання різномірних матеріалів та сплавів: гарячій прокатці, зварюванню вибухом, методам порошкової металургії, які дозволяють отримувати принципово нові композиційні матеріали з новими властивостями [4, 5]. Застосування методів газотермічного напилення [6] для формування нових та відновлення зношених виробів не є рентабельним. Енергоєфективним та продуктивним є спосіб електроконтактного прип'якання [7], оснований на процесі нагрівання відновлюваної деталі та металевого порошку за допомогою пропускання електричного струму. Обмеження цього способу поля-

гає у вимогах до дисперсності порошкових матеріалів. В роботі [8] показано можливість відновлення зношених валів електроконтактним приварюванням сталевих дрозів з порошковим шаром. Не звертаючи уваги на явні переваги, даний спосіб не є рентабельним для відновлення одиничних деталей (фланців, кранів, вентилів тощо). В роботі [9] показано, що перспективними є методи прип'якання металевих порошків до поверхні деталей, але формування надійного з'єднання потребує використання спеціальних способів активації, зокрема хімічної, температурної та силової. Застосування тиску пресування дозволяє суттєво скоротити час, обмежити додавання хімічних активаторів, але вимагає застосування складного устаткування. Нові тенденції розвитку технологій спрямовані на зменшення матеріальних витрат за рахунок більш раціонального використання сировини. Альтернативним напрямком є застосування в технологіях порошкової металургії відходів виробництва [10]. При обробці заготовок з кольорових сплавів основну масу відходів складає стружка, подальша переробка якої за допомогою металургійних методів не є рентабельною через значний відсоток вигару металів та високу енергоємність. Але в науковій літературі відсутні публікації, які присвячені формуванню покриттів на поверхні виробів методами порошкової металургії з використанням відходів виробництва.

### 3. Об'єкт, мета та завдання досліджень

*Об'єкт досліджень* — фізико-хімічні процеси, які супроводжують формування покриття методом гарячого пресування.

*Мета роботи* — дослідити можливість та встановити закономірності формування покриття на поверхні сталевих виробів, використовуючи порошки, отримані з відходів виробництва.

Поставлені задачі включають вибір складу, розробку обладнання, вибір технологічних режимів, дослідження особливостей структуроутворення та властивостей сформованого покриття.

#### 4. Результати досліджень структури та властивостей покриття

**4.1. Матеріали, обладнання та методики проведення досліджень.** В основу вибору матеріалів покладено досвід застосування порошків бронзи марки Пр-Бр-АМц9-2 (ГОСТ 28377-89) та бабіту марки Пр-Б-83 (ТУ 14-22-91-95) з середнім розміром фракції 40 мкм та 60 мкм відповідно для формування бронзобабітового псевдосплаву методом гарячого пресування [11]. Наступним етапом розробки є використання механічно здрібненої стружки замість порошку бабіту, що дозволить знизити собівартість виготовлення та ремонту виробів в середньому на 25 %. В технологічному процесі використано стружку бабіту здрібнену до дисперсності 60...100 мкм, яка залишається при виконанні ремонтно-відновлювальних робіт підшипників, але можливе також використання відходів від олов'яних припоїв.

Для проведення досліджень розроблено експериментальну установку (рис. 1), яка складається з шахтної лабораторної печі електроопору вертикального завантаження з окислювальною атмосферою, пресуючого пристрою та блоку управління. Особливість установки полягає у можливості вимірювання за допомогою індикатору часового типу величин усадки, що дозволяє регулювати процес при заданих режимах тиску та при необхідності зупиняти його.

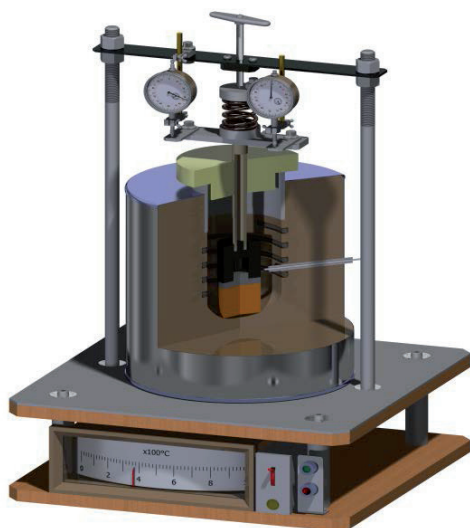


Рис. 1. Експериментальна установка

Для формування покриття на поверхні зразку зі сталі 20 (ГОСТ 1050-88) застосовано графітову прес-форму із термічно необробленого графіту марки МПГ-6 (ТУ 48-4807-29700), яка протягом спікання створює атмосферу СО у герметично зачиненій прес-формі та дозволяє здійснювати процес в одну техно-

логічну стадію, використовуючи окислювальну атмосферу. Спосіб формування порошкового покриття включає приготування порошкової суміші, нанесення її на вилужену поверхню сталевого виробу, який розміщується у прес-формі. Тиск пресування прикладається на стадії проміжного прогрівання при температурі 70...90 °С, яку потім підіймають до температури ізотермічної витримки 450...550 °С. Температурний діапазон обрано на основі аналізу діаграм стану Cu-Al-Mn та Sn-Sb [3]. Значення тиску 0,5...1,5 МПа підбрано експериментально на основі досвіду та рекомендацій, викладених в роботі [11]. Вибір об'ємного вмісту компонентів бронзи та бабіту у складі формувальної суміші розглядали, виходячи з умов утворення рідкої фази. Введення рівних об'ємів сприяє формуванню рівномірної структури матеріалу з утворенням твердої та м'якої фаз; таким чином обрані компоненти змішували у рівних об'ємних пропорціях. Поряд з тиском пресування процес активації включає лудіння поверхні сталевого виробу, на яку наноситься покриття.

Дослідження мікроструктури проведено за допомогою методів оптичної металографії з використанням мікроскопів ММР-2Р і БИОЛАМ-И, рентгеноструктурний аналіз, виконаний на установці ДРОН-3, зйомка дифрактограм відбувалась у випромінюванні  $MoK(\alpha = 0,17069)$ . Мікротвердість фаз визначали за допомогою приладу ПМТ-3 при навантаженні на індентор 20 г. Міцність зчеплення покриття з металом-основою визначали за ГОСТ 6996-66, використовуючи для випробувань розривну машину ИР5057-50. Інтенсивність зношування досліджували за схемою ролик-колодка.

**4.2. Характеристика процесів формування структури та властивостей.** На поверхні зразку зі сталі 20 сформовано покриття з щільністю 7600 кг/м<sup>3</sup> та відкритою пористістю до 5 %, структура якого складається з рівномірно розташованої твердої фази бронзи ( $H_{\mu 20} = 1288$  МПа) та м'якої фази бабіту ( $H_{\mu 20} = 383$  МПа) (рис. 2), що забезпечує формування зносостійкості матеріалу: інтенсивність зношування при навантаженні 28 МПа складає  $34,7 \cdot 10^{-6}$  мкм/м. Обрані температурні режими не викликають структурних змін у зразках зі сталі 20. Формування міцного з'єднання сталь 20 — покриття ( $\sigma_{\text{відр}} = 60$  МПа) здійснюється за рахунок дифузійних процесів на поверхні поділу із шаром олова.

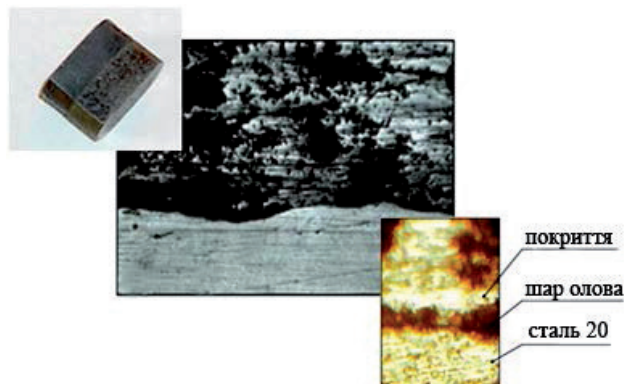


Рис. 2. Мікроструктура нерознімного з'єднання ( $P = 0,7$  МПа,  $t = 450$  °С,  $\tau = 30$  хв),  $\times 200$

Експериментальні роботи довели, що формування покриття неможливе без попереднього лудіння зразків.

Дослідження мікроструктури показали, що олов'яний шар після напикання покриття має дрібнокристалічну структуру та не відшаровується. За результатами рентгеноструктурного аналізу фрагментів визначено наявність хімічного з'єднання  $Cu_2Sn$ . Доведено, що введення до формувальної суміші дрібної стружки замість порошку не впливає на механізм формування структури: під час виходу на режим ізотермічної витримки бабітова складова утворює рідку фазу, яка інтенсифікує усадочні процеси. Результати вимірювання деформацій формувальної суміші після обробки під час гарячого пресування представлені у вигляді кінетичних кривих усадки (рис. 3). Експериментальні дослідження показали, що усадочні процеси починаються при температурі  $70\text{ }^\circ\text{C}$  та набувають максимальної швидкості ( $4\text{ мм/хв}$ ) в діапазоні  $240\text{...}250\text{ }^\circ\text{C}$ , що відповідає температурі початку плавлення бабіту. Тривалість усадки не перевищує  $30\text{...}40\text{ хв}$ , що свідчить про закінчення процесу формування покриття.

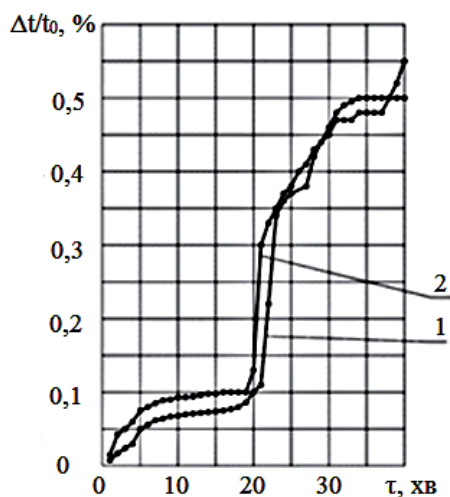


Рис. 3. Кінетичні криві усадки при ізотермічній витримці: 1 —  $t = 700\text{ }^\circ\text{C}$ ; 2 —  $t = 450\text{ }^\circ\text{C}$

У порівнянні з одержанням бронзобабітового псевдосплаву [11] наявність шару олова сприяє зниженню температури ізотермічної витримки до  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . Результати експериментів показали, що при зростанні температури до  $700\text{ }^\circ\text{C}$  із-за розплавлення бабіту величина усадки збільшується, що призводить до бракування. Таким чином, на основі детального дослідження усадочних процесів рекомендовано температуру прикладання тиску та ізотермічної витримки, тривалість процесу спікання. Варіюючи висоту формувальної суміші та розраховуючи по кінетичним кривим величину усадки можна регулювати товщину шару від декількох міліметрів до декількох сантиметрів.

Розроблена технологія може бути застосована як для виготовлення нових, так і відновлення зношених деталей суднової запірної арматури вантажних систем (фланців, кранів, вентилів, тощо). Застосування в технологічному процесі відходів виробництва спрямовано на рішення проблем, пов'язаних з дефіцитом сировини через подорожчання цін на внутрішньому та зовнішньому ринках. Результати досліджень спрямовані на розвиток методу гарячого пресування, який, за допомогою встановлених закономірностей та розробленого обладнання, дозволяє

здійснювати формування покриття на поверхні сталевих виробів, використовуючи відходи виробництва.

## 5. Висновки

1. Досліджено можливість формування покриття методом гарячого пресування суміші, виготовленої з порошку бронзи марки ПР-Бр-АМц9-2 та дрібної стружки бабіту марки Б83.
2. Розроблено установку, яка дозволяє здійснювати гаряче пресування, спікання під тиском, допресовування шарів при формуванні композицій, формування порошкових покриттів на поверхні виробів.
3. Обрано технологічні операції та режими, які включають проміжне прогрівання при температурі  $70\text{...}90\text{ }^\circ\text{C}$ , прикладання тиску  $P = 0,5\text{...}1,5\text{ МПа}$  та ізотермічну витримку під тиском в діапазоні температур  $450\text{...}550\text{ }^\circ\text{C}$ .
4. Формування структури покриття поєднує процеси рідкофазного спікання порошкової суміші та дифузійної взаємодії з вилуженою поверхнею сталі 20. Структура покриття складається з рівномірно розташованих твердих та м'яких фаз, що забезпечує формування зносостійкості.

## Література

1. Геєц, В. М. Специальные системы наливных судов [Текст]: учебное пособие / В. М. Геєц. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. — 185 с.
2. Sannen, H. Shipment of radioactive materials: historical overview of IAEA regulations — a personal perception [Text] / H. Sannen // Packaging, Transport, Storage & Security of Radioactive Material. — 2007. — Vol. 18, № 1. — P. 19–20. doi:10.1179/174651007x191143
3. Дубовий, О. М. Инженерне матеріалознавство [Текст]: підручник / О. М. Дубовий, Ю. О. Казимиренко, Н. Ю. Лебедєва, С. М. Самохін. — Миколаїв: Видавництво НУК, 2009. — 444 с.
4. Лось, И. С. Медно-никелевые композиционные материалы, полученные сваркой взрывом [Текст] / И. С. Лось, Д. Б. Крюков, А. В. Хорин // Известия ВолгГТУ. — 2010. — Т. 5, № 4. — С. 88–92.
5. Ильченко, Н. И. Получение методом горячей прокатки в вакууме слоистых и композиционных материалов типа медь-сталь и исследование их свойств [Текст] / Н. И. Ильченко, С. Ю. Диденко, И. М. Неклюдов, С. Л. Бондаренко // Вопросы атомной науки и техники. — 2003. — № 3. — С. 158–160.
6. Астахов, Е. А. Особливості застосування газотермічного нанесення відновлювальних покриттів [Текст] / Е. А. Астахов, В. В. Артемчук // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2012. — № 3/5(57). — С. 4–10. — Режим доступу: <http://www.URL:http://journals.urau.ru/eejet/article/view/4021>
7. Чигарев, В. В. Способы электроконтактного упрочнения деталей [Текст] / В. В. Чигарев, Е. А. Цыс // Вісник Приазовського державного університету. — 2012. — Вип. 24. — С. 174–177.
8. Сайфуллин, Р. Н. О возможности восстановления изношенных валов электроконтактной приваркой стальных проволок с порошковым покрытием [Текст] / Р. Н. Сайфуллин, М. З. Нафиков // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2009. — № 5. — С. 3–6.
9. Жорник, В. А. Моделирование процессов спекания порошковых покрытий при тепловом и механическом воздействии [Текст] / В. А. Жорник, Ю. А. Прокопенко // Вестник ТГТУ. — 2010. — Т. 16, № 1. — С. 59–66.
10. Рябичева, Л. А. Отходы промышленности — источник исходных материалов для порошковой металлургии [Текст] / Л. А. Рябичева, Ю. Н. Никитин, Н. В. Белошицкий, А. Г. Баранов // MTM 07 Conference Wastes of industry proceedings. — Bularia, Sofia, 2007. — С. 434–438.
11. Казимиренко, Ю. А. Исследование процесса получения псевдосплава из порошков бронзы и баббита [Текст] / Ю. А. Казимиренко // Збірник наукових праць НУК. — 2005. — № 5(404). — С. 29–33.

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ ИЗ ПОРОШКОВ БРОНЗЫ И БАББИТА МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ**

Исследована возможность формирования покрытия из порошков бронзы и баббита на поверхности стального изделия методом горячего прессования. Разработана экспериментальная установка, исследованы структура и свойства покрытия. Разработанный способ в отличие от других позволяет использовать в качестве сырья измельченную стружку и может быть использован для изготовления и ремонта единичных изделий судовой запорной арматуры.

**Ключевые слова:** горячее прессование, порошки бронзы, стружка баббита, покрытие.

*Казимиренко Юлія Олексіївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра матеріалознавства і технології металів, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Миколаїв, Україна, e-mail: u.a.kazimirenko@gmail.com.*

*Лебедева Наталія Юрївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра матеріалознавства і технології металів, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Миколаїв, Україна.*

*Казимиренко Юлія Алексеевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра материаловедения и технологии металлов, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина.*

*Лебедева Наталья Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра материаловедения и технологии металлов, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина.*

*Kazymyrenko Yuliia, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: u.a.kazimirenko@gmail.com. Lebedeva Nataliia, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

УДК 621.791.052:539.4

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51449

**Беляев Г. Б.,  
Волосатов И. Р.,  
Каховский Н. Ю.**

**ВЛИЯНИЕ МНОГОПРОХОДНОЙ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ НА ЭНЕРГИЮ ГРАНИЦ ЗЕРЕН НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ**

В работе описана методика расчета энергии когезии границ зерен многослойных наплавов, выполненных сварочной проволокой на никелевой основе In52, In52 MSS. В основе работы теория баланса энергии границы зерна и энергии поверхности. Методом термического травления и световой интерферометрии оценена анизотропия и деградация энергетических характеристик границ зерен.

**Ключевые слова:** граница зерна, трещина провала пластичности, энергия сегрегации, энергия когезии, адсорбция.

**1. Введение**

Образование и распространение трещин в поликристаллических металлах и сплавах происходит на этапе их изготовления, обработки или технологических операций. Причиной падения прочности металлов и сплавов есть сегрегация примесных атомов на границах зерен (ГЗ). Тенденция повышения требований к качеству и удельной прочности металлических материалов делает проблему трещинообразования весьма актуальной в современной науке и технике. Зарождение и рост трещины в поликристаллическом сплаве характеризуется балансом между кинетикой роста трещины и сопротивляемостью сплава [1]. Параметром сопротивления сплава есть энергия когезии (ЭК). Основными факторами снижения ЭК могут быть: аккумуляция дислокаций в приграничных областях, высокая кристаллографическая разориентация соседних зерен, сегрегация и адсорбция примесных атомов на ГЗ. Зернограничная сегрегация атомов S, O в аустенитных высоколегированных сплавах приводит к образованию межкристаллитных хрупких трещин [2].

**2. Анализ литературных данных и постановка проблемы**

Пластичность аустенитных высоколегированных сталей и сплавов на никелевой основе при статических

кратковременных испытаниях на растяжение снижается в температурном интервале хрупкости (ТИХ) 600–1000 °С. При выполнении многопроходной сварки плавлением возможно образование подваликовых трещин провала пластичности (ТПП) на ГЗ. Исследование поверхности излома показывает межкристаллитный хрупкий излом. Происходит аномально быстрый вязкохрупкий переход в тонких приграничных областях.

Для расчета внутренней энергии ГЗ использовалась дислокационная модель, предложенная Ридом и Шоккли. Модель учитывает влияние ориентации плоскостей кристаллической решетки зерна, с учетом упругой энергии ядра дислокаций на энергию ГЗ [3]. Согласно авторам работы [4, 5], увеличение вклада направленной ковалентной связи приводит к снижению ЭК и повышению склонности к охрупчиванию ГЗ. Наиболее вероятными причинами этого является адсорбция примесных атомов на ГЗ или скопление активных дислокаций вдоль поверхности раздела [6].

Образование ТПП происходит из-за разрушения энергетических (кулоновских) связей между атомами. Энергия  $E_{gb}$  «цельной» границы зерна расходуется на образование двух новых поверхностей с энергией  $E_s$ . Разница между этими двумя параметрами называется энергией когезии  $E_{coh}$ , которая является критерием прочности границы [7]. Работа основывается на известных научных данных исследователей термодинамики ГЗ