

Міністерство освіти і науки України  
Одеська державна академія будівництва та архітектури  
Національний університет цивільного захисту України  
Slovak University of Technology (Словаччина)  
RWTH Aachen University (Німеччина)  
University of Sannio (Італія)  
Polytechnic University of Valencia (Іспанія)  
Warsaw University of Technology (Польща)

**XII Міжнародна конференція**  
**АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНЖЕНЕРНОЇ**  
**МЕХАНІКИ**

**XII International Conference**  
**ACTUAL PROBLEMS OF ENGINEERING**  
**MECHANICS**



**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**  
**ABSTRACTS OF REPORTS**

**Одеса, 20-22 травня 2026 року**



## ЗМІСТ

Azizov T.N. , Maistrenko O.F. , Balakan M.S. ON THE CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE FOLDED SYSTEMS CONSTRUCTED WITHOUT FORMWORK	9
Бабула І.В. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ	11
Балдук П.Г., Балдук Г.П. ВИКОРИСТАННЯ ОПЦІЙ «ПІДБІР ПАРАМЕТРА» ТА «ПОШУК РОЗВ'ЯЗАННЯ» EXCEL В ЗАДАЧАХ БУДІВЕЛЬНОЇ МЕХАНІКИ	14
Бало Я.В., Ковалишин Б.М. ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОТИПОЖЕЖНИХ КАРНИЗІВ НА ОБМЕЖЕННЯ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖИ ЗЗОВНІ ФАСАДІВ БУДІВЕЛЬ	18
Бало Я.В., Середа Д.В. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ НЕБЕЗПЕКИ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖИ ВІД ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК	22
Бекірова М.М. ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ УТВОРЕННЯ ПЕРШОЇ ТРІЩИНИ У ЗАЛІЗОБЕТОННІЙ СТІЙЦІ	25
Bekshaev S. ON THE BUCKLING OF ROD DUE TO AXIAL TENSION	28
Чумаченко Т.В., Беспалова А.В., Книш О.І., Дашковська О.П. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИПРОБУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ШУМОЗАХИСТУ	33
Чумаченко Т.В., Вудвуд О.М., Лінгур В.М., Михайлов Є.П., Беспалова А.В., Книш О.І. СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОСТІ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТА	38
Біда С.В., Яхін С.В., Муравльов О.В., Петраш Р.В. ВИКОРИСТАННЯ ГРУНТОЦЕМЕНТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НАТЗСУВНИХ І ЗСУВО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕРИТОРІЯХ, СКЛАДЕНИХ ЛЕСОВИМИ ГРУНТАМИ	41
Біляєв М.А. ЗБІРНІ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ ПЕРЕКРИТТЯ ПІД ДІЄЮ ВИБУХУ НА МАЛИХ ВІДСТАНЯХ ВІД НИХ	45
Васильєва Н.С., Васильєв О.Б., Давидов К.А. ЗАСТОСУВАННЯ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ПОРІВНЯННІ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПАНІЙ	48
Вировой В.М., Довгань О.Д. ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ДИСПЕРСНО-АРМОВАНИХ ДЕКОРАТИВНИХ ВИРОБІВ	49
Волков О.О., Краєвська Ж.В., Субботін О.В., Васильченко О.В. ВПЛИВ РІЗНИХ МЕТОДІВ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ НА ПІДВИЩЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧОРНИХ ТА КОЛЬОРОВИХ СПЛАВІВ	54
Волков О.О., Субботіна В.В., Васильченко О.В., Любченко О.В. СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ І ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ, ЯК РЕЗУЛЬТАТ ДОДАТКОВОГО ФРИКЦІЙНО-ДЕФОРМАЦІЙНОГО ВПЛИВУ	56

ОБПЕРТОЇ ПЛАСТИНИ НА НЕОДНОРІДНІЙ ОСНОВІ Майборода Р.І. СТІЙКІСТЬ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬ ДО ПРОГРЕСУЮЧОГО ОБВАЛЕННЯ ЗА УМОВ КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ ПОЖЕЖИ ТА ДЕФЛАГРАЦІЙНОГО ВИБУХУ	108 110
Мартинюк Н.О., Мікуліч О.А. ОПТИЧНА ДІАГНОСТИКА ДЕФОРМАЦІЙ ПІНОБЕТОНУ МЕТОДОМ СТРУКТУРНО- АДАПТИВНОЇ ЦИФРОВОЇ КОРЕЛЯЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ	114
Сур'янінов М.Г., Метлицький В.В. ПРОГИНИ СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ТА БЕТОННИХ ОБОЛОНОК ОДНАКОВОЇ ТОВЩИНИ НА ПОЧАТКУ ТРИЩИНОУТВОРЕННЯ	117
Сур'янінов М.Г., Метлицький В.В. ЗМІНА НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ БЕТОННИХ І ФІБРОБЕТОННИХ ОБОЛОНОК ПРИ ЗМІНІ ЇХ ТОВЩИНИ	120
Naumyk V.V., Pavlenko D.V., Kaganovsky O.D., Pedash O.O. FATIGUE ENDURANCE OF PARTS OBTAINED BY SELECTIVE LASER FUSION OF NICKEL ALLOY POWDERS	123
Отрош Ю.А., Ломакін В.В., Сіпко О.В. ПІДХОДИ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЕНЕРГООБ'ЄКТІВ	125
Отрош Ю.А., Рашкевич Н.В., Мельник І.В. КОМБІНОВАНИЙ ЗАХИСТ ЕНЕРГООБ'ЄКТІВ	130
Пальчиков Р.В., Ніжник В.В., Тригуб В.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОЖЕЖИ НА АВТОТРАНСФОРМАТОРАХ, ЩО ВСТАНОВЛЮЮТЬСЯ В ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ	136
Шульгін В.В., Попович Н.М., Петраш О.В., Бондар Л.В. ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ГАЗОВИДІЛЕННЯ В РОЗЧИНОВІЙ СУМІШІ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ	139
Постернак О.О., Сінгаївський П.М., Купченко Ю.В., Уразманова Н.Ф. ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРУЖЕННЯ КОМБІНОВАНИХ АРКОВИХ СИСТЕМ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ МЕТАЛОЄМНОСТІ ПОКРИТТІВ БУДІВЕЛЬ	144
Рашкевич Н.В., Рашкевич О.С. ОЦІНЮВАННЯ ЗАЛИШКОВОЇ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПІСЛЯ ТЕПЛОГО ВПЛИВУ МЕТОДОМ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ	147
Протасенко Т.О., Реброва О.М., Ребров О.Ю., Васильченко О.В., Щегольова М.Г. ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГКОПЛАВКИХ ПРИПОІВ	150
Рябчиков М.Л., Александров О.В., Александров М.О., Сичов Ю.І. НЕЛІНІЙНІ ЕФЕКТИ ПРИ ЗАМЕРЗАННІ ВОДИ В ПОРАХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	153
Сідней С.О. ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ В ЗАЛІЗОБЕТОННІЙ СТІНІ ПРИ ОДНОСТОРОННЬОМУ ВПЛИВІ ПОЖЕЖИ	157

УДК 669-155.3:539.378.6

## ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГКОПЛАВКИХ ПРИПОЇВ

**Протасенко Т.О., Реброва О.М.<sup>1</sup>, к.т.н., Ребров О.Ю.<sup>1</sup>, д.т.н.,  
Васильченко О.В.<sup>3</sup>, к.т.н., Щегольова М.Г.<sup>4</sup>, к.м.н.**

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
м. Харків

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

<sup>3</sup>Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси

<sup>4</sup>Харківський національний медичний університет, м. Харків

Для підвищення надійності паяних з'єднань виробів сучасної електронної техніки, що працюють в умовах зміни температурного режиму експлуатації, необхідно мати дані про властивості матеріалу припоїв у робочому діапазоні температур. Оскільки припої знаходяться у спаї у вигляді тонкого прошарку, їх властивості можуть сильно відрізнятися від властивостей масивних матеріалів.

Дослідженню піддавались припої ПОС-61, ПОІн-52 у вигляді фольг товщиною 100-200 мкм у робочому діапазоні температур (від мінус 60 °С до плюс 100 °С), а також шаруваті композиційні матеріали, що являють собою три- і п'ятишарові листи і складаються зі свинцю, плакованого припоєм ПОІн-52. У тришаровому композиті товщина шару ПОІн-52 дорівнює 30–40 мкм, у п'ятишаровому – 20–30 мкм. Зразки досліджувалися як у вихідному, так і в відпаленому станах.

Проведений металографічний аналіз припоїв ПОС-61 та ПОІн-52 показав, що їх структура має евтектичну будову, однак структури припою ПОІн-52 у вільному стані і в складі шаруватого матеріалу різко відрізняються. Відмінним є і їх фазовий склад, що підтверджується рентгеноструктурним аналізом. Взаємодифузія компонентів приводить до утворення фаз трикомпонентної системи In–Sn–Pb.

У композиційному матеріалі у вихідному стані (після прокатування) спостерігається чітка границя між складовими шарами, а також існує вузька перехідна зона вздовж границі розділу шарів. Мікротвердість шару, яким плакують, дорівнює 60 МПа, це вище, ніж твердість припою у вільному стані (45 МПа). Збільшення мікротвердості можна пояснити зміною фазового складу припою, що підтверджується рентенографічним аналізом.

Нагрівання при 70 °С приводить до початку розмиття границь розділу шарів за рахунок посилення дифузійних процесів. Нагрівання при 155 °С

приводить до розплавлення припою (для ПОІн-52  $T_{пл}=117...118$  °С); відбувається інтенсивна дифузійна взаємодія розплаву і свинцю. Ділянки нових утворених сполук трикомпонентної системи In–Sn–Pb неоднорідні за розмірами, формою і складом.

Підвищення температури до 185 °С приводить до подальшого проникнення по границях зерен свинцю окремих частинок розплавленого припою. Таким чином, нагрівання до температур, що перевищують температуру плавлення плакованого шару, приводить до деградації шаруватої структури композита і перетворенню останнього в сплав відповідних компонентів з гетерогенною структурою по перерізу. У зразках п'ятишарових композиційних матеріалів під впливом температури нагрівання простежуються аналогічні структурні зміни.

Були встановлені основні механічні характеристики міцності та пластичності досліджуваних матеріалів. Необхідно відзначити, що для м'яких припоїв і композиційних матеріалів на їх основі деформація розтягу навіть при кімнатній температурі є гарячою деформацією ( $T_{деф.} > 0,5T_{пл}$ ).

Характеристики міцності припою ПОІн-52 порівняно з ПОС-61 при всіх температурах випробування більш низькі, однак високий вміст індію надає припою більшу пластичність. Її величина досягає 80 %, що обумовлює застосування ПОІн-52 в умовах, де пластична деформація є вирішальною характеристикою, наприклад, при паянні матеріалів із суттєво різними коефіцієнтами термічного розширення, для паяння виробів, що працюють при негативних температурах або в режимі термоцикування.

Характеристики міцності п'ятишарових композитів трохи вищі, однак пластичність майже у два рази нижча, ніж у тришарових. Низький рівень пластичності п'ятишарових зразків призводить до недоцільності їх використання в даних умовах експлуатації. Потрібно відмітити, що характеристики міцності шарових композитів значно перевершують міцність складових, що обумовлено вирішальним впливом на механічні властивості композита міжфазних поверхонь розділу та інтенсивних дифузійних процесів у приграничних шарах. Хоча пластичність композита набагато нижче, ніж у ПОІн-52 і свинцю, вона цілком задовольняє технологічним вимогам, які пред'являються до даних припоїв.

Встановлено, що нагрівання до температури ( $70 \pm 10$ ) °С ( $0,88T_{пл}$  припою ПОІн-52) у середовищі водню незначно впливає на механічні властивості композиційного матеріалу. Нагрівання до температури ( $155 \pm 10$ ) °С у середовищі водню, що на 30–50 °С вище температури плавлення припою ПОІн-52 є імітацією режиму паяння, яке, як правило, проводять при температурі, що перевищує на 30–40 °С температуру плавлення припою. Через нерівномірний розвиток фазових переходів і дифузійних процесів у зразках цієї партії спостерігається дуже великий

розкид значень усіх механічних характеристик. У цілому вони трохи знижуються, однак їх рівень задовольняє умовам експлуатації матеріалу, тому дану температуру можна рекомендувати як робочу для виконання з'єднань композиційним припоєм ПОІн-52–Рb методом паяння.

Нагрівання до температури  $(185 \pm 10)$  °С у водневому середовищі проводили для вивчення можливості виконання паяння при більш високих температурах. Визначено, що таке нагрівання, яке значно перевищує температуру плавлення ПОІн-52, призводить до подальшої деградації шаруватої структури композита, незначного зниження характеристик міцності композита та до суттєвого зниження рівня пластичності, що є досить небажаним. Таким чином, використання для паяння даними припоєм температур вище 155 °С недоцільно.

Отримані експериментальні результати проведеного дослідження дозволили:

- отримати інформацію щодо залежності характеристик міцності і пластичних характеристик фольг припоїв ПОІн-52 і ПОС-61 від температури випробування, необхідну для визначення надійності роботи паяних з'єднань в умовах циклічної зміни температури;
- встановити, що механічні властивості композиційних матеріалів у вигляді свинцевої стрічки, яка плакована м'яким припоєм ПОІн-52, різко відрізняються від властивостей складових матеріалів;
- визначити температурні межі паяння композиційним матеріалом;
- показати недоцільність використання п'ятишарових композитів у заданих умовах експлуатації.

## **FEATURES OF THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF LOW-FUSING SOLDERS**

*The study was conducted on POIn-52 solder in the form of a foil with a thickness of 200 μm and three- and five-layer POIn-52–Pb composite materials. Data were obtained on the influence of various technological parameters on the properties and structure of solders in the free state and in the form of layered composite materials. These data are necessary for choosing the optimal soldering technology and the possibility of creating compositions using solders. The influence of the interfacial surfaces of composites and their degradation under the influence of heating is shown.*