

**Савуляк В.І.,**  
**Заболотний С.А.,**  
**Бакалець Д.В.**  
 Вінницький національний технічний  
 університет,  
 м. Вінниця, Україна  
**E-mail: Bacalets\_Dima@mail.ru**

## ПОЄДНАННЯ ЗВАРЮВАННЯ ТА ПАЯННЯ ДЛЯ РЕМОНТУ РАМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

УДК 621.791

Показано можливість застосування технології паяння у поєднанні із зварюванням, під час ремонту рам транспортних засобів, а саме в процесі приварювання накладок для підсилення ділянок із експлуатаційними тріщинами.

**Ключові слова:** корозійна стійкість, рамні конструкції, тріщини, зварювання, паяння.

### Вступ

Вагомою причиною, що обмежує термін експлуатації рам вантажних автомобілів, є втомні руйнування у вигляді тріщин. Це пояснюється тим, що під час руху автомобіля на його раму, крім ваги підресорних частин діють динамічні сили під час переїзду нерівностей дороги, гальмування, розгону і руху на поворотах [1]. Крім того на автомобілях з встановленим додатковим навантажувально-розвантажувальним обладнанням, під час його використання виникають додаткові сили в результаті дії яких елементи рами піддаються знакозмінним навантаженням та як наслідок деформуються [2].

Визначальним фактором у випадку втрати стійкості рамної конструкції автомобіля в процесі експлуатації є дія вертикальної складової динамічних сил, яка призводить до появи втомних тріщин різного роду і направленості, що спричиняють зміну напружено-деформованого стану усієї системи. [3].

Систематичні дослідження втомних руйнувань деталей машин почалися з середини минулого століття. В даний час питанням втомної міцності приділяється значна увага [1 - 5]. З метою підвищення якості відремонтованих елементів рамних конструкцій доцільним є вдосконалення існуючих методів відновлення та технологічних прийомів, а також розробка та впровадження нових.

Необхідно відзначити, що найбільш прогресивний напрямок збільшення довговічності та експлуатаційних властивостей деталей машин полягає в комбінуванні технологій ремонту тріщин, які утворилися в процесі експлуатації методами зварювання, в поєднанні з різними процесами зміцнювальних технологій. Такий підхід дозволяє повною мірою задовольнити сучасні вимоги ремонтного виробництва.

### Основна частина

Підсилення та ремонт ділянок рам із зародженими тріщинами можливе шляхом приварювання додаткових елементів [4]. Така технологія ремонту забезпечує необхідну міцність конструкції, але її

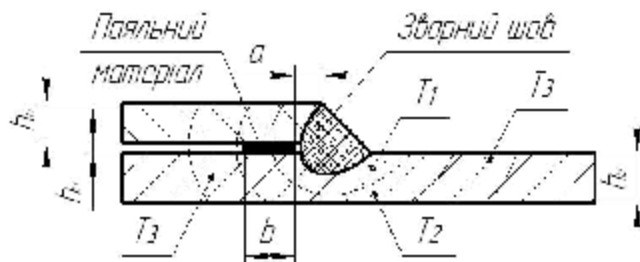


Рис. 1 – Спосіб зварювання внапуск

недоліком є ослаблення металу в зоні температурного впливу та зменшення у цій зоні корозійної стійкості. Дані недоліки можна усунути шляхом використання запропонованої технології, яка поєднує процеси зварювання та паяння. Технологія передбачає використання припоїв з необхідною температурою плавлення для підвищення міцності зварних з'єднань в напуск, а також підвищення корозійної стійкості навколошовної зони. Особливістю є те, що припой встановлюється між основними елементами,

які зварюються, та розплавляється за рахунок температури навколошовної зони (рис. 1).

Попередніми дослідженнями [5] встановлено, що відновлення та зміцнення сталевих конструкцій шляхом заліковування пошкоджень сплавами на основі міді забезпечує гальмування тріщин, істотно збільшує їх живучість.

В якості припоїв для проведення експериментів використано сплави міді з цинком, марганцем та іншими елементами. Мідь у чистому вигляді в розплавленому стані характеризується високою рідкотекучістю, добре змочує поверхню сталей, твердих сплавів, нікелю та нікелевих сплавів; затікає в найтонші капілярні зазори і дає міцні та пластичні паяні з'єднання.

Мідно-цинкові припої являють собою подвійні сплави міді та цинку в різних співвідношеннях. Діаграма стану сплавів системи мідь - цинк наведена на рис. 2. Найбільшу зацікавленість представляють сплави, що містять менше 34 % Zn і мають однофазну структуру α-твердого розчину. Зі збільшенням вмісту цинку пластичність припоїв знижується, що підвищує крихкість паяних з'єднань.

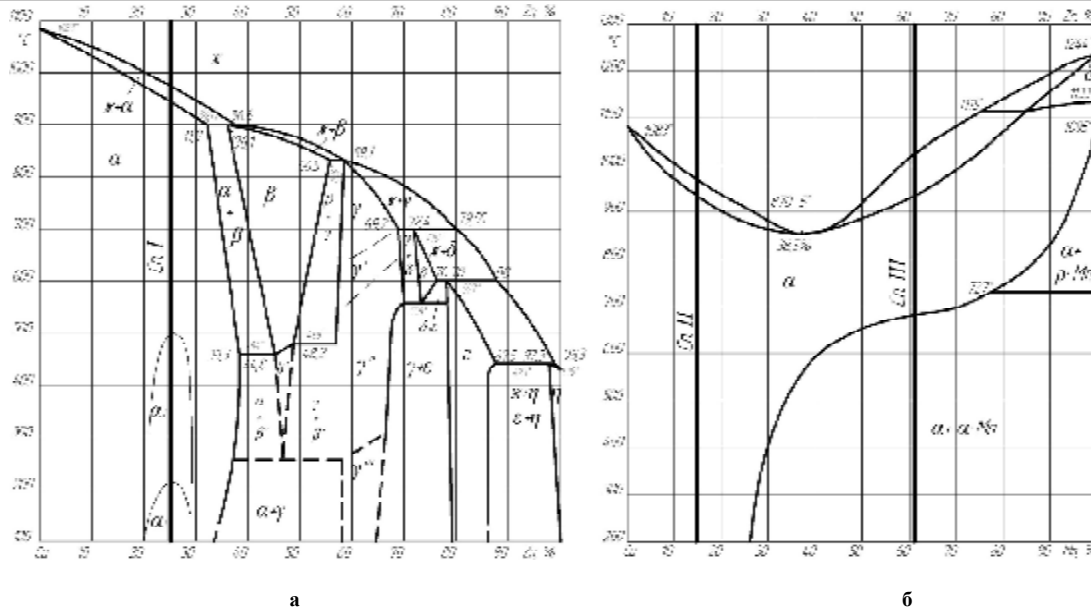


Рис. 2 – Діаграма стану сплавів системи:  
а – мідь – цинк;  
б – мідь - марганець

Поряд з високими технологічними властивостями, у якості припою, мідно-цинкові сплави мають високу корозійну стійкість [6]. Припої, що мають структуру  $\alpha$ -твердого розчину, зберігають достатню міцність навіть в умовах низьких температур. Недоліком цих припоїв є випаровування цинку від високих температур, що погіршує умови роботи з ними.

Припої на основі сплавів міді з марганцем мають порівняно низьку температуру плавлення, достатню високу міцність і пластичність. Припої цієї системи не набули поширення, але вони дуже перспективні, так як паяні ними конструкції мають більш високу міцність в порівнянні зі з'єднаннями, які паяні мідно-цинковими припоями, під час їх експлуатації при температурах 500 - 600 °С.

На кафедрі технології підвищення зносостійкості ВНТУ розроблено спосіб зварювання внапуск, який передбачає розміщення паяльного матеріалу на основі міді між деталями, що зварюються, в області температурного поля, де забезпечується його розплавлення (рис. 1).

Необхідною умовою реалізації описаного вище способу є обґрунтований вибір або розрахунок параметрів процесу зварювання-паяння, при яких відбудеться повне розплавлення припою, і утвориться якісне з'єднання деталей.

Для цього необхідно визначити: режими зварювання, із врахуванням товщини профілю рами в зоні приварювання  $h_0$  та накладки  $h_n$ ; склад паяльного матеріалу; товщину  $h_n$  та ширину  $b$  смужки припою; її віддаль від зварного шва  $a$  в залежності від глибини проплавлення та геометрії шва в поперечному перетині. Допустимий зазор між деталями, що зварюються в напуск регламентується ГОСТом 5264-80, який залежить від товщини деталей і може становити до 2 мм. Відповідно до цього необхідно використовувати смужки паяльного матеріалу із товщиною, що не перевищує 2 мм.

Визначення оптимальних режимів комбінованого зварювання доцільно проводити методом моделювання процесу із використанням спеціалізованого програмного забезпечення на основі кінцево-елементного аналізу [7]. Розроблено модель, яка дозволила аналізувати в часі теплові поля в процесі зварювання та охолодження деталі, а саме визначити зміни температур в різних точках об'єму матеріалу деталі та припою.

Перевірка адекватності моделі виконувалась шляхом проведення натурального експерименту. За аналогічною схемою вимірювались температури в точках  $T_1 - T_5$  моделі, по довжині пластини припою і точках  $T_5 - T_{10}$  по її ширині (рис. 3), під час зварювання деталей в напуск та подальшого їх охолодження.

Розроблена комп'ютерна модель конструкції у вигляді двох пластин товщиною 5 мм та смужки припою  $5 \times 1$  мм і заданих режимів зварювання дозволила отримати термограми (рис. 4) для вказаних точок. З графіка видно, що температура в точці  $T_1$  є мінімальною і досягає температури 932 °С на третій секунді після початку зварювання. Для вибору припою доцільно використати діаграму стану з якої видно, що така температура є достатньою для розплавлення припою із концентрацією компонентів, що відповідає області діаграми стану сплаву Cu-Zn розташованої праворуч від лінії Сп.І (рис. 2, а). У випадку використання припою на основі міді з марганцем слід обрати сплав із проміжку між лініями Сп. II - III (рис. 2, б).

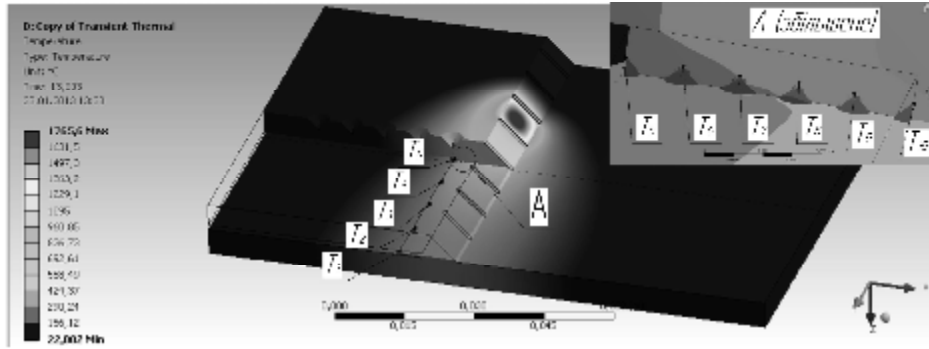


Рис. 3 – Модель

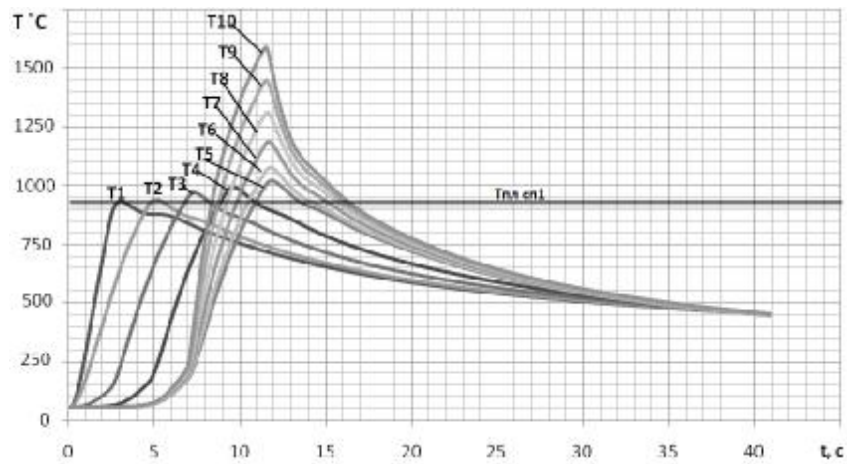


Рис. 4 – Температури у точках навколошовної зони (модельні розрахунки)

У випадку, коли необхідно було забезпечити розплавлення припою із заданою концентрацією компонентів у відповідності до експлуатаційних вимог, змінювали режими зварювання (силу струму, швидкість, кут нахилу електроду). У випадках, коли повне розплавлення припою за рахунок тепла, що виділялось при зварюванні, ставало неможливим, конструкція попередньо підігрівалась. Макрошліфи з'єднань, отриманих при різних режимах, наведені на рис. 5. У всіх випадках мідь повністю розплавилась, заповнивши проміжок між пластинами зі сторони зварного шва.

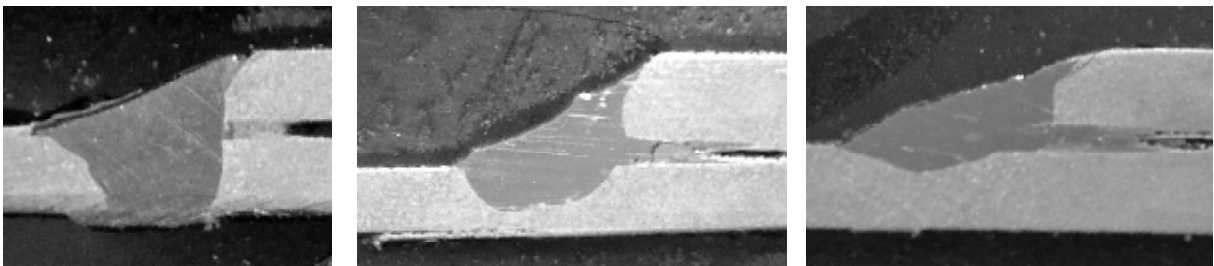


Рис. 5 – Макрошліфи паяно - зварних з'єднань

Мікроструктурний аналіз зони сплавлення між сталлю і міддю показав наявність чіткої границі без включень та інших дефектів. У деяких випадках виявлено взаємопроникнення металу зварного шва і припою (рис. 6, а). Проте таке перемішування локальне, не поширюється у глиб зварного шва і в значній мірі не впливає на механічні властивості з'єднання. Інший край мідного припою (рис. 6, б) за рахунок високої рідкотекучості та сил поверхневого натягу розтікається на певну відстань по поверхні сталі, тим самим забезпечуючи її додатковий корозійний захист.

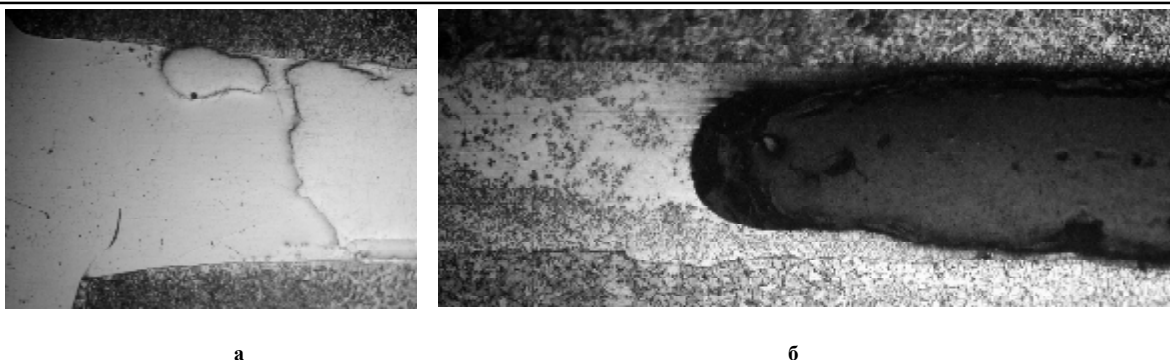


Рис. 6 – Границі сплавлення між сталлю і міддю:  
а – із сторони зварного шва;  
б – із протилежної сторони від зварного шва

Для визначення запасу міцності зразків зварених по описаній вище технології, було проведено випробування на розривній машині. Використовувались відомі методи випробувань, що подібні з умовами роботи конструкції.

В результаті випробувань встановлено, що руйнування усіх зразків, відбувалось поза зварним швом та зоною зпаювання. Виявлено, що руйнування місця зпаювання має в'язкий характер, відбувається по криволінійній траєкторії і в деяких місцях проходить по основному металу деталі без руйнування припою, що свідчить про високу міцність такого з'єднання. Встановлено, що з'єднання зварені за розробленою технологією мають міцність на 20 ... 25 % вищу, ніж з'єднання, що зварені без встановлення паяльного матеріалу за стандартною технологією.

### Висновки

Розроблено технологію та ряд практичних рекомендацій, щодо використання комбінованого зварювання з використанням припоїв на основі міді для проведення ремонту поперечних тріщин рам транспортної техніки, шляхом встановлення підсилюючих накладок.

Наведена у статті методика, що ґрунтується на використанні програм кінцево-елементного аналізу, дає можливість чітко визначати оптимальні параметри режиму комбінованого зварювання.

Відновлювання та зміцнення сталевих конструкцій шляхом використання комбінованого зварювання з використанням припоїв на основі міді окрім підвищення характеристик міцності такого з'єднання забезпечує корозійний захист зони термічного впливу.

### Література

1. Максапетян Г.В. Определение напряженного состояния рам грузовых автомобилей при различных кузовах / Г.В. Максапетян, Г. Дж. Кочинян // Сборник научных трудов АрмСХИ. – 1977. – Вып. XXVIII. – С. 112-115.
2. Миронов Е.И. Новый способ экспериментальной оценки нагрузок манипуляторов сучкорезно-раскряжевой установки / Е.И. Миронов, З.В. Иванова // Строительные и дорожные машины. – 1983. № 8. – С. 20.
3. Трощенко В. Т. Циклические деформации и усталость металлов. Т. 2. Долговечность металлов с учетом эксплуатационных и технологических факторов / В. Т. Трощенко, Л. А. Хамаза, В. В. Покровский [и др.]. – К. : Наукова думка. – 1985. – 222 с.
4. Бакалець Д.В. Підвищення надійності та відновлення металоконструкцій транспортних та сільськогосподарських машин / Д.В. Бакалець, В.І. Савуляк // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія Технічні науки. – 2012. – Випуск 11(66). – Т. 2. – С. 302-306.
5. Савуляк В.І. Вплив заліковування тріщин мідними сплавами на міцність сталевих конструкцій / В.І. Савуляк, Д.В. Бакалець // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 4. – С.172-175.
6. Ляпіна. О.В. Фізико-хімічні процеси на поверхні плівок мідних сплавів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. хім. наук : спец. 01.04.18. “Фізика і хімія поверхні” / Ляпіна Олена Василівна; Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника. Івано-Франківськ, 2006. 20 с.
7. Савуляк В.І. Температурні поля та деформації під час відновлення деталей транспортної техніки / В.І. Савуляк, С.А. Заболотний, В.Й. Шенфельд // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2009. – №11(141). – С. 48-52.

Надійшла в редакцію 11.07.2014

---

**Savuljak V.I., Zabolotnij S.A., Bakalec' D.V. The Combination of welding and soldering for repair of frames of transport vehicles.**

The frame constructions of transport and technological machines perceive the static load and dynamic load as a result of that in the process of exploitation cracks and other damages on certain areas are appeared. By the problem of establishment of elements of strengthening in dangerous areas, and also proceeding in descriptions of durability of such areas with the engendered cracks, there is a danger of damage of parent metal frames due to negative processes, which can take place during welding.

For indemnification of these negative consequences a scarf-welding method is developed, which provides for placing in the area of temperatures, which provide its melting, soldering material on the basis of copper between details which weld. It is well-proven researches, that renewal and strengthening of steel constructions by the use of the developed technology of welding and soldering with the use of solders on the basis of copper except for the increase of descriptions of durability provides effective slushing defence of surfaces of details in the thermal affected zone.

**Keywords:** corrosive firmness, frame constructions, cracks, welding, soldering.

**References**

1. Maksapetjan G.V., Kochinjan G. Dzh. Opredelenie naprjazhennogo sostojanija ram gruzovyh avtomobilej pri razlichnyh kuzovah, Sbornik nauchnyh trudov ArmSHI, 1977, Vyp. XXVIII, pp. 112-115.
2. Mironov E.I., Ivanova Z.V. Novyj sposob jeksperimental'noj ocenki nagruzok manipuljatorov suchkorezno-raskrzjazhevochnoj ustanovki, Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, 1983, №8, p. 20.
3. Troshhenko V.T., Hamaza L.A., Pokrovskij V.V. Ciklicheskie deformacii i ustalost' metallov. T. 2. Dolgovechnost' metallov s uchetom jekspluatacionnyh i tehnologicheskikh faktorov. K.: Naukova dumka, 1985. 222 p.
4. Bakalec' D.V., Savuljak V.I. Pidvishhennja nadijnosti ta vidnovlennja metalokonstrukcij transportnih ta sil'skogospodars'kih mashin, Zbirnik naukovih prac' Vinnic'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu. Serija Tehnichni nauki, 2012, Vyp. 11(66), T. 2, pp. 302–306.
5. Savuljak V.I., Bakalec' D.V. Vpliv zalikovuvannja trishhin midnimi splavami na micnist' stalevih konstrukcij, Visnik Vinnic'kogo politehnicnogo institutu, 2012, №4, pp. 172 –175.
6. Ljapina. O.V. Fiziko-himichni procesi na poverhni plivok midnih splaviv : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. him. nauk: spec. 01.04.18. "Fizika i himija poverhni", Prikarpats'kij nacional'nij universitet im. Vasilja Stefanika, Ivano-Frankivs'k, 2006. 20 p.
7. Savuljak V.I., Zabolotnij S.A., Shenfel'd V.J. Temperaturni polja ta deformacii pid chas vidnovlennja detalej transportnoi tehniki, Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu im. Volodimira Dalja, 2009. №11(141), pp. 48-52.