

Національний технічний університет України  
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

# **Досконалість зварювання – комплексний підхід**

**Тези доповідей  
XII Всеукраїнської науково-технічної конференції**

Україна, Київ 16 травня 2018 р.

Київ  
НТУУ «КПІ»  
2018

Досконалість зварювання – комплексний підхід: тези доп. XII  
Всеукр. наук.-техн. конф. / Україна, Київ, 16 травня 2018р. – К. НТУУ КПІ  
ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 15с.

Матеріали подано в авторській редакції

© Зварювальний факультет  
НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018

## ЗМІСТ

ВИКОРИСТАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО КОНТУРУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ ПРИМІГЗВАРЮВАННІ....	
<i>Харабет Р.І., Рижов Р.М., Кочубей В.В.</i> .....	4
ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ЗВАРЮВАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ... <i>Добряк В.С., Мінаков А.С.,</i> .....	
<i>Мінаков С.М.</i> .....	5
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБІЛЬШЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ІЗ ВВЕДЕННЯМ НАНОПОРОШКУ... <i>Новіков І.С., Степанов Д.В.</i> .....	6
ВИКОРИСТАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО КОНТУРУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ФОРМУВАННЯ ШВА ПРИМІГЗВАРЮВАННІ. <i>Харабет Р.І., Рижов Р.М., Кочубей В.В.</i> .....	8
ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ МЕТОДОМ.... <i>Добряк В.С., Мінаков А.С., Мінаков С.М.</i> .....	9
АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ В ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА... <i>Карабут Т.С, Фомічов С.К., Марічева О.С., Скачков І.О.</i> .....	10
НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАПРЯМІВ ПІДГОТОВКИ ТА АТЕСТАЦІЇ ЗВАРНИКІВ ВІДПОВІДНО ДО НПАОП 0.00-1.16-96..... <i>Несін В.В.</i> .....	11
ЗВАРЮВАННЯ КОНВЕКЦІЙНИХ ТЕПЛООБМЕННИКІВ... <i>Вдовиченко І.М., Решетілова А.К., Скачков І.О.</i> .....	12
ВИЯВЛЕННЯ ВИПЛЕСКІВ ПРИ КОНТАКТНОМУ ТОЧКОВОМУ ЗВАРЮВАННЯ ЗА ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕСУ.... <i>Вдовиченко Д.М., Редькін О.Ю., Скачков І.О.</i> .....	13
МАГНІТНА СТАБІЛІЗАЦІЯ ДУГИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ НЕПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ.... <i>Сидоренко П.Ю.</i> .....	14

## ВИКОРИСТАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО КОНТУРУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ ПРИ MIGЗВАРЮВАННІ

*Харабет Р.І., Рижов Р.М., Кочубей В.В. (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)*

Дугове зварювання плавким електродом (MIG) характеризується підвищеною продуктивністю і можливістю застосування автоматизованих способів зварювання. Даний спосіб зварювання має потенційні шляхи розвитку та підвищення якості швів і зменшення рівня розбрикування. На даний момент способи керування масоперенесення не в повній мірі вирішують питання нестабільності процесу перенесення електродного металу. Це зв'язане з тим, що вони не достатньо зменшують протидію силам відривання зварювальної каплі. При цьому відбувається велике випаровування легкоплавких складових зварювального дроту імпульсами зварювального струму та знижуються динамічні властивості спеціалізованих механічних пристроїв.

Відомо, що при дуговому зварюванні з зовнішніми електромагнітними діями під впливом аксіальних керуючих магнітних полів дуга обертається навкруги своєї осі і набуває форми конусу. Даний ефект успішно використовували для стабілізації її горіння при зварюванні неплавким електродом на підвищених швидкостях. Для цього у робочій зоні генерували імпульсні магнітні поля з індукцією до 5мТл. Недоліком цього способу є необхідність використання спеціалізованого пальника з котушкою намагнічування, підключеною до генератора імпульсів струму.

Реалізація зазначеного способу стабілізації дуги та переносу електродного металу можлива і за допомогою магнітного поля зварювального контуру. Виходячи із цього метою даної роботи є дослідна перевірка впливу спеціалізованого пальника для дугового зварювання плавким електродом з магнітною стабілізацією процесу перенесення електродного металу у зону зварювання.

Для виключення впливу на дугу феромагнітних мас зварюваного виробу експериментальні зварювання проводили на зразках із нержавіючої сталі 12Х18Н10 товщиною 3мм і зварювальний дріт марки 12Х18Н10Т. Зварювальні випробування проводились на різних режимах. При  $I_{зв}=155\text{А}$ ,  $U_{д}=24\text{В}$ ,  $V_{зв}=18\text{м/год}$  при впливі аксіального магнітного поля втрата електродного металу через розбрикування зменшилась на 9%, на режимі  $I_{зв}=165\text{А}$ ,  $U_{д}=25\text{В}$ ,  $V_{зв}=18\text{м/год}$  із застосування аксіального магнітного поля втрата електродного металу через розбрикування зменшилась на 11%, на режимі  $I_{зв}=175\text{А}$ ,  $U_{д}=26\text{В}$ ,  $V_{зв}=18\text{м/год}$  з використанням впливу аксіального магнітного поля втрата електродного металу через розбрикування зменшилась на 13%. Було виявлено, що сила магнітної індукції у зоні горіння дуги становила 8мТ.

Зменшення втрат на розбрикування електродного металу обумовлено впливом аксіального магнітного поля розробленого пальника на дугу, який полягає у її обертанні навколо поздовжньої осі. Це сприяє більш концентрованому масопереносу електродного металу у зону зварювання.

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ЗВАРЮВАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ

*Добряк В.С., Мінаков А.С., Мінаков С.М., (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)*

Залишкові зварювальні напруження і деформації є одним із чинників роботоспроможності зварних конструкцій. Додавання робочих напружень та деформацій до залишкових може привести до ситуації коли вони можуть досягати критичної величини.

На разі бракує експериментальних методів визначення залишкових зварювальних напружень і деформацій. Зважаючи, що більшість зварних конструкцій виготовляється із феромагнітних матеріалів найбільшого розповсюдження досягли електромагнітні методи.

На зварювальному факультеті НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» вже більше 40 років успішно розробляється магнітоанізотропний метод визначення залишкових напружень. Метод є нечутливим до змін структури металу, стану поверхні металу. До переваг магнітоанізотропного методу можна віднести високу продуктивність, що дозволяє проводити сканування зварних конструкцій з метою пошуку небезпечних ділянок. Однак цей метод обмежується визначення напружень, так як при настанні пластичного деформування метод виявляє неоднозначність. Одним із стримуючих факторів також є обмеженість інформативних параметрів (амплітуда та фаза сигналу). Останні 10-15 років почали бурхливо застосувати метод коерцитивної сили для завдань вимірювання напружень та деформацій. В літературі є багато суперечливих один одному даних, що пояснюється різними умовами проведення досліджень та різними зразками за конструкцією та властивостями. Є багато опублікованих даних про зміну форми граничної петлі магнітного гістерезису, що також свідчить на користь даного методу. Крім того, метод коерцитивної сили потребує багато часу для вимірювання. Метод ґрунтується на використанні постійних магнітних полів. Цикл намагнічування - розмагнічування потребує до 7 секунд на одне вимірювання. Ця обставина унеможливує сканування зварних конструкцій з метою пошуку найбільш небезпечних ділянок.

Поєднання магнітоанізотропного та коерцитивної сили методів має на меті доповнити переваги один одного та компенсувати їх недоліки. Для цього треба модернізувати метод коерцитивної сили шляхом переходу на змінні поля, що дозволить сканувати зварні конструкції. Крім того запропоновано проводити намагнічування металу в полях меншої величини ніж гранична (300 А/м) із подальшим визначенням параметрів петлі магнітного гістерезису. Магнітоанізотропний метод запропоновано розширити шляхом проведення гармонійного аналізу сигналу перетворювача. Дослідження залежності параметрів магнітоанізотропного та коерцитивної сили методів від пластичних деформацій та напружень планується проводити на плоских зразках сталі 09Г2С товщиною 4 мм із поступовим створенням різного ступеню пластичного деформування та напружень.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБІЛЬШЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ІЗ ВВЕДЕННЯМ НАНОПОРОШКУ

*Новіков І.С., Степанов Д.В. (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)*

На сьогоднішній день розвиток нанотехнологій відбувається майже в кожній сфері життєдіяльності. Це новий та мало вивчений напрямок науки, і вже існуючі розробки доводять що цей напрямок може виявитися дуже прогресивним.

У сучасній Україні у більшості випадків пошкодження металічних виробів відновлюють звичайними дешевими матеріалами (наприклад дротами Св-08, Св-08Г2С, іноді Нп-30ХГСА). Звісно існують більш зносостійкі матеріали, але через високу вартість від їх використання відмовляються.

Зміна хімічного складу наплавленого металу викликає сильні зміни структури металу, внаслідок цього і збільшується зносостійкість. Але вплив на структуру металу може відбуватися не тільки зміною його хімічного складу, але і введенням модифікаторів.

Модифікатори – це речовини, які можуть впливати на структуру металу навіть при введенні незначної їх кількості (соті долі відсотка). Залежно від типу частинок, їх морфології, розміру та способу введення в матеріал шва або покриття можна одержувати композиційні матеріали із заданими властивостями. Одним із таких модифікаторів являється і нанопорошок, який при введенні в зварювальну ванну позитивно впливає на зносостійкість.

На кафедрі інженерії поверхні та в ІЕЗ ім. Є.О. Патона вже проводяться деякі дослідження по вивченню впливу наноконпонентів на наплавлений метал. Але при проведенні дослідів було помічено, що не тільки кількість нанопорошку в зварювальній ванні впливає на зносостійкість, але і метод його введення. У вже існуючих публікаціях вказаної тематики описувались способи введення наноконпонентів за допомогою спеченої лігатури, суміші нанопорошку з алкідною ґрунтовкою та під шаром флюсу. Звісно перелічені способи мають недоліки – для спеченої лігатури потрібна додаткова механічна обробка поверхні виробу, та її виготовлення відносно складне, а алкідна ґрунтовка підвищує можливість пороутворення та впливає на форму наплавленого валика, а також унеможлиблює рівномірне розподілення нанопорошку. Відповідно, актуальним є пошук інших, більш практичних та технологічних способів введення наноконпонентів до зварювальної ванни.

При проведенні дослідів застосовували порошок аеросилу ( $\text{SiO}_2$ ) фракцією 5-40 нм, який на відміну від інших нанопорошків виробляється промислово і відрізняється низькою вартістю.

Нанопорошок вводили до зварювальної ванни за наступними схемами:

- 1 – в суміші з флюсом. Попередньо врахувавши витрати флюсу та нанопорошку на одиницю довжини шва (довжину ванни) було здійснено їх перемішування в планетарному млині в потрібних пропорціях;
- 2 – за допомогою ємностей, які наповнювали нанопорошком, розмішаним у спирті і який розпилювали на поверхню пластини за розмірами відповідно до ширини валика. До наплавлення спирт випаровувався, залишаючи на поверхні смугу нанопорошку,

вдзовж якої відбувалося наплавлення. Для такої схеми застосовували ризографи чи спреї-балончики;

3 – нанопорошки разом з крупками парафіну закладали у ємність, підігрівали, розмішували і після охолодження отримували наче свічку, якою також наносили смугу парафіну з нанопорошками на поверхню пластини.

Після наплавлення було проведено випробовування на зносостійкість наплавленого металу. Випробування проводились на машині тертя СМЦ-2. Результати показали позитивний вплив на такі властивості наплавленого металу, як зносостійкість, мікротвердість, структурний фактор.

При наплавленні дротом Св-08Г2С на сталь 09Г2С у вихідному стані формується ферито – перлітна структура. При введенні нанопорошку оксиду кремнію у суміші з флюсом та за спреї – технологією утворюються перліто - феритні структури з підвищеною твердістю.

При змішуванні нанопорошку масовою часткою 0.3% із флюсом помітне підвищення зносостійкості в 2 рази, а при введенні  $\text{SiO}_2$  в суміші з спиртом за спреї технологією зносостійкість збільшується майже в 4 рази. Аналіз даних вимірювання мікротвердості вказує на збільшення значень твердості металу при введенні до зварювальної ванни нанопорошку  $\text{SiO}_2$ . Так, якщо у вихідному стані середнє значення мікротвердості становить 14 ГПа, то у решті випадків вона більше – 16 ГПа та 21 ГПа відповідно.

При наплавленні дротом Нп-30ХГСА на сталь 09Г2С у вихідному стані формується ферито – перлітна структура, цементитні виділення достатньо укрупнені. При введенні нанопорошку оксиду кремнію у суміші з парафіном у ферито-перлітній матриці помітно збільшується кількість дрібних цементитних виділень, що позитивно впливає на зносостійкість.

Аналіз даних вимірювання мікротвердості вказує на збільшення значень твердості металу при введенні до зварювальної ванни нанопорошку  $\text{SiO}_2$ . Так, якщо у вихідному стані середнє значення мікротвердості становить 21 ГПа, то у решті випадків залежно від вмісту діоксиду кремнію у суміші з парафіном мікротвердість міняє значення. Особливо помітно збільшення твердості при введенні наноксидів до зварювальної ванни у суміші з парафіном ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}+0,16 \text{SiO}_2$ ), при якій мікротвердість становить 25 ГПа.

Випробування зносостійкості при введенні до зварювальної ванни нанопорошків закріплених парафіном показали, що втрати маси металу що містить наноконпоненти менші, порівняно з металом без них. Загалом, зносостійкість може збільшитись до 6 разів.

Дослідно підтверджено позитивний вплив наноконпонентів введених у зварювальну ванну на структурні зміни, та, відповідно мікротвердість і зносостійкість наплавленого металу. Зафіксовано суттєве підвищення зносостійкості при введенні нанопорошку у поєднанні з парафіном (підвищення до 6 разів), деяке підвищення при введенні зі спиртом (в 3 рази) та при введенні з флюсом (в 2 рази).

## ВИКОРИСТАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО КОНТУРУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ФОРМУВАННЯ ШВА ПРИМІГЗВАРЮВАННІ

*Харабет Р.І., Рижов Р.М., Кочубей В.В. (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)*

При дуговому зварюванні однією із головних причин виникнення дефектів формування швів, таких як нестабільність форми лінії сплавлення, бічних підрізів, несплавлення крайок, є нестационарні відхилення дуги від заданого геометричного положення. Даний негативний ефект може виникати через залишкову намагніченість крайок зварюваних з'єднань із матеріалів з феромагнітними властивостями, нестабільність величини зазору між ними, несиметричне розташування поблизу робочої зони потужного джерела струму або струмопровідних кабелів і т.д. У більшій мірі він проявляється при зварюванні на форсованих режимах.

Загальновідомі заходи, спрямовані на попередження нестационарних відхилень дуги, у більшості випадків є лише корисними рекомендаціями і не враховують особливостей технологічного процесу зварювання. Так попереднє розмагнічування крайок з'єднань унеможливорює виникнення ефекту “магнітного дугтя”, однак його не завжди можна виконати через, наприклад, великі габаритні розміри виробу або виконання робіт у монтажних умовах.

Відомо, що працездатність зварних конструкцій значною мірою залежить від якості шву при оптимальних співвідношеннях його форми у поперечному перерізі, що забезпечує мінімальне значення коефіцієнта концентрації напружень.

Найбільш важливими геометричними характеристиками валика шву є його ширина, опуклість та глибина проплавлення основного металу. Актуальною задачею є можливість отримання швів з мінімальною опуклістю без зменшення глибини проплавлення.

Вплив аксіального поля розробленого пальника на дугу, який полягає у її обертанні навкруги поздовжньої осі, істотно змінює процес теплопередачі у метал швів. Якщо у звичайних умовах, завдяки блуканню анодної плями, тепло передається через площу круга, то у випадку використання магнітокерованої дуги – через кільце із стабільними геометричними розмірами. Не зважаючи на те, що його діаметр більший за діаметр круга, площа, через яку передається енергія, є значно меншою. Тобто, процес нагрівання металу шву відбувається більш інтенсивно. Це і підтверджено в процесі експериментальних досліджень. На поперечних шліфах швів, отриманих при зварюванні розробленим пальником з максимальною кількістю витків у обіймі електродного вузла висота зварювального шва зменшується на 14%, а ширина збільшується на 11%. При цьому лінія сплавлення набуває практично трикутної форми, що свідчить про більш концентроване нагрівання металу.



## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ МЕТОДОМ

*Добряк В.С., Мінаков А.С., Мінаков С.М., (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)*

Залишкові зварювальні пластичні деформації є джерелом залишкових напружень, що в купі з іншими чинниками (із властивостями металу та наявними дефектами) відповідають за роботоспроможність зварних конструкцій. На разі бракує експериментальних методів визначення залишкових пластичних деформацій. Зважаючи на те, що основна частина зварних конструкцій виготовлена із феромагнітних матеріалів найбільшого розповсюдження набули електромагнітні методи досліджень напружень і деформацій. Проте визначення залишкових зварювальних пластичних деформацій є мало дослідженою ділянкою.

Останнє десятиліття набув бурхливого розвитку метод коерцитивної сили, що почали застосовувати на відміну від традиційних завдань структуроскопії (загартування, зміцнення поверхні, тощо) до визначення напружено-деформованого стану металевих конструкцій. В літературі є багато новітніх досліджень застосування методу коерцитивної сили для визначення напружень та пластичних деформацій. Різні дослідники прийшли до відмінних один від одного результатів. Це можна пояснити різними умовами проведення досліджень. Однак всі сходяться на думці, що форма граничної петлі магнітного гістерезису змінюється при появі напружень та пластичних деформацій. При дослідженні коерцитивної сили намагнічування та розмагнічування проводять у постійних полях, що призводить до низької продуктивності та унеможливорює сканування конструкцій з метою пошуку небезпечних ділянок.

Застосування змінних магнітних полів для визначення параметрів петлі магнітного гістерезису може дозволити вирішити завдання підвищення продуктивності та сканування зварних конструкцій. Крім того намагнічування до насичення призводить до великої енергоємності та утруднює переміщення перетворювача. Нами було прийнято рішення перейти на змінні поля меншої від насичення напруженості магнітного поля, а саме 300 А/м при частоті 50 Гц. Дослідження впливу пластичних деформацій на параметри петлі магнітного гістерезису проводили на листовій сталі 09Г2С товщиною 4 мм. Пластичні деформації стиснення створювали у спеціальному пристосування із нагріванням робочої частини зразка до температури вище 600 °С (650-750 °С) із подальшим деформуванням. Отримані експериментальні дані показали, що такі параметри як напівширина петлі магнітного гістерезису (по осі напруженості поля), та напіввисота петлі магнітного гістерезису (по перерізу по осі індукції) можна застосовувати для визначення наявних пластичних деформацій. Це дає можливість застосовувати метод змінного перемагнічування для отримання параметрів петлі магнітного гістерезису до завдання визначення залишкових зварювальних пластичних деформацій.

## АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ В ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

*Карабут Т.С., Фомічов С.К., Марічева О.С., Скачков І.О.  
(НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)*

Будь-яке рішення у нашому житті має на увазі те, що необхідно враховувати певні ризики, які можуть мати місце. Також очевидно те, що при прийнятті певних рішень необхідно застосовувати структурований та комплексний підхід до управління ризиками, які можуть виникнути в тій чи іншій ситуації.

Ризик – це вплив невизначеності на досягнення поставленої мети, а невизначеність – це стан, який на пряму залежить від браку інформації стосовно події, яка відбувається і як наслідок можливо отримати прямі збитки або можливість вирішення конкретного питання чи удосконалення процесу.

Саме розробка системи менеджменту ризиків впливає на досягнення поставленої мети, впливає на підвищення ефективності діяльності підприємства, має безпосередній вплив на удосконалення систем управління, спрощує прийняття багатьох рішень у процесі діяльності організації.

На сьогодні, на фоні нестабільної економічної ситуації в країні, підприємства вимушені працювати в умовах невизначеності, де має місце імовірність загрози банкрутства або прямих збитків, тому саме управління ризиками доволі актуальне в загальній концепції управлінської стратегії. І як наслідок, організація шляхом зниження або управління ідентифікованими ризиками має змогу стати більш конкурентоздатною. Саме ефективно розроблений та впроваджений менеджмент ризиків дає змогу підприємству прогнозовано працювати в умовах невизначеності.

У процесі діяльності організацій та із врахуванням ряду факторів, які впливають на їх діяльність в цілому, керівники підприємств впевнено приймають рішення стосовно розробки та впровадження ризик-менеджменту.

## НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАПРЯМІВ ПІДГОТОВКИ ТА АТЕСТАЦІЇ ЗВАРНИКІВ ВІДПОВІДНО ДО НПАОП 0.00-1.16-96

*Несін В.В., (ДП «МУАЦ ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України»)*

Необхідність перегляду Правил атестації [1] в зв'язку зі змінами основних нормативних документів постала давно. Умовні напрямки атестації зварників, зазначені в п. 1.9 Правил атестації зварників [1] зберігаються незмінними протягом останніх 22 років.

Певні зміни сталися з 1996 року в документах, що забезпечують ці напрямки атестації. Зокрема відміненими на теперішній час є: ДНАОП 0.00-1.08-94, ДНАОП 0.00-1.11-90, ДНАОП 0.00-1.07-94, ДНАОП 0.00-1.03-93.

Позначення «ДНАОП» в 2007 році змінено на «НПАОП» [2].

Введені в дію НПАОП 0.00-1.60-66, НПАОП 0.00-1.11-98, НПАОП 0.00-1.59-87, НПАОП 0.00-1.01-07, НПАОП 0.00-1.22-08, НПАОП 0.00-1.02-08, НПАОП 0.00-1.36-05, НПАОП 0.00-1.76-15.

Відмінені СНиП 3.05.02-88, СНиП 3.05.03-85, СНиП 3.05.04-85.

Обмежені в дії СНиП III-18-75 (діють розділи 3-8) та СНиП 3.03.01 (діють пункти 4.78 – 4.134). Процес зміни, відміни та введення нових нормативних документів є динамічним, відбувається постійно.

Актуальними для забезпечення атестації зварників на сьогоднішній день залишаються наступні напрямки та пов'язані з ними нормативні документи:

1. Парові та водогрійні котли – НПАОП 0.00-1.60-60;
2. Трубопроводи пари і гарячої води – НПАОП 0.00-1.11-98, ДСТУ-НБ.2.5-66:2012, ДСТУ-НБ.2.5-68:2012;
3. Посудини, що працюють під тиском – НПАОП 0.00-1.59-87;
4. Вантажопідіймальні крани, підіймальні пристрої та відповідне обладнання – НПАОП 0.00-1.01-07, НПАОП 0.00-1.22-08, НПАОП 0.00-1.02-08, НПАОП 0.00-1.36-05;
5. Магістральні трубопроводи – СНиП III-42-80;
6. Трубопроводи газопостачання – НПАОП 0.00-1.76-15, ДБН В.2.5-20-2001;
7. Несучі та огорожувальні конструкції – ДСТУ Б.В.2.6-199:2014, ДСТУ Б.В.2.6-200:2014;
8. Металеві конструкції – СНиП III-18-75 (розділи 3-8), СНиП 3.03.01 (пункти 4.78 – 4.134);
9. Технологічні трубопроводи – СНиП 3.05.05-84.

### Література

1. НПАОП 0.00-1.16-96 Правила атестації зварників, затверджені наказом Держнагляд-охоронпраці України 19.04.96 №61, зареєстровані в Мін'юсті України 31.05.96 за № 262/1287
2. Несін В.В. Сертифікація фахівців з неруйнівного контролю якості зварних з'єднань об'єктів теплової та промислової енергетики піднаглядових Держгірпромнагляду України в 1997-2015 роках. с. 181-182 // Збірка тез доповідей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Екологія. Людина. Суспільство.» (м. Київ) / Укладач Д.Е. Бенатов. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 202 с.

## ЗВАРЮВАННЯ КОНВЕКЦІЙНИХ ТЕПЛООБМЕННОКІВ

*Вдовиченко І.М., Решетілова А.К., Скачков І.О. (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)*

Конвекційні теплообмінники є одним з найважливіших типів технологічного обладнання у нафтопереробці, хімічній, харчовій та інших галузях. Потреба України в оребрених поверхнях, як складових теплообмінників, тільки для апаратів повітряного охолодження складає близько 200 км на рік. Вимоги до підвищення ефективності оребрених поверхонь як ключового елемента теплообмінних вузлів енергетичного обладнання визначають необхідність розробки технології їх виготовлення зі сплавів на основі алюмінію.

Для забезпечення довговічного сталого теплообміну необхідно забезпечити з'єднання плоско-овальної труби з ребрами охолодження зварюванням. Значні обсяги виробництва оребрених поверхонь визначають вимоги до високої продуктивності та економічності технологічного процесу.

Поставленим вимогам задовольняє спосіб контактного стикового зварювання опором. Однак, в зв'язку з тим, що різниця в товщині ребра і стінки труби становить більше чотирьох разів виникають значні складнощі в реалізації технологічного процесу. Схема підведення струму до контакту ребро-труба через конструктивні особливості сприяє переважному нагріву труби, а не зони утворення з'єднання. Окрім того, значне теплоотведення в метал труби не дає можливості нагріти зону контакту з боку труби до необхідної температури і унеможливує формування зварного з'єднання традиційними способами стикового зварювання.

Додатковою проблемою є те, що вимога до високої продуктивності процесу виготовлення оребрених труб в цілому потребує розробки технології зварювання без попередньої хімічної обробки поверхні.

Значна різниця в товщині зварюваних елементів обумовила потребу у збільшенні тепловиділення саме в зоні контакту. З цією метою на контактні поверхні наносилось електроіскровим способом покриття  $Ni + Cr$  та  $Fe + Ni$  з метою підвищити контактний опір. Експериментальні зварювання здійснювалось на переобладнаній машині контактного точкового зварювання на струмі 22 кА. Електродний вузол був замінений на оригінальну конструкцію, що дозволяла реалізувати процес зварювання опором на машині контактного точкового зварювання. Час нагріву становив 0,02...0,04 секунди. Особливості перебігу процесу зварювання визначили необхідність переобладнання системи стиснення для зменшення інерційності механічної частини машини.

Нанесення покриття дозволяє отримати зварне з'єднання плоско овальної труби і ребра з алюмінієвих сплавів без попередньої обробки поверхонь від оксидних плівок. Однак, нерівномірний нагрів ребра і значне відведення тепла в струмопідвід при жорсткому закріпленні ребра призводить до виникнення суттєвих напружень в металі ребра. Це, при певних величинах вильоту ребра при зварюванні, призводить до утворення тріщин в металі ребра на відстані від 1,5 до 3 мм від місця з'єднання. Зменшення перегріву ребра може бути здійснено застосуванням конденсаторного зварювання, що суттєво дозволить підвищити концентрацію енергії в зоні утворення з'єднання при суттєвому зменшенні загальної кількості тепла, введеного у виріб.

## ВИЯВЛЕННЯ ВИПЛЕСКІВ ПРИ КОНТАКТНОМУ ТОЧКОВОМУ ЗВАРЮВАННЯ ЗА ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕСУ

*Вдовиченко Д.М., Редькін О.Ю., Скачков І.О (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)*

Контактне точкове зварювання (КТЗ) є одним з основних технологічних процесів в автомобілебудуванні. В той же час, технологія КТЗ є чутливою до якості підготовки виробів під зварювання та стану зварювального обладнання. Зменшення загальної частки людської праці на тлі комплексного впровадження автоматизації і роботизації в умовах четвертої індустріальної революції визначає необхідність розробки систем моніторингу технологічних процесів виробництва.

Система моніторингу технологічних параметрів КТЗ має визначати порушення перебігу технологічного процесу. Причинами порушень можуть бути відмінності в якості підготовки поверхні зварюваних деталей, їх забруднення, знос електроду, зміна зусилля стиснення та інші. Одним з критичних наслідків таких порушень є виплеск, пропал або поверхневе порушення суцільності металу у вм'ятині від електрода.

Виявити автоматично момент виникнення виплеску можна за енергетичними показниками процесу. Зварювання низьковуглецевої сталі товщиною 0,8мм здійснювали змінним струмом промислової частоти на машині МТ-1215. Параметри процесу записували в пам'ять комп'ютера за допомогою АЦП Lcard E14-140 з частотою перетворень 50 кГц на канал. Запису сигналів здійснювали за допомогою спеціалізованої програми L-graph v.2.0. Зварювальний струм вимірювали у вторинному контурі зварювальної машини індуктивним методом. Оскільки сигнал з індуктивного датчика є першою похідною від струму, то сигнал з датчика інтегрували програмно для відтворення значень струму. Напругу вимірювали безпосередньо на зварювальних електродах. Обчислення здійснювали за допомогою GNU Octave 4.2— системи для виконання математичних розрахунків.

Під час зварювання енергія, що виділяється за кожен півперіод мережевої напруги змінюється через зміну активного опору зварюваної точки, що пов'язано з ростом діаметру точки і її температури. На першому етапі відбувається стрімке наростання енергії. Це триває до двох періодів мережевої напруги. В подальшому енергія в кожному наступному півперіоді експоненціально зменшується через зменшення опору точки, спричиненому збільшенням її діаметру.

При виникненні виплеску частина розплавленого металу видаляється із зони проходження струму. Це призводить до стрибкоподібного зменшення активного опору точки і, відповідно, до зменшення енергії, що виділяється. Таким чином, різке зменшення енергії, що виділяється свідчить про наявність виплеску. В подальшому енергія стабілізується на новому, суттєво меншому рівні (70...80% від попереднього). Для чіткого виявлення моменту виплеску доцільно досліджувати першу похідну зміни енергії в часі. Момент виплеску супроводжується чітким і достатньо великим сплеском першої похідної.

Таким чином з'являється можливість виявлення виплеску в автоматичному режимі для подальшої статистичної обробки і виявлення моменту появи особливих причин для управління процесом технічного обслуговування чи процесами підготовки виробів під зварювання.

## МАГНІТНА СТАБІЛІЗАЦІЯ ДУГИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ НЕПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ

*Сидоренко П.Ю. (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)*

При дуговому зварюванні однією із головних причин виникнення дефектів формування швів, таких як нестабільність форми лінії сплавлення, бічних підрізів, несплавлення крайок, є нестационарні відхилення дуги від заданого геометричного положення. Даний негативний ефект може виникати через залишкову намагніченість крайок зварюваних з'єднань із матеріалів з феромагнітними властивостями, нестабільність величини зазору між ними, несиметричне розташування поблизу робочої зони потужного джерела струму або струмопровідних кабелів і т.д. У більшій мірі він проявляється при зварюванні на форсованих режимах. Загальновідомі заходи, спрямовані на попередження нестационарних відхилень дуги, у більшості випадків є лише корисними рекомендаціями і не враховують особливостей технологічного процесу зварювання. Так попереднє розмагнічування крайок з'єднань унеможливує виникнення ефекту “магнітного дуття”, однак його не завжди можна виконати через, наприклад, великі габаритні розміри виробу або виконання робіт у монтажних умовах. Деякого компенсування несиметричності магнітного поля в робочій зоні досягають змінами місць розташування і приєднання до виробу кабелів підведення зварювального струму. Однак у кожному конкретному випадку для перевірки ступеню ефективності даного заходу необхідне виконання комплексу експериментальних робіт.

Нестабільність величини зазору між крайками зварюваних деталей може виникати не тільки через низький рівень якості виготовлення заготовок, а і через напруження і деформації виробу в процесі зварювання. Ці зміни спричинюють погіршення умов горіння дуги і, як наслідок, виникнення неприпустимих дефектів формування швів. Особливо це стосується тонкостінних елементів конструкцій. У даному випадку найбільш дієвим заходом є удосконалення конструкцій складально-зварювальних пристосувань. Однак і при його застосуванні існують певні обмеження, пов'язані, наприклад, з неможливістю розташування притискних елементів у заданих місцях через особливості конструкцій зварюваних виробів, необхідність вести процес зварювання швів складної форми безперервно і т.д. Таким чином, розробка дієвих способів стабілізації процесу горіння дуги є важливою і актуальною задачею.

Реалізація зазначеного способу стабілізації дуги можлива і за допомогою магнітного поля зварювального струму. Це потребує істотних змін конструкцій струмопровідних деталей пальників. На даний час опублікованих даних про шляхи вирішення даної задачі не існує. Виходячи із цього метою даної роботи є розробка і дослідна перевірка технологічних можливостей спеціалізованого пальника для дугового зварювання неплавким електродом з магнітною стабілізацією процесу горіння дуги.

Основним елементом, який відрізняє розроблений пальник від всіх інших модифікацій, є електродний вузол, що складається із обойми у вигляді спіралі з плоскими витками, яка охоплює струмопідвідну цангу і електрод. Тобто, у даній конструкції обойма одночасно виконує функції елемента підведення зварювального

струму до електроду і котушки намагнічування пристрою стабілізації дуги. Регулювання кількості її витків здійснювали встановленням у міжвитковий простір електропровідних або діелектричних шайб. Електродний вузол розміщено у циліндричному корпусі, виготовленому із діелектричного матеріалу.

Показано, що під впливом аксіального магнітного поля заряджені частки стовпа дуги рухаються за спіральною траєкторією і утворюють вихор. Тобто, дуга обертається навкруги своєї поздовжньої осі і набуває форми конусу. Це може позитивно впливати на стабілізацію її геометричного розташування. Виявлені особливості горіння дуги при використанні розробленого пальника розширюють технологічні можливості зварювання неплавким електродом. Так, наприклад, при роботизованому зварюванні конусною дугою можна звести до мінімуму вплив на формування стикових швів похибок просторового розташування пальника і у такий спосіб уникнути необхідності застосування систем геометричної адаптації.