

УДК 620.179:621.373.5

СПОСОБИ ЗНИЖЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ

А. В. Жильцов, доктор технічних наук

В. В. Васюк, асистент

e-mail: azhilt@gmail.com

Анотація. *Виконано огляд існуючих способів зниження зварювальних залишкових напружень і деформацій, визначені їх основні переваги та недоліки, сфери застосування.*

Ключові слова: *зварювання, залишкові напруження, електропластична деформація*

У процесі зварювання металевої конструкції в ній можуть виникати залишкові напруження і деформації, наслідком яких є спотворення проектних форм і розмірів виробів, які вимагають для відновлення, небажаного зовнішнього силового впливу. При експлуатації залишкові напруження і пластичні деформації металу можуть стати причиною втомного і крихкого руйнування, зміни жорсткості, зменшення корозійної стійкості та точності звареної конструкції. За часом існування напруження і деформації розділяють на тимчасові і залишкові. В випадку якщо значення напружень не перевищують межі пружності металу, то після охолодження тіла ці напруження зникнуть. Залишкові напруження при охолодженні тіла повністю не знімаються, оскільки вони пов'язані з незворотними пластичними локальними деформаціями та структурними змінами в будові матеріалу коли величина напружень в них перевищує межу плинності матеріалу конструкції, механізмом їх зниження є релаксація [1].

Виникнення залишкових напружень невід'ємно пов'язано з різними процесами, що відбуваються над металом. У напрямку дії залишкові зварювальні напруження поділяються на поздовжні (спрямовані паралельно осі шва) і поперечні (перпендикулярно осі шва). Деформації зварної конструкції

проявляються у вигляді поздовжнього або поперечного укорочення та вигину, який пов'язаний з утворенням кутових деформацій, що в свою чергу призводить до втрати стійкості. Причинами виникнення внутрішніх напружень і залишкових деформацій в зварних з'єднаннях і конструкціях являються: нерівномірне нагрівання металу, ливарна усадка наплавленого металу, напруження від структурних перетворень в металі [2, 3].

Мета досліджень – порівняння існуючих способів зниження зварювальних залишкових напружень і деформації, визначення їх переваг та недоліків.

Матеріали та методика досліджень. До способів *попередження* появи напружень і деформацій при зварюванні належать: раціональна конструкція зварних вузлів, раціональний вибір способу і технології зварювання, виконання відповідних вимог при складанні конструкцій, обґрунтований вибір технології зварювання. До способів *зниження* залишкових зварювальних напружень належать: термічна обробка, вібраційна обробка, ультразвукова, ударного і вибухового навантаження, прокатка, проковка, та інші (рис 1.).

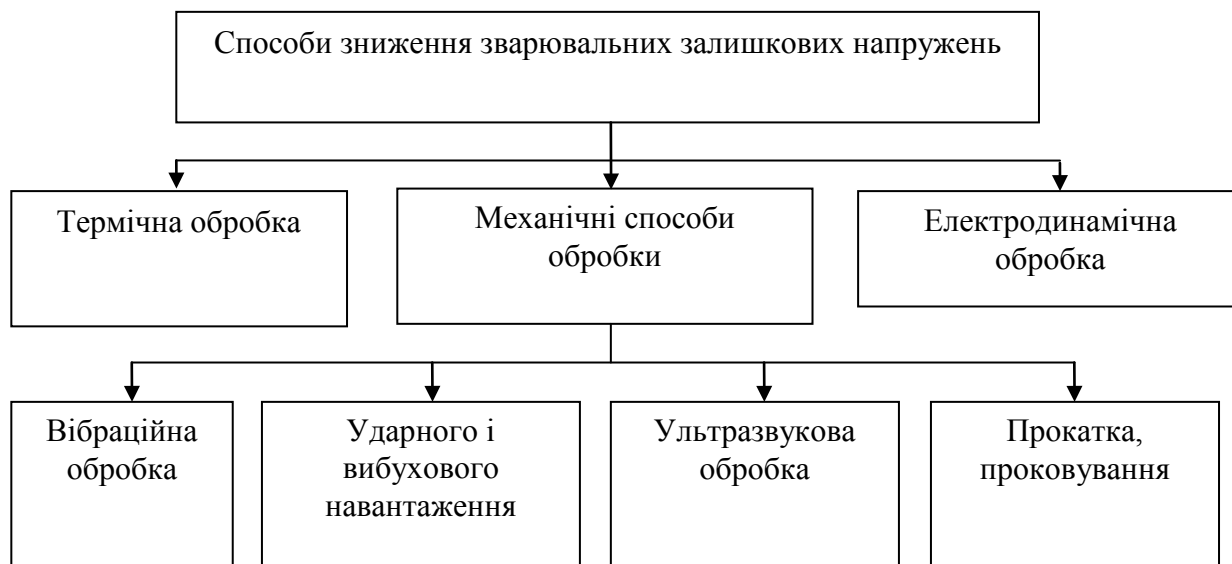


Рис. 1. Способи зниження зварювальних залишкових напружень

Результати досліджень. *Термічна обробка.* Для зниження зварювальних залишкових напружень в деталях та елементах конструкцій найширше використовується термічна обробка – відпал. Вона застосовується в випадках коли представляються підвищені вимоги до міцності конструкції і сталості її розмірів.

Цей спосіб отримав найбільшого поширення як найпростіший і дешевший, однак його застосування значно ускладнює технологію виготовлення конструкції. Термічна обробка здійснюється в печі, яка має невеликі розміри, значні витрати енергії, та тривала за часом. Відповідно застосування даного методу накладає суттєві обмеження на габаритні розміри об'єкту який підлягає обробці. Деякі метали не можна піддавати відпалу, адже це обумовить втрату їх властивостей. Перевагами термічної обробки є зниження залишкових напружень у всіх точках тіла, незалежно від складності його форми, без зниження пластичності металу та відносна простота [4].

Механічні способи обробки. Для зниження зварювальних залишкових напружень нині широко застосовуються способи реалізовані механічним впливом. До них відносяться: ультразвукова обробка, вібраційна обробка, способи ударного і вибухового навантаження, прокатка, проковка, принцип яких полягає в створенні пластичної деформації протилежного знака, яка приводить до зниження або повного зникання розтягуючих залишкових напружень в зварній конструкції.

При застосовуванні *механічного коливання в діапазоні ультразвукових частот* контактним способом для обробки металу, який містить дислокації, енергія ультразвукової хвилі поглинається дислокаціями і перетворюється в енергію переміщення цих дислокацій (викликає деформації) що сприяє пластичним зрушенням, та викликає зменшення рівня внутрішніх напружень. Недоліком ультразвукового способу обробки є суттєве зменшення продуктивності процесу відповідно при збільшенні глибини обробки. Даний метод застосовується при обробці зварних швів невеликої довжини [5].

Широко використовується *вібраційний* спосіб зниження зварювальних залишкових напружень. Віброобробку можна охарактеризувати як прискорений спосіб природного старіння. Сутність способу полягає у створенні в металоконструкції після процесу зварювання змінних напружень певної величини за допомогою спеціальних вібровозбуджувачів. Змінні напруження поєднуються з залишковими, наслідком чого є виникнення явища вібропластичності, яке сприяє

зниженню напружень. Перевагами даного способу є можливість обробляти великогабаритні конструкції з різнорідних матеріалів. Для віброобробки великих конструкцій необхідно використання потужних вибробуджувачів, що суттєвим недоліком зазначеного способу та призводить до зростання їх габаритів, збільшення енерговитрат і ускладнення пристроїв для кріплення. Даним способом не забезпечуються можливість регулювання циклічних напружень в процесі віброобробки і однорідність поля залишкових напружень після віброобробки складних конструкцій що мають геометричну і акустичну неоднорідність [6].

Доволі перспективними є *високоенергетичні методи*, які використовують енергію згоряння вибухових речовин і електрогідравлічного ефекту за рахунок імпульсного навантаження зварювального шва повністю усувають залишкові деформації та значно зменшують залишкові напруження. Зниження зварювальних залишкових напружень при високошвидкісному і імпульсному навантаженні пов'язано з силовим впливом імпульсу тиску, що призводить до навантаження об'єкту і виникнення в ньому напружень. Ці напруження, складаючись із залишковими, призводять до пластичної деформації та обумовлюють зменшення залишкових напружень. Однак, експериментальні установки, подовані на даних ефектах, виявилися громіздкими, з низьким ККД та малоефективними [7].

Проковування застосовується як в процесі зварювання по металу що охолоджується, так і після повного охолодження. Проковуванням осаджують метал по товщині, створюючи пластичні деформації подовження в площині, перпендикулярній напрямку удару. Цим досягається зменшення розтягуючих та поява стискаючих залишкових напружень. Ефективність проковки залежить від температури, кількості теплоти, що виділяється при проковці, і значення пластичної деформації. Для серійного обладнання для проковування зварних швів довжина оброблюваного шва обмежується, а проковування ж ручним інструментом відрізняється більшою маневреністю і універсальністю обладнання але більшими трудозатратами. Прокатка зони зварного з'єднання використовується головним чином для зменшення залишкових переміщень або для загладжування швів. У

місцях прокатки розтягуючі напруження зменшуються і можуть стати стискаючими. Найбільш ефективна прокатка для конструкцій з невеликою товщиною листів адже з збільшенням товщини ефективність значно зменшується. До недоліків прокатки належить необхідність значних зусиль при прокатці високоміцних сталей, складність оброблення всіх видів зварних швів, негативний вплив на властивості металу, громіздкість і стаціонарність устаткування. Перевагами застосування даних способів в їх простоті, маневреності, універсальності, і ефективності при обробці пластичних матеріалів, але при необхідності автоматизації вони вимагають створення складного технологічного обладнання і важко реалізується при виготовленні великогабаритних зварних конструкцій [8].

Спосіб електродинамічної обробки. У 1969 році, дослідженнями О. А. Троицького, виконаними в Інституті фізичної хімії АН СРСР під керівництвом акад. В. І. Спіцина було експериментально встановлено, що електричний струм густиною $10^5 \div 10^6$ А/см² та тривалістю $\sim 10^{-4}$ с., що пропускається через метал, викликає поряд з тепловим ще і додатковий вплив на процес пластичної деформації в металі по нетермічним механізмам. Однак, не дивлячись на широке застосування явища електропластичної деформації, механізми, що керують цим явищем, на сьогодні до кінця невідомі. Можливо припустити, що в процесі локального пружного розвантаження визначальний внесок належить інтенсивним дислокаційним взаємодіям, які обумовлені протіканням електричного струму. Ці взаємодії залежать від параметрів струмового імпульсу: форми імпульсу, амплітуди, тривалості фронту та ін. На теперішній момент існує низка теорій що намагаються пояснити механізм електронно-пластичного ефекту, але кожна з них повністю не розкриває сутність даного явища [9].

Досить широко вивчено і впроваджено застосування електропластичної деформації в металообробному виробництві для виготовленні дроту, порошкових матеріалів, листового прокату, штампуванні, плющенні, куванні, прокатці.

Пристрій для здійснення такого імпульсного електромагнітного впливу можливо конструктивно виконати в вигляді електродної системи індукційного типу

та генератора імпульсів струму. Принцип дії якого полягає в накопиченні електричного заряду в конденсаторі, що відбувається при живленні від стабілізованого джерела постійної напруги через великий опір та наступного швидкого розрядження цього конденсатора через індуктивність та електродну систему.

Основні переваги застосування електродинамічної обробки для зниження зварювальних залишкових напружень в порівнянні з іншими способами:

- обладнання є досить простим, універсальним, мобільним і малогабаритним, що дозволяє використовувати його для обробки широкого кола зварних об'єктів, можливість здійснювати локальну дію;

- низька собівартість та вартість обслуговування, скорочення часу технологічного процесу в 50-60 разів;

- зменшення енергозатрат більш ніж в 500 разів, виключення забруднення навколишнього середовища;

- електродинамічна обробка зварних з'єднань призводить до зниження залишкових напружень на 50-65 % (термічна обробка 30-70 %, вібраційна обробка 40-55 %, ультразвукова обробка 16-30 %, ударного і вибухового навантаження 40-60 %, прокатка проковування 40-50 %) [1, 10].

Висновки

Серед низки існуючих способів зниження зварювальних залишкових напружень електродинамічна обробка володіє суттєвими перевагами і потребує подальших досліджень в напрямі розробки математичної моделі нестационарного електрофізичного процесу електродинамічної обробки зварних з'єднань та встановлення на її основі конструктивних, електричних і режимних характеристик для забезпечення параметрів струмових імпульсів, достатніх для ефективного регулювання залишкового напруженого стану металевих конструкцій.

Список літератури

1. Буркин, С. П. Остаточные напряжения в металлопродукции: учебное пособие / С. П. Буркин, Г. В. Шимов, Е. А. Андрюкова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 248 с.
2. Прохоренко, В. М. Напруження та деформації у зварних з'єднаннях і конструкціях / В. М. Прохоренко, О. В. Прохоренко. – К. : НТУУ «КПІ», 2009. – 268 с.
3. Сварочные напряжения и деформации: методические указания к лабораторным работам. Часть I и II / Сост. Т.Ю. Малеткина. –Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 26 с.
4. Колачев Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учебник для вузов. / Б. А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : МИСИС, 1999. – 416 с.
5. Трофимов А. И. Ультразвуковой метод снятия остаточных напряжений в процессе сварки / А. И. Трофимов. – М: Энергоатомиздат, 2008. – 224 с.
6. Дрыга А. И. Вибростабилизирующая обработка сварных и литых деталей в машиностроении. Теория, исследования, технология] / А. И. Дрыга. – Краматорск: ДГМА, 2004. – 168 с.
7. Вовченко А. И. Пути повышения эффективности электрогидроимпульсного метода снижения остаточных напряжений в сварных соединениях / А. И. Вовченко, Л. Ю. Демиденко, Е. С. Юрченко // Тяжелое машиностроение. – 2003. – № 12. – С. 34–36.
8. Загорянский В. Г. Расширение деформационных методов предотвращения коррозионного растрескивания сварных соединений / В. Г. Загорянский // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. – 2010. – Вип. 2 (61). Ч. 1 – С. 61–68.
9. Баранов Ю. В. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю. В. Баранов, О. А. Троицкий, Ю. С. Авраамов, А. Д. Шляпин. – М. : МГИУ, 2001. – 844 с.

10. Емельянов Р. Т. Вибрационная обработка сварных конструкций / Р. Т. Емельянов, Е. С. Турышева, О. И. Шеденко, Д. А. Кутергина // Вестник КрасГАУ. – 2014. – №4. – С. 239–241.

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ СВАРОЧНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ

А. В. Жильцов, В. В. Васюк

Аннотация. *Выполнен обзор существующих способов снижения сварочных остаточных напряжений и деформаций, определены их основные преимущества и недостатки, области применения.*

Ключевые слова: *сварка, остаточные напряжения, электропластическая деформация*

WAYS OF DECREASE WELDING RESIDUAL STRESSES AND STRAINS

A. Zhiltsov, V. Vasuk

Annotation. *A review of existing methods to reduce welding residual stresses and strains, identified their main advantages and disadvantages, application.*

Keywords: *welding, residual stresses, electroplastic deformation*