

Д. В. Бакалець¹
О. І. Шугайло¹
П. Ю. Бондарчук¹

ОЦІНКА ВПЛИВУ МОКРОГО НАПЛАВЛЕННЯ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАННИЙ СТАН ВАЛІВ

¹Вінницький національний технічний університет

Наплавлення є прогресивним і високопродуктивним способом відновлення зношених робочих поверхонь деталей. Однією з найбільш поширених технологій відновлення діаметральних розмірів валів є їх наплавлення в середовищі захисних газів. Однак при такому ремонті валів малого діаметра та великої довжини виникають суттєві деформації, та ливарні укорочення пов'язані з надмірним нагріванням в процесі наплавлення. Нерівномірне місцеве нагрівання металу при наплавленні, зміна його об'єму, внаслідок температурного розширення й структурних перетворень, обумовлюють появу зварювальних напружень і деформацій, які в низці випадків викликають зміну форми і розмірів виробу, і роблять його непридатним для подальшого використання. Особливо це відноситься до процесу наплавлення валів малого діаметра, яке часто проходить з їх нагріванням до температур вище 600 °С. Як відомо, границя текучості сталі з підвищенням температури вище 500 °С різко падає. В зв'язку з цим вали закріпленні у центрах отримують осьову усадку, а деталі з одностороннім закріпленням можуть деформуватись за рахунок власної ваги. Одним із методів запобігання підвищенню температури є використання різних способів охолодження, в тому числі водяного.

В роботі запропоновано технологію мокромого наплавлення, яка полягає у частковому зануренні деталі у воду, що дозволяє мінімізувати нагрівання під час наплавлення, і відповідно, всі негативні наслідки пов'язані з цим. Запропонована технологія мокромого наплавлення дозволяє відновлювати деталі без їх перегріву, і як наслідок, зменшити поточні деформації на 60-70 %, а залишкові майже вдвічі. В роботі також досліджено мікроструктуру та твердість покриттів отриманих мокрим наплавленням. Покриття наплавлені низьковуглецевим дротом Св-08Г2С з додатковим обдувом вуглекислим газом мають структуру подібну атермічному мартенситу та низьку пористість. Вимірювання мікротвердості показали, що лише поверхневі шари мають порівняно високу твердість яка знижується в глиб покриття.

Ключові слова: мокре наплавлення, вал, водяне охолодження, зварювальний низьковуглецевий дріт, деформація.

Вступ

Підводне зварювання та наплавлення знайшло широке застосування як при виготовленні трубопроводів для газопереробної та нафтопереробної галузі, так і в ремонтному виробництві, при оперативному ремонті пробоїн та інших пошкоджень з частковим чи повним підтопленням. Однак воно має значні труднощі як технологічного, так і металургійного характеру. Технологічні труднощі полягають у необхідності забезпечення герметичності обладнання та матеріалів для запалювання дуги під водою, що потребує використання трубчастих електродів і додаткового обладнання для подачі газу, що створює міхур у якому запалюється дуга. Металургійні труднощі зумовлені воднево-кисневою атмосферою парогазового міхура, який формується уже в процесі зварювання чи наплавлення під водою і сприяє окисленню легуючих елементів та насиченню металу зварювальної ванни воднем, а прискорене охолодження навколишньою водою призводить до його затримки в металі шва і утворенню гартівних структур [1–3].

За звичай суть процесу наплавлення під водою полягає в тому, що дуга горить в атмосфері парогазового міхура. Такі умови спричиняють зменшення поперечного перерізу стовпа дуги, збільшення щільності струму, підвищення температури в стовпі дуги і напруги на дузі. Кисень і водень води насичують розплавлений метал.

Метал шва швидко кристалізується тим самим фіксує в ньому відносно високий вміст кисню (до 60 см³/100 г.) та зростає можливість появи неметалічних включень. Охолодження металу відбувається з високою швидкістю (у 10...15 разів швидше, ніж при напавленні на повітрі) за рахунок інтенсивного розсіювання теплоти в воду через нагріті поверхні з'єднання, що зварюються, зростає можливість зниження ефективного ККД джерела теплоти і підвищення його концентрації [4, 6].

Під впливом перерахованих вище несприятливих факторів наплавлення низьколегованих сталей під водою відрізняється від виконаного на повітрі схильністю до холодних тріщин, підвищеною

пористістю металу шва і зниженими пластичними властивостями. Роботи Ю. А. Грецького, С. Ю. Максимова, Н. В. Кравченко, М. Ю. Каховського по регулюванню вмісту водню за рахунок складу покриття електродів показали низьку ефективність [1, 3, 5]. Присутність аустеніту в металі знижує кількість дифузійно-рухливого водню в металі ЗТВ до безпечного рівня, такі шви наявністю тонкого прошарку уздовж лінії сплавки і виділяються підвищеною пористістю, зварні з'єднання піддаються електрохімічній корозії.

Результати досліджень

В роботі запропоновано технологію мокрого наплавлення, яка передбачає часткове занурення деталі, що відновлюється у воду. Для проведення експериментальних досліджень було використано установку для наплавлення УД-209М (рис. 1), зварювальний низьковуглецевий дріт марки Св-08Г2С, циліндричні заготовки довжиною 420 мм діаметром 28 мм, магнітна стійка з індикатором годинникового типу, та відеофіксуючі засоби. Вимірювання температури проводили з використанням пірометра. Наплавлення проводили в звичайних умовах без охолодження та з використанням водяної ванни в яку на 2/3 занурювали деталь (рис. 1). Усі вимірювання проводили в процесі експерименту, фіксували їх на відеокамеру. Після чого дані оцифровували та будували графіки залежності, температури, часу та деформацій.



Рис. 1 – Установка УД-209М з пристосуванням для мокрого наплавлення

Основним недоліком класичного підводного наплавлення та зварювання є те, що дуга горить в атмосфері парогазового мішура. Такі умови спричиняють зменшення поперечного перерізу стовпа дуги, збільшення щільності струму, підвищення температури в стовпі дуги і напруги на дузі. Кисень і водень води насичують розплавлений метал. Метал шва швидко кристалізується, що спричиняє збільшення вмісту кисню та підвищення кількості неметалічних включень. Однак використання запропонованої технології мокрого зварювання дозволяє знизити негативний вплив води на металургійні властивості отриманих покриттів. Це досягається за рахунок того, що дуга горить на ділянці яка не занурена у воду і додатково обдувається вуглекислим газом. Значна частина вологи, яка затримується на поверхні деталі за рахунок змочування, встигає випаруватись за рахунок високих температур незануреної ділянки. Разом з тим охолодження напавленого металу відбувається з високою швидкістю за рахунок інтенсивного розсіювання теплоти у воду.

Встановлено, що в процесі наплавлення без охолодження температура в зоні термічного впливу, яку вдалось зафіксувати пірометром, досягала 670°C. У випадку мокрого наплавлення вона не перевищувала 140 °C. Найбільші поточні деформації зафіксовані на початковому етапі класичного наплавлення (рис. 2), коли температура досить швидко зростала до свого максимального значення у

місці початку наплавлення, однак коли було наплавлено декілька витків температурний режим стабілізувався а значення деформацій зменшилися вдвічі і по завершенню наплавлення становили 0,12–0,14 мм. При мокрому наплавленні поточні деформації не перевищували 0,07 мм (рис. 2), і по завершенню і повному охолодженню склали 0,04–0,6 мм. Такий результат пояснюється швидким охолодженням та низькими температурними показниками під час усього процесу мокрого наплавлення.

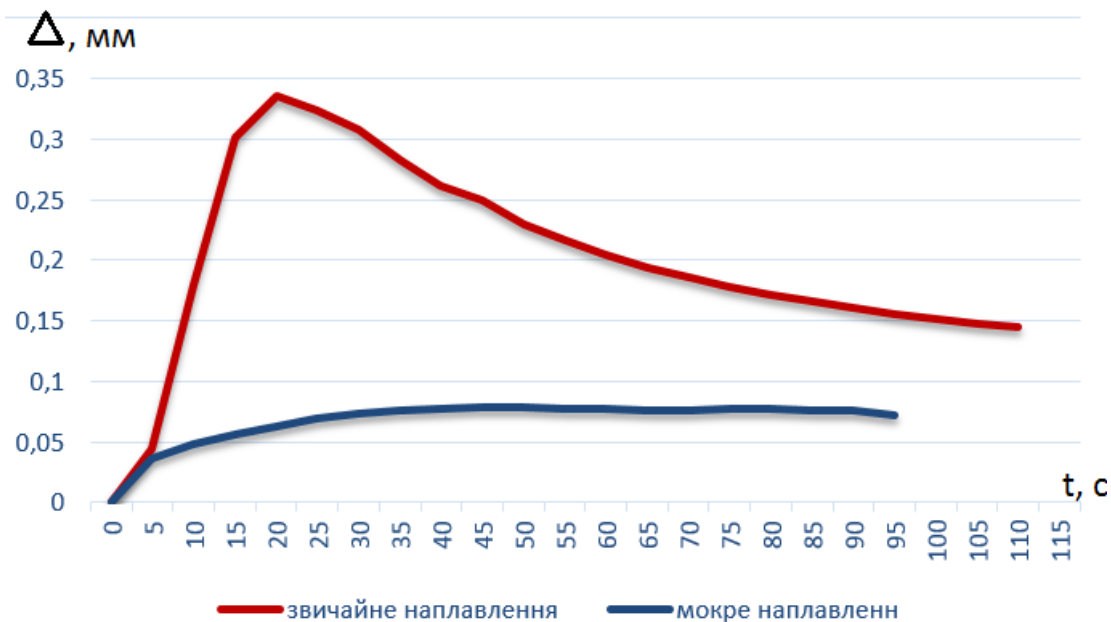


Рис. 2 – Зміна поточних деформацій при наплавці вала

Швидке охолодження часто спричиняє утворення гартівних структур мартенситного типу. Загальновідомо, що високовуглецеві сталі з мартенситною структурою мають високу твердість і малу пластичність. Твердість мартенситу залежить від вмісту вуглецю в сталі і мало змінюється від наявності легуючих елементів. Крихкість сталі збільшується зі збільшенням вмісту вуглецю і укрупненням мартенситних голок. Однак високу твердість мартенситу Г. В. Курдюмов, наприклад, пояснює дрібноблочною будовою мартенситних кристалів, межі яких сильно ускладнюють переміщення дислокації. Проте сильно розвинена блокова структура загартованої маловуглецевої сталі є основною причиною її високої статичної міцності, а роль вуглецю в цьому незначна. Ним встановлено, що в загартованій маловуглецевій сталі при деформації дислокації деяких типів відрізняються великою рухливістю. Вони сприяють деформації сталі без утворення при цьому тріщин. Ці висновки мають істотне значення для встановлення здатності отриманих наплавлених покриттів нести експлуатаційні навантаження. Для оцінки якості отриманих мокрим наплавленням покриттів були проведені мікроструктурні дослідження та вимірювання твердості (рис. 3, 4).



Рис. 3 – Структура наплавленого покриття

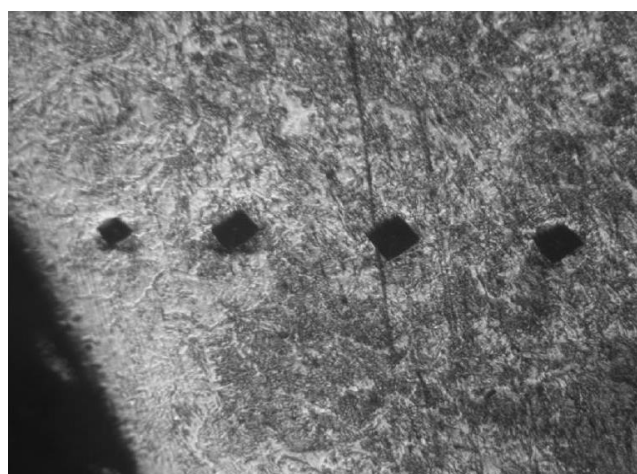


Рис. 4 – Вимірювання мікротвердості металу шва

Встановлено, що покриття, наплавлені низьковуглецевим дротом Св-08Г2С, мають структуру подібну атермічному мартенситу та низьку пористість (див. рис. 3). Вимірювання мікротвердості показали (див. рис. 4), що лише поверхневі шари мають порівняно високу твердість $HV = 750 \dots 780$ МПа натомість мікротвердість усього перерізу покриття становить $HV = 210 \dots 260$ МПа. Однак твердість основи можна збільшити відповідно до поставлених вимог шляхом використання більш вуглецевих наплавлувальних дротів [7-8].

Висновки

Запропоновано та відпрацьовано технологію мокрого наплавлення, яка дозволяє відновлювати деталі без їх перегріву, і як наслідок, зменшити поточні деформації на 60–70 %, а залишкові майже вдвічі.

Отримані покриття мають мартенситну щільну структуру та низьку пористість, що дозволяє робити висновок про придатність запропонованої технології до використання у промисловості.

Мікротвердість отриманих мокрим наплавленням покриттів градієнтна і може становити від $HV = 750 \dots 780$ МПа на поверхні до $HV = 210 \dots 260$ МПа в глиб покриття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Каховський М. Ю. Порошковий самозахисний дріт для підводного зварювання високолегованої корозійностійкої сталі 12Х18Н10Т. *Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України*. – 2014. – № 11(14). – С. 12–15.
- [2] Каховський М. Ю. Інноваційна технологія механізованого мокрого зварювання високолегованої корозійностійкої сталі. *Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України*. – Київ. – 2015. – № 11(4). – С. 25–31.
- [3] Кононенко В. Я. Подводная сварка и резка в странах СНГ. *ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ*. – Киев. – 2014. – № 6–7. – С. 43–48.
- [4] Шестаков С. А. *Подводная сварка и резка металлоконструкций морских нефтегазовых сооружений*. – Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. – 2008. – 164 с.
- [5] Бакалець Д. В. Вергелес В. В. Технологія підводного зварювання здвоєним електродом [Електронний ресурс]. *Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*, Вінниця, 22–24 березня 2017 р. - 2017. - Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2942>.
- [6] Бакалець Д. В. Шугайло О. І. Вплив параметрів зварювання під водою на процес формування зварного шва [Електронний ресурс]. *Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*, Вінниця, 21–23 березня 2018 р. – 2018. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018>.
- [7] Каховський М. Ю. Розробка нових зварювальних матеріалів для мокрого підводного зварювання високолегованої корозійностійкої сталі. *Технологія органічних і неорганічних речовин*. – Київ. – 2015. – № 5/7(25) – С. 33–35.
- [8] Бакалець Д. В. Отримання зносостійких покриттів наплавкою лежачим електродом під шаром флюсу [Електронний ресурс]. *Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*, Вінниця, 22–24 березня 2017 р. - 2017. - Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2999>.

Бакалець Дмитро Віталійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, e-mail: VacaletsDima@gmail.com;

Шугайло Олег Іванович – студент факультету машинобудування та транспорту, e-mail: 1zv.15b.shugailo@gmail.com;

Бондарчук Павло Юрійович – студент факультету машинобудування та транспорту, e-mail: 1zv.15b.bondarchuk@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

D. Bacalets¹
O. Shugailo¹
P. Bondarchuk¹

The assessment of the effects of wet melting on the stress-strain state of the shaft

¹Vinnitsia National Technical University

Welding is a progressive and highly productive way of repairing worn working surfaces of parts. One of the most widespread technologies of the reconstruction of the diameter of the shafts is their surfacing in the environment of protective gases. However, with such repairs of small diameter and longitudinal shafts there are significant deformations, and the casting shortenings are associated with excessive heating in the process of surfacing. Uneven local heating of the metal during surfacing, change in its volume, due to temperature expansion and structural transformations, cause the appearance of welding stresses and deformations, which in some cases cause changes in the shape and size of the product, and make it unfit for further use. This is especially true of the process of surfacing small diameter shafts, which often passes through their heating to temperatures above 600 °C. As you know, the boundary of steel steels with a temperature rise above 500 °C drops sharply. In

this connection, the shaft fastening in the centers gets axial shrinkage, and details with one-way fastening can deform due to its own weight. One of the methods to prevent the rise in temperature is the use of various methods of cooling, including water.

The paper proposes the technology of wet surfacing, which consists of partially immersing parts in water and allows to minimize heating during surfacing, and accordingly all negative consequences are connected with it. The proposed technology of wet surfacing allows the components to be restored without overheating, and as a result, reduce current deformations by 60-70%, and the residual is almost doubled. The microstructure and hardness of the coatings obtained by wet surfacing were also studied in this work. The coatings welded with low-carbon wire Sv-08G2S with an additional blown carbon dioxide have a structure similar to athermal martensite and low porosity. Measurements of microhardness have shown that only the surface layers have relatively high hardness that goes down to the depth of the coating.

Keywords: wet surfacing, water cooling, welding low carbon wire, deformation.

Bakalets Dmitrii – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Department of Industrial Engineering, e-mail: BakaletsDima@gmail.com;

Shugailo Oleg – student of the Faculty of Engineering and Transport, e-mail: 1zv.15b.shugailo@gmail.com;

Bondarchuk Pavel – student of the Faculty of Engineering and Transport, e-mail: 1zv.15b.bondarchuk@gmail.com.

Д. В. Бакалец¹
О. И. Шугайло¹
П. Ю. Бондарчук¹

Оценка влияния мокрой наплавки на напряженно-деформированное состояние валов

¹Винницкий национальный технический университет

Наплавка является прогрессивным и высокопроизводительным способом восстановления изношенных рабочих поверхностей деталей. Одной из наиболее распространенных технологий восстановления диаметральных размеров валов является их наплавка в среде защитных газов. Однако при таком ремонте валов малого диаметра и большой длины возникают существенные деформации, и литейные укорочения, связанные с чрезмерным нагреванием в процессе наплавки. Неравномерный местный нагрев металла при наплавке, изменение его объема, вследствие температурного расширения и структурных преобразований, обуславливают появление сварочных напряжений и деформаций, которые в ряде случаев вызывают изменение формы и размеров изделия, и делают его непригодным для дальнейшего использования. Особенно это относится к процессу наплавки валов малого диаметра которое часто проходит с их нагревом до температур выше 600 °С. Как известно, предел текучести стали с повышением температуры выше 500 °С резко падает. В связи с этим валы закрепленные в центрах получают осевую усадку, а детали с односторонним закреплением могут деформироваться за счет собственного веса. Одним из методов предотвращения повышения температуры является использование различных способов охлаждения, в том числе водяного.

В работе предложена технология мокрой наплавки, заключающаяся в частичном погружении детали в воду, что и позволяет минимизировать нагрев во время наплавки, и соответственно все негативные последствия с этим связанные. Предложенная технология мокрой наплавки позволяет восстанавливать детали без их перегрева, и как следствие, уменьшить текущие деформации на 60-70 %, а остаточные почти вдвое. В работе также исследованы микроструктуру и твердость покрытий полученных мокрой наплавкой. Покрытие, наплавленное низкоуглеродистой проволокой Sv-08Г2С с дополнительным обдувом углекислым газом, имеют структуру подобную атермическому мартенситу и низкую пористость. Измерение микротвердости показали, что только поверхностные слои имеют сравнительно высокую твердость, которая снижается вглубь покрытия.

Ключевые слова: мокрая наплавка, водяное охлаждение, сварочная низкоуглеродистая проволока, деформация.

Бакалец Дмитрий Витальевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры отраслевого машиностроения, e-mail: BakaletsDima@gmail.com;

Шугайло Олег Иванович – студент факультета машиностроения и транспорта, e-mail: 1zv.15b.shugailo@gmail.com;

Бондарчук Павел Юрьевич – студент факультета машиностроения и транспорта, e-mail: 1zv.15b.bondarchuk@gmail.com.