

Дерябкіна Є.С.,
Клочко О.Ю.
Державний
біотехнологічний
університет,
м. Харків, Україна
E-mail:
216464g@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ
КОМБІНОВАНОГО АРГОНОДУГОВОГО
НАПЛАВЛЕННЯ НА ЯКІСТЬ
АНТИФРИКЦІЙНОГО ШАРУ

[https://doi. 10.5281/zenodo.15426301](https://doi.org/10.5281/zenodo.15426301)

УДК 621.791.052

Клочко О.Ю., Дерябкіна Є.С. Дослідження впливу комбінованого аргонодугового наплавлення на якість антифрикційного шару

Анотація. Дана робота присвячена питанням отримання високоякісного покриття з алюмінієвої бронзи Бр АМц 9-2 на низьковуглецевій сталі дводуговим (комбінованим) аргонодуговим наплавленням вольфрамовим електродом, що не плавиться, а також вивченню властивостей цих покриттів, що визначають можливість їх застосування у якості матеріалів, що мають антифрикційні властивості, при виготовленні і відновленні деталей і вузлів тертя. Проведений аналіз показав, що більшість методів наплавлення не забезпечують можливість отримання високих антифрикційних властивостей бронзового покриття за один прохід. Доведено, що застосування комбінованого дводугового способу наплавлення, який дозволяє гнучко регулювати величину тепловкладання як в основний, так і в матеріал присадки, усуває основні проблеми отримання високоякісного бронзового покриття такі, як насамперед, тріщин на межі сплавлення «сталь-бронза», наявність яких знижує надійність антифрикційного шару. Зварювальні напруження і деформації в наплавленому шарі є одним з вирішальних факторів, що визначають якість і працездатність антифрикційного шару. Для обґрунтування вибору способу визначення залишкових напружень і деформацій у наплавленому шарі проаналізовані сучасні методи дослідження. Встановлено, всі існуючі методи визначення зварювальних напружень та деформацій використовують різні гіпотези, що спрощують реальні процеси пружнопластичного деформування під час наплавлення (зварювання). Для вимірювання залишкових напружень використаний метод вимірювання деформацій напруженого стану збуреного отвором. Переміщення визначалися при вимірі лазерно-комп'ютерною інтерферометричною системою, яка реєструє інтерферометричні лінії рівня переміщень значних областей поверхні тіла в зоні збурювального впливу (місця застосування сили або зондуючої лунки). Це дозволяє візуально визначити головні напрямки тензорів деформацій та напружень, зробити якісні висновки про розподіл напружень. Проведені дослідження показали, що середній рівень залишкових напружень після повторної електродугової обробки знизився незначно, швидше відбувся їх перерозподіл. Дослідження антифрикційних властивостей і зносостійкості зміцнених деталей показали, що застосування даної технології виготовлення дозволяє зробити заміну литих поршнів на біметалічні.

Ключові слова: антифрикційний шар; тріщини; залишкові напруження; деформації; дводугове наплавлення; тепловкладання.

Klochko O.Yu., Deryabkina E.S. Study of influence of combined argon-arc surfacing on quality of antifriction layer

Abstract. *This work is devoted to the issues of obtaining a high-quality coating of aluminum bronze Br AMts 9-2 on low-carbon steel by double-arc (combined) argon-arc surfacing with a non-consumable tungsten electrode, as well as the study of the properties of these coatings, which determine the possibility of their use as materials with antifriction properties in the manufacture and restoration of friction parts and assemblies. The analysis showed that most surfacing methods do not provide the possibility of obtaining high antifriction properties of the bronze coating in one pass. It is proven that the use of a combined double-arc method of surfacing, which allows for flexible regulation of the amount of heat input into both the base and the additive material, eliminates the main problems of obtaining a high-quality bronze coating, such as, first of all, cracks at the "steel-bronze" fusion boundary, the presence of which reduces the reliability of the antifriction layer. Welding stresses and deformations in the surfacing layer are one of the decisive factors determining the quality and performance of the antifriction layer. To justify the choice of the method for determining residual stresses and deformations in the surfacing layer, modern research methods have been analyzed. It has been established that all existing methods for determining welding stresses and deformations use different hypotheses that simplify the real processes of elastoplastic deformation during surfacing (welding). To measure residual stresses, the method of measuring deformations of the stressed state disturbed by a hole was used. Displacements were determined by measuring with a laser-computer interferometric system that records interferometric lines of the displacement level of significant areas of the body surface in the zone of disturbing influence (the place of application of force or the probing hole). This allows us to visually determine the main directions of the strain and stress tensors, and to draw qualitative conclusions about the distribution of stresses. The conducted studies showed that the average level of residual stresses after repeated electric arc treatment decreased slightly, their redistribution occurred more quickly. Studies of the antifriction properties and wear resistance of hardened parts showed that the use of this manufacturing technology allows replacing cast pistons with bimetallic ones.*

Keywords: *antifriction layer, cracks, residual stresses, deformations, double-arc surfacing, heat input.*

Постановка проблеми

Підвищення якості та збільшення експлуатаційної надійності машинотракторного парку АПК поставило ряд завдань зі збільшення антифрикційних властивостей пар і вузлів тертя. Однією з основних задач, що стоять перед сучасним виробництвом є впровадження високоефективних методів зміцнення металів як при виготовленні нових машин так і при відновленні їх вузлів і деталей, що набули зношування в процесі експлуатації.

Основні проблеми отримання високоякісного бронзового покриття на низьковуглецевій сталі пов'язані з утворенням у процесі нанесення антифрикційного шару характерних дефектів, насамперед, тріщин на межі сплавлення, які суттєво знижують працездатність антифрикційного шару. Відомі способи нанесення антифрикційних покриттів не у всіх випадках забезпечують необхідну якість шару, що наплавляється і зони сплавлення, що обмежує термін їх експлуатації. Альтернативою традиційним є комбіноване аргонодугове наплавлення, яке дозволяє виготовляти біметалеві деталі з покриттям, яке наплавлене з одного або декількох металів, що характеризуються високими антифрикційними властивостями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В основі теорії тріщиноутворення лежить вивчення механізму міжкристалітного проникнення (МКП) бронзи у сталь. Сучасне уявлення з цього питання ґрунтується на працях Ілюшенка В.М., Подгаєцького В.В., Шоршорова М.Х., Вайнермана А.Є., Бондаренка А.М. та ін. Незважаючи на численні дослідження досі немає єдиного погляду на механізм МКП бронзи у сталь [1, 2]. В даний час найбільш обґрунтовано механізм МКП пояснюється проявом ефекту Рейбіндера, який передбачає адсорбційне зниження міцності та пластичності за наявності значних деформацій (напружень, які розтягують) [3]. Таким чином, першорядну роль при утворенні мікротріщин відіграють температурні умови формування наплавленого шару, які визначаються тепло вкладенням. Тому при розробці технологічного процесу необхідно прагнути до мінімального тепло вкладення в основний метал [4, 5].

На підставі проведеного аналізу літературних джерел визначені можливі способи нанесення антифрикційного покриття. З аналізу переваг та недоліків аналізованих способів, а також результатів попередніх досліджень встановлено, що найбільш раціональним способом нанесення антифрикційного покриття є комбіноване аргонодугове наплавлення неплавким вольфрамовим електродом [6].

Основними труднощами розробки технології наплавлення алюмінієвої бронзи на сталь є вузький діапазон оптимальних значень ефективної теплової потужності джерела нагрівання та структурна неоднорідність металу перехідної зони з однієї сторони збільшення ефективної потужності призводить до збільшення глибини проплавлення в процесі наплавлення бронзи на сталь, що несприятливо впливає на властивості біметалічного з'єднання. З іншого боку підвищується розтікання бронзи по сталі, що сприяє одержанню якісного з'єднання. Отже, необхідний компроміс при виборі інтервалу зміни ефективної потужності дуги. Аналіз можливих схем нанесення алюмінієвої бронзи на сталь показав, що застосування дводугової схеми підключення на постійному струмі прямої полярності дозволяє гнучкіше підійти щодо визначення зміни інтервалу ефективною тепловою потужністю. Основна дуга збуджується між неплавким вольфрамовим електродом і присадним дротом, а допоміжна (низько амперна) - між тим же електродом і основним металом. У цьому випадку з'являється можливість регулювати процеси підігріву основного металу та плавлення присадного дроту за допомогою співвідношення ефективних потужностей двох дуг.

На основі аналізу виконаних досліджень по обґрунтуванню вибору способу отримання біметалевих виробів можна зробити висновок, що підвищення якості наплавлення антифрикційного шару визначається можливістю регулювання тепло вкладення в основний метал та присадний дріт. На підставі проведених досліджень пропонується як основне застосовувати комбінований аргонодуговий спосіб наплавлення на прямій полярності [6].

Формулювання мети досліджень

Підвищення якості наплавленого шару шляхом використання комбінованого аргонодугового способу наплавлення.

Результати досліджень

Виникнення деформацій і напружень обумовлено неперервним нагріванням зварюваних металів та його пластичним деформуванням при наплавленні, тому

завдання визначення напружено-деформованого стану наплавлених шарів є завданням термопластичності. Процес формування деформацій та напружень характеризується рядом особливостей: високою концентрацією нагріву; широким інтервалом зміни температури; зміною фізико-хімічних властивостей металу, що наплавляється; виникненням пластичних деформацій.

Характер напружень значною мірою визначається геометричними розмірами конструкції, що зварюється. Звідси випливає, що побудувати математичну модель, яка належним чином відображала б перелічені особливості напружень і деформацій, що виникають при наплавленні, і водночас дозволяла б довести розв'язання завдання у загальному випадку до конкретного кількісного результату можливо лише із залученням потужних обчислювальних засобів. Тому у ряді випадків досить скористатися наближеними методами розрахунку, так як точні рішення вимагають великих витрат часу та засобів для визначення таких напружень та деформацій, використовуються розрахункові схеми, в основі яких тією чи іншою мірою знаходиться ряд припущень.

У ряді наближених методів розрахункового визначення напружень і деформацій використано допущення про одновісність напружень [7]. До уваги беруть лише напруження σ_x , які діють у напрямку, паралельному вісі шару, що наплавляється. Інші напруження σ_y і σ_z вважаються досить малими.

Гіпотеза плоских перерізів передбачає відсутність зсуву, тобто $\gamma_{xy} = 0$. При укладанні шару перерізи можуть переміщатися, повертатися на деякий кут, але не можуть скривлятися.

Гіпотеза про одночасності укладання шару, що наплавляється, дозволяє не розглядати рух температурного поля вздовж осі Ox . Вважається, що теплоту при наплавленні вводять відразу по всій довжині шару, і надалі теплота поширюється тільки в напрямку Oy , а якщо йдеться про круговий шов, то тільки в осі Oz .

Найбільш ранніми дослідженнями зварювальних напруг і деформацій були роботи Г. А. Миколаєва [8], в яких чітко представлений механізм утворення поздовжніх деформацій та напружень при наплавленні валика на край смуги та при зварюванні пластин у стик. У цьому методі прийняті такі припущення: є лише одновісні поздовжні напруження; поперечні перерізи плоскі; залежність межі плинності від температури схематизовано; матеріал ідеально пружно пластичний; модуль пружності E та коефіцієнт α по всьому діапазоні температур прийняті постійними.

Рішення задачі зводиться до розгляду напружень і деформацій тільки у двох перерізах пластини: у перерізі, що відповідає найбільшій ширині ізотерми 1150°C при квазістаціонарному температурному полі, та у перерізі після повного остигання пластини.

Власні деформації ($\epsilon_{упр} + \epsilon_{пл}$) визначаються як різниця спостережуваних ϵ_n , так і температурних ϵ_a деформацій:

$$\epsilon_{упр} + \epsilon_{пл} = \epsilon_n - \epsilon_a = \epsilon_n - \alpha \Delta T \quad (1)$$

Розподіл пружних та пластичних деформацій розглядається не в двох, а в багатьох поперечних перерізах пластини на стадіях нагрівання та охолодження. У першому перерізі початкові p деформації дорівнюють нулю. Оскільки вважають, що до цього моменту пластичні деформації не відбувалися. У всіх наступних перерізах як так звана початкова деформація в рівнянні (1) враховують пластичні деформації, які були в попередній розрахунковій течії, тоді для перерізу з номером n :

$$\Delta \epsilon_{пл}^n + \epsilon_{упр}^n = \epsilon_n^n - \epsilon_a^n - \epsilon_{пл}^{n-1}, \quad (2)$$

де $\Delta \epsilon_{пл}^n$ – збільшення пластичних деформацій при переході від перерізу $n-1$ до n ; $\epsilon_{упр}^n$ –

пружні деформації протягом n ; ε_n^n – спостерігаються деформації в перерізі n ; ε_a^n – температурні деформації в перерізі n ; $\varepsilon_{n,n}^{n-1}$ – пластичні деформації у перерізі $n-1$.

Існує різновид даного методу, призначений для розрахунку деформацій і напружень у дуже широких пластинах, для яких при $2B \rightarrow \infty$ можна прийняти $\varepsilon_n = 0$. Якщо потрібно визначити лише залишкові пластичні деформації, то для пластин немає необхідності послідовно розглядати n -у кількість перерізів для визначення часових деформацій. Досить визначити пружні та пластичні деформації для моменту часу $\Delta T = \Delta T_{\max}$, коли пластичні деформації максимальні, а потім вирішити задачу для повного остигання, використовуючи пластичні деформації при $\Delta T = \Delta T_{\max}$ як початкові пластичні.

Метод [9] відрізняється від попереднього тим, що в ньому замість діаграми ідеально пластичного тіла використовують діаграму залежності зі зміцненням, отримані за різних температур. Гіпотези про одновісність напружень і плоских перерізів зберігаються. Так само розглядають ряд поперечних перерізів на стадії нагрівання та остигання пластини. Для визначення пружних та пластичних деформацій у кожному випадку використовується рівняння (2) та метод послідовних наближень для визначення правильного значення. Розподіл власних деформацій на пружні та пластичні проводять з використанням дійсних діаграм та з урахуванням залежності модуля пружності E від температури. Невизначеним у цьому методі є визначення напружень на стадії високотемпературної деформації. Передбачається, що виникає таке ж зміцнення металу, як і зміцнення від деформацій за більш низьких температур. При такому допущенні метал повинен послідовно проходити через стан, що характеризується точками 1-4 рис. 1, хоча фактична поведінка металу буде іншою. Воно може бути визначене шляхом одержання термодіаграми.

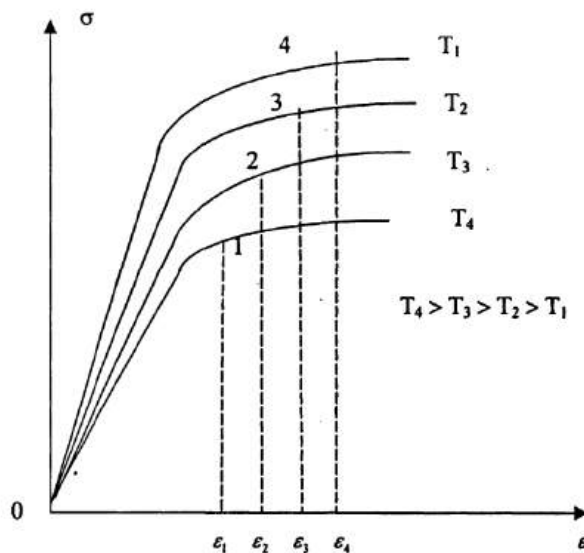


Рис. 1. Визначення напружень в стрижні, метал якого зміцнюється при пластичній деформації при зміні температури.

Порівняння результатів розрахунку за різними графо-розрахунковими методами між собою, а так само з результатами, отриманими експериментально або точними методами, показують наступне: графоаналітичні методи призначені переважно для визначення поздовжніх залишкових деформацій напружень в протяжних елементах типу довгих пластин чи балок. Ці методи не призначені для визначення поперечних деформацій.

Значне місце у дослідженні напружень та деформацій при наплавленні у тонкостінних оболонках належить пружним рішенням. Вони є першим наближенням точного пружно-пластичного рішення. В основі методу «пружних рішень» лежать дослідження академіка А.А. Іллюшина. Пружне рішення в деформаціях і переміщеннях нерідко виявляється достатнім для визначення переміщень при наплавленні. Пружне рішення, знайдене у випадку остигання нерівномірно нагрітого тіла, коли початковий стан тіла перед остиганням можна розглядати як не напружений, дає якісну картину розподілу залишкових напружень, у деяких випадках достатню для правильних суджень про характер поля напружень. Пружні рішення, звичайно, не дають абсолютно повного і правильного відображення картини розподілу напружень і деформацій при наплавленні, якщо насправді протікають пластичні деформації. Ступінь неточності у кожному даному випадку різна. Але вона допустима на вирішення низки практичних завдань [9].

У основі методу Г.Б. Таліпова [10] лежить припущення, що «кожен метал різко втрачає свою здатність спрямовуватися пластичним деформаціям у визначеному для нього досить вузькому інтервалі температур». Вважається, що це відбувається при певній середній температурі в цьому інтервалі T_k . Тобто. $\sigma_1=0$, при температурах $T \geq T_k$. Межі зони, де метал нагрівся до $T=T_k$, визначається по розрахунку температурного поля від джерела теплоти, що рухається, при обраному способі зварювання.

Друге припущення полягає в тому, що розрахунок проводиться для стадії остигання, а процеси утворення деформацій та напруг на стадії нагріву не розглядається. Процеси перерозподілу теплоти та зміни температур у цей період не враховуються; вважається, що області, в яких температура нижче T_k мають постійно початкову нормальну температуру T_0 і перед початком остигання вільні від будь-яких напружень. Таким чином, причиною утворення залишкових напружень і деформацій є температурне скорочення зони, де температура вища за T_k . Температурне скорочення цієї зони приймається рівною $\alpha(T_k - T_0)$.

Автором даного методу [11] пропонується також інший підхід, який полягає в наступному. Вважається, що зазначена зона придбала початкові пластичні деформації укорочення $\alpha(T_k - T_0)$ у тих напрямках, де при нагріванні було стиснено температурне розширення. Отже, по межах цієї зони і до інших частин тіла потрібно докласти сили q протилежного знака, щоб ліквідувати наявні зазори між розглянутими зонами. Деформації і напруження, що утворюються при цьому вважаються залишковими.

Відмінність двох аналізованих підходів, по суті, полягає лише в тому, що в першому випадку відбувається рівномірне скорочення металу зони у всіх напрямках, у той час як у другому випадку скорочення може бути лише у напрямках, якими було стискання при нагріванні. Для отримання більш точної збіжності експериментальних та теоретично розрахованих результатів автор пропонує наступне: ввести зміцнення металу, а не приймати його ідеальним пружно-пластичним; збільшити розміри аналізованої температурної зони, де протікали пластичні деформації, межі ізотерми $T = T_k$.

На підставі вищевикладеного, всі існуючі методи визначення зварювальних напружень та деформацій використовують різні гіпотези, що спрощують реальні процеси пружно-пластичного деформування під час зварювання. В даний час не існує єдиної методики визначення зварювальних напружень, а є наявні приватні методики, призначені для вирішення певного кола інженерних завдань.

Існуючі нині методи визначення залишкових напружень поділяються на фізичні та механічні. Фізичні методи (магнітопружний, ультразвуковий, рентгенівський), на відміну від механічних, не пов'язані з обов'язковим руйнуванням металу для визначення залишкової напруги. Однак відносно слабка вивченість фізичних методів

стосовно особливостей вимірювання залишкових напружень у наплавлених шарах обмежує можливості їх застосування. Це пов'язано тим, що зварювання металів супроводжується як пружно-пластичними деформаціями, а й різними фізико-хімічними процесами у шві і біляшовній зоні, що зумовлюють залишкову неоднорідність властивостей зварних сполук.

Фізичні методи засновані на вивченні та визначенні властивостей металу, що залежать від залишків напружень. Якщо ж зміна властивостей металу у шві та навколошовній зоні викликана сукупним впливом фізико-хімічних процесів при наплавленні (зварюванні) та залишкових напружень, то результати вимірювань фізичними методами не завжди однозначно характеризують залишкові напруження.

Механічні методи засновані на принципі пружного розвантаження об'єму металу при його звільненні від залишкових напружень шляхом розвантаження. Вимірювання деформацій, що характеризують залишкові напруження, проводять електричними тензометрами або механічними деформометрами. У деяких випадках використовуються фото пружні датчики оптично активного матеріалу.

На відміну фізичних методів визначення залишкових напружень механічні методи дозволяють проводити експерименти на металі незалежно від неоднорідності їх фізико-хімічних властивостей, тобто є універсальним способом. Однак, у зв'язку з необхідністю розвантаження обсягу металу від дії залишкового напруження, метод вимагає або повного, або часткового руйнування об'єкта дослідження.

Для вимірювання залишкових напружень в даний час широко використовується метод вимірювання деформацій напруженого стану збурених отвором [9]. Найбільш поширений спосіб виміру деформацій - тензометрія. Для перерахунку вимірних деформацій в залишкові напруження, що існували в точці до висвердлювання, потрібно знати спеціальні тарировальні коефіцієнти або знати рішення задачі про збурені напружено-деформаційні стани для відповідних деформацій в зоні отворів при одиничних залишкових напруженнях. Такі рішення одержані методом кінцевих елементів [11]. Ці рішення використовувалися для визначення переміщення збуреного стану при вимірі системами Limon.

Лазерно-комп'ютерна інтерферометрична система Limon TV призначена для дослідження напружено-деформованого стану пружних тіл та конструкцій. У ній реалізовані ідеї та методи, що базуються на голографічній інтерференції, розроблені раніше для аналізу залишкових напружень. За допомогою цього приладу забезпечується візуальна реєстрація полів малих пружних переміщень поверхні пружного тіла, а також розвитку процесу деформації по системі інтерференційних смуг та її змін.

На відміну від тензometriрування, де виміри виконуються для окремих точок, дана система реєструє інтерферометричні лінії рівня переміщень значних областей поверхні тіла в околиці збурювального впливу (місця докладання сили або лунки, що зондує). Це дозволяє візуально визначити головні напрямки тензорів деформацій та напружень і зробити якісні висновки про розподіл напружень ще до підрахунку числових значень відповідних величин.

До складу вимірювального комплексу входять: блок інтерферометра, разом з опорно-юстувальним пристроєм, комп'ютерний блок, блоки живлення відеокамери та лазери. Блок інтерферометра складається з опорно-юстирувальної конструкції та корпусу, в якому монтується напівпровідниковий лазер з довжиною хвилі 640 нм і потужністю випромінювання 10 мВт, технічна відеокамера з чутливістю (0,1 люкс) та роздільною здатністю 570 на 400 телевізійних ліній та інші елементи направляючі дзеркала, коліматор, напівпрозоре дзеркало, що ділить і дифузна – пластина, що розсіює, які формують опорний і предметний світлові пучки. Оптична схема блоку інтерферометра наведена на рис. 2.

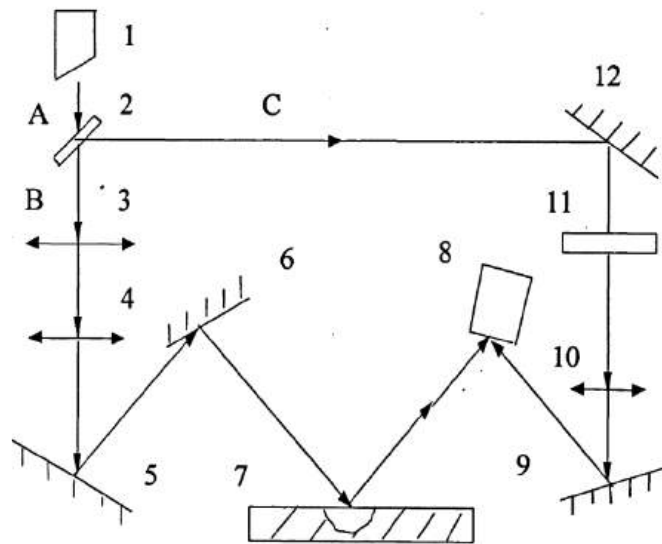


Рис. 2. Оптична схема: 1 – генератор; 2 – розділювач; 3, 10 – лінзи; 4 – коліматор; 5, 6, 9, 12 – дзеркала; 7 – досліджуваний об'єкт; 8 – відеокамера; 11 – фільтр.

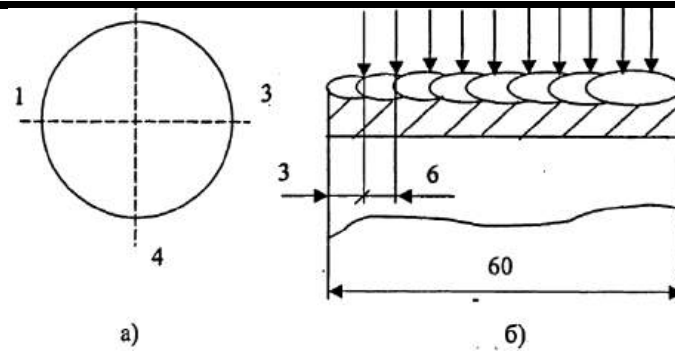
Промінь світла розщеплюється на об'єктовий (В) та опорний (С) промені. Відбивши від поверхні зразка, промінь (В) потрапляє на відеокамеру (8), на яку потрапляє і промінь (С). Таким чином, здійснюється перша експозиція. Після висвердлювання отвору в заданій точці виконується друга експозиція. Далі одночасно відновлюються обидва написані зображення поверхні, які інтерферують, дають ізолінії переміщень, що свідчать про величину і характер напруженого стану.

Для обробки записаних відео зображень з метою отримання первинної різниці інтерферограми та поліпшення її контрастності використовується спеціально розроблена програма Limon-Express, яка застосовується також для розрахунку залишкових напружень.

При отриманні голографічних інтерферограм, що характеризують переміщення поверхні зразка від висвердлювання отвору, свердління не повинно вносити спотворень, пов'язаних із переміщенням всього зразка як цілого. У цьому важливо визначити раціональне закріплення зразка на стенді голографічної установки. Глибина отвору впливає на результати вимірювань. При визначенні залишкових напружень у поверхневому шарі просторових конструкцій глибина отвору не повинна перевищувати 1,5...2 його діаметра.

Важливе значення має якість висвердлювання отвору: він повинен мати гладкі кромки, які утворюють, має бути перпендикулярна до досліджуваному ділянці поверхні. Отвори виконуються електроіскровим способом або свердлінням спеціально заточеними свердлами. Електроіскровий спосіб мало придатний для об'єктів складної форми та великих розмірів. Діаметр отвору вимірюється мікроскопом. Інформація про залишкові напруження видається у вигляді голографічної інтерферограми.

Дослідження, викладеним вище методом, проводилися на зразках з низьковуглецевої сталі Ст3, діаметром 110 мм і товщиною стінки 4мм, наплавлених на базовому режимі і після повторної електродугової обробки. Для визначення окружних залишкових напружень у наплавленому шарі та після електродугової обробки. вимірювання проводилися згідно зі схемою проведення вимірів, представленою на рис. 3.



а) розташування досліджуваних перерізів на зразку; б) точки виміру в поперечному перерізі наплавленого шару.

Рис. 3. Схема виміру залишкових напружень у наплавленому шарі.

Результати експериментальних даних подано на рис. 4.

Для оцінки антифрикційних властивостей та зносостійкості наплавленого шару алюмінієвої бронзи Бр Амц 9-2 діаметром 2 мм на низьковуглецеву сталь комбінованим аргонодуговим способом було зроблено наплавлення робочій поверхні на наступних параметрах режиму: $I_{зв}=130\text{А}$; $I_{пр.п.}=60\text{А}$; $U=18\text{В}$; $V_n=0,34\text{ м/хв}$; $V_{пр.п.}=0,36\text{ м/хв}$; $Q_{з.г.}=6\text{ л/хв}$. Відомо, що при використанні алюмінієвої бронзи зносостійкість наплавленого металу і сталевого контртіла, що сполучається, залежить від вмісту заліза, марганцю і алюмінію в бронзі. При цьому з підвищенням вмісту заліза зростає знос пари тертя.

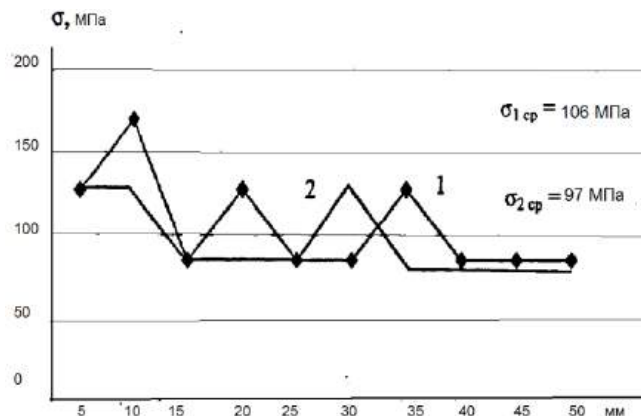


Рис. 4. Результати експериментального визначення окружних залишкових напружень у наплавленому шарі (1) та після електродугової обробки (2).

При комбінованому аргонодуговому напавленні вміст заліза не перевищує 3%, що сприятливо позначається на стабільності результатів зносу пар тертя.

Випробування на тертя і знос проводилися на машині із замкнутим кінематичним контуром Фірми «Амслер» під схемою тертя ковзання часткового вкладиша про ролик, що обертається. Контртіло виготовлялося зі сталі 08X10H20T2 (ДСТ 5632). Перед кожним випробуванням робочу поверхню вкладиша притирали до ролика до повного прилягання поверхонь, що труться, яке фіксували по моменту тертя, що встановився, або візуально. Притирання вкладиша здійснювалося з використанням пасти гої або мастило АМС-3 поперечним обертанням ролика та горизонтальним його переміщенням. При остаточному притиранні використовували мастило АМС-3. Потім зразки промивали та зважували на аналітичних вагах.

Випробування проводилися при швидкості обертання ролика 200 об/хв, та питомих тисках прикладених до вкладиша $P=1,34; 1,96$ та $2,94$ МПа. Антифрикційні

властивості оцінювали величинами коефіцієнта тертя та зносу, який визначався щодо зміни маси зразків шляхом зважування їх на аналітичних терезах з точністю до $\pm 0,1$ мг. Коефіцієнт тертя обчислювався за формулою:

$$f = \frac{T}{p\pi DN}, \quad (3)$$

де T – робота тертя під час випробувань; p – навантаження, що відповідає питомому тиску на вкладиш; N – число обертів ролика; D – діаметр ролика.

Робота тертя дорівнює

$$T = n_1 F_{\text{пр}} \quad (4)$$

де n_1 – різниця показань числа обертів по інтегратору між закінченням кожного циклу випробувань пари тертя і початком відліку; $F_{\text{пр}}$ – граничний момент тертя, рівний для даної машини 15000 Нм.

Коефіцієнт тертя при випробуванні трьох зразків та середні величини зносу представлені на рис. 5. За результатами випробувань встановлено відсутність відхилень від заданих (вихідних) розмірів поверхонь, що труться. Характер підробітку наплавленої поверхні (задирки, подряпини) відповідає характеру приробітку литого поршня.

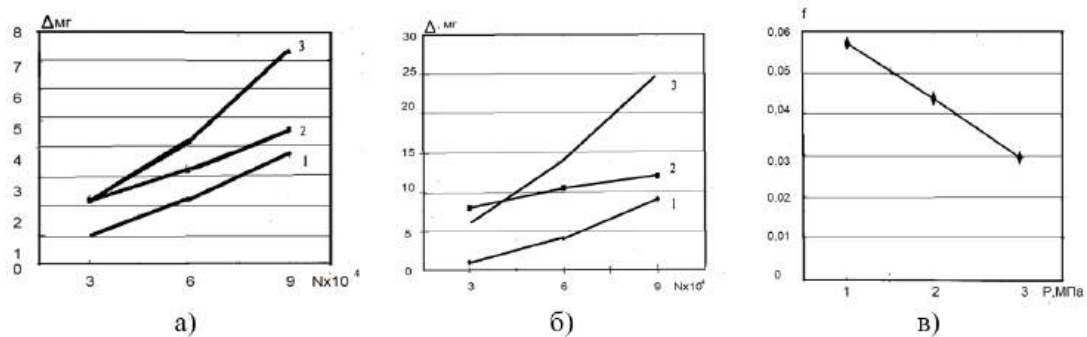


Рис. 5. Залежність зносу ролика (а) та вкладиша (б) від числа циклів та питомого тиску: 1- $P=1,34$ МПа; 2- $P=1,98$ МПа; 3- $P=2,94$ МПа; в - залежність коефіцієнта тертя наплавленої алюмінієвої бронзи Бр Амц 9-2 від питомого тиску.

Металографічні дослідження натурних вкладишів після випробувань не виявили зміни у структурі бронзи у зоні контакту.

Для підвищення якості антифрикційних наплавлених шарів рекомендується:

1. Для зниження ймовірності тріщини утворення на межі сплаву «бронза – сталь» слід застосовувати комбінований аргонодуговий спосіб наплавлення, що дозволяє регулювати тепло вкладання в основний метал і присадний дріт.

2. Для перерозподілу залишкових напружень у наплавленому шарі проводити повторну електродугову обробку без присадного дроту на наступних параметрах режиму: $I = 60$ А; $U = 18$; $V = 0,34$ м/хв. Для мінімального тепло вкладання в основний метал слід розташовувати дугу під кутом від 15 до 40° .

3. Для вирішення конкретних практичних завдань застосовувати наближені методи визначення зварювальних напружень та деформацій: графоаналітичні і методи, які використовують апарат теорії пружності і пластичності (ф. 1 і 2). Зробити якісні висновки про розподіл напружень до підрахунку числових значень застосуванням інтерференційних вимірів.

Висновки

1. Застосування комбінованого аргонодугового способу наплавлення алюмінієвої бронзи на низьковуглецеву сталь дозволяє гнучко регулювати тепло вкладання в основний метал та присадний дріт, що підвищує якість антифрикційного шару.
2. Результати проведених досліджень показали, що середній рівень залишкових напружень після повторної електродугової обробки знизився незначно, швидше відбувся їх перерозподіл, тобто повторна обробка наплавленого шару не вносить значних змін в напружено-деформаційний стан.
3. Дослідження антифрикційних властивостей і зносостійкості біметалічного поршня, проведені на машині з замкнутим кінематичним контуром за схемою тертя ковзання часткового вкладиша про обертовий ролик показали, що застосування даної технології виготовлення дозволяє зробити заміну литих поршнів на біметалічні, таким чином знизити собівартість їх виготовлення.

Список використаних джерел

1. Рябцев И.А., Сенченков И.К. Теория и практика наплавочных работ. Киев. Екотехнология. 2013. 197 с.
2. Илюшенко В.М., Лукьянченко Е.П. Сварка и наплавка меди и сплавов на ее основе. Киев. Международная ассоциация Сварка. 2013. 396 с.
3. Лобанов Л.М., Пашин М.О., Миходуй О.Л., Гринюк А.А., Ілляшенко Є.В., Гончаров П.В., Савицький В.В., Сидоренко Ю.М., Устименко П.Р. Розрахункова оцінка напружено-деформованих станів зварних з'єднань із алюмінієвого сплаву АМг61 під дією електродинамічної обробки металу шва в процесі зварювання плавленням. Автоматичне зварювання. 2022. №7. С. 3–8.
4. Касаткин Б.С., Прохоренко В.М., Чертов И.М. Напряжения и деформации при сварке. Киев. Вища школа. 1997. 236 с.
5. Вайнерман А.Е., Чумакова И.В., Беляев Н.В., Минчина А.Н. Некоторые критерии оценки склонности медных сплавов к трещинообразованию при сварке. Сварочное производство. 2003. № 11. С. 6-7.
6. Шаламов В.О., Колісниченко Д.С., Дерябка Є.С. Підвищення якості антифрикційного покриття комбінованим аргонодуговим наплавленням. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Молодь і технічний прогрес в АПВ. 2024. С. 401–403.
7. Hui Huang, Ninshu Ma. Welding deformation and residual stresses in arc welded lap joints by modified iterative analysis. Science and Technology of Welding & Joining. 2015. No 20 (7). P. 571–577.
8. Weill-Couly P. Welding aluminium bronze castings. Welding casting. 2007. No 6. P. 253–266.
9. Вайнерман А.Е., Костров Е.Н., Прилуков В.Н. Усталостная прочность плоских стальных образцов, наплавленных сплавами на медной основе. Сварочное производство. 1998. №4. С. 6–9.
10. Аснис Е.А., Прохоренко В.М., Швиндлерман Л.С. О механизме образования трещин при сварке и наплавке меди на сталь. Сварочное производство. 1985. №11. С. 8–9.
11. Гопкало А.П., Клипачевский В.В. Влияние наплавки на напряженно-деформированное состояние роликов машин непрерывного литья заготовок. Автоматическая сварка. 2015. № 5-6. С. 148–152.

References

1. Ryabtsev I.A., Senchenkov I.K. (2013). Theory and practice of floating works. Kyiv. Ecotechnology. 197 p.
2. Piyushenko V.M., Lukyanchenko E.P. (2013). Welding and surfacing of copper and alloys on its basis. Kyiv. International Welding Association. 396 p.
3. Lobanov L.M., Pashchin M.O., Mikhoduy O.L., Hryniuk A.A., Piyashenko E.V., Goncharov P.V., Savitsky V.V., Sydorenko Yu.M., Ustymenko P.R. (2022). Computational assessment of stress-strain states of welded joints made of aluminum alloy AMg61 under the action of electrodynamic treatment of weld metal in the process of fusion welding. Automatic welding. №7. P. 3–8.
4. Kasatkin B.S., Prokhorenko V.M., Chertov I.M. (1997). Tensions and deformations in welding. Kyiv. Higher school. 236 p.
5. Vaynerman A.E., Chumakova I.V., Belyaev N.V., Minchina A.N. (2003). Some criteria for assessing the inclination of copper alloys to cracking in welding. Welding Production. № 11. P. 6–7.
6. Shalamov V.O., Kolisnichenko D.S., Deryabkina E.S. (2024). Improving the quality of antifriction coating by combined argon arc surfacing Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Youth and technical progress in APV. P. 401–403.
7. Hui Huang, Ninshu Ma. (2015). Welding deformation and residual stresses in arc welded lap joints by modified iterative analysis. Science and Technology of Welding & Joining. No 20 (7). P. 571–577.
8. Weill-Couly P. (2007). Welding aluminium bronze castings. Welding Casting. No 6. P. 253–266.
9. Vaynerman A.E., Kostrov E.N., Prilukov V.N. (1998). Fatigue strength of flat steel samples welded by alloys on a copper base. Welding Production. №4. P. 6–9.
10. Asnis E.A., Prokhorenko V.M., Shvindlerman L.S. (1985). On the mechanism of crack formation in welding and surfacing copper on steel. Welding Production. №11. P. 8–9.
11. Gopkalo A.P., Klipachevsky V.V. (2015). Effect of surfacing on the stress-deformed state of rollers of continuous casting of billets. Automatic welding. № 5-6. P. 148–152.