УДК 621.375.826:621

Лазерно-ливарний процес виготовлення біметалів

Головко Л.Ф., **Романенко В.В.**, **Блощицин М.С.**, **Салій С.С.**, **Свічкар І.В.**
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: *Використання в сучасному виробництві двошарових стальних біметалів веде не тільки до істотної економії дорогих матеріалів, а й досягається якісно нові властивості виробів. В роботі виконані теоретичні та експериментальні дослідження процесу виготовлення листових біметалів з використанням лазерно-ливарних процесів, при якому між його складовими забезпечується металургійний зв'язок. Було проведено моделювання температурного поля у двофазному середовищі в процесі сплавлення біметалу. Комбінований лазерно-ливарний процес здійснювався в два етапи. На поверхні зразків з жаростійкої нержавіючої сталі 20Х23Н18 за допомогою сфокусованого лазерного випромінювання в імпульсному високочастотному режимі формувались концентричні виступи різноманітної форми із різними геометричними розмірами. Після цього на поверхню зразків заливалась розплавлена конструкційна сталь марки Ст.3. Результати показують, що за рахунок керування формою виступів функціонального шару досягається підвищення температури в зоні сплавляння, що в свою чергу веде до утворення надійного з'єднання між складовими. Для створення гарантованого металургійного зв'язку між двома металами важливі дві речі: достатня температура перегріву розплаву по відношенню до іншого, на величину, що залежить від розмірів та форми нанесеного рельєфу, а другий – швидкість охолодження розплаву, обумовлена товщиною шару другого компоненту та схемою заливання.*
Ключові слова: лиття, біметали, лазерне поверхневе структурування, лазерно-ливарні процеси

Одним із найкращих і перспективних шляхів підвищення ефективності сучасного виробництва є застосування біметалів, поверхневий шар яких товщиною до 4 - 5 мм відповідає функціональним вимогам, які висуваються умовами експлуатації, а решта конструктивними особливостями виробу [1]. Біметали застосовуються в багатьох галузях промисловості: корозійностійкі біметали використовується для виготовлення корпусів нафтохімічного і атомно-енергетичного устаткування; антифрикційні біметали — при виготовленні підшипників ковзання; біметали з особливими властивостями — при виготовленні вузлів ракетно-космічної техніки. До найбільш ефективних способів виготовлення біметалів у порівнянні з процесами, які надійшли у промисловість останнім часом (зварювання вибухом, електродугове або електрошлакове наплавлення й іншими), слід віднести нові комбіновані лазерно-ливарні, механо-ливарні та механо-зварювальні процеси. Всі розробки захищені патентами України на винаходи [2].

Основним серед них є процес, розроблений в КПІ ім. Ігоря Сікорського спільно з ФТІМС НАН України, при якому поверхневий шар функціональної складової біметалу певної товщини розплавляється сфокусованим у відрізок лінії лазерним випроміненням, після чого в зону його дії подається розплав другої конструктивної складової, підготовлений індукційним способом.

Розв'язок теплової задачі числовим методом дозволив встановити вплив величини й розподілу густини потужності лазерного випромінювання та швидкості відносного руху на параметри ванни розплаву, що дає можливість з корекцією моделі шляхом проведення додаткових експериментів, достатньо точно керувати товщиною розплавленого шару.

Показано, що головною проблемою даного способу є його продуктивність, оскільки вона залежить від розміру сфокусованого лазерного пучка в напрямку перпендикулярному швидкості його переміщення, величини останньої й потужності випромінювання [3,4].

У певній мірі ця проблема вирішується застосуванням спеціальних систем фокусування, що забезпечують однокоординатне високочастотне сканування опромінюваної поверхні. Однак максимальна амплітуда сканування обмежена

теплопровідністю опромінюваного матеріалу і нерівномірністю розподілу інтенсивності випромінювання в зоні фокусування.

Збільшити ширину опроміненої зони можна шляхом розділення основного пучка випромінення на кілька паралельно спрямованих та застосуванням такої ж кількості систем сканування.

Згадана проблема може бути вирішена шляхом розділення основного пучка волоконного лазера на кілька паралельно спрямованих та сфокусованих пучків.

Наведені способи в певній мірі дозволяють вирішити проблему підвищення продуктивності виготовлення біметалів, але ж при значному збільшенні його собівартості.

Більш привабливим з цієї точки зору є лазерно-ливарний процес з використанням систем, що дозволяють фокусувати лазерне випромінення у відрізок лінії з Гаусово-прямокутним розподілом інтенсивності у поперечному напрямку.

Значний інтерес представляє розроблений та досліджений механо-ливарний процес виготовлення біметалів. Головною відмінністю цього процесу є те, що на поверхні функціональної складової біметалу виготовляється спеціальний макрорельєф. Підготовлений таким чином лист розміщується у керамічній формі, після чого на його поверхню спрямовується передчасно підготовлений розплав другої конструктивної складової біметалу. Розроблений спосіб дозволяє у широкому діапазоні змінювати розмірні і функціональні характеристики біметалів у залежності від умов експлуатації, вартості й продуктивності виробництва.

Окрему область застосування представляють біметали, коли функціональна й конструктивна його складові з'єднуються методами зварювання. Розроблена технологія дозволяє у багатьох випадках вирішити питання виготовлення біметалу значно більш дешевими способом.

У даній доповіді більш детально представлено результати теоретичного й експериментального дослідження першого із згаданих способів.

Предметом дослідження є умови утворення локальної сталої зони розплавленого металу, яка формується на поверхні функціональної складової біметалу при дії лазерного випромінювання. Наявність такої зони, її геометричні розміри, закономірності формування у сукупності зі швидкістю відносного руху визначають можливість утворення між нею і розплавом другої складової біметалу металургійного зв'язку.

Визначений інтерес представляє схема (рис.1) [3], що передбачає сканування поверхні однієї зі складових біметалу, що переміщується зі швидкістю V, сфокусованим лазерним пучком з потужністю P. При цьому лазерний промінь має певну частоту $f_{ск}$, задану траєкторією й амплітуду $A_{ск}$ переміщення, що обумовлюють оплавлення поверхневого щару на глибину Z. В утворений розплав зі спеціальної фурми із заданою витратою Q подається розплавлений метал другої складової біметалу, ширина потоку якого B відповідає амплітуді сканування пучка. Перша складова біметалу прямолінійно переміщується відносно осі пучка з постійною швидкістю.

У відповідність з цією схемою на процес формування біметалу впливають три основні групи чинників. Першу групу утворюють параметри лазерного пучка і характеристики матеріалу функціонального шару. Другу групу - фактори, що характеризують розплавлений метал другої складової. Третя група об'єднує чинники, що відображають геометричні параметри відносного розташування й кінематики відносного переміщення складових біметалу. Умови формування стаціонарної зони оплавленої поверхні складової біметалу при нагріванні скануючим лазерним пучком визначались математичним моделюванням. Вихідними даними для розрахунків були прийняті наступні параметри обробки і конфігурації основи: матеріал - сталь 40Х13; конфігурація - 50мм х 50мм х 2мм; амплітуда сканування 20мм, 30мм, 50мм; частота сканування лазерного

променя- 100Гц, 200Гц; швидкість переміщення основи - 1м/хв, 10 м/хв; потужність лазерного випромінювання - 2 кВт.

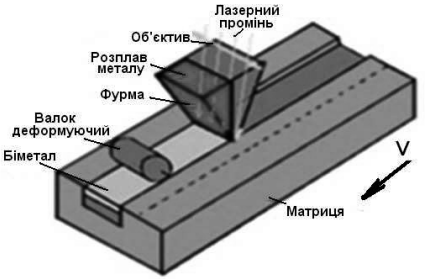

Рис.1. Схема лазерно-ливарного процесу виготовлення біметалів

Головним завданням моделювання є визначення необхідної потужності лазерного випромінювання, при якій в зоні обробки при заданих режимах забезпечується гарантоване підплавлення поверхневого шару.

Аналіз результатів моделювання показав, що найбільш ефективним процесом підплавлення поверхневого шару функціональної складової біметалу є лазерна обробка при амплітуді сканування променю 50 мм, частоті - 200 Гц, швидкості відносного руху заготовки і променю 1м / хв, потужності випромінювання 8,5 кВт [5,6].

При таких умовах прогрівання поверхневого шару до температури плавлення відбувається на глибину до 0,2 мм по всій амплітуді сканування, як це показано на рис.2. При збільшенні швидкості переміщення основи в 10 разів для збереження режиму проплавления потужність лазерного випромінювання необхідно збільшити до 14 кВт.

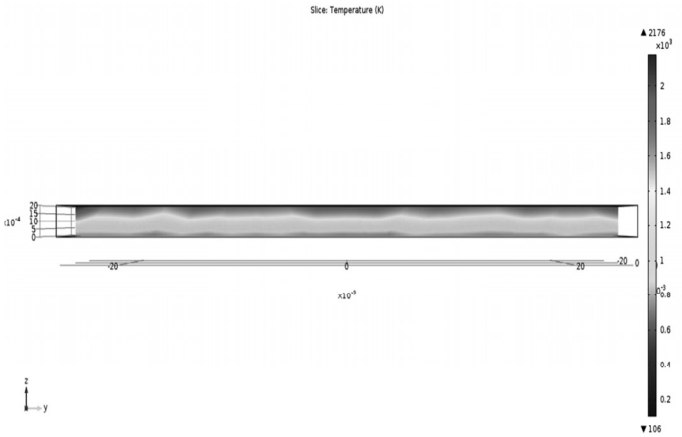

Рис.2. Розподіл температур по глибині функціональної складової на відстані 2 мм від лазерного пучка через 6 с після початку обробки при А= 0мм, Р=8.5кВт, Vх= 1м / хв.

Дослідженнями встановлено, що при підігріванні складової биметаллу використанням додаткового джерела енергії можна значно зменшити потрібну потужність випромінювання або суттєво підвищити продуктивність обробки шляхом збільшення швидкості її переміщення. При виготовленні біметалу необхідно забезпечити рівномірну

подачу розплаву з фурми в зону дії лазерного випромінювання на поверхні функціональної складової. У даній роботі розглядається один з найпростіших способів доставки розплаву на поверхню функціональної складової біметалу. В основі способу лежить напірна подача розплаву через отвір в фурме, що має прямокутний перетин. Фурма оснащена пристроєм підігріву, що дозволяє підтримувати стабільну температуру рідкого металу, а також механізмом, що забезпечує підтримку сталості рівня рідкого металу в ній.

Регулювання швидкості витікання рідкого металу через спеціальний отвір у фурмі здійснюється зміною висоти його напірного стовпа. При цьому необхідно враховувати рівень тиску, який зумовлює необхідну швидкість витікання розплавленого металу, а також його втрати при проходженні розплавом отвору. На рис.3 наведена залежність товщини конструктивного шару біметалу, що утворюється при різних умовах його витікання із фурми.

Розроблені процеси дозволяють виготовляти біметали типу «корозійно-стійка сталь мартенситного класу 40Х13 - сталь Ст.3», «корозійно-стійка сталь аустенітного класу 12Х18Н10Т – сталь Ст.3 або сірий чавун» й інші, з товщиною функціонального шару від 1 до 5 мм [3].

Між функціональним шаром і основою технологією виготовлення забезпечується металургійний зв'язок [3]. Вартість й продуктивність виготовлення біметалу залежать від характеристик функціонального шару: хімічного й фазового складу, його товщини й твердості, міцності зчеплення з основою, геометричних розмірів й конфігурації листа біметалу. На рис.4 представлені зразки біметалів, отриманих різними зі згаданих способів.

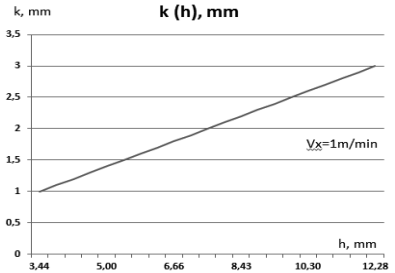

Рис.3. Залежність товщини наплавленого шару від висоти стовпа розплаву в фурмі.

Рис.4. Зразки біметалів, отриманих з використанням запропонованих та процесів

ВИСНОВКИ

Умова існування постійної зони розплаву залежить від температурних характеристик і властивостей матеріалу. Саме вона є головним чинником, що визначає параметри сканування лазерного пучка, його поперечні розміри і потужність випромінювання.

Управління процесом доцільно здійснювати комплексним зміною параметрів сканування, потужності лазерного випромінювання та висоти напірного стовпа розплаву.

Головним напрямком удосконалення лазерно-ливарного процесу виготовлення біметалів є створення надійних оптичних систем, дозволяющих концентрувати потужні лазерні пучки й отримувати в площині фокусування прямокутно-Гаусовий розподіл інтенсивности випромінювання, параметри якого можно змінювати в широкому діапазоні значень.

Laser-foundry process of manufacturing bimetals

L. Golovko, V. Romanenko PhD, M. Bloshchytsyn, S. Salii, , I. Svichkar

Abstract. *Using two-layered steel bimetals in modern production leads not only to substantial savings of expensive materials but also qualitatively new properties of products are achieved. Theoretical and experimental studies of the process of manufacturing sheet bimetals using laser-foundry processes, in which a metallurgical bond is provided between its components, have been carried out. The temperature field was simulated in a two-phase medium during the fusion of the bimetal. The combined laser-foundry process was carried out in two stages. On the surface of samples from heat-resistant stainless steel 20X23H18(AISI 310S), concentric protrusions of various shapes with different geometrical sizes were formed using focused laser radiation in a pulsed high-frequency mode. After that, the surface of the samples was poured molten structural carbon steel Cm.3(AISI A284Gr.D). The results are shown that by controlling the shape of the protrusions of the functional layer, an increase in the temperature in the fusion zone, which in turn leads to the formation of a reliable connection between the components. Two things are important for the creation of complete metallurgical bonding between two metals, first a sufficient temperature of overheating of the melt with respect to another, by an amount depending on the size and shape of the deposited relief, and the second — the rate of cooling of the melt, is due to the thickness of the second component layer and pouring pattern.*
Keywords: casting, bimetals, laser surface structuring, laser-foundry processes.

Лазерно-литейный процесс изготовления биметаллов

Головко Л.Ф., Романенко В.В., Блощицын М.С., Салий С.С. Свичкар И.В.

Анотация: *Использование в современном производстве двухслойных стальных биметаллов ведет не только к существенной экономии дорогостоящих материалов, но и достигается качественно новые свойства изделий. В работе выполнены теоретические и экспериментальные исследования процесса изготовления листовых биметаллов с использованием лазерно-литейных процессов, при которых между его составляющими обеспечивается металлургический связь. Было проведено моделирование температурного поля в двухфазного среде в процессе сплавления биметалла. Комбинированный лазерно-литейный процесс осуществлялся в два этапа. На поверхности образцов из жаростойкой нержавеющей стали 20Х23Н18 с помощью сфокусированного лазерного излучения в импульсном высокочастотном режиме формировались концентрические выступы различной формы с различными геометрическими размерами. После этого на поверхность образцов заливалась расплавленная конструкционная сталь марки Ст.3. Результаты показывают, что за счет управления формой выступов функционального слоя достигается повышение температуры в зоне сплавления, что в свою очередь ведет к образованию надежного соединения между составляющими. Для создания гарантированной металлургической связи между двумя металлами важны две вещи: достаточная температура перегрева расплава по отношению к другому, на величину, зависящую от размеров и формы нанесенного рельефа, а второй - скорость охлаждения расплава, обусловлена толщиной слоя второго компонента и схемы заливки.*
Ключевые слова: литье, биметаллы, лазерное поверхностное структурирование, лазерно-литейные процессы

Список літератури:

1. T. Heijkoop. Cast-Bonding—a New Process for manufacturing Composite Wear Products / T. Heijkoop, I. R. Sare. // Cast Metals. – 1989. – №2. – С. 160–168., DOI: 10.1080/09534962.1989.11818997
2. Патент України №99323 / В. П. Лихошва, І. В. Крівцун, В. В. Романенко, Л. Ф. Головко. // Спосіб виготовлення біметалів при зчепленні його пластин ливарним методом. –опубл. 25.05.2015.
3. Development of the laserfoundry process for manufacture of bymetalls / L. Golovko, S. Salii, M. Bloshchytsyn,W. Alnusirat // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 4/1 (94) 2018. - p.47 - 54.
4. Baron C. The determination of the thickness of composite layer for ball casting / Baron C, Bartocha D, Szajnar J. // Archives of Materials Science and Engineering. – 2007. – №28. – С. 425–428.
5. Третяк В. А. Методи та засоби математичного моделювання процесів теплообміну у двофазовому середовищ: дис. канд. техн. наук./ В. А. Третяк. - К., 2014. - 186 л. – Режим доступу до ресурсу: http://ela.kpi.ua/handle/123456789/8128.
6. New trends and advances in bi-metal casting technologies / M. Ramadan, N. Fathy, K. S. Abdel Halim, A. S. Alghamdi. // International Journal of Advanced and Applied Sciences. – 2019. – №6. – С. Pages: 75–80.