

2. Лобанов Л.М. Методика определения остаточных напряжений в сварных соединениях и элементах конструкций с использованием электронной спекл-интерферометрии / Л.М.Лобанов, В.А.Пивторак, В.В.Савицкий, Г.И.Ткачук // Автоматическая сварка. – 2006. – № 1. – С.10-13.

3. Лебедев В. А. Новые механизмы подачи электродной и присадочной проволоки / В.А.Лебедев, С.Ю.Максимов, В.Г.Пичак, В.В. Рымша, И.Н.Радимов, М.В.Гулый // Сварочное производство. – 2011. – № 5. – С. 35-39.

4. Рябцев И.А. Теория и практика наплавочных работ / И.А.Рябцев, И.К.Сенченков. – К.: Екотехнологія, 2013. – 400 с.

УДК 62-503.55

Лебедев В. О., докт. техн. наук, професор

Дослідно-конструкторсько-технологічне бюро інституту електрозварювання імені Є.О.Патона НАН України, м. Київ, valpaton@ukr.net

ДЕЯКІ СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПРОЦЕСІВ

Аддитивні технології це загальний спосіб виготовлення деталей, заснований на створенні фізичного об'єкта за певною моделлю з використанням пошарового внесення матеріалу (1). Цей спосіб є протилежним від віднімального (субтрактивного) способу механічної обробки та широковідомого формоутворювального виробництва з застосуванням кування, лиття, штампування.

Протягом останніх декількох десятиріч було запропоновано та реалізовано більш ніж 20 способів аддитивного створення вузлів та деталей в різних галузях промислового та інших виробництв.

Виготовлення складних габаритних металевих виробів з використанням традиційних технологій вимагає значних ресурсів при виробництві. Аддитивні технології дозволяють отримувати деталі різноманітної геометричної форми шляхом пошарового нанесення матеріалу на підкладку або елемент готового виробу, що значно скорочує витрати. Такі технології широко використовують при відновленні зношених поверхонь та при нанесенні зміцнюючих покриттів.

Способи реалізації аддитивних технологій можна укрупнено класифікувати за матеріалами які застосовані та технологіями їх нанесення.

Існуючі способи аддитивного виробництва базуються на технологіях плавлення різними способами з застосуванням різних джерел нагрівання вихідного матеріалу серед яких є процеси PBF, DED, DMD та інші.

Зазначимо, що є процеси, які використовують технології пошарового формування вузлів та деталей без плавлення матеріалу, що наноситься. До таких процесів належать спікання, пресування, листові ламінації, дифузійне нанесення матеріалу та деякі інші. Але всі вони зазвичай складні, трудомісткі і їх застосування дуже обмежено і тільки в специфічних областях з певними вимогами до характеристик.

Способи формування виробів пошаровою на плавкою є одними з поширених завдяки відносній простоті та і гнучкості процесу.

Як джерела нагрівання в аддитивних технологіях застосовуються електронний промінь, лазер, електричні та плазмові дуги. Променеві технології застосовуються в основному для побудови малогабаритних точних виробів та відрізняються низькою продуктивністю. Дугові технології орієнтовані на створення великогабаритних виробів із високою продуктивністю. При цьому знижується точність заготовок, що формуються, збільшуються припуски на подальшу механічну обробку.

Підкреслимо, що аргонодуговий, механізований в середовищі захисного газу суцільним та порошковим дротами, плазмовий та інші способи наплавлення достатньо широко застосовуються в аддитивному виробництві.

Плазмове наплавлення електродом, що плавиться (плазма-МИГ) є гібридним процесом, що об'єднує дугове і плазмове наплавлення. Процес має низку переваг: висока стабільність і продуктивність, гнучке регулювання параметрів наплавлення, відсутність розбризкування, кероване краплеперенесення випадкового металу та ін. Застосування кільцевого анода дозволяє стійко вести наплавлення плазмовою дугою зворотної полярності. При цьому відбувається ефективне руйнування і видалення оксидних плівок, покращується змочуваність і розтікання металу, що наплавляється за рахунок процесу катодного очищення. Спосіб плазма-МИГ поєднує в собі особливості висококонцентрованого джерела енергії, високу продуктивність та якість наплавлення, за порівняно низької вартості обладнання. Таким чином, плазма-МИГ наплавлення може стати перспективним способом для пошарового формування габаритних металевих заготовок.

Треба зазначити, що електродугове автоматичне та напівавтоматичне наплавлення з застосуванням електрода, який плавиться забезпечує ряд технологічних та економічних переваг: висока продуктивність, регулювання теплопередачі в широких межах і, як наслідок, управління глибиною та шириною проплавлення, структурою, складом та властивостями формованого матеріалу. Осьова подача дроту сприяє підвищенню точності заготовки, що наплавляється. При цьому не потрібно застосовувати спеціальні пристрої для орієнтації подачі дроту відносно траєкторії наплавлення при автоматичному наплавленні. Напівавтоматичне наплавлення, що дуже важливо, дозволяє організувати адитивний процес по поверхні складної форми. Всі зазначені переваги для електродугового процесу дозволяють використовувати його найбільш широко. Дослідження в цьому напрямку адитивних технологій також велось і досі проводиться достатньо повно з охопленням різних методів та способів реалізації процесу та виходом на реальні техніко – технологічні рішення. Дуже широкий спектр робіт проведено щодо застосування модульованих та імпульсних режимів роботи автоматичного та напівавтоматичного обладнання для наплавлення, як засобів створення адитивного продукту. Найбільша увага приділяється системам з керованими параметрами, які в теперішній час технічно виконуються на сучасному рівні з використанням, в тому числі, комп'ютеризованих систем та найбільш досконалих комплектуючих, зокрема електродвигунів в механізми подачі електродного дроту та переміщення виробу та зварювального пальника:

- модуляція режимів наплавлення;
- імпульсна подача електродного дроту;
- коливання (поперечні) електродного дроту;
- коливання виробу

Застосування імпульсних та модульованих режимів роботи обладнання сприяє підвищенню продуктивності процесу при одночасному забезпеченні точності виробу, що є актуальним завданням.

Підвищення ККД процесу адитивного виробництва та скорочення виробничого циклу досягається шляхом підбору оптимального режиму наплавлення із запобіганням утворення дефекту *Humping* («пилкоподібний шов»). При цьому кількість проходів має бути мінімально необхідною та достатньою для отримання кінцевої форми виробу. Це реалізується шляхом розрахунку та вибору оптимального профілю валика. Діапазони вхідних параметрів визначаються за допомогою попередніх експериментів.

Для вищезазначених процесів велике значення мають параметри модуляції та імпульсного руху дроту та коливаний виробу чи пальника. При використанні наплавлення з модуляцією режимів та імпульсної подачі керована зміна частоти f та шпаруватості s зміни параметрів веде до зміни форми наплавленого валика зокрема його ширини та висоти, що можна бачити на контурних графіках рис. 1. При певному алгоритмі зміни цих параметрів досягаються декілька важливих результатів. Збільшується ширина валика в проході, зменшується його висота. Все це впливає на якість наплавленого шару що визначається

міжцентровою відстанню сусідніх валиків та траєкторією наплавлення. Міжцентрова відстань визначає хвилястість шару. Надмірна хвилястість сприяє виникненню проблем при нанесенні наступного шару і здатна порушити процес створення виробу.

При наплавленні з керованими по амплітуді та частоті коливаннями виробу відзначається значна величина залежності ширини валика H від цих параметрів, що можна оцінити по графіках на рис. 2, що сприяє отриманню при певних параметрах широкого валика і загалом підвищенню продуктивності адитивного процесу

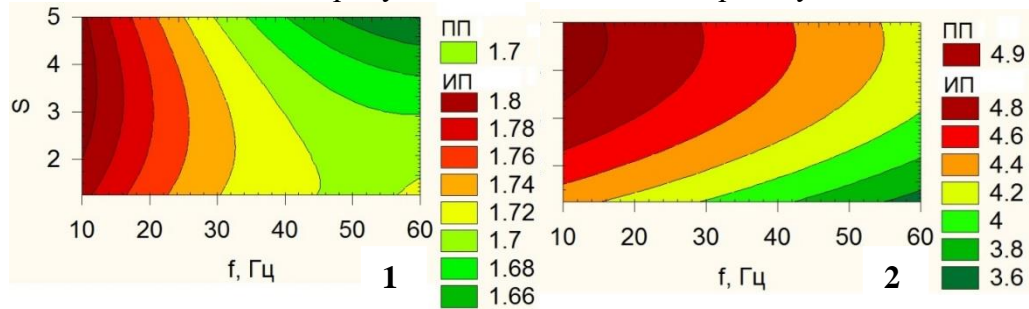


Рис.1 – Залежність висоти (1), ширини (2) наплавленого валика з імпульсною подачею електродного дроту від частоти та шпаруватості руху дроту

Слід вказати, що відносно новий в використанні процес з поперечними високочастотними коливаннями електродного дроту також відзначається можливістю впливати на форму наплавлення валика з метою поліпшення результатів адитивної технології особливо в частині збільшення ширини згаданого валика з малими значеннями його висоти.

Можливість якісного формування адитивної поверхні без хвилястості та занепадань проміжкових шарів це суттєвий вплив імпульсних, модульованих та коливальних режимів роботи зварювального обладнання але не єдиний. Є ще значний вплив на структуру наплавленого металу та зону термічного впливу цих режимів. Це стосується механічних властивостей адитивного наплавлення які зумовлені структурою наплавленого металу, яка є наслідком зменшення фракційної неоднорідності (різнодисперсності), зниження розмірів кристалітів, їх просторової орієнтації, тощо.

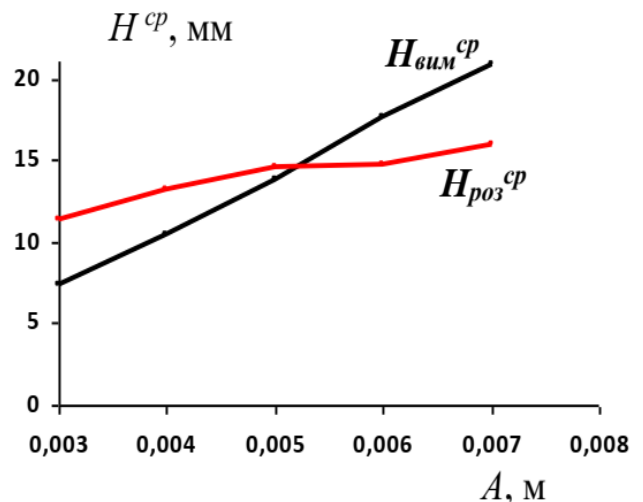


Рис. 2 – Графіки середніх значень ширини наплавленого валику виміряні $H_{вим}^{cp}$ та розраховані $H_{роз}^{cp}$ в залежності від амплітуди A коливань виробу

Список посилань

1. Wohlers T. Wohlers report 2014: Additive manufacturing and 3D-printing state of the industry: Annual world-wide progress report, Wohlers Associates, 2014. – 276 p.
2. Лебедев В.О. Вивчення особливостей механізованого електродугового наплавлення з періодичною зміною режимів процесу / Лебедев В.О., Тищенко В.О., Бриков М.М. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2022. – №1. – с. 62-69.
3. Патон Б.Е. Изучение особенностей воздействия импульсной подачи электродной проволоки на результаты механизированной электродуговой сварки – наплавки / Патон Б.Е., Лебедев В.А., Жук Г.В., Пичак В.Г. //Технічні науки та технології. – 2020. – №3. – с.9-20.

4. Лебедев В.О. Практичне застосування дугового автоматичного наплавлення з керованими коливаннями виробу/ Лебедев В.О., Новиков С.В. // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали ХХ міжнародної науково-технічної конференції. Краматорськ – Тернопіль, 2022. – с.132-133.

5. Лебедев, В.А. Способы управления подачей электродной проволоки при дуговой механизированной сварке и наплавке / Лебедев, В.А., Жук Г.В., Драган С.В. // Обработка материалов у машинобудуванні. Збірник наукових праць НУК. – 2017. – №4. – с.43-52.

УДК 621.78

Дубовий О. М., докт. техн.наук, професор

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв,
oleksandr.dubovyj@nuos.edu.ua

Лебедев В. О., докт. техн. наук, професор

Лой С. А., старший викладач

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, valpaton@ukr.net

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ПЛАЗМОВОМУ НАПИЛЕННІ ЗА РАХУНОК ВПЛИВУ НА ЇХ ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ

Проблеми, пов'язані з теплозахистом робочих поверхонь різних деталей, що працюють в умовах підвищених та високих температур, можна зосередити на газотурбінних двигунах та установках.

Збільшення ККД газотурбінних двигунів та установок при заданому типорозмірі забезпечується підвищенням температури газу на вхід, що впливає на робочі органи згаданої техніки, зокрема лопатки, а це суттєво впливає на їх тепловий режим, зменшуючи при цьому час активної роботи.

Вирішення проблеми захисту вузлів та деталей газотурбінних двигунів та установок, які працюють в активній зоні і також є під дією регулярних теплових змін може відбуватися по наступним головним напрямкам:

- вибір оптимальної конструкції, яка підлягає дії високої температури та металевих матеріалів виробу;
- зміна теплових режимів роботи зі зменшенням теплових навантажень;
- нанесення спеціальних теплозахисних покриттів на найбільш проблематичні місця з дією теплових полів.

Можна зазначити, що перші два напрямки не є достатньо ефективними так як практично дуже важко знайти сплави які б забезпечили більш сприятливі умови для роботи в існуючих температурних умовах. Зміна теплових режимів приводить до зниження ефективності роботи газотурбінних двигунів та установок.

Використання спеціальних теплозахисних покриттів - це той напрямок підвищення працездатності зазначеної та іншої техніки, який потрібен для забезпечення надійної роботи вузлів та деталей, які в цілому визначають високі показники роботи агрегатів різного призначення.

Серед низки технологій та способів виконання теплозахисних покриттів плазмове напилення має суттєві переваги перед іншими за багатьма критеріями [1]. Зважаючи на це, розглянемо можливості підвищення теплозахисних властивостей покриттів, які можливо здійснити з урахуванням можливостей нових технологій, матеріалів, які напилюються та сучасного обладнання, елементи якого можуть бути цілеспрямовано застосовані в складі установок для напилення. Велика увага приділяється захисту металевих елементів