

УДК 621.005:021

Саленко О.Ф., докт. техн. наук, професор
Костенко А.О., магістр
Цуркан Д. О., магістр

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», Salenko2006@ukr.net

ОЦІНКА ДОСЯЖНОЇ ТОЧНОСТІ 3-D ВИРОБІВ, ОТРИМУВАНИХ WAAM ПРОЦЕСОМ

Розвиток адитивних технологій, що базуються на використанні електричної дуги та дроту (WAAM), відомий як метод прямого осадження енергії (DED-arc), зумовлений необхідністю підвищення ефективності виробництва інженерних конструкцій.

Вперше запатентований у 1920 році [1], WAAM є найстарішим і одночасно найпростішим процесу виробництва адитивних матеріалів (AM) (відомого як 3D-друк). Використовуючи дріт як вихідну сировину, основний процес застосовують для місцевого ремонту пошкоджених або зношених деталей, а також для відновлення і ремонту крупних деталей та посудин під тиском протягом останніх десятиліть. Поява відповідного програмного забезпечення для автоматизованого проектування та виготовлення (CAD/CAM) зробило AM більш поширеним і застосовуваним, окреслило нові горизонти та напрямки розвитку таких процесів. Серед них WAAM є одним із перспективних.

На даний момент WAAM не є повністю автоматизованим процесом. До тих пір, поки не стане доступним повністю дієве комерційне програмне забезпечення AMCAD/CAM, модель деталі практично доопрацьовується вручну, окрім того, вимагаються певні навички оператора. Отримана поверхня (хвилястість) WAAM потребує обробки різанням для досягнення геометричних вимог та відповідної якості поверхневого шару. Саме тому найбільш доцільне застосування WAAM в аерокосмічній промисловості, де можливість виготовлення великих металевих деталей із легких матеріалів (зокрема, титанових сплавів) є головною перевагою метода WAAM.

Тож проблема виявлення способів і методів покращення якості відтворення заготовок WAAM процесом, зокрема, зниження хвилястості, зниження порожнистості готового виробу, є актуальною та значимою для сьогодення.

Адитивні процеси, що використовують явища плавлення металу зовнішнім джерелом тепла (електричною дугою, електронним променем, лазером), побудовані на принципах формування поверхневої глобули, викликаної приплавленням краплі металу, що стікає із електроду або формується за рахунок введення до зони термічної дії присадкового металу.

При WAAM формування глобул відбувається практично безперервно, з постійним переплавленням, оскільки електрична дуга формує досить широку високотемпературну зону впливу. Це явище негативне для 3D прототипування, оскільки досягти високої точності виробів неможливо. З іншого боку, горіння дуги та активне плавлення не тільки присадкового матеріалу, а і основи для викладення, вимагає врахування гідродинамічних явищ у ванні розплаву, під дією яких формується профіль викладеного валика.

Нами запропонована математична модель процесу, що враховує теплові явища від дії нестационарної дуги, динаміку переміщення електроду, формування, сплавлення та охолодження глобул та формування валику наплаву в цілому.

Математичне моделювання процесу наплавлення дозволило зробити висновок, що окрім фактору подачі присадкового металу (вираженого через швидкість дроту v_{nm}), на параметри валика впливають електричні характеристики дуги, зокрема, струм I , умови руху поверхнею (v_e); при цьому хвилястість шва χ , $\chi = h_{max} - h_{min}$, мм, обумовлюється також і поверхнею, на яку викладається матеріал. Так, при викладенні на пласку основу, хвилястість χ формується внаслідок прояву динамічних явищ системи подачі, а також

пульсуючої дії електричної дуги. У подальшому основа, яка вже має неплоскість, веде до збільшення хвилястості та за певних умов може викликати порушення горіння дуги.

Це потребує додаткового вивчення явищ горіння дуги в умовах, коли основа не є пласкою, а має початкові просторові відхилення; істотне значення на геометричні параметри валика має і варіант викладання.

Для встановлення закономірностей формування валику наплаву в процесі відтворення заданої 3D моделі використовували маніпуляційну систему верстата мод. 6P13Ф3 з системою ЧПУ NC210, а електричну дугу створювали за допомогою джерела живлення Fronius Magicwave 3000, що дозволяло при напрузі $U=10,1-22$ В забезпечувати струм $I=155-215$ А. У якості присадкового використовували дрiт $\varnothing 3,0$ мм. Електрод встановлювали на оптимальній відстані від поверхні $L'=3-7$ мм, його діаметр $\varnothing 2,5$ мм. Захисний газ – аргон.

Найбільший вплив на висоту наплавленого валика h має швидкість v , швидкість подачі дроту та сумарна дія цих двох факторів. Зі збільшенням швидкості v висота зварювального шва буде зменшуватися, а зі збільшенням швидкості подачі дроту v_{nd} – збільшуватися. Збільшення сили струму I , довжини дуги L_d веде до незначного зменшення висоти валика. На ширину валика e вплив мають три фактори: довжина дуги L_d , швидкість v та сила струму I . Найбільший вплив має довжина дуги та швидкість руху. З використанням діаграми Парето встановлено, що найбільший вплив на глибину проплаву валика мають довжина дуги, швидкість та сила струму. При збільшенні довжини дуги та швидкості глибина проплаву зварного шва зменшується, а при збільшенні сили струму – збільшується.

Рівень хвилястості має достатньо слабку вираженість від умов виконання обробки. При цьому було встановлено, що максимальних значень χ , мм, набуває у початковий момент часу (при запалюванні дуги) та під час, коли дуга вимикається. Головна обумовленість чинника – довжина дуги та її сталість. Істотним збуренням можна вважати і зміну умов руху головки. Так при зміні напрямку руху, пов'язаному із формуванням певних шарів відтворюваної моделі, хвилястість зростає. Зниження параметру χ спостерігається при усталеному русі. Точність відтворення становить $0,5..0,8$ мм при хвилястості $0,2..0,35$ мм (рис.1).

Отже, покращення точності виробів вбачається в оптимізації способів формування валиків, забезпеченням динамічної сталості руху робочої головки, забезпеченням відповідного перекриття траєкторій руху по шарам викладання на величину $0,5e$, а також підтриманням режиму динамічної сталості горіння дуги

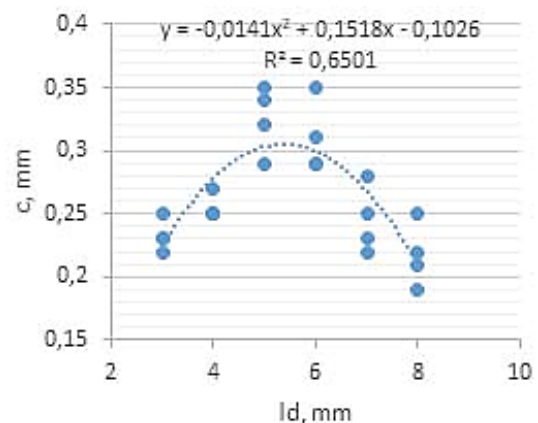


Рис.1 – Зміна параметру хвилястості при варіюванні найбільш впливовим чинником – довжиною дуги

Список посилань

1. D. Nimawat and M. Meghvanshi, "Using Rapid Prototyping Technology in Mechanical Scale Models," Int. J. of Engineering Research and Applications, Vol.2, Issue 2, pp. 215-219, 2012.
2. Інтернет-ресурс: <https://stc-paton.com/services/razrabotka-i-vnedrenie-energoberegayushhix-i-konkurentosposobnyix-texnologij-svarki,-naplavki,-vosstanovleniya,-naneseniya-zashhitnyix-pokrytij-i-speczialnoj-elektrometallurgii.html>