

ЗАСТОСУВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ МЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ (Огляд)

А.С. Новодранов, Д.Д. Топчев, А.М. Мангольд, Є.В. Шаповалов, В.О. Коляда

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Аддитивні технології – узагальнена назва технологій, з якими пов'язують виготовлення деталей за даними цифрової моделі способом пошарового додавання матеріалу. Для сучасної промисловості все дедалі актуальнішим стає аддитивне виготовлення металевих деталей складної форми. Проведено аналіз електродугових, лазерних і електронно-променевих способів реалізації зварювальних аддитивних технологій, а також надано оцінку перспективності та доцільності їх застосування в порівнянні з альтернативним механічним способом виробництва металевих виробів. Визначено переваги та недоліки кожного способу, а також сфери та особливості застосування. Наведено приклади впровадження даних способів у виробництво, а також їх застосування у складі складних зварювальних систем. Незважаючи на відносно низьку енергетичну ефективність лазерних аддитивних технологій, вони відрізняються найбільш високою точністю виготовлення деталей. Електродугові способи реалізації аддитивних технологій, навпаки, мають найвищу енергетичну ефективність, але отримані деталі потребують додаткової механічної обробки через відносно низьку точність виготовлення. Відмічено значну перспективність застосування плазмово-дугового способу наплавлення для створення металевих деталей завдяки низькій тепломісткості, високій продуктивності та великому асортименту витратних матеріалів. Розглянута проблематика та особливості наплавлення багатшарових деталей. Визначено перспективність застосування робототехнічних комплексів для вирішення завдань автоматизації процесів аддитивного виготовлення деталей із застосуванням WAAM технології. Робототехнічний комплекс на базі зварювального антропоморфного робота у поєднанні з зовнішніми осями дозволяє суттєво підвищити продуктивність та гнучкість аддитивного виробництва, а додаткове оснащення комплексу системою технічного зору дозволяє підвищити точність WAAM виготовлення деталей. Бібліогр. 29, рис. 8.

Ключові слова: зварювальні технології, адитивні технології, металеві вироби, тривимірний друк, електродугове наплавлення, роботизоване обладнання

Вступ. Адитивні технології – це процес виготовлення деталей, який полягає у створенні фізичного об'єкта за допомогою електронно-геометричної моделі [1, 2]. На відміну від механічної обробки та формоутворювального виробництва, такого як лиття або штампування, об'єкт створюється шляхом пошарового додавання матеріалу. У сучасній промисловості дедалі актуальнішим стає виготовлення металевих виробів складної форми за допомогою тривимірного друку. Зварювальні адитивні технології дозволяють отримувати деталі різноманітної геометричної форми шляхом пошарового нанесення матеріалу на підкладку або елемент готового виробу, виходячи з цифрової моделі об'єкта, що значно скорочує витрати. Застосування адитивних технологій [3–5] для виготовлення металевих деталей найбільше підходить при невеликих партіях та підвищених вимогах до точності кінцевого продукту [6].

До переваг застосування адитивних технологій у порівнянні з класичними способами виробництва необхідно віднести зменшення людино-годин, необхідних для виготовлення деталей шляхом повної автоматизації, а також зменшення

кількості витратних матеріалів при використанні коштовних сплавів [6–8].

Для оцінки переваг використання адитивних технологій перед традиційними достатньо проаналізувати наступний приклад. Для традиційного виготовлення із прямокутної сталевий заготовки масою 85 кг деталі складної форми масою 18 кг за допомогою станка з ЧПУ необхідно витратити близько 16 людино-годин часу (рис. 1).

Врахувавши вартість заготовки, вартість та час обробки на станку з ЧПУ та кількість металевих відходів, можна помітити досить суттєву вартість кінцевого виробу. Застосувавши технологію наплавлення методом дугового зварювання у середовищі захисних газів для виробництва аналогічної деталі, необхідно витратити в 3 рази менше людино-годин часу. Кількість металевих відходів від обробки наплавленої деталі на станку з ЧПУ буде меншою в 10 разів, оскільки деталь наплавляється з невеликим припуском. В результаті цього кінцева вартість деталі, виготовленої за допомогою адитивних технологій, менша в 2,5 рази, ніж виготовленої традиційним способом (рис. 2) [10].

Новодранов А.С. – <https://orcid.org/0000-0002-3380-3745>, Топчев Д.Д. – <https://orcid.org/0000-0002-7885-7907>, Мангольд А.М. – <https://orcid.org/0000-0003-0144-8512>, Шаповалов Є.В. – <https://orcid.org/0000-0001-5063-9556>, Коляда В.О. – <https://orcid.org/0000-0001-7539-6626>

© А.С. Новодранов, Д.Д. Топчев, А.М. Мангольд, Є.В. Шаповалов, В.О. Коляда, 2023



Рис. 1. Процес виготовлення металевої деталі способом механічної обробки [9]

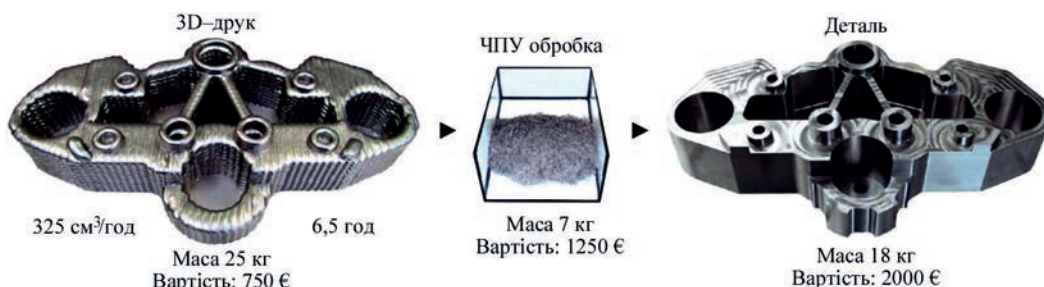


Рис. 2. Процес виготовлення металевої деталі адитивним наплавленням [10]

Важливим параметром для порівняння різних способів адитивного наплавлення є поняття енергетичної ефективності [11], що розглядається як відношення питомої енергії, введеної у заготовку, до загальних витрат енергії на зварювання та допоміжні операції.

Способи адитивних технологій, які використовують як витратний матеріал зварювальний дріт, у залежності від джерела концентрованої енергії поділяються на лазерні, електронно-променеві та електродугові. Необхідно зазначити, що лазерні адитивні технології [12, 13] відрізняються підвищеною точністю у порівнянні з іншими способами [14], проте мають низьку енергетичну ефективність – 2...5 %. Способи електронно-променевого адитивного наплавлення мають значно більшу енергетичну ефективність – 15...20 %, але електронно-променево наплавлення вимагає застосування обладнання для створення вакуумного середовища. Розмір деталей, вироблених за допомогою електронно-променевого наплавлення, має обмеження, які визначаються розмірами вакуумної камери. Також до недоліків даного способу можна віднести складність роботи з вакуумним обладнанням [15].

Технологія адитивного наплавлення WAAM.

Адитивне виробництво металевих виробів за допомогою дугового наплавлення під назвою Wire Arc Additive Manufacture (WAAM) є одним з ключових методів гібридного виробництва металевих виробів, що включає адитивні та інші технологічні процеси. Розробка та впровадження гібридних технологій, що поєднують пошарове формування з подальшою термічною та механічною обробкою, є одним із перспективних шляхів подальшого розвитку машинобудування. Нестійкість вільних електричних дуг, акумуляція тепла в металі, що

наплавляється, та інші фактори роблять процес формування виробу складним, мінливим і важкокерованим. Геометрична точність та механічні властивості кінцевого продукту безпосередньо залежать від розмірної точності та способу формування кожного шару [16]. Моделювання форми одиничного шару є основою адитивного процесу, що полягає у визначенні кількості проходів та положення кожного шару. Геометрія наплавленого компонента формується за заданою структурою. На першому етапі задаються геометричні параметри одиничного шару. Після цього проводиться формування шару. Далі здійснюється пошарове формування виробу. Таким чином, геометричні параметри одиничного шару (ширина, висота, профіль) є базовими елементами адитивних технологій на виробництві.

Нідерландська компанія MX3D створила перший у світі сталевий міст за допомогою технології WAAM (рис. 3). Загальна маса мосту близько 6 т, а довжина більше 12 м. Конструкція створювалась за допомогою чотирьох робототехнічних комплексів на базі зварювальних роботів АВВ протягом півроку [17].

У порівнянні з лазерним та електронно-променевим наплавленням електродугове у середовищі захисних газів має значно більшу енергоефективність. Енергоефективність електродугового наплавлення за допомогою методів MIG або TIG може досягати 90 %. Однак слід зазначити, що при використанні електродугового наплавлення можуть виникати залишкові напруження та деформації виробу, викликані інтенсивним нагріванням, а отримані деталі мають характерну «східчасту» поверхню.

Будь-який спосіб адитивного наплавлення повинен забезпечувати сталість форми та якість оди-



Рис. 3. Сталевий міст, створений за технологією WAAM [17]

ничного шару [18]. Форма одиничного шару залежить від наступних факторів:

- властивостей матеріалу;
- теплового стану в зоні наплавлення;
- технологічних особливостей процесу.

Важливими умовами формування багатошарових виробів високої якості є:

- створення металургійного зв'язку шляхом сплавлення з попереднім шаром;
- забезпечення оптимальної швидкості охолодження як підкладки, так і наплавленого матеріалу;
- здійснення надійного захисту рідкого металу.

Асоціація авіаційних досліджень – науково-дослідний інститут аеродинаміки в місті Бедфорд (Велика Британія) виготовила за допомогою робототехнічного комплексу на базі антропоморфного шестиосьового зварювального робота ABB IRB 6400 та технології WAAM модель крила літака довжиною 0,8 м для тестування в аеродинамічній трубі. Крило має порожнисту структуру всередині, а також потребує подальшої механічної обробки з точністю до 0,05 мм [19].

Технологія лазерного наплавлення SLM.

Для створення об'ємних металевих деталей високої міцності застосовують технологію селективно-

го лазерного плавлення (SLM). За допомогою даної технології деталь формується шляхом плавлення порошків різноманітних металів лазерним променем. До переваг даної технології можна віднести високу деталізацію елементів деталі, високу щільність (99 %), а також точність габаритних розмірів (50 мкм). До недоліків технології лазерного наплавлення необхідно віднести високу вартість обладнання, матеріалів та обслуговування, а також відносно низьку швидкість наплавлення (10 см³/год.).

Німецька компанія SLM Solutions за допомогою індустріального 3D-принтера NXG XII 600 створила корпус силового агрегату E-Drive для передньої осі автомобілів Porsche (рис. 4). У результаті вдалося зменшити масу деталі, реалізувати інтегровані в корпус деталі системи охолодження, підвищити пружність, а також зменшити час збирання агрегату. NXG XII 600 – це система, створена за технологією SLM, головними функціональними елементами є 12 лазерів потужністю 1000 Вт кожний. Така система може виготовляти до 10000 кг металевих деталей в рік [20].

Група південнокорейських науковців створила прототип паливного бака для ракети-носія за допомогою технології лазерного наплавлення SLM (рис. 5). Для реалізації складної форми бака було застосовано метод спрямованого осадження енергії, метод створення металевих деталей за рахунок плавлення та швидкого затвердіння металевих порошків за допомогою лазерного променя [21].

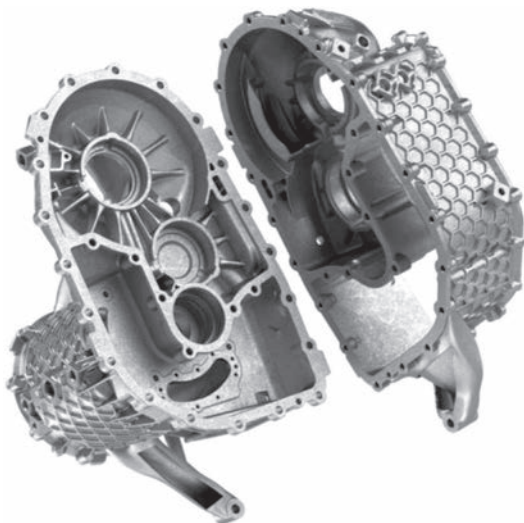


Рис. 4. Корпус силового агрегату, створений способом SLM за допомогою установки NXG XII 600 [20]



Рис. 5. Процес наплавлення паливного бака ракети-носія [21]

Технологія плазмово-дугового наплавлення. Вирішити недоліки лазерного наплавлення можливо шляхом застосування технології плазмово-дугового наплавлення. До переваг даного способу слід віднести розплавлення будь-якого металу шляхом високої температури плазмової дуги (до 30000 °С), відсутність бризок при напавленні шарів, мінімальне нагрівання раніше напавлених шарів, можливість регулювання габаритних розмірів шару, а також високу продуктивність та економічність використання витратних матеріалів. Технологія плазмово-дугового наплавлення при формуванні металевої деталі дає можливість змінювати склад металу, а також отримувати градієнтну структуру. Все це стає можливим за рахунок великого асортименту витратних матеріалів.

Китайська компанія WALDUN за допомогою плазмово-дугового наплавлення відновлює та наплавляє робочу поверхню шнеків (рис. 6) та циліндрів екструдерів, деталі для атомних електростанцій, промислові різакі, леза та фрези, а також виготовляє стійке до корозійного впливу та стирання промислове обладнання [22].

Проблематика наплавлення багатошарових деталей. При побудові багатошарової деталі необхідно забезпечити достатню теплоємність для сплавлення металу (рис. 7). Надлишок тепла, що підводиться, сприяє надмірному проплавленню попереднього шару і розтіканню зварювальної ванни.

Визначення взаємозв'язків між формою шару та параметрами режиму наплавлення, включаючи моделювання всіх фізичних процесів, є досить складним завданням. Параметри наплавлення необхідно обирати згідно з відповідними технічними рекомендаціями. Ключовим завданням розробки технології адитивного формування є створення математичної моделі, що зв'яже профіль одиничного шару з параметрами наплавлення.

Створення технологій пошарового наплавлення виробів вимагає детального вивчення впливу умов виготовлення на експлуатаційні характеристики виробів [24]. Отримання виробів із високими експлуатаційними характеристиками та мінімальним припуском на механічну обробку

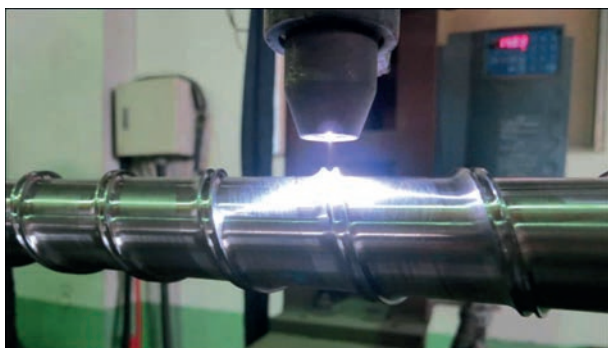


Рис. 6. Процес плазмово-дугового наплавлення робочої поверхні шнека [22]



Рис. 7. Наплавлення багатошарової деталі за допомогою технології WAAM [23]

пов'язане з вирішенням великої кількості різноманітних завдань. Розміри ванни рідкого металу визначаються тепловим станом в зоні впливу електричної дуги, яка залежить від багатьох факторів:

- потужності електричної дуги;
- швидкості процесу наплавлення;
- діаметра і швидкості подачі зварювального дроту;
- поперечного перерізу стінки, що наплавляється;
- хімічного складу зварювального дроту;
- якості захисту зварювальної ванни.

Для вирішення питання підтримки теплового балансу під час процесу наплавлення необхідно поточне коригування параметрів режиму або періодичне зупинення процесу для охолодження виробу, що наплавляється. За допомогою коригування параметрів режиму наплавлення, в принципі, можна вийти на режим теплової рівноваги, при якому забезпечується стабільність процесу пошарового наплавлення. Необхідно враховувати те, що розміри ванни рідкого і перегрітого металу, зрештою, визначають структуру і властивості металу, а також якість захисту поверхні, що впливає на дефектність напавлених шарів. Точність формування виробу залежить від форми та розмірів шару, що наплавляється. Тому наявність адекватної математичної моделі наплавлення є ключовим етапом процесу адитивного виробництва.

Автоматизація процесу адитивного наплавлення. На фоні глобальної автоматизації виробництва металевих виробів та конструкцій все частіше застосовуються робототехнічні комплекси на базі зварювальних роботів, за допомогою яких здійснюється адитивне наплавлення за технологією WAAM [25, 26]. Застосування робототехнічного комплексу має ряд переваг. Основною

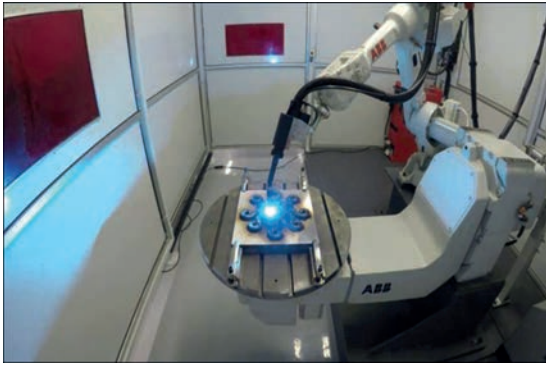


Рис. 8. Робототехнічний комплекс на базі зварювального робота та позиціонера [27]

перевагою є висока точність при пошаровому наплавленні за допомогою технології WAAM, яка може сягати 0,8 мм. Також слід зазначити широкий діапазон розмірів деталей, який обмежений лише радіусом досяжності певної моделі робота. Зазвичай робототехнічний комплекс складається з робота, позиціонера з однією або двома обертальними осями, зварювального обладнання в залежності від обраної технології та програмного забезпечення. Використання позиціонера дозволяє наплавляти вироби складної форми, а саме спіралеподібної та ін. (рис. 8).

У випадках, коли деталь виходить за межі досяжності робота, необхідно застосувати трек для лінійного переміщення робота вздовж робочої області. Якщо необхідно досягти більшої точності, то для пошарового отримання геометричних характеристик отриманого виробу, контролю якості або ідентифікації геометрії наплавленого виробу доречним буде застосування системи технічного зору [28]. Така система є апаратно-програмним комплексом на базі телевізійного датчика, який встановлюється на пальнику робота та у режимі реального часу обмінюється з роботом результатами вимірювань. Отримавши виміряні дані, контролер робота в режимі реального часу обчислює координати та корегує переміщення пальника та/або параметри режиму. Застосувавши програмні можливості робота та дані, отримані від системи технічного зору, на основі оптичного методу неруйнівного контролю об'єкта можна зробити висновки про якісні показники, а саме геометричну точність та відсутність зовнішніх дефектів кінцевого виробу [29].

Висновки

За результатами аналізу особливостей зварювального адитивного виробництва можна зробити висновок, що застосування адитивних технологій найкраще підходить для виготовлення невеликих партій деталей. Однією з основних переваг адитивного виробництва є зниження собівартості кінцевих виробів при одночасному досягненні підвищення продуктивності у порівнянні

з традиційними методами, такими як механічна обробка. Визначено переваги, недоліки та сфери застосування електронно-дугової, лазерної та плазмово-дугової адитивних технологій. Серед розглянутих методів адитивного виробництва металевих виробів найбільш перспективним обрано плазмово-дуговий. Дана технологія дає можливість створювати деталі складної форми та високої якості за рахунок відсутності бризок при наплавленні шарів, мінімального нагрівання раніше наплавлених шарів, можливості регулювання габаритних розмірів шару, а також високої продуктивності та економічності використання витратних матеріалів. Застосування плазмово-дугового методу вирішує питання теплового балансу, енергоефективності, а також контролю розміру наплавленого шару при виготовленні багатошарових деталей.

У напрямку автоматизації адитивного виробництва розглянуто перспективність та доцільність застосування робототехнічного комплексу на базі зварювального робота у поєднанні з позиціонером. Застосування антропоморфного зварювального робота підвищує продуктивність, яка досягається шляхом зменшення впливу людини на технологію виробництва, а також можливість завантаження робототехнічного комплексу в режимі «24/7».

Список літератури/References

1. DebRoy, T., Wei, H.L., Zuback, J.S. et al. (2018) Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties. *Progress in Materials Science*, 92, 112–224.
2. Dickens, P.M. (1992) Rapid prototyping using 3-D welding. *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium*, 280–290.
3. Ding, D., Pan, Z., Cuiuri, D., Li, H. (2015) Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81(1-4), 465–481.
4. Пелешенко С.И., Коржик В.Н., Войтенко А.Н. и др. (2017) Анализ современного состояния аддитивных сварочных технологий изготовления объемных металлических изделий. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 3/1(87), 42–52.
Peleshenko, S.I., Korzhik, V.N., Voitenko, A.N. et al. (2017) Analysis of modern state of additive welding technologies for producing bulk metallic products. *Eastern-European J. of Enterprise Technologies*, 3/1(87), 42–52.
5. Wong, K.V. (2012) A review of additive manufacturing. *International Scholarly Research Network Mechanical Engineering*, Article ID 208760.
6. Жуков В.В., Григоренко Г.М., Шаповалов В.А. (2016) Аддитивное производство металлических изделий (Обзор). *Автоматическая сварка*, 5-6(753), 148–153.
Zhukov, V.V., Grigorenko, G.M., Shapovalov, V.A. (2016) Additive manufacturing of metal products (Review). *The Paton Welding J.*, 5-6(753), 137-142.
7. Michaels, S., Sachs, E.M., Cima, M.J. (1992) Metal parts generation by three dimensional printing. *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium*, 244–250.
8. Frazier, W.E. (2014) Metal additive manufacturing: a review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(6), 1917–1928.
9. RUDOLF SIEVERS [Електронний ресурс]. *Großbauteile aus Metall*. <https://www.rudolf-sievers.de/fileadmin-pft21/RS/3D-Druck/PDF/RUDOLF%20SIEVERS%20-%203D-Druck%20Flyer%20DMP.pdf>

10. Kazanas, P., Deherkar, P., Almeida, P. et al. (2012) Fabrication of geometrical features using wire and arc additive manufacture. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: *Journal of Engineering Manufacture*, 226(6), 1042–1051.
11. Каракозов Э.С., Мустафаев Р.И. (1992) *Оценка эффективности сварочных процессов*. Справочник молодого электросварщика, 46–47.
Karakozov, E.S., Mustafaev, R.I. (1992) *Evaluation of efficiency of welding processes*: Refer. book of young welder, 46–47 [in Russian].
12. Kruth, J.P. (2004) Selective laser melting of iron-based powder. *J. Mater. Process. Technol.*, 149, 616–622.
13. Kruth, J.P. (1998) Progress in additive manufacturing and rapid prototyping. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 47(2), 525–540.
14. Wang, F., Williams, S., Colegrove, P., Antonysamy, A.A. (2012) Microstructure and Mechanical Properties of Wire and Arc Additive Manufactured. *Metallurgical and Materials Transactions*, 44, 968–977.
15. Li Johnnie Liew Zhonga, Alkahari Mohd Rizala, Rosli Nor Ana Bintia et al. (2019) Review of wire arc additive manufacturing for 3d metal printing. *International Journal of Automation Technology*, 13(3), 346–353.
16. Karunakaran, K.P., Suryakumar, S., Pushpa, V., Akula, S. (2010) Low cost integration of additive and subtractive processes for hybrid layered manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(5), 490–499.
17. (2018) Dezeen [Электронный ресурс]. *Robots complete span of 3D-printed bridge for Amsterdam canal*. <https://www.dezeen.com/2018/04/17/mx3d-3d-printed-bridge-joris-laarman-arup-amsterdam-netherlands/>
18. Коржик В.Н., Хаскин В.Ю., Гринюк А.А. и др. (2016) Трехмерная печать металлических объемных изделий сложной формы на основе сварочных плазменно-дуговых технологий (Обзор). *Автоматическая сварка*, 5-6(753), 127–134.
Korzhih, V.N., Khaskin, V.Yu., Grinyuk, A.A. et al. (2016) 3D-printing of metallic volumetric parts of complex shape based on welding plasma-arc technologies (Review). *The Paton Welding J.*, 5-6(753), 117-123.
19. Williams, S.W., Martina, F., Addison, A.C., Ding, J. (2016) Wire+Arc Additive Manufacturing. *Materials Science and Technology*, 7, 641–647.
20. SLM Solution [Электронный ресурс]. *Meet the NXG XII 600 a new era in manufacturing*. <https://www.slm-pushing-the-limits.com/specs#the-nxg>
21. (2021) Money Today [Электронный ресурс]. *3D printers also make propellant tanks for space launch vehicles. One step closer to self-sufficiency in space parts*. <https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2021062414002837802>
22. WALDUN [Электронный ресурс]. *PTA Welding Machine | Plasma Transferred Arc Welding (Plasma Transferred Arc) & System*. <https://www.hardfacingfty.com/pta-welding-equipment/>
23. Geofabrica [Электронный ресурс]. *Wire-arc additive manufacturing for metal part fabrication*. <https://geofabrica.com/directed-energy-deposition-waam/>
24. Коржик В.Н., Войтенко А.Н., Пелешенко С.И. и др. (2017) Разработка автоматизированного оборудования для изготовления трехмерных металлических изделий на основе аддитивных технологий. *Автоматическая сварка*, 5-6, 91–98.
Korzhih, V.N., Vojtenko, A.N., Peleshenko, S.I. et al. (2017) Development of automated equipment for manufacturing 3D metal products based on additive technologies. *The Paton Welding J.*, 5-6, 79-85.
25. Pan Zengxi, Ding Donghong, Wu Bintao et al. (2018) Arc Welding Processes for Additive Manufacturing: A Review. *Transactions on Intelligent Welding Manufacturing*, 3–24.
26. Guessasma, S., Zhang, W., Zhu, J. et al. (2016) Challenges of additive manufacturing technologies from an optimization perspective. *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 6, 9–13.
27. Savyasachi, N., Sijo, Richard, Joel T James et al. (2020) A Review on Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7, 4981–4989.
28. Кисилевский Ф.Н., Шаповалов Е.В., Коляда В.А. (2006) Система лазерного слежения за валиком усиления сварного шва. *Автоматическая сварка*, 1, 60–62.
Kiselevsky, F.N., Shapovalov, E.V., Kolyada, V.A. (2006) System of laser following of weld reinforcement. *The Paton Welding J.*, 1, 60–62.
29. Лобанов Л.М., Шаповалов Е.В., Коляда В.А. (2014) Применение современных информационных технологий для решения задач автоматизации технологических процессов. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 3, 20–28.
Lobanov, L.M., Shapovalov, E.V., Kolyada, V.A. (2014) Application of modern information technologies to solve problems of technological process automation. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 3, 20–28 [in Russian].

USE OF WELDING ADDITIVE TECHNOLOGIES IN MANUFACTURE OF METAL PARTS OF A COMPLEX SHAPE (Review)

A.S. Novodranov, D.D. Topchev, A.M. Mangold, E.V. Shapovalov, V.O. Kolyada

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

Additive technologies are the generalized name of technologies that associate the manufacture of parts according to the data of a digital model by the method of layer-by-layer adding of material. For the modern industry, additive manufacturing of metal parts of a complex shape is becoming increasingly relevant. The analysis of electric arc, laser and electron beam methods for realization of welding additive technologies as well as evaluation of the prospects and rationality of their use as compared to the alternative mechanical method of manufacturing of metal products was carried out. The advantages and disadvantages of each method as well as areas and features of application were determined. Examples of introduction of these methods in manufacture as well as their use in the composition of complex welding systems are presented. Despite a relatively low energy efficiency of laser additive technologies, they are featured by the highest accuracy of parts manufacturing. Electric arc methods for realization of additive technologies, on the contrary, have the highest energy efficiency, but manufactured parts require additional machining due to a relatively low manufacturing accuracy. A significant prospect in using the plasma-arc method of surfacing for manufacture of metal parts was noted due to a low heat capacity, high efficiency and a large range of consumables. The problems and features of surfacing of multilayered parts were considered. The prospects of using robotic complexes for solving the problems of automation of the processes of additive manufacturing of parts using WAAM technology were determined. The robotic complex on the basis of welding anthropomorphic robot in combination with external axes provides a significant increase in efficiency and flexibility of additive manufacturing, and additional equipment of the complex with the system of technical vision allows increasing the accuracy of WAAM of parts manufacturing. 29 Ref., 8 Fig.

Keywords: welding technologies, additive technologies, metal products, three-dimensional printing, electric arc surfacing, robotic equipment

Надійшла до редакції 24.10.2022