

ДУКА ОЛЕКСАНДР

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0001-8231-856X>e-mail: s4n1220@gmail.com**ГАРБАР ЄВГЕН**<https://orcid.org/0000-0001-6952-4855>e-mail: garbarzhenia@gmail.com**ПОЛІЩУК ОЛЕГ**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9764-8561>e-mail: opolishchuk71@gmail.com**ПОЛІЩУК АНДРІЙ**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7887-7169>e-mail: andrepol215@gmail.com**ГЕРГЕЛЬ МАРІУШ**

Гірничо-металургійна академія в Кракові

<https://orcid.org/0000-0002-4212-1113>e-mail: giergiel@agh.edu.pl

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ РОБОТИЗОВАНИХ МАНІПҮЛЯТОРІВ З ЕКСТРУДЕРАМИ ДЛЯ 3D-ДРУКУ

У статті проаналізовано перспективи застосування роботизованих маніпуляторів у технології 3D-друку, а також особливості інтеграції екструзійних систем для виготовлення складних геометричних конструкцій. Визначено основні переваги використання промислових роботів для адитивного виробництва, зокрема їхню здатність забезпечувати гнучкість виробничих процесів, зменшувати матеріальні витрати та підвищувати якість друкованих виробів. Проведено аналіз основних типів екструзійних систем, що використовуються у роботизованому 3D-друці: філаментних, аерозольно-струменевих і шнекових екструдерів. Філаментні екструдери є найбільш поширеними, оскільки забезпечують високу точність і деталізацію друку, що робить їх придатними для широкого спектра застосувань, зокрема в машинобудуванні та легкій промисловості. Аерозольно-струменеві розпилювачі застосовуються у високоточному виробництві електронних компонентів і біотехнологічних пристроїв завдяки можливості наносити надтонкі шари матеріалів. Шнекові екструдери, які працюють із гранульованими полімерними матеріалами, мають значний потенціал у 3D-друці, проте на ринку практично відсутні роботизовані системи, що використовують цей тип екструзії. Розглянуто основні параметри вибору роботизованих маніпуляторів для адитивного виробництва, зокрема точність повторюваності, досяжність, вантажопідйомність, безпеку експлуатації та програмне забезпечення. Проведено огляд провідних виробників роботів-маніпуляторів для 3D-друку, зокрема компаній KUKA, ABB, FANUC, Yaskawa та Comau, які пропонують інтеграційні рішення для екструзійних систем. За результатами аналізу визначено, що подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку роботизованих систем із шнековими екструдерами, що дозволить значно знизити вартість сировини, підвищити ефективність виробничих процесів і розширити можливості 3D-друку в промисловості. Використання таких систем сприятиме створенню більш економічних і технологічно досконалих методів адитивного виробництва, зокрема у будівництві, автомобілебудуванні та виготовленні композитних конструкцій.

Ключові слова: 3D-друк, роботизований маніпулятор, шнековий екструдер, філамент, полімерні гранули

DUKA OLEKSANDR, HARBAR YEVEN, POLISHCHUK OLEH, POLISHCHUK ANDRII

Khmelnitskyi National University

GIERGIEL MARIUSZ

AGH University of Krakow

REVIEW AND ANALYSIS OF EXISTING DESIGNS OF ROBOTIC MANIPULATORS WITH EXTRUDERS FOR 3D PRINTING

The article analyzes the prospects for the use of robotic manipulators in 3D printing technology, as well as the features of integrating extrusion systems for the manufacture of complex geometric structures. The main advantages of using industrial robots for additive manufacturing are identified, in particular their ability to provide flexibility in production processes, reduce material costs and improve the quality of printed products. The main types of extrusion systems used in robotic 3D printing are analyzed: filament, aerosol-jet and screw extruders. Filament extruders are the most common, as they provide high accuracy and detail of printing, which makes them suitable for a wide range of applications, in particular in mechanical engineering and light industry. Aerosol-jet sprayers are used in high-precision production of electronic components and biotechnological devices due to the ability to apply ultra-thin layers of materials. Screw extruders that work with granular polymer materials have significant potential in 3D printing, but there are practically no robotic systems on the market that use this type of extrusion. The main parameters for choosing robotic manipulators for additive manufacturing are considered, in particular, repeatability accuracy, reachability, load capacity, operational safety and software. A review of the leading manufacturers of robot manipulators for 3D printing is conducted, in particular, KUKA, ABB, FANUC, Yaskawa and Comau, which offer integration solutions for extrusion systems. The analysis results indicate that further research should be aimed at developing robotic systems with screw extruders, which will significantly reduce the cost of raw materials, increase the efficiency of production processes and expand the capabilities of 3D printing in industry. The use of such systems will contribute to the creation of more economical and technologically advanced additive manufacturing methods, in particular in construction, automotive, and composite construction.

Keywords: 3D printing, robotic manipulator, screw extruder, filament, polymer pellets

Вступ

У сучасному промисловому виробництві технології 3D-друку набувають дедалі більшого поширення завдяки своїм унікальним можливостям щодо виготовлення складних геометричних конструкцій, зниження витрат матеріалу та підвищення ефективності виробничих процесів. Одним із ключових напрямків розвитку цієї технології є інтеграція роботизованих маніпуляторів із екструдерами, що дозволяє створювати великогабаритні вироби з полімерних матеріалів без необхідності застосування традиційних прес-форм. Застосування роботизованих систем у 3D-друці дає змогу виготовляти деталі та конструкції будь-якої складності, використовуючи мінімальну кількість матеріалу та значно зменшуючи кількість виробничих відходів.

Технологія 3D-друку полімерними матеріалами відкриває нові можливості для машинобудування, легкої промисловості, архітектури та інших галузей, дозволяючи створювати деталі зі складною внутрішньою структурою, які традиційними методами було б важко або неможливо виготовити. Це сприяє розширенню сфери застосування адитивного виробництва, зокрема у виготовленні прототипів, функціональних деталей та навіть великих будівельних конструкцій. Використання екструдера забезпечує безперервну подачу матеріалу та високу продуктивність процесу, що є особливо важливим для промислових застосувань. Роботизовані маніпулятори з екструдерами забезпечують більшу гнучкість у виробництві та можуть бути інтегровані в автоматизовані виробничі лінії, що значно підвищує ефективність використання технології. Крім того, роботизовані платформи дозволяють друкувати деталі різного масштабу – від невеликих компонентів до великогабаритних конструкцій, що робить їх універсальним рішенням для широкого спектра застосувань.

Однак, незважаючи на значні досягнення у сфері 3D-друку, існує низка викликів, пов'язаних із його впровадженням у галузевому машинобудуванні та легкій промисловості. Зокрема, актуальними залишаються питання підвищення точності друку, оптимізації системи подачі матеріалу та розробки адаптивного програмного забезпечення для керування процесом. Важливим аспектом є також вдосконалення конструкції екструзійних систем для забезпечення рівномірного нанесення матеріалу та уникнення небажаних дефектів. Додаткові виклики включають розширення спектра матеріалів для друку, включаючи інноваційні композити, армовані полімери та біорозкладні матеріали, які можуть покращити механічні характеристики виробів і водночас відповідати сучасним екологічним стандартам.

Саме тому дослідження існуючих конструкцій роботизованих маніпуляторів з екструдерами та аналіз їхньої ефективності є важливим напрямом для подальшого вдосконалення технології. Подальші розробки мають бути спрямовані на покращення точності та швидкості друку, автоматизацію процесу калібрування обладнання, а також інтеграцію системи моніторингу якості в реальному часі. Це дозволить не лише збільшити продуктивність 3D-друку, а й розширити його промислові можливості, зробивши технологію ще більш конкурентоспроможною у сучасному виробництві.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є роботизовані маніпулятори із екструдерами, що використовуються для 3D-друку. Дослідження базується на аналізі існуючих розробок, технічних характеристик та сфери їх застосування. Методами дослідження є порівняльний аналіз конструкцій, експериментальні дані та аналіз літературних джерел.

Постановка завдання

Основним завданням дослідження є визначення переваг та недоліків різних конструкцій роботизованих маніпуляторів із екструдерами, а також аналіз їхньої ефективності у виробничих процесах машинобудування та легкої промисловості.

Результати та їх обговорення

Основні аспекти оцінки роботизованої системи для 3D-друку [1].

Оцінка роботизованих систем для 3D-друку передбачає врахування низки ключових параметрів, які впливають на ефективність і точність роботи обладнання.

Програмне забезпечення. Оскільки 3D-друк із використанням робототехнічних систем є відносно новою технологією, необхідно заздалегідь визначити методи програмування обладнання. Спеціалістів із відповідними навичками програмування небагато, тому доцільно обирати системи з інтуїтивно зрозумілими інтерфейсами або програмуванням без використання коду. Виробники роботів зазвичай рекомендують сумісні програмні рішення для конкретної моделі. Для 3D-друку доцільно застосовувати програмне забезпечення, що дозволяє роботу слідувати САД-моделі аналогічно традиційним 3D-принтерам.

Досяжність. Вона визначається як максимальна відстань, на якій робот здатен ефективно працювати, тобто здійснювати екструзію матеріалу та формувати виріб. Однією з головних переваг роботизованого 3D-друку є можливість створення великогабаритних об'єктів. Тому рекомендується, щоб радіус дії маніпулятора становив не менше 1,3 м. У випадках, коли необхідна ще більша досяжність, доцільним є використання декартових роботів, які можуть монтуватися на стельових конструкціях.

Повторюваність. У робототехніці вона характеризується допустимою точністю, з якою система може відтворювати задані траєкторії. Цей параметр зазвичай вимірюється в міліметрах і має вирішальне значення для 3D-друку, оскільки від нього залежить якість деталей. Наприклад, робот RO1 від Standard Bots забезпечує повторюваність на рівні 0,025 мм. Висока точність дозволяє досягти рівня деталізації, співставного зі звичайними 3D-принтерами.

Вантажопідйомність. Для маніпулятора визначається максимальною масою, яку він здатен утримувати, включаючи вагу кінцевого ефектора. При виборі обладнання необхідно враховувати масу екструдера, механізму подачі нитки та інших компонентів, які будуть кріпитися до маніпулятора. Недооцінка цього параметра може призвести до зниження продуктивності або навіть виходу системи з ладу.

Безпека експлуатації. Вона є одним із найважливіших аспектів промислової робототехніки. У випадках, коли передбачається взаємодія оператора з обладнанням, доцільно використовувати колаборативні роботи (Cobot), які оснащені системами виявлення зіткнень та аварійної зупинки. Якщо обирається стандартний промисловий робот, необхідно впроваджувати додаткові заходи безпеки, зокрема огорожі, датчики наближення та аварійні вимикачі.

Вартість і технічна підтримка. Роботизовані системи для 3D-друку мають високу вартість, проте їх ефективність дозволяє швидко окупити витрати. Під час вибору обладнання доцільно надавати перевагу виробникам, які пропонують розширене гарантійне обслуговування, навчальні програми, фінансові альтернативи та технічну підтримку. Важливим критерієм є розрахунковий ресурс роботи обладнання, тобто кількість допустимих операційних годин або циклів.

Огляд характеристик та порівняння пропозицій різних виробників дозволяють знайти оптимальне рішення, яке відповідатиме технологічним та економічним вимогам виробництва.

Аналіз конструкцій роботизованих маніпуляторів з екструдерами для 3D-друку.

В процесі аналізу сучасних конструкцій роботизованих маніпуляторів з екструдерами для 3D-друку в галузевому машинобудуванні та легкій промисловості було розглянуто декілька основних типів систем, які активно використовуються в промисловості та наукових дослідженнях. Основні характеристики та особливості їх роботи представлені у табл. 1.

1. Картезіанські роботизовані системи [2].

Картезіанські маніпулятори є найпоширенішими у 3D-друці завдяки своїй простій кінематиці та високій точності позионування (рис.1, а). Вони мають лінійні направляючі по трьох осях (X, Y, Z), що дозволяє досягати високої повторюваності друку. Серед недоліків таких систем – відносно низька гнучкість, що обмежує можливість друку складних геометричних конструкцій. Використання картезіанських маніпуляторів характерне для великоформатного 3D-друку, де точність є критичною.

2. Шарнірно-зчленовані маніпулятори (SCARA, 6-осьові роботи) [3].

Дані конструкції забезпечують значно більшу мобільність порівняно з картезіанськими системами. SCARA-маніпулятори широко використовуються для друку виробів складної форми та працюють з криволінійними поверхнями. 6-осьові роботи дозволяють ще більше розширити можливості адаптивного друку, оскільки забезпечують багатовимірний рух друкуючої головки (рис.1, б). Основним викликом у таких системах є необхідність складних алгоритмів управління та додаткових сенсорів для забезпечення точності процесу.

Таблиця 1

Основні технічні характеристики маніпуляторів з екструдером

Тип конструкції	Точність, мм	Швидкість, мм/с	Гнучкість	Вартість
Картезіанська	0,05-01	100-200	Низька	Середня
SCARA	0,02-,05	200-400	Висока	Висока
6-ти осьова	0,01-0,03	150-300	Дуже висока	Дуже висока
Дельта	0,03-0,06	300-500	Середня	Середня

3. Дельта-роботи [4].

Ці маніпулятори використовують паралельну кінематику, що забезпечує високу швидкість руху, особливо для легких деталей (рис.1, в). Вони ефективні для швидкого виготовлення прототипів, оскільки забезпечують низькі інерційні навантаження та високу швидкість. Основними недоліками є складність у калібруванні та обмежений робочий об'єм у порівнянні з картезіанськими чи 6-осьовими системами.



Рис.1. Роботизовані системи: а – картезіанська; б - шарнірно-зчленований маніпулятор; в - дельта-робот

Згідно із проведеними дослідженнями, найбільше поширення отримали саме SCARA-маніпулятори у поєднанні з екструдерами. Це пояснюється їх здатністю працювати з різними видами матеріалів, зокрема з

полімерними філаментами. Впровадження 6-осьових роботів дозволяє друкувати складні конструкції, що зменшує кількість витратних матеріалів і підвищує економічну ефективність виробництва.

Огляд робочих інструментів роботів-маніпуляторів для 3D-друку.

Роботи-маніпулятори, що застосовуються в 3D-друці, можуть бути оснащені різними типами екструзійних систем, які визначають метод нанесення матеріалу та його фізичні властивості. Основними робочими інструментами для роботизованого 3D-друку є філаментні (FDM) екструдери, аерозольно-струменеві розпилювачі та шнекові екструдери. Кожен із цих пристроїв має свої переваги та сферу застосування, залежно від матеріалів, що використовуються, та вимог до якості друку.

Філаментні екструдери є найпоширенішими серед інструментів для 3D-друку, оскільки забезпечують точне пошарове нанесення матеріалу за допомогою плавлення термопластичних ниток (філаментів). Такі системи дозволяють досягти високої роздільної здатності друку та використовуються для виготовлення складних геометричних конструкцій. Одним із найбільш популярних філаментних екструдерів є E3D Hemera (рис.2, а), який забезпечує точне дозування подачі матеріалу, зменшуючи ризик засмічення сопла та покращуючи якість друку [5].

Аерозольно-струменеві розпилювачі (Aerosol Jet) працюють за принципом розпилення чорнил або інших рідких матеріалів у вигляді мікроскопічних крапель, що осідають на поверхні, створюючи надтонкі деталі. Вони використовуються у високоточному 3D-друці для електронних компонентів, біомедичних пристроїв та мікросенсорів. Основною перевагою цього методу є можливість друку складних провідникових схем без необхідності використання традиційних друкованих плат. Проте, через високу вартість матеріалів та складність технології, аерозольно-струменеві розпилювачі застосовуються переважно у наукових та промислових дослідженнях.

Одним із найвідоміших прикладів аерозольно-струменевих розпилювачів є Optomes Aerosol Jet (рис.2, б) [6]. Ця технологія використовується для високоточного друку електронних компонентів, мікросхем, антен, біомедичних пристроїв та сенсорів. Завдяки високій точності та здатності працювати з тонкими шарами матеріалів, Optomes Aerosol Jet є перспективним інструментом для мікроелектроніки та біотехнологій, де традиційні методи 3D-друку не можуть забезпечити необхідну роздільну здатність.

Шнекові екструдери використовуються для високопродуктивного 3D-друку, зокрема в промислових масштабах, оскільки працюють з гранульованими полімерними матеріалами, що значно знижує вартість сировини. Завдяки конструкції шнека, матеріал рівномірно розплавляється та подається крізь сопло, забезпечуючи високу швидкість друку та стабільну якість виробу. Такі екструдери, як CEAD Robot Extruder (рис.2, в) [7], дозволяють виготовляти великогабаритні деталі та композитні конструкції, що робить їх оптимальними для застосування в авіаційній, автомобільній та будівельній галузях.

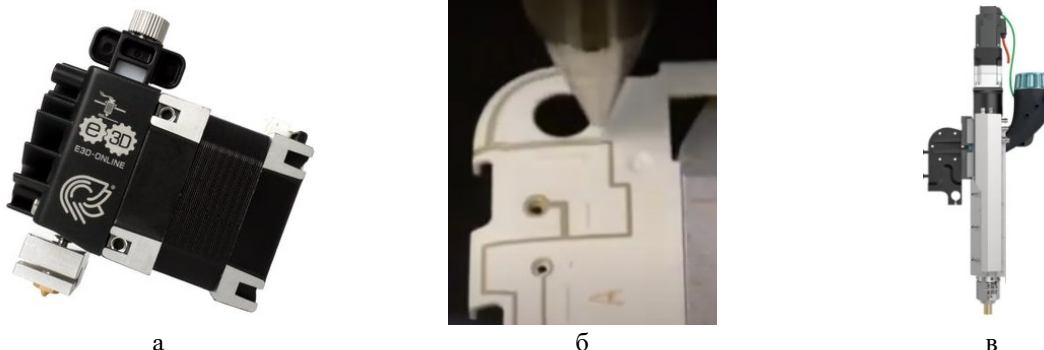


Рис.2. Екструзійні системи для роботів-маніпуляторів: а – філаментний екструдер; б - аерозольно-струменевий розпилювач; в – шнековий екструдер

Окрім основних екструзійних інструментів, роботизовані комплекси для 3D-друку можуть оснащуватися додатковими пристроями, такими як фрезерні головки (рис.3, а) [8], лазерні різакі (рис.3, б) [9] та системи контролю якості. Лазерні та плазмові різакі застосовуються для постобробки деталей, покращуючи точність геометричних параметрів та якість поверхонь. Сенсорні системи контролю якості, такі як Basler ace 2 (рис.3, в) [10], забезпечують аналіз процесу друку в реальному часі, дозволяючи запобігти дефектам та відхиленням.

Таким чином, вибір екструзійного інструмента значною мірою залежить від вимог до якості друку, типу матеріалів і швидкості виробництва. Філаментні екструдери забезпечують високу деталізацію, аерозольно-струменеві розпилювачі застосовуються для друку мікроскопічних структур, а шнекові екструдери є найефективнішими для великогабаритного друку. Поєднання різних методів екструзії та додаткових модулів постобробки дозволяє значно розширити можливості 3D-друку, роблячи його перспективним напрямком для промислового виробництва.



Рис.3. Допоміжні пристрої для роботів-маніпуляторів: а – фрезерна головка; б – лазерний різак; в – сенсорна система контролю якості

Роботи-маніпулятори для 3D-друку філаментом активно розвиваються провідними виробниками, які впроваджують інноваційні рішення для адитивного виробництва. Такі системи поєднують високоточне управління промислових роботів з технологією екструзійного 3D-друку, що дозволяє створювати великогабаритні деталі та складні конструкції.

Одним із лідерів галузі є компанія KUKA, яка пропонує роботизовану систему KR QUANTEC. Ця модель відрізняється широким робочим діапазоном (до 3 м) та значною вантажопідйомністю (до 300 кг), що дозволяє використовувати її для друку великогабаритних деталей у будівництві, автомобільній та аерокосмічній промисловості (рис.4, а) [11]. Робот підтримує інтеграцію з філаментними екструдерами та спеціалізоване програмне забезпечення для параметричного моделювання траєкторії друку.

Інша модель - KUKA KR AGILUS. Це компактний та високоточний робот-маніпулятор, який може використовуватися для 3D-друку філаментом у промислових та лабораторних умовах (рис.4, б) [12]. Завдяки своїй швидкості, точності ($\pm 0,02$ мм) та маневреності, він ідеально підходить для створення складних геометричних деталей з термопластичних матеріалів, таких як PLA, ABS, PETG та інші. Його шестикоординатна конструкція забезпечує гнучкість у побудові об'ємних виробів, а інтеграція з екструзійними системами дозволяє друкувати багатошарові структури на складних криволінійних поверхнях. KR AGILUS підтримує програмне забезпечення для параметричного моделювання траєкторії друку та може працювати в безперервному циклі, що робить його ефективним рішенням для адитивного виробництва у сфері дизайну, машинобудування та електроніки.

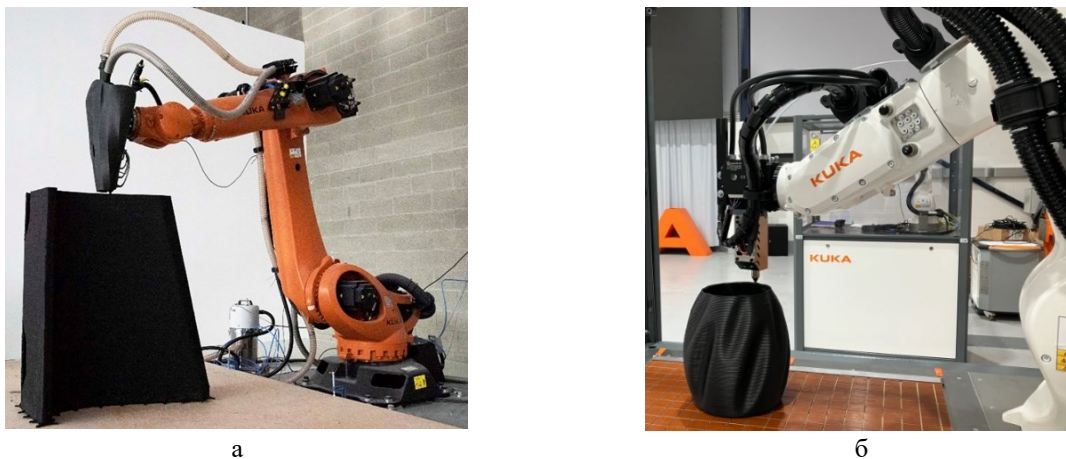


Рис.4. Робот-маніпулятор KUKA, оснащений екструдерною системою для 3D-друку: а – модель KR QUANTEC; б – модель KR AGILUS

Ще одним виробником роботизованих систем є компанія ABB. Це один із провідних світових виробників промислових роботів, що спеціалізується на автоматизації виробничих процесів у різних галузях, включаючи адитивне виробництво. Розглянемо її роботизовані рішення для 3D-друку.

Роботи ABB відомі своєю високою точністю, надійністю та інтеграційними можливостями. Зокрема, модель ABB IRB 1200 є компактним рішенням для 3D-друку гарячим клеєм, що забезпечує швидке нанесення матеріалу з високою точністю, що робить його придатним для виробництва електронних компонентів, меблів та герметичних з'єднань (рис.5, а) [13]. Водночас ABB CRB 15000, будучи колаборативним роботом, дозволяє безпечно працювати поруч із операторами, забезпечуючи ефективний 3D-друк філаментом (рис.5, б) [14]. Завдяки можливості друку широким спектром полімерів та гнучкому програмуванню, він ідеально підходить для дослідницьких і виробничих застосувань. ABB продовжує розвивати інноваційні роботизовані рішення, спрямовані на розширення можливостей 3D-друку та підвищення продуктивності виробництва.



а



б

Рис.5. Робот-маніпулятор ABB, оснащений системою для 3D-друку:
а – модель IRB 1200; б – модель CRB 15000

Компанія FANUC пропонує роботизовані системи, зокрема модель LR MATE 200ID, яка забезпечує високу точність позионування ($\pm 0,02$ мм). Це дозволяє виготовляти деталі з великою деталізацією, що є критично важливим для точного відтворення складних конструкцій. Робот підтримує екструзію термопластичних матеріалів та оптимізований для безперервного виробництва в промислових умовах (рис.6) [15].

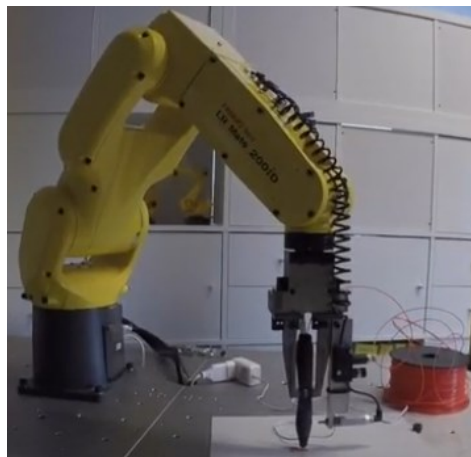


Рис.5. 3D-друк філаментом з використанням робота FANUC LR MATE 200ID

Ще одним важливим гравцем на ринку є Yaskawa, яка розробила серію Motoman GP [16]. Ці роботи відзначаються компактністю та розширеними можливостями руху, що дозволяє застосовувати їх у проєктах архітектурного та промислового 3D-друку. Висока енергоефективність та адаптивність до різних технологічних процесів забезпечують ефективність у створенні складних деталей.

Окрему увагу варто приділити італійському виробнику Comau, який розробив модель NJ-220 [17]. Цей робот характеризується високою жорсткістю конструкції та здатністю працювати з великими платформами, що дає змогу створювати масштабні вироби. Система сумісна з передовими програмними рішеннями для управління 3D-друком та використовується у будівництві та промисловому дизайні.

Загалом провідні виробники роботів-маніпуляторів для 3D-друку філаментом зосереджені на підвищенні точності, масштабованості та ефективності адитивного виробництва. Вибір відповідної моделі залежить від робочого об'єму, точності та можливості інтеграції з екструзійними системами. Завдяки цим технологіям забезпечується виготовлення великогабаритних конструкцій, що відкриває нові можливості для промислового виробництва та архітектурного дизайну.

Отже, впровадження роботизованих маніпуляторів з екструдерами у галузеве машинобудування та легку промисловість дозволяє значно розширити можливості 3D-друку, зменшити витрати та підвищити якість виробів.

Висновки

У сучасному промисловому виробництві технології 3D-друку відіграють важливу роль у виготовленні складних конструкцій, оптимізації матеріальних витрат і підвищенні ефективності виробничих процесів. Роботизовані маніпулятори з екструдерами дозволяють реалізовувати адитивне виробництво у великих масштабах, забезпечуючи безперервний друк і розширену гнучкість у виборі матеріалів. Найбільше поширення отримали філаментні екструдери, які гарантують високу точність і деталізацію друку.

Аерозольно-струменеві технології використовуються для високоточного нанесення матеріалів у мікроскопічних масштабах, що робить їх перспективними для біотехнологій та електроніки. Водночас шнекові екструдери, що працюють із гранульованими полімерними матеріалами, мають значний потенціал для 3D-друку, проте роботизовані системи з таким типом екструзії практично відсутні. Тому перспективним напрямом розвитку є розробка саме таких систем, що сприятиме розширенню можливостей адитивного виробництва та підвищенню його економічної ефективності.

Література

1. 3D printing robots: Optimal robotic arms for factories [Electronic resource] – Resource access mode: <https://standardbots.com/blog/3d-printing-with-robotics-choosing-the-right-one-for-your-factory?srsltid=AfmBOopPS88fv38TjWJ338GHSIj8ZX8mEjfa8uI-b7QL0hZZuIM9EO4Fr>.
2. The Difference between Cartesian, Six-Axis, and SCARA Robots (PDF Download) [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21831692/the-difference-between-cartesian-six-axis-and-scara-robots>.
3. Niryo One [Electronic resource] – Resource access mode: <https://tribotix.com/product/niryo-one/>.
4. FANUC M-2iA/6HL Delta Robot [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/m-2ia-delta-robots/m-2ia-6hl>.
5. E3D Hemera - A Next Generation Extrusion System [Electronic resource] – Resource access mode: https://e3d-online.com/blogs/news/e3d-hemera-a-next-generation-extrusion-system?srsltid=AfmBOorYxGCL55BpMPFgysZCewF_nVnK6Qx_IAXIVCfVw3UVEUp5fBMJ.
6. Aerosol Jet Technology [Electronic resource] – Resource access mode: <https://optomec.com/printed-electronics/aerosol-jet-technology/>.
7. Technology components [Electronic resource] – Resource access mode: <https://ceadgroup.com/solutions/technology-components/#>.
8. Milling motor spindle ES951 [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.directindustry.com/prod/hsd/product-19576-2430436.html>.
9. Robot Laser Cutting Head LC201 [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.demarkchina.cn/laser-machine-parts/laser-head/robot-laser-cutting-head-lc201-lc218.html>
10. Basler ace 2 X a2A2560-70umSWIR [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.baslerweb.com/en/shop/a2a2560-70umswir/>.
11. Large-scale robotic 3D printer [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.compositesworld.com/news/caracol-obtains-asen-9100-certification-for-large-scale-robotic-mounted-3d-printer>
12. KUKA AMCell_small [Electronic resource] – Resource access mode: https://evo3d.co.uk/products/the-kuka-amcell_small-is-robotic-additive-manufacturing-system-supplied-with-a-fully-integrated-filament-printing-head-and-associated-hardwar
13. 3D printing with robot arm and hot glue [Electronic resource] – Resource access mode: https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/1cakwdk/3d_printing_with_robot_arm_and_hot_glue/.
14. 3D-друк ABB Collaborative Robot [Electronic resource] – Resource access mode: <https://toolkittech.com/shop/abb-cobot-massive-dimension-3d/>.
15. Fanuc robot draws with a 3D printing Pen [Electronic resource] – Resource access mode: https://www.youtube.com/watch?v=BKqmEoz6ud0&ab_channel=FlorianH%C3%A4berle.
16. Yaskawa [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.motoman.com/en-us/products/robots/industrial/assembly-handling/gp-series>.
17. NJ-220-2.7 [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.comau.com/en/our-offer/products-and-solutions/robot-team/nj-220-2-7/>.

References

1. 3D printing robots: Optimal robotic arms for factories [Electronic resource] – Resource access mode: <https://standardbots.com/blog/3d-printing-with-robotics-choosing-the-right-one-for-your-factory?srsltid=AfmBOopPS88fv38TjWJ338GHSIj8ZX8mEjfa8uI-b7QL0hZZuIM9EO4Fr>.
2. The Difference between Cartesian, Six-Axis, and SCARA Robots (PDF Download) [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21831692/the-difference-between-cartesian-six-axis-and-scara-robots>.
3. Niryo One [Electronic resource] – Resource access mode: <https://tribotix.com/product/niryo-one/>.
4. FANUC M-2iA/6HL Delta Robot [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/m-2ia-delta-robots/m-2ia-6hl>.
5. E3D Hemera - A Next Generation Extrusion System [Electronic resource] – Resource access mode: https://e3d-online.com/blogs/news/e3d-hemera-a-next-generation-extrusion-system?srsltid=AfmBOorYxGCL55BpMPFgysZCewF_nVnK6Qx_IAXIVCfVw3UVEUp5fBMJ.
6. Aerosol Jet Technology [Electronic resource] – Resource access mode: <https://optomec.com/printed-electronics/aerosol-jet-technology/>.
7. Technology components [Electronic resource] – Resource access mode: <https://ceadgroup.com/solutions/technology-components/#>.
8. Milling motor spindle ES951 [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.directindustry.com/prod/hsd/product-19576-2430436.html>.
9. Robot Laser Cutting Head LC201 [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.demarkchina.cn/laser-machine-parts/laser-head/robot-laser-cutting-head-lc201-lc218.html>

-
10. Basler ace 2 X a2A2560-70umSWIR [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.baslerweb.com/en/shop/a2a2560-70umswir/>.
 11. Large-scale robotic 3D printer [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.compositesworld.com/news/caracol-obtains-asen-9100-certification-for-large-scale-robotic-mounted-3d-printer>
 12. KUKA AMCell_small [Electronic resource] – Resource access mode: https://evo3d.co.uk/products/the-kuka-amcell_small-is-robotic-additive-manufacturing-system-supplied-with-a-fully-integrated-filament-printing-head-and-associated-hardwar
 13. 3D printing with robot arm and hot glue [Electronic resource] – Resource access mode: https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/1cakwdk/3d_printing_with_robot_arm_and_hot_glue/.
 14. 3D-друк ABB Collaborative Robot [Electronic resource] – Resource access mode: <https://toolkittech.com/shop/abb-cobot-massive-dimension-3d/>.
 15. Fanuc robot draws with a 3D printing Pen [Electronic resource] – Resource access mode: https://www.youtube.com/watch?v=BKqmEoz6ud0&ab_channel=FlorianH%C3%A4berle.
 16. Yaskawa [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.motoman.com/en-us/products/robots/industrial/assembly-handling/gp-series>.
 17. NJ-220-2.7 [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.comau.com/en/our-offer/products-and-solutions/robot-team/nj-220-2-7/>.