

УДК 004.9 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-16 був

В.І. Марчук, І.В. Марчук, Ю.А. Лук'янчук, Гринюк С.В.

Луцький національний технічний університет

ПРО ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИТРАТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ТРИВИМІРНОГО ДРУКУ МЕТОДОМ ПОШАРОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

В даній статті описано використання адитивних технологій, яке використовують під час підготовки фахівців інженерних спеціальностей. На виробництві користуються сучасними засобами для виготовлення деталей різних форм складності на основі 3D-друку, що, у свою чергу, зменшує витрати часу на впровадження нового або переналадження вже існуючого обладнання. Існує необхідність формування у майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери компетентності в галузі 3D-моделювання та 3D-друку у процесі професійної підготовки за допомогою програмного забезпечення, що моделює технологічний процес. Вивчення методології та основ 3D-друку для сучасного виробництва і підвищення конкурентоспроможності майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери на ринку праці є доцільним для майбутнього інформаційного суспільства.

Ключові слова: 3D-технології, тривимірний друк, програмне забезпечення, пряме лазерне спікання (DMLS).

Сучасне інформаційне суспільство все більше спирається на використання автоматизованого і роботизованого обладнання, технологій швидкого прототипування (таких як 3D-друк) і програмних засобів конструювання технічних об'єктів. Сьогодні ІТ-індустрія потребує кваліфікованих фахівців, що володіють сучасними технологіями, засобами, обладнанням. Серед таких – спеціаліст, що створює на комп'ютері моделі виробів, після чого вони виготовляються на автоматизованому обладнанні. Спеціаліст такого профілю – людина креативна, що критично мислить, володіє винахідливістю, спеціальними знаннями та уміннями.

В умовах сучасного ринку і постійного зростання конкуренції якнайшвидше створення інноваційного продукту є життєво важливим для успішного розвитку будь-якого підприємства. Світові виробники розуміють, що в сучасному світі, щоб бути на лідируючих позиціях, потрібно максимально оперативно втілювати нові ідеї в працездатні рішення. Це неможливо без генерації цих ідей і без нових технічних рішень для якнайшвидшого їх втілення в життя [1]. Тому використання технології 3D-друку буде одним з кращих технічних рішень для прискорення реалізації різних нових ідей в життя. А процес моделювання технологічних процесів стане корисним при розробці нових продуктів, оскільки віртуально можливо побачити увесь життєвий цикл виготовлення та вносити корективи у роботу обладнання [2, 3].

У зв'язку з цим актуальним є питання формування у майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери компетентності в галузі 3D-моделювання та 3D-друку у процесі професійної підготовки за допомогою програмного забезпечення, що моделює технологічний процес. Для забезпечення формування зазначеної компетентності та, як наслідок, підвищення конкурентоспроможності майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери на ринку праці доцільним є вивчення основ 3D-друку.

Свої професійні навички за допомогою 3D-технології можуть удосконалювати майбутні інженери, дизайнери, архітектори, медики та студенти багатьох інших спеціальностей [4, 5].

Адитивне виробництво, або 3D-друк, - процес створення тривимірних об'єктів практично будь-якої геометричної форми на основі їх цифрових моделей. Концепція 3D-друку заснована на побудові об'єкта послідовно нанесеними шарами, що відображують контури моделі.

Адитивні технології широко використовуються для прототипування і розподіленого виробництва в архітектурі, будівництві, промисловому дизайні, автомобільній, аерокосмічній, промисловій, інженерній та медичній галузях, біоінженерії (для створення штучних тканин), виробництві модного одягу та взуття, ювелірних виробів, в освіті, географічних інформаційних системах, харчовій промисловості та багатьох інших сферах людської діяльності.

Технологічні особливості процесу тривимірного друку, що головним чином залежать від технології адитивного виробництва, лежить в основі цього процесу [6,7]. Класифікація основних методів і технологій, що застосовуються в тривимірному друку на сьогоднішній день, представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Метод	Базова технологія	Матеріали, що використовуються
Екструзійний	Моделювання методом пошарового наплавлення (FDM, FFF)	Термопластичні полімери (полілактид (PLA), акрилонітрилбутадієнстирол (ABS))
Дротовий	Виробництво довільних форм електронно-променевої плавки (EBF)	Майже всі металеві сплави
Порошковий	Пряме лазерне спікання (DMLS)	Майже всі металеві сплави
	Електронно-променева плавка (EBM)	Титанові сплави
	Вибіркове лазерне плавлення (SLM)	Титанові сплави, кобальт-хромові сплави, нержавіюча сталь, алюміній
	Вибіркове теплове спікання (SHS)	Порошкові термопластичні полімери
	Вибіркове лазерне спікання (SLS)	Термопластичні полімери, металеві порошки, керамічні порошки
Струменевий	Струменевий тривимірний друк (3DP)	Гіпс, пластики, металеві порошки, піщані суміші
Ламінування	Виготовлення об'єктів методом ламінування (LOM)	Папір, металева фольга, пластикова плівка
Полімеризація	Стереолітографія (SLA)	Фотополімери
	Цифрова світлодіодна проекція (DLP)	Фотополімери

Оскільки представлені в таблиці методи друку суттєво розрізняються по принципах, що лежать в їх основі, умовам застосовності, матеріалами, формою і функціональним призначенням виробів, одержуваних з їх допомогою, варто вивчати кожен з методів окремо.

Одним із найбільш поширених та затребуваних у високоточному виробництві, що спеціалізується на виготовленні виробів із точністю до 0,05мм, є метод пошарового наплавлення для різних сфер промисловості. Вивчення цього методу є доцільним та актуальним, оскільки на сьогоднішній день існує велика потреба у фахівцях IT-галузі, що здатні програмувати обладнання для виготовлення високоточних прототипів.

Моделювання методом пошарового наплавлення (FDM/FFF), або екструзії, було розроблено С. Скоттом Трампом в кінці 1980-х років і отримало комерційне поширення в 1990 році силами компанії Stratasys.

У зв'язку із закінченням терміну дії патенту існує велика кількість розробників 3D-принтерів з відкритим вихідним кодом, а також комерційних організацій, що використовують дану технологію. Як наслідок вартість пристроїв зменшилася на декілька порядків з часу винаходу технології.

Процес друку методом пошарового наплавлення – це створення шарів за рахунок екструзії матеріалу, що швидко застигає у вигляді мікрокрапель або тонких струменів. Екструдер нагріває матеріал до температури плавлення з подальшим видавлюванням розплавленої маси через сопло. Сам екструдер приводиться в рух кроковими двигунами або сервомоторами, що забезпечують позиціонування друкованої головки в трьох площинах. Переміщення екструдера контролюється виробничим програмним забезпеченням, прив'язаним до мікроконтролеру.

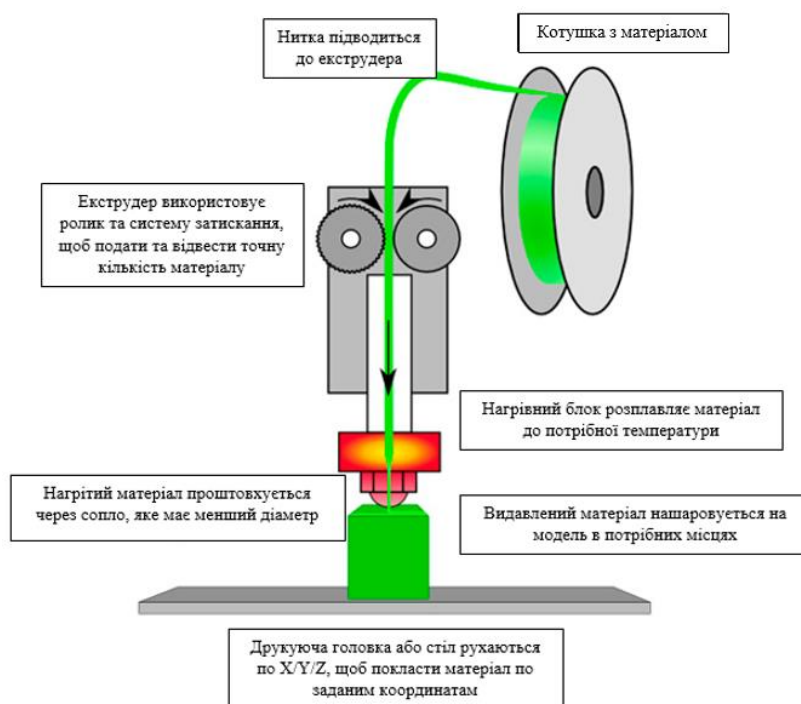


Рис. 1. Схема пристрою 3D-принтера екструзивного типу

Виробничий цикл починається з обробки тривимірної цифрової моделі. Модель ділиться на шари і орієнтується найкращим чином для друку. При необхідності генеруються опори, що необхідні для друку елементів, що нависають. Деякі пристрої дозволяють використовувати різні матеріали під час одного виробничого циклу. Наприклад, можливий друк моделі з одного матеріалу з друком опор з іншого, легкорозчинного, матеріалу, що дозволяє з легкістю видаляти підтримки після завершення процесу друку. Альтернативно можливий друк різними кольорами одного і того ж виду пластику при створенні єдиної моделі.

Виріб проводиться видавлюванням (екструзією) і нанесенням мікрокрапель розплавленого термопластичного полімеру з формуванням послідовних шарів, що застигають відразу після екструзії.

Пластикова нитка розмотується з котушки і подається в екструдер - пристрій, що оснащений механічним приводом для подачі нитки, нагрівальним елементом для плавки матеріалу і соплом, через яке здійснюється безпосередньо екструзія. Нагрівний елемент служить для нагрівання сопла, яке в свою чергу плавить пластикову нитку і подає розплавлений матеріал на модель. Як правило, верхня частина сопла, навпаки, охолоджується за допомогою вентилятора для створення різкого градієнта температур, необхідного для забезпечення плавної подачі матеріалу.

Екструдер переміщається в горизонтальній і вертикальній площинах під контролем алгоритмів, що аналогічні в верстатах з числовим програмним управлінням. Сопло переміщується по траєкторії, заданій системою автоматизованого проектування (САПР). Модель будується шар за шаром, від низу до верху. Екструдер («друкована головка») приводиться в рух кроковими двигунами або сервоприводами. Найбільш популярною системою координат, яка застосовується в технології FDM, є декартова система, побудована на прямокутному тривимірному просторі з осями X, Y і Z. Альтернативою є циліндрична система координат, яка використовується дельта-роботами.

Як найбільш поширений і комерційно доступний спосіб тривимірного друку, метод пошарового наплавлення має широкий спектр витратних матеріалів (філаментів). В якості витратних матеріалів для екструзійного друку використовуються різні види полімерів, включаючи акрилонітрілбутадієнстірол (ABS), полікарбонат, полілактид (PLA), поліетилен високого тиску (PETG), суміші полікарбонату і ABS-пластика, поліфеніленсульфон і ін. Полімер поставляється в формі наповнювача, виготовленого з чистого пластику.

Існує кілька проектів, спрямованих на переробку використаного пластику в матеріали для 3D-друку. Проекти засновані на виготовленні витратних матеріалів за допомогою шредерів і переплавляючих пристроїв.

Технологія пошарового наплавлення має певні обмеження за складністю створюваних геометричних форм. Наприклад, створення навісних конструкцій неможливо через відсутність необхідної підтримки. Це обмеження компенсується створенням тимчасових опорних конструкцій, що видаляються після закінчення друку. Головною перевагою цієї технології є її доступність.

Кваліфіковані робітники IT-сфери, а саме фахівці використання 3D-друку в промисловості, повинні бути компетентними у виборі витратних матеріалів, оскільки кожен із них має власні характеристики та особливості застосування, а самі вироби мають різне призначення. Надалі розглянемо найпоширеніші матеріали.

Полілактид (полімолочна кислота, ПЛА, polylactic acid, PLA) - один з найбільш широко використовуваних в 3D-друці полімерів (рис.2). Це біорозкладаний, біосумісний, термопластичний, аліфатичний полієфір, мономером якого є молочна кислота.

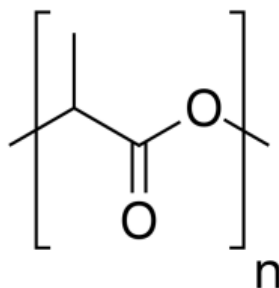


Рис. 2. Хімічна формула полілактиду

Сировиною для виробництва служать щорічно поновлювані ресурси, такі, як кукурудза і цукровий очерет. Використовується для виробництва виробів з коротким терміном служби (харчова упаковка, одноразовий посуд, пакети, різна тара), а також в медицині, для виробництва хірургічних ниток і штифтів.

Поширеність полілактиду в адитивному виробництві обумовлюється відразу двома факторами. По-перше, полілактид повністю безпечний для навколишнього середовища. По-друге, оскільки він є полімером молочної кислоти, полілактид повністю біорозкладаний.

У той же час здатність полілактиду до біорозпаду обумовлюється його недовговічністю. Пластик вбирає воду і відносно м'який. Як правило, моделі з PLA не призначаються для функціонального використання, а служать в якості дизайнерських моделей, сувенірів та іграшок. Серед небагатьох практичних промислових застосувань полілактиду можна відзначити виробництво упаковки для харчових продуктів, контейнерів для лікарських препаратів і хірургічних ниток, а також використання в підшипниках, що не несуть високе механічне навантаження.

ABS-пластик (Акрилонітрілбутадієнстірол, ABS) - на сьогоднішній день це найпопулярніший полімер з використовуваних в 3D-друці. ABS-пластик - це ударостійкий термопластичний полімер (рис.3).

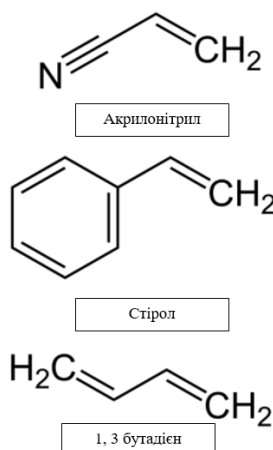


Рис. 3. Мономери для синтезу ABS-пластика

Широке поширення ABS-пластику обумовлюється відмінними механічними властивостями, довговічністю і низькою вартістю цього матеріалу. ABS-пластик набув широкого застосування в промисловості. Він застосовується для виготовлення:

- деталей автомобілів (приладових щитків, елементів ручного управління, радіаторної решітки);
- корпусів великої побутової техніки, радіо- і телеапаратури, деталей електроосвітлювальних і електронних приладів, пилососів, кавоварок;
- пультів управління;
- телефонів, факсових апаратів, комп'ютерів, моніторів, принтерів, калькуляторів, іншої побутової та оргтехніки;
- корпусів промислових акумуляторів;
- спортінвентарю;
- деталей зброї;
- меблів;
- сантехніки;
- вимикачів і перемикачів;
- канцелярських виробів;
- музичних інструментів;
- іграшок і дитячих конструкторів;
- валіз і контейнерів;
- деталей медичного обладнання.

Крім того, ABS-пластик застосовується як добавка, що підвищує теплостійкість і покращує засвоюваність композиційних матеріалів на основі полівінілхлориду (ПВХ), як добавка, що підвищує ударну в'язкість полістиролу, а також як добавка, що знижує ціну полікарбонатів.

ABS-пластик стійкий до вологи, кислот і мастильних речовин, має високі показники термостійкості. Деякі види матеріалу руйнуються під дією прямого сонячного світла, що обмежує використання. У той же час ABS-пластик легко піддається фарбуванню, що дозволяє наносити захисні покриття на немеханічних елементи.



Рис. 4. Стільці з ABS -пластика

Полівінілхлорид (ПВХ, poly (vinyl alcohol), PVA, PVAI) - штучний, водорозчинний, термопластичний полімер (рис.5).

Синтез полівінілового спирту здійснюється реакцією лужного або кислотного гідролізу складних полівінілових ефірів. PVA - твердий полімер білого кольору без смаку і запаху, нетоксичний.

На відміну від більшості полімерів на основі вінілових мономерів, PVA не може бути одержаний безпосередньо з вінілового спирту. Основною сировиною для отримання PVA служить полівінілацетат.

Крім тривимірного друку полівініловий спирт широко застосовується в різних галузях промисловості, наприклад в якості:

- клею для паперу та плит;
- згущувача і модифікатора клеїв на основі полівінілацетату;
- клею для текстильних матеріалів;
- покриттів;
- водорозчинних плівок;
- очних крапель і мастил жорстких контактних лінз;

- армуючих добавок в бетони;
- сировини для полівінілнітрата;
- поверхнево-активних речовин;
- захисних рукавичок.

Полівінілхлорид має унікальні властивості і особливі області застосування. Головною особливістю PVA є його водорозчинність. 3D-принтери, оснащені подвійними екструдерами, мають можливість друку моделей з підтримками з PVA. По завершенні друку опори можуть бути розчинені у воді, залишаючи готову модель, яка потребує механічної або хімічної обробки. Подібним чином полівініловий спирт можна застосовувати для створення водорозчинних майстер-моделей для ливарних форм і самих ливарних форм.

Нейлон - це синтетичний поліамід, що використовується переважно в виробництві волокон (рис.6). Під цим терміном найчастіше розуміються полігексаметіленадіпінамід (нейлон-66), або полі-ε-капроамід (капрон або нейлон-6). Найбільш популярним в 3D друці є нейлон-66. Цей полімер був розроблений американською компанією DuPont в 1935 році.

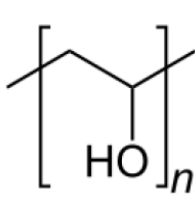


Рис. 5. Хімічна формула PVA

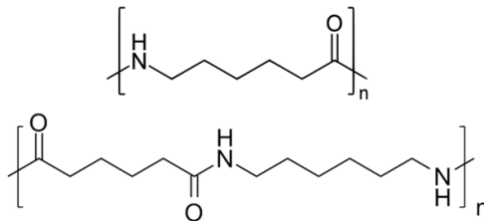


Рис. 6. Хімічна формула нейлону

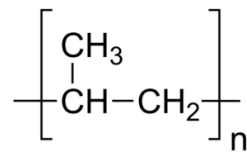


Рис. 7. Хімічна формула поліпропілену

У кристалічних ділянках макромолекули нейлону мають конфігурацію плоского зигзагу з утворенням з сусідніми молекулами водневих зв'язків між атомами кисню карбоніла і атомами водню сусідніх амідних груп. Внаслідок цього нейлони мають кращі, в порівнянні з поліефіром, фізико-механічні властивості.

У промисловості нейлон застосовується для виготовлення втулок, вкладишів, плівок і тонких покриттів.

Поліпропілен (PP) - термопластичний полімер пропілену (рис.7). Поліпропілен широко застосовується у виробництві пакувальних матеріалів, посуду, шприців, труб, нетканних матеріалів і електроізоляції. Поліпропілен має низьку щільність, нетоксичний, має високу хімічну стійкість, стійкий до вологи і зносу. Серед недоліків поліпропілена слід зазначити низьку морозостійкість (при мінусових температурах матеріал стає крихким) і вразливість до прямого впливу сонячного світла.

Поліпропіленові нитки для друку пропонуються компаніями Orbi-Tech, German RepRap, Qingdao TSD. Компанія Stratasys розробила імітатор поліпропілену, що оптимізований для 3D-друку, під назвою Endur.

Поліетилентерефталат (PETG) - продукт поліконденсації етиленгліколю з терефталевою кислотою (рис.8).

Це тверда безбарвна прозора речовина в аморфному стані і біла непрозора в кристалічному стані. Матеріал використовується для виробництва пластикових пляшок та іншої харчової та медичної тари. Поліетилентерефталат має високу хімічну стійкість до кислот, лугів і органічних розчинників. Поліетилентерефталат має високу зносостійкість і стійкість до широкого діапазону температур. Крім того, PETG легко піддається механічній обробці.

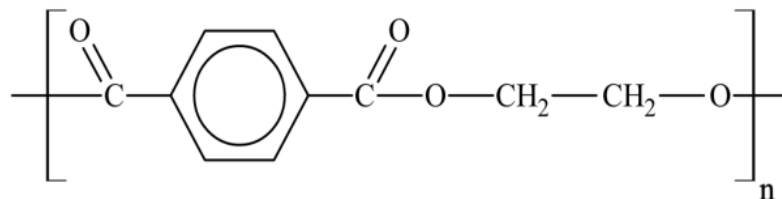


Рис. 8. Хімічна формула PETG

Відповідно до дослідження використання адитивних технологій, можна зробити висновок про необхідність вивчення 3D моделювання та 3D друку майбутніми спеціалістами інженерних спеціальностей. Розвиток технологій спонукає до пришвидшеного вдосконалення

навичок фахівців. Їх можна покращувати за допомогою різноманітних практик та досвіду провідних компаній у галузях застосування адитивних технологій.

Література

1. Доступная 3D-печать для науки, образования и устойчивого развития / Э. Канесса, К. Фонда, М. Зеннаро. Международный центр теоретической физики Абдус Салам. 2013. 191 с.
2. Зленко М.А. Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении // пособие для инженеров. М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.
3. История и технологии трехмерной печати / Н.В. Кушнир, А.В. Кушнир, А.М. Геращенко, А.В. Тыртышный // Научные труды КубГТУ. Краснодар: №5. 2015.
4. Применение 3D-принтеров в машиностроении. URL: <http://www.printcad.ru/primeneniya-3d-printerov/mashinostroenie.html>.
5. Barnatt C. 3D-Printing: Second Edition / CreateSpace Independent Publishing Platform. 2014. 306 p.
6. Hausman K. 3D-Printing For Dummies / For Dummies. 2014. 384 p.
7. Larson H. Fabricated: The New World of 3D-Printing / H. Larson, M. Kurman – Wiley. 2013. 280 p.

В.И. Марчук, И.В. Марчук, Ю.А. Лукьянчук, С.В. Гринюк
Луцкий национальный технический университет

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ

В данной статье описано использование аддитивных технологий, которое используют при подготовке специалистов инженерных отраслей. На производстве пользуются современными средствами для изготовления деталей различных форм сложности на основе 3D-печати, что, в свою очередь, уменьшает затраты времени на внедрение нового или переналадки уже существующего оборудования. Существует необходимость формирования у будущих квалифицированных рабочих ИТ-сферы компетентности в области 3D-моделирования и 3D-печати в процессе профессиональной подготовки с помощью программного обеспечения, моделирующего технологический процесс. Изучение методологии и основ 3D-печати для современного производства и повышение конкурентоспособности будущих квалифицированных рабочих ИТ-сферы на рынке труда целесообразно для будущего информационного общества.

Ключевые слова: 3D-технологии, трехмерная печать, программное обеспечение, прямое лазерное спекание (DMLS).

V. Marchuk, I. Marchuk, I. Lukyanchuk, S. Gryniuk
Lutsk National Technical University

ABOUT FEATURES OF USE CONSUMABLES FOR THREE-DIMENSIONAL PRINTING BY LAYERED LAYING

This article describes the additive technologies used in the training of engineering specialists. The production uses modern tools for the manufacture of parts of various forms of complexity on the basis of 3D-printing, which, in turn, reduces the time spent on the introduction of new or reconfiguration of existing equipment. There is a need to form in future skilled IT workers competence in the field of 3D modeling and 3D printing in the process of training with the help of software that simulates the technological process. Studying the methodology and basics of 3D printing for modern production and increasing the competitiveness of future skilled IT workers in the labor market is appropriate for the future information society.

Keywords: 3D-technologies, three-dimensional printing, software, direct laser sintering (DMLS).