

© В.В. Проців¹, В.А. Козечко¹, В.А. Дербаба¹, О.О. Богданов¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

СУЧАСНІ ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В 3D-ПРІНТИНГУ

© V. Protsiv¹, V. Kozechko¹, V. Derbaba¹, O. Bochdanov¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

MODERN POLYMERIC MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN 3D PRINTING

Мета. Метою роботи є оцінка можливості застосування тривимірного друку для виготовлення деталей машин і обладнання, здатних конкурувати з деталями, виготовленими традиційними методами. У статті наводиться класифікація основних полімерних матеріалів, що використовуються для 3D друку. Дається огляд найбільш поширених і перспективних матеріалів, що застосовуються в рамках даної технології виробництва. Серед них: АБС-пластик, ПЛА-пластик, поліамід, фотополімерні смоли. Наведено основні властивості виробів, одержуваних з цих матеріалів, і приклади їх використання. Розглянуто можливі варіанти їх додаткової обробки. Для кожного з матеріалів дано огляд технологій, за якими проводиться 3D-прінтинг. За результатами проведеного огляду зроблено висновок, в якому описані можливі перспективи розвитку 3D-друку і використовуваних матеріалів.

Методика. Методологічна основа дослідження включала аналіз, порівняння та систематизацію. Для досягнення мети дослідження і вирішення поставлених завдань використовувалася сукупність сучасних методів дослідження та наробки світових виробників.

Результати. Перелік відомих полімерних матеріалів та технологій 3D-прінтингу досить широкий і постійно збільшується за рахунок розвитку хімічної промисловості та комп'ютерних технологій. Використання технологій тривимірного друку дозволить підвищити надійність обладнання, не вдаючись до конструктивного втручання в обладнання. Домогтися підвищення надійності можливо двома шляхами. Перший шлях-це застосування матеріалів, для виготовлення деталей обладнання, з поліпшеними експлуатаційними характеристиками і властивостями. Другий шлях-виготовлення деталей обладнання одним масивом, виключаючи зварювальні і паяні з'єднання.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в розробці рекомендацій та систематизації існуючих полімерних матеріалів з прив'язкою до технологій 3D-прінтингу.

Практична значимість. В роботі наведені приклади найпоширеніших технологій 3D-прінтингу та основні полімерні матеріали для друку. Складно знайти галузь виробництва, де б не застосовувалися 3D-прінтинг: з їх допомогою виготовляються деталі літаків, космічних апаратів, підводних човнів, інструменти, протези, ювелірні вироби та ін. Перспектива очевидна - адитивна технологія найближчим часом стане пріоритетною технологією виготовлення обладнання і технологічних машин. Таким чином, технологічні можливості застосування 3D-друк для моделювання і виготовлення реальних деталей обладнання безмежні і мають масу переваг перед традиційними методами виготовлення деталей.

Ключові слова: матеріали для 3D прінтингу, 3D друк, полімерні матеріали, порошок

Вступ. Наприкінці двадцятого століття з розвитком електронної техніки отримали свій розвиток і нові виробничі технології. Зокрема, з'явилися технології виготовлення

нових деталей, виробів без обробки та зняття шарів матеріалу. Ця технологія обумовлює процес, зворотній традиційному – отримання деталей або виробів пошаровим нанесенням матеріалу – пластику, кераміки, металевих порошків. Деталі є повною копією тривимірної моделі, що створена на комп'ютері. Ця технологія отримала назву «аддитивне виробництво». Add, в перекладі з англійської мови – «додавати, нарощувати».

В двадцятому столітті номенклатура матеріалів для 3D-прінтингу значно виросла. Вже в минулому паперові та прості пластикові вироби, зараз можливе отримання деталей з металу, скла та біоматеріалів, які складаються з окремих деталей та вузлів. Дана технологія дозволяє отримувати деталі та вироби без додаткової механічної та термічної обробки, що значно скорочує час технологічного циклу виготовлення виробів [1].

Основна частина. Розвиток цифрових технологій та обладнання сприяв до створення фізичних об'єктів на базі 3D моделі і відповідно до створення спеціального пристрою – 3D-прінтера, який дозволяє створювати реальні деталі по комп'ютерній цифровій 3D моделі. Закордоном процес тривимірного друку називають Rapid Prototyping. Таким чином, 3D-прінтинг – це метод, який дозволяє з математичної моделі, що розробляється в спеціальній CAD-системі отримати пошарово створений фізичний об'єкт [2].

Технології 3D-прінтингу знаходять широке застосування в усіх галузях, а саме: в медицині (створення штучних імплантів і т.д.), в машинобудуванні, в приладобудуванні, в енергетиці і т.д.

Переваги 3D-прінтингу:

- швидке виготовлення прототипів моделей для подальшої їх доводки та коригування конструкції. Це сприяє зниженню витрат на створення нових виробів та прискорює процес їх розробки;
- виготовлення деталей в дрібносерійному виробництві. Наприклад, частина деталей безпілотників Polecats[en] компанії Lockheed виготовлена за допомогою 3D-прінтингу.
- можливість проведення перевірок та тестів на отриманих моделях. Наприклад, вивчаються на прототипах процеси та явища, які відбуваються під час експлуатації виробів;
- в медицині при протезуванні та виробництві імплантів різних частин тіла
- в будівництві різноманітних споруд.

Для створення шарів можна використовувати різні матеріали, але в їх основі є принцип пошарового створення матеріального об'єкту.

Для створення шарів в залежності від виду матеріалу використовуються наступні технології:

- лазерна стереолітографія (англ. laser stereolithography, SLA), при якій об'єкт формується з рідкого фотополімера, що застигає під дією ультрафіолетового лазерного випромінювання. Тривимірний об'єкт створюється шляхом занурення рухомої платформи в ємність з матеріалом, завдяки чому відпадає потреба у використанні підтримуючих матеріалів. Готова модель промивається та витримується до повного застигання під ультрафіолетовою лампою. Рідний полімер

перетворюється в досить твердий пластик. Етапи друку по технології SLA показані на рис. 1.

- Так і повторюється цей процес до тих пір, поки деталь не буде надрукована. Після друку деталь знаходиться в не зовсім твердому стані і вимагає подальшої обробки під УФ лампою. Після закінчення УФ засвічення деталь набуває дуже високі механічні і термічні властивості.
- Рідка смола твердне за допомогою процесу, званого фотополімеризацією: під час затвердіння вуглецеві ланцюги мономера, з яких складається рідка смола, активуються під впливом ультрафіолетового лазера і стають твердими, створюючи міцні нерозривні зв'язки один з одним.
- Процес фотополімеризації незворотній, і не існує способу перевести отримані деталі назад в рідкий стан. При нагріванні вони будуть горіти, а не плавитися. Це тому, що матеріали, які виробляються за технологією SLA, зроблені з термореактивних полімерів, на відміну від термопластів, які використовує FDM.

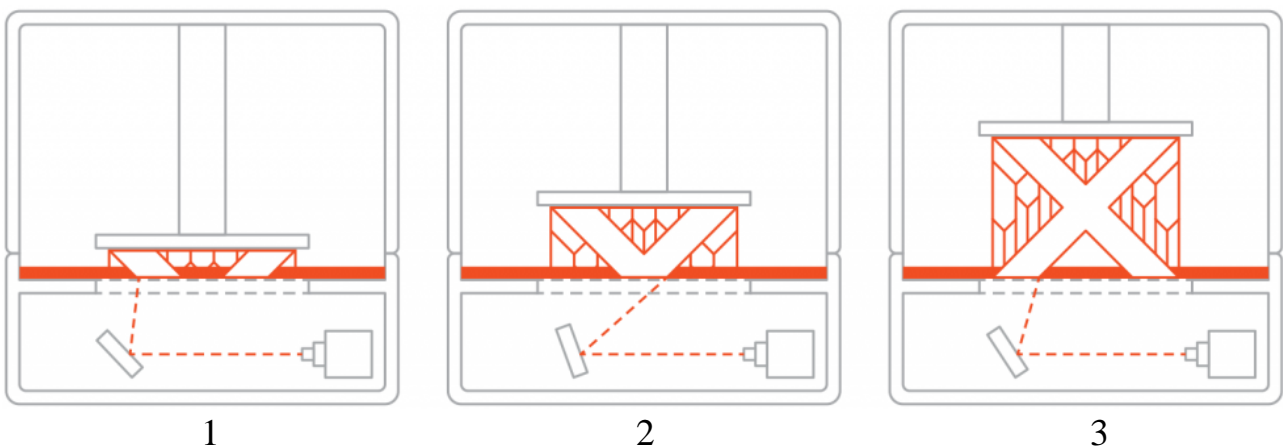


Рис. 1. Послідовність 3D друку по технології SLA: 1 – платформа занурюється у рідкий фотополімер; 2 – ультрафіолетовий лазер оброблює окремі частини моделі; 3 – платформа переміщується на безпечну відстань, а суміш перемішується

- PolyJet схожа на струменевий друк, але замість струменевої подачі чорнила на папір 3D-друк випускають струменя рідкого фотополімеру, який утворює шари на модельному лотку. З цієї технології нанесення шару здійснюється не зануренням в ванну, а розпиленням матеріалу на поверхню. Шар полімеру засвічується ультрафіолетом, після чого процес повторюється. Для друку за даною технологією необхідно використовувати матеріал підтримки (зазвичай гелеобразний розчинний у воді полімер). Дана технологія дозволяє використовувати відразу кілька матеріалів, що відрізняються кольором, різними значеннями твердості, створюючи, таким чином, багатокомпонентні моделі;

- селективне лазерне спікання (англ. selective laser sintering, SLS, або direct metal laser sintering, DMLS), при якій відтворюваний фізичний об'єкт формується з плавкого порошкового матеріалу (пластик, метал) шляхом його плавлення під

дією лазерного випромінювання. Зазвичай температура робочої камери підтримується на рівні трохи нижче точки плавлення робочого матеріалу, а для запобігання окислення процес проходить в безкисневому середовищі. Відмінності між SLM і DMLS зводяться до процесу зв'язування частинок: SLM використовує металеві порошки з єдиною температурою плавлення і повністю плавить частки, в той час як в DMLS порошок складається з матеріалів зі змінною температурою плавлення, які спікається на молекулярному рівні при підвищених температурах. SLM виробляє деталі з цільного металу, а DMLS - з металевих сплавів. Матеріалом даних технологій - це дрібнодисперсний металевий порошок. Зазвичай розмір металевих частинок становить 20-40 мкм. Розмір і форма частинок обмежують дозвіл кінцевої деталі (3D друку). Іншими обмеженнями в цій технології є висота шару і розмір лазерної плями. Висота шару DMLS / SLM 3D друку приблизно дорівнює максимальному розміру фракції використовуваного металевого порошку. На рис. 2 показано принцип дії DMLS и SLM 3D принтерів.

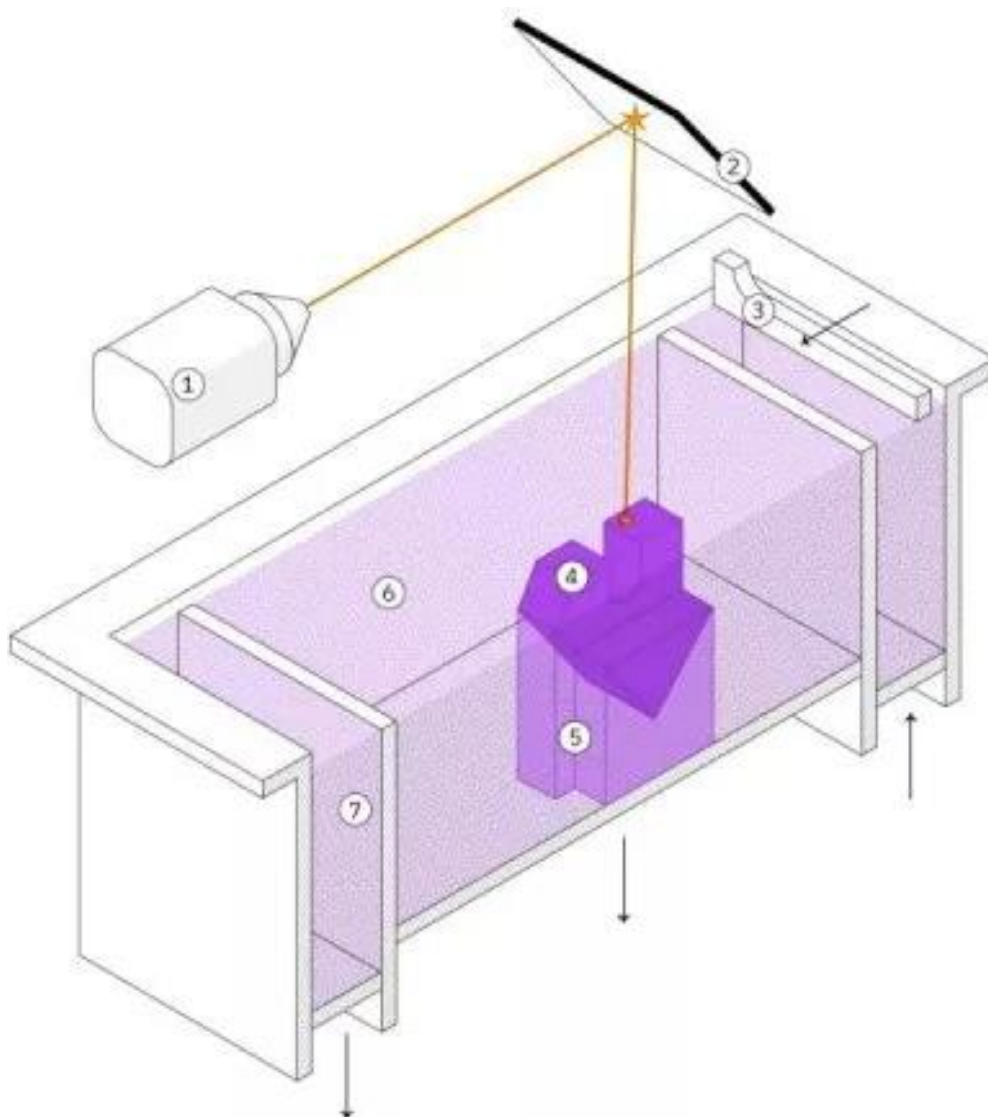


Рис. 2. Принцип роботи 3D принтерів: 1 – лазер, 2 – XY дзеркало, 3 – система доставки порошку, 4 – 3D модель, 5 – підтримки, 6 – зона друку з порошком, 7 – контейнер для залишків порошку

Процес SLM і DMLS друку дуже схожі.

Камера області побудови спочатку заповнюється інертним газом (наприклад, аргоном), щоб мінімізувати окислення металевого порошку до високих температур, а потім нагрівається до оптимальної температури. Тонкий шар металевого порошку розподіляється по платформі збірки. Потужний лазер проходить по всій площі шару, розплавляючи (або спікаючи) металеві частинки. Далі стіл 3D принтера переміщається вниз на одну товщину шару, а система доставки металевого розподіляє ще один тонкий шар. Процес повторюється до тих пір, поки шар за шаром, що не буде побудова 3D модель. Коли процес, деталі повністю покриваються металевим порошком. Підтримки в DMLS і SLM 3D-друку виготовляється з того ж матеріалу, що і деталь і потрібні завжди для пом'якшення деформацій і спотворень, які можуть виникнути через високі температур і маси виробу. Коли бункер охолоне до кімнатної температури, надлишки порошку видаляються і далі деякі деталі зазвичай піддаються термообробці, щоб зняти будь-які залишкові напруги. Потім компоненти відокремлюються від робочої пластини за допомогою різання, механічної обробки або електроерозійної обробки і готові до використання або подальшої обробки (шліфування, полірування, термічної обробки та інш.). Шорсткість поверхні відповідає половині діаметра частинок металевого порошку стандартна близько 15-16 мкм, піскоструминна обробка дає підвищення класу шорсткості до 8-10 мкм.

- наплавлення (FDM), при якому майбутній об'єкт формується пошаровим укладанням розплавленої нитки з плавкого матеріалу, наприклад пластику, металу, воску [2, 3, 4]. FDM - це абревіатура з англійської «Fused Deposition Modeling», що можна перекласти як «Моделювання методом наплавлення». По суті, 3D друк FDM - це безперервна подача нитки матеріалу в екструдер (друкує головку), оснащений нагрівальним елементом. Останній призначений для нагрівання сопла, через яке подається матеріал. На цьому етапі відбувається плавлення пластику і екструзія (видавлювання) його на платформу 3D принтера. Кожен наступний шар видавлюється на попередній по заданій траєкторії, за рахунок чого і відбувається побудова виробу. Для більш плавної подачі матеріалу, а також швидкого затвердіння шарів, екструдери оснащуються зовнішніми вентиляторами, що створюють різкий перепад температур. Створення 3D моделі за цією технологією складається з таких етапів:

1. Розробка 3D моделі в спеціалізованих програмах (Autodesk 3DsMAX, ZBrush, Maya, Blender, SolidWorks і т.д.)
2. Перевірка готової моделі на готовність до 3D друку (модель не повинна мати в собі дірки, розірвані грані і т.д.)
3. Завантаження 3D моделі в програму-слайсер. На цьому етапі визначають необхідні параметри швидкості, температури і т.д. Після цього програмою генерується керуючий код (G-code) на базі цифрових даних та визначених параметрів.
4. Передача керуючого коду на 3D-прінтер
5. Після завершення 3D друку готовий виріб відєднують від столу 3D принтеру та зачищають від лишнього пластику. [3-4]

3D принтинг FDM для друку використовуються безліч видів пластику, але не кожний принтер може працювати з цим спектром матеріалів. Інакше кажучи, прибори, сопло яких не розігрівається більше ніж на 250°C , не можуть друкувати матеріалами, температура плавлення яких 280°C .

Один з кращих витратних матеріалів для 3D-прінтингу є АБС-пластик (акрилонітрілбутадієнстірол), що відрізняється відсутністю запаху, нетоксичність, до ударів і еластичністю (рис. 3). Температура плавлення від 240°C до 248°C . Випускається у вигляді порошку або тонких пластикових ниток, намотаних на бобіни. Відтворення об'єкти з АБС-пластика довговічні. Однак, даний матеріал дозволяє виготовляти непрозорі об'єкти і, крім того, вироби з них не витримують прямих сонячних променів.



Рис. 3. АБС-пластик – Акрилонітрілбутадієнстірол

Для створення прозорих моделей в 3Dпечаті застосовується акрил . Акрил має більш високу температуру плавлення, ніж АБС-пластик, дуже швидко остигає і твердне. Можливі візуальні спотворення готового виробу через утворення безлічі дрібних повітряних бульбашок в процесі 3D-прінтингу. [5]

АБС-пластик використовується для виготовлення таких виробів:

- Одноразовий посуд;
- Спортінвентарь;
- Корпуси та деталі різних виробів (техніки, електрообладнання, інструментів (аудіотехніка, телевізори, телефони, DVD-плеєри, планшети, пилососи, пульти управління, монітори і ін.));

- Автомобільні запчастини: ковпаки коліс, решітки радіатора, бампери, пластикові деталі салону (наприклад, приладова панель) і ін.;
- Деталі й корпусу виробів з металізованої основою (в т.ч. сантехнічне обладнання (вентилі, душові розсікачі, мийки, піддони, зливні бачки і т.д.), металізовані прикраси та ін.;
- Електротехнічні деталі (вимикачі, перемикачі тощо.);
- Канцелярські вироби та приладдя;
- Дитячі іграшки та конструктори (наприклад, Lego);
- Пластикові бокси (побутові, медичні та інші види пластикових коробок, органайзерів, валіз і контейнерів);
- Пластикові меблі, меблева і дверна фурнітура;
- Пластикові карти (смарт-карт и, банківські, дисконтні, проїзні картки, карти посвідчення особи і т.п.).[5-7]

Іншим часто використовуваним матеріалом для 3D-прінтингу є нейлон, який має більш високу температуру плавлення, близько 320°C , на відміну від АБС-пластика, високу здатність вбирання вологи, триваліший період застигання (рис. 4). Друк нейлоном схожа з печаткою АБС-пластиком, однак має ряд особливостей: вимагає відкачування повітря з екструдера через токсичність компонентів нейлону, екструдер оснащується шипами через слизькості нейлону. Незважаючи на вище означені недоліки 3D-прінтинг нейлоном широко застосовується завдяки тому, що відтворювані об'єкти, вирощені з даного матеріалу, не такі жорсткі, як з АБС-пластика, і для них можна використовувати шарніри ковзання. [7]



Рис. 4. Приклад деталей, що виготовлені за допомогою 3D-прінтингу з нейлону

Нейлон в якості матеріалу для 3D-прінтингу використовується в різних областях промисловості:

- у медицині - для регенерації і заміни кістки, а також для виготовлення міцних індивідуальних протезів з креативними перфораційними візерунками;
- для виготовлення прототипів виробів на верстатах з ЧПУ - з надрукованих нейлонових блоків, або для доопрацювання вже надрукованих нейлонових прототипів на зазначених верстатах;
- для друку сполучних елементів для металевих конструкцій;
- у ливарному виробництві для створення ливарних форм, за допомогою створення моделі форми в stl форматі для перетворення заданої моделі в цифровий G-код прийнятний для 3D-прінтингу;
- в електрохімічній промисловості для створення акумуляторних сепараторів полімерних батарей;
- в музиці (наприклад, нейлонові струни). [8]

Полікапролактон (відомий так само, як поліморф і протопласт) - один з найбільш використовуваних робочих матеріалів для швидкого прототипування в силу своєї низької температури плавлення (близько 60 °C) і досить високої міцності. Він за властивостями близький до біорозкладного полієфіру. Він має низьку температуру плавлення, швидко твердне, забезпечує прекрасні механічні властивості готових виробів. Полікапролактон абсолютно безпечний, а також здатний швидко розкладатися на нешкідливі компоненти, легко розкладається в людському організмі (капсули для ліків в прошкової формі з полікапролактона). [8]

Поліфенілсульфон - аморфний термопластик з хорошими тепловими, механічними і діелектричними властивостями. Він нагадує звичайне скло, але перевершує його по міцності, характеризується теплостійкістю (плавиться при температурах 340-370°C), високою твердістю, практично не горить. Спочатку даний матеріал широко використовувався для виготовлення теплостійких деталей для військових літаків. В даний час крім авіаційної і аерокосмічної промисловості використовується при виготовленні медичних інструментів, внаслідок його стійкості до обробки паром. Поліфенілсульфон витримує короткочасний нагрів до температури 220°C, температура вигину під навантаженням становить 190°C, температура скловання - 220-230°C, має гарну хімічну стійкість, в тому числі стійкість до розчинників, кислот і лугів, високу удароміцності, фізіологічну інертність, що дозволяє його використовувати для виготовлення посуду, хорошими діелектричними властивостями.

Поліетилен низького тиску - найпоширеніший вид термопластів. З даного матеріалу виготовляють плівки, пакети, пляшки, каністри, труби і т.п. На відміну від всіх інших робочих матеріалів, використовуваних для 3D-прінтингу, поліетилен низького тиску є лідером, тому що може бути використаний в будь-якій технології 3D-прінтингу. [7, 8]

Поліпропілен - найлегший зі всіх відомих на сьогодні термопластичних полімерів. У порівнянні з поліетиленом низького тиску гірше плавиться, але краще протистоїть стиранню. Він вразливий до активного кисню і деформується при негативних температурах.

Висновки. Як видно з огляду, список полімерних матеріалів, що використовуються для 3D-прінтингу та технології створення 3D-моделей шляхом друкування, досить великий, та поступово поповнюється новими матеріалами та технологіями створення які, як у випадку з ПВАпластиком і полікапролактона, можуть помітно розширити сферу застосування технологій 3D-прінтингу. Кожний окремий вид технології створення деталі обмежується технологічними можливостями обладнання та параметрами матеріалу, що використовується.

Таким чином, технологічні можливості застосування 3D-прінтингу для моделювання і виготовлення реальних деталей обладнання безмежні і мають масу переваг перед традиційними методами виготовлення деталей.

Перелік посилань

1. *Researchers develop new metal materials through 3D printing.* (2015). 3D printer and 3D printing news. <http://www.3ders.org/articles/20151019-researchers-develop-new-materials-through-3d-printing.html>
2. Слюсар, В.И. (2002). Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант. *Конструктор*, 1, 5-7.
3. Слюсар, В.И. (2003). Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования. *Электроника: наука, технология, бизнес*, 5, 54-60.
4. Салахов, Р. Ф., Салахова, Р. И., & Гаптраупова, З. Н. (2017). Возможности 3D-печати в образовательном процессе. *Филологические науки. Вопросы теории и практики*, 6-2(72), 196-198.
5. Усенков, Д. Ю. (2014). 3D-печать: как это работает? *Мир 3D*, 3(17), 3-17.
6. *IDC: мировой рынок 3D-печати в 2018 году вырастет до 12 миллиардов долларов* (2018). ИТ-индустрия – новости, обзоры, аналитика, продукты и услуги: <https://www.computerworld.ru/news/IDC-mirovoy-rynok-3D-pechati-v-2018-godu-vyrastet-do-12-milliardov-dollarov> .
7. *Value of the additive manufacturing (3D printing) market worldwide from 2017 to 2021 (in billion U.S. dollars).* (2019). Statista. <https://www.statista.com/statistics/261693/3d-printing-market-value-forecast>
8. *PLA-пластик для 3D-печати* (n.d.) 3D TODAY http://3dtoday.ru/wiki/PLA_plastic

АННОТАЦИЯ

Цель. Целью работы является оценка возможности применения трехмерной печати для изготовления деталей машин и оборудования, способных конкурировать с деталями, изготовленными традиционными методами. В статье приводится классификация основных полимерных материалов, используемых для 3D печати. Дается обзор наиболее распространенных и перспективных материалов, применяемых в рамках данной технологии производства. Среди них: АБС-пластик, ПЛА-пластик, полиамид, фотополимерные смолы. Приведены основные свойства изделий, получаемых из этих материалов, и примеры их использования. Рассмотрены возможные варианты их дополнительной обработки. Для каждого из материалов дан обзор технологий, по которым проводится 3D-принтинг. По результатам проведенного осмотра сделано заключение, в котором описаны возможные перспективы развития 3D-печати и используемых материалов.

Методика. Методологическая основа исследования включала анализ, сравнение и систематизацию. Для достижения цели исследования и решения поставленных задач использовалась совокупность современных методов исследования и наработки мировых производителей полимерных материалов и 3D принтеров.

Результаты. Перечень известных полимерных материалов и технологий 3D-принтингу достаточно широк и постоянно увеличивается за счет развития химической и компьютерных технологий. Использование технологий трехмерной печати позволяет повысить надежность оборудования, не прибегая к конструктивному вмешательству в оборудование. Добиться повышения надежности возможно двумя путями. Первый путь это применение материалов, для изготовления деталей оборудования, с улучшенными эксплуатационными характеристиками и свойствами. Второй путь-изготовления деталей оборудования одним массивом, исключая сварочные и паяные соединения.

Научная новизна. Научная новизна заключается в разработке рекомендаций и систематизации существующих полимерных материалов с привязкой к технологиям 3D-принтингу.

Практическая значимость. В работе приведены примеры наиболее распространенных технологий 3D-принтингу и основные полимерные материалы для печати. Сложно найти отрасль производства, где бы не применялся 3D-принтинг: с их помощью изготавливаются детали самолетов, космических аппаратов, подводных лодок, инструменты, протезы, ювелирные изделия и др. Перспектива очевидна - аддитивная технология в ближайшее время станет приоритетной технологией изготовления оборудования и технологических машин. Таким образом, технологические возможности применения 3D-принтер для моделирования и изготовления реальных деталей оборудования безграничны и имеют массу преимуществ перед традиционными методами изготовления деталей.

Ключевые слова: материалы для 3D принтингу, 3D печать, полимерные материалы порошок

ABSTRACT

Purpose. The aim of the work is to assess the possibility of using three-dimensional printing for the manufacture of parts of machinery and equipment that can compete with parts manufactured by traditional methods. The article provides a classification of the main polymer materials used for 3D printing. An overview of the most common and promising materials used in this production technology is given. Among them: ABS plastic, PLA plastic, polyamide, photopolymer resins. The main properties of products obtained from these materials and examples of their use are given. Possible options for their additional processing are considered. For each of the materials, an overview of the technologies used for 3D printing is given. Based on the results of the inspection, a conclusion was made, which describes the possible prospects for the development of 3D printing and the materials used.

The methods. The methodological basis of the study included analysis, comparison and systematization. To achieve the research goal and solve the set tasks, a set of modern research methods and developments of world manufacturers of polymer materials and 3D printers was used.

Findings. The list of known polymer materials and technologies for 3D printing is quite wide and is constantly increasing due to the development of chemical and computer technologies. The use of 3D printing technologies makes it possible to increase the reliability of equipment without resorting to constructive intervention in the equipment. There are two ways to improve reliability. The first way is the use of materials for the manufacture of equipment parts with improved performance and properties. The second way is to manufacture equipment parts in one mass, excluding welding and brazed joints.

The originality. Scientific novelty lies in the development of recommendations and systematization of existing polymer materials with reference to 3D printing technologies.

Practical implimintation. The paper provides examples of the most common 3D printing technologies and the main polymer materials for printing. It is difficult to find a manufacturing industry where 3D printing is not used: they are used to manufacture parts of aircraft, spacecraft, submarines, tools, prostheses, jewelry, etc. The prospect is obvious – additive technology will soon become a priority technology for manufacturing equipment and technological machines. Thus, the technological possibilities of using a 3D printer for modeling and manufacturing real equipment parts are endless and have many advantages over traditional methods of manufacturing parts.

Keywords: *materials for 3D printing, 3D printing, polymeric materials, powder*