

---

## ЛІТЕРАТУРА

1. Особливості графічної підготовки майбутніх інженерів-механіків на основі комп'ютерно орієнтованих технологій // О.М. Джеджула, А.Й. Островський, Ю.Л. Хом'яківський / Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Серія «Педагогіка, Психологія, Філософія» / Редкол.: Ніколаєнко С.М. та ін. – К.: 2014. – Вип. 199. – Ч. 2. – С. 95-100.
2. Перспективи впровадження Fusion 360 в навчальний процес / А.В. Гагалюк / Всеукраїнська науково-практична конференція «Обладнання і технології сучасного машинобудування» присвячена пам'яті професора Нагорняка Степана Григоровича. – Тернопіль: 2017. – С. 52-55.
3. Огляд он-лайн сервісів для перегляду та редагування тривимірних моделей / О.О. Мосюк / Збірник матеріалів V Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених «Наукова молодь-2017» (14 груд. 2017 р., м. Київ) [Електронний ресурс] / за ред. Спіріна О.М. та Яцишин А.В. – К.: ІІТЗН НАПН України, 2017. – С. 304-306. – Режим доступу: <http://lib.iitta.gov.ua/view/divisions/gen=5Fres=5Fiitzn/2017.html> (дата звернення: 24.12.2020).
4. Цифрові профілі/портфоліо студентів спеціальності 132 Матеріалознавство на сайті університету. – Режим доступу: [https://okmm.nmu.org.ua/ua/Autodesk %20Design %20Academy %20students.php](https://okmm.nmu.org.ua/ua/Autodesk%20Design%20Academy%20students.php) (дата звернення: 24.12.2020).

УДК 681.932.4

### ВИВЧЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У ДИСЦИПЛІНІ “ТЕХНОЛОГІЇ ЗД ПРОТОТИПУВАННЯ”

**А.Ю. Фартушна<sup>1</sup>, І.М. Мацюк<sup>2</sup>, О.М. Твердохліб<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ст. гр. 132-18-2 спеціальності 132 «Матеріалознавство» за напрямком освіти «Промислова естетика та сертифікація матеріалів та виробів», Національний Технічний Університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: [fartushnyaanna2018@gmail.com](mailto:fartushnyaanna2018@gmail.com)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: [matsyukin@ua.fm](mailto:matsyukin@ua.fm)

<sup>3</sup>старший викладач кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: [tverdokhlib.o.m@nmu.one](mailto:tverdokhlib.o.m@nmu.one)

**Анотація.** В роботі проведено теоретичні дослідження фотополімерних матеріалів для 3D друку, технічні характеристики та застосування виробів в житті.

*Ключові слова:* прототипування, фотополімерні матеріали, 3D-друк, стереолітографія, цифрова проекторна світлодіодна проекція, технологія 3D-друку SLA.

## TECHNICAL CHARACTERISTICS OF PHOTOPOLYMER MATERIALS STUDY AND IT APPLICATION AT 3D PROTOTYPING TECHNOLOGIES COURSE

Anna Fartushna<sup>1</sup>, Irina Matsyuk<sup>2</sup>, Oleksander Tverdokhlib<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Student, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: [fartushna-yaanna2018@gmail.com](mailto:fartushna-yaanna2018@gmail.com)

<sup>2</sup>Ph.D., Associate Professor of the Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: [matsyukin@ua.fm](mailto:matsyukin@ua.fm)

<sup>3</sup>Senior lecturer of the Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: [tverdokhlib.o.m@nmu.one](mailto:tverdokhlib.o.m@nmu.one)

**Abstract.** Theoretical researches of photopolymer materials for 3D printing, technical characteristics and application of products in life are carried out in the work.

*Keywords: prototyping, photopolymer materials, 3D printing, stereolithography, digital projector LED projection, 3D printing technology SLA.*

**Введення.** При вивченні дисципліни “Технології 3D прототипування”, однією із тем є матеріали, які використовують при прототипуванні виробів. Одним із матеріалів, який широко використовується для прототипування є фотополімер. Фотополімер або світлополімер – це особливий матеріал, який змінює свої властивості під впливом світла. При цьому найчастіше джерелом світла служить саме ультрафіолет (природним джерелом ультрафіолетових променів, як ми всі знаємо ще зі шкільної лави, є сонце і сонячне світло). В якості модельного матеріалу для фотополімерного 3D друку використовуються спеціальні фотополімери – світлочутливі смоли.

Сфера застосування фотополімерного матеріалу при 3D друку різноманітна. Застосовується такий матеріал в різних сферах виробництва. Наприклад, у стоматологічному протезуванні застосовують технологію фотополімеризації. Також широко використовується у медицині, ювелірному виробництві, машинобудуванні, автомобільній промисловості, друк сувенірів та іграшок.

**Мета роботи.** Метою роботи є зрозуміти що таке фотополімери, дослідити які існують види, де вони застосовуються та яку технологію 3D-друку використовують при виготовленні виробів із цього матеріалу.

**Матеріал та результати досліджень.** Фотополімери для 3D-друку за технологією SLA (стереолітографія або Laser Stereolithography) [1] це є рідкі пігментовані смоли, які перетворюються в твердий матеріал, що нагадує пластик після впливу на нього ультрафіолетового лазера. Цей матеріал і технологія дозволяють отримати високодеталізовані і високоточні вироби (до 30 мікрон). Існують варіації матеріалу, які дозволяють імітувати різні види пластика (наприклад, ABS) і навіть гумоподібний матеріал.

За технологією SLA з фотополімерної смоли можна друкувати практично що завгодно. В силу точності і високої швидкості друку цей матеріал, як і технологія, стали затребувані у багатьох галузях. Фотополімерні смоли відрізняються біосумісністю і тому активно використовуються в стоматології - здійснюючи 3D -друк точних моделей протезів і імплантатів.

Затребуваний фотополімер SLA в промисловій сфері, для 3D -друку тонких і складних дизайнерських робіт, презентаційних та наочних матеріалів. Якщо необхідно надрукувати складний об'єкт з нависаючими деталями, то використовуються підтримки, які друкуються зі спеціального матеріалу і легко видаляються руками або в спецрозчині.

Вироби, надруковані з фотополімера SLA, відрізняються гладкою поверхнею і тому практично не вимагають доопрацювання, за винятком видалення підтримок, якщо такі є. Характеристики матеріалу і технології дозволяють здійснювати 3D -друк складних механізмів, що рухаються і їх деталей.

Приклад надрукованого виробу із фотополімерного матеріалу [2] показано на рис. 1.



Рисунок 1 – Надрукований на 3D-принтері виріб з фотополімера Formula L1

Властивості фотополімера SLA. Характеристики фотополімера для SLA-друку багато в чому будуть залежати від конкретного полімеру, бренду і т.п

[3]. В основному це властивості, які нагадують ABS-пластик. Тобто висока міцність, довговічність, широка кольорова палітра. Крім того дані матеріали мають підвищену термостійкість. Основні технічні характеристики фотополімерів SLA наступні [4]:

- Склад УФ-зтверджуючий акріловий пластик.
- Межа міцності на розрив 49 МПа.
- Відносне подовження при розриві 8,3%.
- Температура деформації при 0,45 МПа 88° С.
- Щільність при 80° С 1,04 г/см<sup>3</sup>.
- Модуль пружності на розтягання 2168 МПа.
- Межа міцності на вигин 65 МПа.

Зазвичай фотополімери зберігаються в рідкому стані. Існують і інші полімери, які можуть змінювати свої властивості при нагріванні. Нас же цікавлять фотополімери, з якими світ від UV-джерел ініціює хімічні реакції, при яких змінюється структура, хімічні і механічні властивості. Ці матеріали є екологічно чистими і тому популярні в технологіях 3D-друку, оскільки при роботі з ними не виділяються шкідливі леткі речовини.

Ці полімери досить поширені в нашому повсякденному житті і можуть бути помічені в різних видах покриттів на металі, папері, пластмасах та деревних матеріалах. Люди навіть носять їх у роті, якщо вони проводили процедуру відновлення зуба [5].

Деякими з загальних полімерних основ для фотополімерів є полівінілціннамат, поліамід, поліізопрен, епоксидні смоли, акрил і на додачу разом з цими полімерами використовуються мономери, олігомери і т.д.

Використання джерела світла при виготовленні полімерів було досить популярним в 19 столітті. Сонячне світло використовувалось для перетворення вінілхлорацетату в полівінілхлорацетат в технологічному ланцюжку виробництва пляшок. Так само фотополімери широко застосовуються в електроніці.

У технологіях 3D-друку, таких як стереолітографія, моделі друкуються для зняття силіконових форм, різних прототипів і кінцевих виробів, які піддаються механічним навантаженням. Фотополімерний 3D-друк - це група технологій адитивного виробництва, які зтверджують рідкі фотополімери для створення об'єкту шар за шаром, до них відносяться технології mjm, dlp, lcd, sla, polyjetі т.п [6].

**Висновок.** Використання фотополімерів для 3D друку дуже зручне як з економічної так й з повсякденної сторони. Для друку з фотополімерного матеріалу потрібні опорні конструкції, що збільшує час на друк одного виробу. Тим не менш, деякі складні геометрії можуть бути отримані з меншою кількістю опор у порівнянні з технологією FDM. Це пов'язано з тим, що резервуар

зі смолою заповнений смолою по всьому периметру, тому, якщо є виступи під якими порожнеча, їх можна просто прикріпити до основного корпусу деталі під час затвердіння.

У порівнянні з іншими методами прототипування, друк з фотополімерного матеріалу відбувається набагато швидше, а сучасні машини можуть бути надзвичайно швидкими. Без втрати якості полімерні принтери можуть виробляти деталі з високою деталізацією протягом декількох годин або днів в залежності від розміру. Для багатьох застосувань, таких як прототипи, нестандартні стоматологічні шаблони і майстер-моделі для прес-форм, друк на смолі економить бюджет та час.

### ЛІТЕРАТУРА

2. Стереолітографія (Laser Stereolithography, SLA) <https://pro3d.com.ua/a367313-stereolitografiya-laser-stereolithography.html>.
  3. 9 фотополімерів для 3D-печати, которые вас удивят <https://blog.iqb.ru/protofab-resins/>
  4. The 3D printing technologies [Electronic resource]. Available at: <https://www.aniwaa.com/3dprinting-technologies-and-the-3d-printing-process>
  5. Материали для 3D печати <https://3d-services.ru/materialy-dlya-3d-pechati/>
  6. Фотополімер и 3d-печать <https://gorkyliquid.ru/company/articles/1513/>
- 3D Printers and 3D Printing: Technologies, Processes and Techniques <https://www.sculpteo.com/en/3d-printing/3d-printing-technologies/>

УДК 372.147:331.101.1

### ЕРГОНОМІКА – НЕОБХІДНА СКЛАДОВА ПІДГОТОВКИ СУЧАСНОГО ТЕХНІЧНОГО ФАХІВЦЯ

Т.Є. Ліснич<sup>1</sup>, К.А. Зіборов<sup>2</sup>, Т.О. Письменкова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ст. гр. 132-19-2 спеціальності 132 «Матеріалознавство» за напрямком освіти «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: [lisnycha.t.y@nmu.one](mailto:lisnycha.t.y@nmu.one)

<sup>2</sup>зав. кафедрою конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний Технічний Університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: [ziborov.k.a@nmu.one](mailto:ziborov.k.a@nmu.one)

<sup>3</sup>Доц. кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний Технічний Університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: [pismenkova.t.o@nmu.one](mailto:pismenkova.t.o@nmu.one)

**Анотація.** В роботі обґрунтовано необхідність урахування ергономічних показників системи «людина-техніка-середовище» при проектуванні виробів. Продемонстровано етап антропометричного дослідження в рамках підготовки студентів ОП «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів» спеціальності 132 Матеріалознавство.