

ВИГОТОВЛЕННЯ ФІЛАМЕНТУ З ВІДХОДІВ ПІНОПОЛІСТИРОЛУ НА КОМПАКТНИХ ЕКСТРУДЕРАХ ДЛЯ ДРУКУ ЛИВАРНИХ МОДЕЛЕЙ

E-mail: doros5v@gmail.com



АНОТАЦІЯ. У статті розглядається використання адитивних технологій, таких як 3D-друк, у ливарному виробництві з акцентом на переробку відходів пінополістиролу (ППС). Описано технічні аспекти створення філаменту для 3D-друку з використанням компактних екструдерів, а також екологічні та економічні переваги вторинної переробки ППС. Наведено приклади обладнання для виготовлення друкувального матеріалу, а також результати досліджень щодо підвищення пластичності філаменту для розширення його застосування в інноваційних виробничих процесах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: 3D-друк, пінополістирол, адитивні технології, ливарне виробництво, переробка відходів.

Адитивні технології, такі як 3D-друк, займають все більш важливе місце в сучасному виробництві, завдяки своїм перевагам у швидкості, ефективності та для створення складних деталей без зайвих витрат. Експерти вважають, що 3D-друк є однією з ключових технологій майбутнього, що дозволить створювати більш складні та інноваційні конструкції, які було б складно або неможливо виготовити традиційними методами. 3D-друк все ширше використовується у таких галузях, як авіація, медицина, автомобільна, військова промисловість та інші, і його потенціал лише зростає з часом. Загалом, 3D-друк відкриває нові можливості для інноваційного розвитку машинобудування, в тому числі такого його основного заготівельного підрозділу, як ливарне виробництво.

Технологія лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ, Lost Foam Casting), а також за моделями, що випаляються, мала б значні перспективи для удосконалення завдяки реалізації переваг 3D-друку для виготовлення разових моделей, якби отримала матеріал для друку з показниками питомих величин

газотвірності і залишкової зольності після термодеструкції (як найбільш критичних показників), що наближаються до рівня ППС. У відділі проф. О.Й. Шинського було проведено ряд успішних експериментів ЛГМ-процесу за легковагими частково друкованими моделями зі вставками з ППС, а також запатентовано спосіб 3D-друку моделей з відходів ППС [1]. Якщо об'ємна маса (що пропорційна газотвірності) друкованої моделі вища, ніж у моделі з ППС для такого ж вилівка, то нами розроблено способи виведення надлишкових газів з ливарної форми по вентканалах і нейтралізація їх за межами форми.

Тема цієї статті полягає в огляді обладнання для переробки в матеріал для 3D-друку відходів ППС, які в немалій кількості супроводжують ЛГМ-процес (>10 % від застосовуваного для виробництва моделей [2]). Загалом, відходи ППС у світі є крупнотонажними, з урахуванням відходів від упаковки і від теплоізоляційних матеріалів у будівництві тощо, переробка яких дає позитивний екологічний ефект і відповідає завданням численних природоохоронних програм. Нині відходи ППС мало застосовуються, тому вони прогресивно накопичуються з серйозною загрозою екології довкілля [3].

ППС не гниє, як природні органічні відходи, а також його не дозволено спалювати без дії каталізаторів через утворення шкідливих речовин [3], які виносять гарячі гази з недостатньо окисленими (до CO_2 і H_2O) органічними сполуками. Тому відходи ППС, утворені на ливарних підприємствах, на них не можна знищувати. Ці відходи легковагі, мають значний об'єм, нерозчинні для води і не піддаються біологічному розкладенню, тому повинні складуватись, пакуватись і вивозитись сторонніми організаціями для захоронення чи утилізації. Це збільшує собівартість ливарної металопродукції.

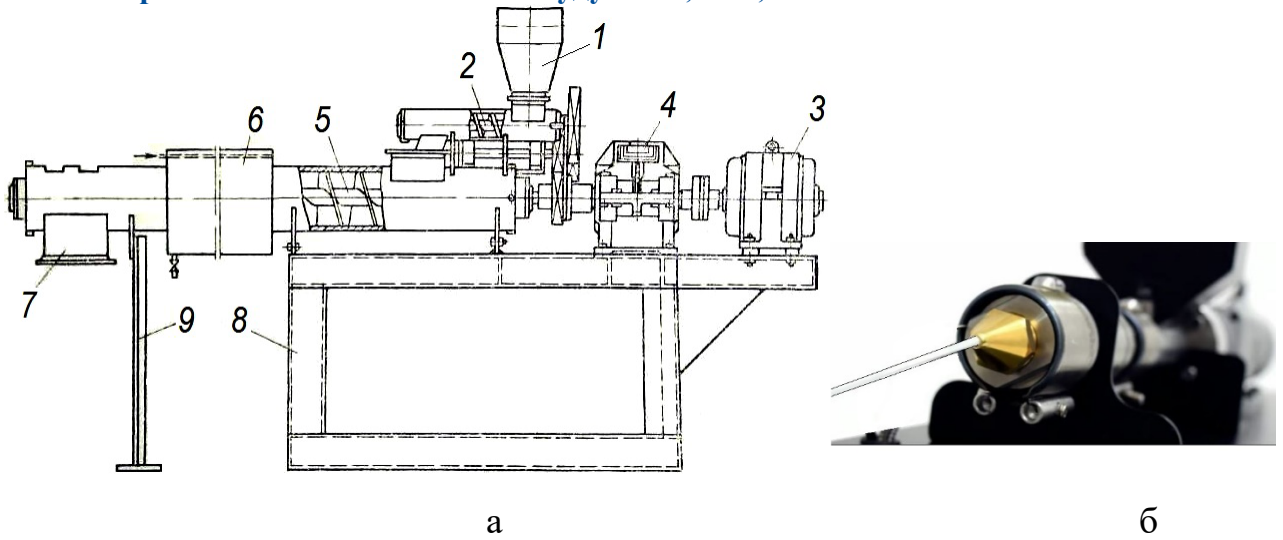
Водночас, повторне використання полімерних матеріалів дає їм «друге життя» як ефективна утилізація відходів для отримання споживчої продукції. Так, для ринку 3D-друку як одного із найбільш швидкозростаючих секторів, можна виготовляти нитки для друку (філамент) з різних термопластичних матеріалів, у тому числі з вторинної переробки. В огляді технічної інформації [4] щодо виробництва ниток для 3D-принтерів із перероблених полімерів розглянуто комерційно доступні нитки, виготовлені з перероблених матеріалів,

а також пристрої, які дають змогу автоматично виробляти нитки для 3D-друку з пластикових відходів. Філамент найчастіше формується в процесі екструзії, шляхом введення в екструдер грануляту, полімерного порошку чи подрібнених відходів, які під впливом температури перетворюються в однорідний матеріал у вигляді нитки стандартизованої товщини. Зокрема, все більше компаній пропонують нитки з переробленого PLA або ABS [4].

Серія пристроїв для екструзії нитки з відходів пластику доступна в багатьох варіантах, а філаментні екструдери вигідні для всіх користувачів 3D-принтерів, бо вони дають суттєву економію (до 80 %). Крім того, завдяки своїм невеликим розмірам, досить низькій ціні та простому управлінню не вимагається спеціальних знань та обладнання для їх роботи. Універсальність 3D-принтерів і екструдерів дозволяє користувачам отримувати друкувальний матеріал з переробленого пластику відповідно до моделі принтера та перетворювати відходи на друкувальну сировину [4].

Типова конструкція філаментного екструдера включає вузли, аналогічні вузлам конструкції шнекового підспінювача гранул ППС безперервної дії (рис. 1, а [5]), а саме: бункер 1 для вхідного матеріалу, подавальний шнек 2, електродвигун 3, редуктор 4, шнек 6, мундштук 7 для виходу гранул, станина 8, стійка 9.

Відмінність полягає в тому, що замість мундштука 7 екструдер має насадку з вихідним отвором діаметром 1,75 мм чи 3,0 мм для видачі філаменту (рис. 1, б). Приклади компактних екструдерів показано на рис. 2 з відкритих інтернет-джерел (<http://www.filastruder.com>, <http://wellzoomextruder.com>, <https://www.pinterest.com> тощо). Останнім на рис. 2 показано серійний екструдер Wellzoom (Китай) потужністю 120 Вт, з бункером ємністю 400 мл, робочою температурою до 300 °C та вартістю до 8000 грн. (в інтернет-маркеті <https://www.aliexpress.com>). Екструдер має функцію розфарбовування філаменту.



1 – бункер для вхідного матеріалу; 2 – подавальний шнек; 3 – електродвигун; 4 – редуктор; 5 – шнек; 6 – нагрівач; 7 – мундштук для виходу гранул; 8 – станина; 9 – стійка

Рис. 1. Обладнання безперервної дії для термообробки полімерів: а – установка для підготовки гранул ППС; б – філаментний екструдер;



Рис. 2. Приклади компактних екструдерів (серійного та несерійного виробництва) для виготовлення філаменту

На сайті [pinterest.com](https://www.pinterest.com) навіть показано саморобну конструкцію екструдера на базі побутової м'ясорубки, в якій теплоізолюваний термостійкою тканиною корпус м'ясорубки нагрівають до 120 °С, а приставку з вихідною насадкою – до понад 200 °С. Також у статті [6] описано схему установки для переробки пластику на філамент з вертикальним рухом матеріалів, установка включає механізм подрібнювання крупних шматків і сепарацію подрібненого пластику.

Компактні екструдери (див. рис. 2) для виготовлення з відходів ППС філаменту, який прямує на друкування ливарних моделей, можуть бути досить корисними виробничими пристроями, зокрема для переробки відходів ППС від виробництва моделей для ЛГМ за місцем їх утворення, що сприятиме використанню відновлюваних ресурсів та зменшенню відходів. Також в якості подрібнених відходів ППС придатні відходи чи стружка при виготовленні ППС-виробів на верстатах з ЧПУ – 3D-фрезерах. ППС – давно відпрацьований для ЛГМ матеріал, його відходи мають невеликі міцність і твердість, тому їх легко подрібнювати чи молоти. А прості конструкції компактні екструдери (як на рис. 2) легко можуть «вписатись» у невеликі майстерні або лабораторії. Вони, як правило, оснащуються системами контролю температури та швидкості екструзії, що дає змогу налаштовувати процес переробки для отримання високоякісного філаменту. Друкування ливарних моделей з філаменту з відходів ППС принесе вигоду з огляду економії матеріалів та зменшення впливу на навколишнє середовище. Такі моделі можуть мати достатню міцність та точність для використання у ливарних процесах.

Одним із прикладів друку легковагих (навіть дрібних) виробів може служити комірчастий м'ячик для настільного тенісу діаметром 40 мм і масою до 5 г (рис. 3), видрукований на компактному FDM-принтері Bambu Lab A1 mini з пластику PLA – матеріалу, що за характеристиками подібний до ППС.

Окремі приклади отримання філаменту з відходів ППС на компактних екструдерах і друк з них шестерень для рухомих механізмів, що показані на <https://www.youtube.com>, доводять тезу про вельми нескладний процес переведення таких відходів у друковані вироби. Проте аморфний полімер полістирол за своїми фізичними властивостями є досить твердим матеріалом, а

філамент – ламким при скручуванні його на котушки. Тому матеріал потребує технологічної операції пластифікації з метою придбання полімером еластичності та пластичності.



Рис. 3. Друкований м'ячик для настільного тенісу

У промисловості пластифікаторами найчастіше служать низькомолекулярні вуглеводні, які мають бути сумісні з полімером і мати низьку летючість. У відділі проф. О.Й. Шинського дослідженнями А.А. Стрюченка розроблено спосіб отримання полістиролу в пластифікованому стані (з відходів ППС) шляхом додавання в нього живичного скипидару [7], що можливо виконати в екструдері аналогічно введенню в філамент барвника. При цьому скипидар зручно додавати в рідкому розчині в ньому ППС (до 40 %).

Література:

1. Патент 151359 Україна, МПК В22С 9/02, В22С 15/02. Спосіб адитивного виробництва полістирольної ливарної моделі чи іншого тривимірного об'єкту складної конфігурації / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко, П.Б. Калюжний, О.В. Михнян, О.В. Нейма. Опубл. 13.07.2022. Бюл. № 28.

2. Uttaravalli A.N., Dinda S. & Gidla B.R. (2020). Scientific and Engineering Aspects of Recycling and Reuse of Expanded Polystyrene Waste for Various Potential Applications: A Review. *Process Safety and Environmental Protection*, 137, 140–148.

3. Исследование процессов термокомпактирования отходов пенополистирола / О.И. Шинский, О.А. Тихонова, А.А. Стрюченко, В.С. Дорошенко // Твердые бытовые отходы. – 2011. - № 4. - С. 48-50.

4. Mikula, K., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G. et al. 3D printing filament as a second life of waste plastics - a review. Environ Sci Pollut Res 28, 12321–12333 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10657-8>.

5. Чудновский А.Р. Литье по моделям из пенопласта. – М.: Химия, 1970. – 160 с.

6. Адаптація процесу адитивного виготовлення моделей для газифікації їх в піщаній формі при заливанні металу, а також для утилізації відходів пінополістиролу / О.Й. Шинський, О.В. Михнян, О.В. Нейма, В.С. Дорошенко // Процеси лиття, 2022. – № 4. – С. 34–42. <https://doi.org/10.15407/plit2022.04.042>.

7. Дорошенко В.С., Шинский В.О., Тихонова О.А. Утилизация бытовых и производственных техногенных отходов пенополистирола // Металл и литье Украины, 2014. – № 10. – С. 34–41.



ABSTRACT. The article explores the application of additive manufacturing technologies, such as 3D printing, in foundry processes, emphasizing the recycling of expanded polystyrene (EPS) waste.

Technical aspects of creating filament for 3D printing using compact extruders are discussed, along with the ecological and economic benefits of EPS recycling. Examples of equipment for producing printing material and research results on enhancing filament plasticity to broaden its usage in innovative manufacturing processes are provided.

KEYWORDS: 3D printing, expanded polystyrene, additive manufacturing, foundry, waste recycling.