

Дорошенко В.С., Калюжний П.Б., Михнян А.В., Нейма О.В.

(ФТІМС НАН України, м. Київ)

СПОСОБИ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА ФІЛЬТРУВАЛЬНОЇ КЕРАМІКИ З КАНАЛАМИ ЗАДАНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

E-mail: doro55v@gmail.com

Технологія 3D-друку чи адитивне виробництво (АВ) нині активно входить у різні галузі та сфери як одна з ключових у концепції «Промисловості 4.0». Якщо спочатку вона призначалась лише для сфери прототипування, то зараз АВ поширюється від масової кастомізації до розподіленого виробництва. Ця технологія дозволяє зберігати розробки у вигляді файлів на віртуальних складах і, за необхідності, відтворювати їх, що тим самим значно скорочує відстані транспортування (спрощує логістику), час і витрати.

АВ керамічних або піщаних виробів у вітчизняних умовах практично ще не застосовується із-за досить високої вартості зарубіжного друкувального обладнання (приміром, за методом Binder Jetting, рис. 1) і матеріалів, що, зокрема, в ливарному виробництві, приблизно на порядок збільшує собівартість виливків, отриманих традиційним виробництвом. Тому доцільна розробка вітчизняних способів, що здешевлюють АВ застосуванням недорогих розповсюджених принтерів, зокрема, для отримання фільтрувальної кераміки.

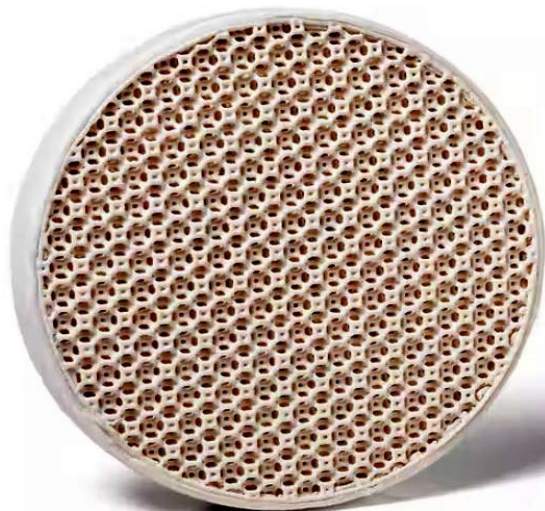


Рис. 1. Друкований керамічний фільтр (ask-chemicals.com)

Існує два основних типи традиційних керамічних фільтрів – пресові керамічні та пінокерамічні, а технологію формування керамічних виробів може бути представлено такою схемою [1], з додаванням нами нових способів.



Рис. 2. Схема видів формування керамічних виробів [1]

Характерною особливістю пресованого керамічного фільтра є те, що він має паралельно вирівняні пори однакового розміру та форми, які створюють ламінарний характер потоку розплавів. Керамічні пінні фільтри (пінокерамічні фільтри з сітчастою структурою) мають багато пор різних розмірів та будь-яких орієнтацій і виглядають як гумова губка. Проходячи через цей фільтр, потік розплаву стикається з перешкодою і змінює напрямок. Через зміни напрямку струменів та додаткове тертя розплав фільтрується, і швидкість його потоку зменшується. Для сталі та інших високотемпературних сплавів важливо мати фільтри з високою пропускну здатністю. Фільтри зі спеченої кераміки мають обмежену фільтраційну здатність. Компанія ASK Chemicals випускає 3D-друковані фільтри, що імітують піну

з порами більшого розміру одночасно з контрольованим ламінарним потоком в порах з повторюваними характеристиками (рис. 1). Фільтр не обов'язково повинен мати пори, менші за те, що він намагається відфільтрувати, але він має створювати можливість для шкідливих частинок потрапити в пастку. Це не ситечко, а лабіринт. Потік проштовхує такі частинки через усі повороти і проходи, що збільшує ймовірність частинці застрягнути десь на перегородках і не пройти до кінця.

Появі 3D-друку передувало поширення 2D-принтерів, на яких ми звикли друкувати тексти на паперових листах. Якщо скласти ці листи у стопку (книжку) і уявити, що букви ніби «зливаються» у певну конструкцію, то це практично ілюструє деякі способи 3D-друку, в яких замість листів застосовують тонкі шари піску (порошку). Пісок в сипкому стані потім видаляють, і отримують друковану конструкцію з того піску, в якій друкувальною голівкою введено зв'язувальний компонент, що затвердів (метод Binder Jetting).

Відділом проф. О.Й. Шинського запатентовано спосіб формування [2], що включає пошарове насипання сухої піщаної суміші на модель чи в робочу порожнину стрижневого ящика, змочування сухої піщаної суміші шляхом контактування її з рідинно-повітряною дисперсією, внаслідок цього зволоження зв'язування цієї суміші до монолітного стану, що в результаті призводить до створення піщаної форми чи стрижня. Багатократне пошарове насипання сухої піщаної суміші на підкладку в контейнері та нанесення рідинно-повітряної дисперсії (аерозолі) на поверхню кожного шару цієї піщаної суміші відповідає технології АВ. Подібне пошарове насипання добре відпрацьовано для сипкої піщаної суміші при вакуумно-плівковій формовці і литті за моделями, що газифікуються (ЛГМ). Ці процеси освоєні на вітчизняному формувальному обладнанні без значних енерговитрат і можуть включати короткочасне віброущільненням сипкої суміші протягом 20...90 с. Але де ж тут 3D-друк?

Наші розроблені гібридні способи формування фільтрувальної кераміки з піщаних прошарків при їх змочуванні активатором (зв'язувальним чи отверджувачем) з форсунок аерозолем в контейнері (за патентом [2]) відрізнялись таким доповненням: 3D-друкуванням на кожному піщаному шарі сітчастої моделі пор з

матеріалу, що випаюється, розчиняється чи виплавляється. Контейнер з піском, в якому опускається плоске дно, на нескладному пристрої – човниковій платформі автоматично ходить (снує) «туди-сюди»: під бункер для засипання піщаного шару з його покриттям рідинно-повітряною дисперсією (з форсунок, що розпилюють [2]), а потім під друкувальну головку принтера, що наносить сітку чи решітку на кожний піщаний шар. Товщина цього шару і кількість зв'язувальної самотвердної композиції, що утворюється в порах піску, може регулюватись. Після формування виробу, як за технологією [2], його видаляють з контейнера, сушать чи витримують (для завершення хімічних процесів тверднення) на повітрі, а потім виплавляють (випалюють) модельний матеріал і прожарюють.

Для високотемпературних фільтрів одною з найдешевших може бути сипка суміш з такими компонентами: високоглиноземистий цемент 15...30 мас. %, наповнювачі – електрокорунд і дрібнозернисті порошки типу каоліну. Твердне цемент в контакті з водою чи розчином води з прискорювачем тверднення. Приклади таких сумішей наведено в нашому патенті [3].

Друкування сітчастих чи комірчастих моделей каналів пор дозволяє оптимізувати їх конструкцію за фільтрувальною здатністю, гідравлічним опором, площею поверхні пор і такими геометричними чи топологічними показниками, що дозволяють найкраще вловити в тенетах лабіринту шкідливі частинки з рідин, що фільтруються. Як і практично всі 3D-друковані конструкції, такі моделі доступні для оптимізації за допомогою комп'ютерних програм, а принтери для друку полімерами недорогі і широко розповсюджені. Створено спосіб випробування адитивно отриманих фільтрів – пат. 148770UA.

3D-друковані пористі матеріали знаходяться в полі зору дослідників, що прагнуть друкувати комірчасті замітники полімерів, подібних до піни [4] (рис. 3). Такі ґратчасті конструкції замінюють пінопластові компоненти і можуть служити довше та бути налаштованими до індивідуальних потреб користувача.

Значний потенціал для друку моделей дрібних пор мають методи 3D-друку компонентів складних конфігурацій для мікроелектроніки (рис. 4).

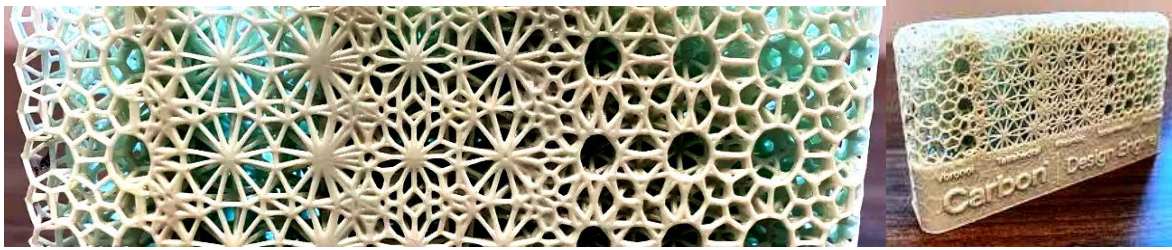


Рис. 3. Приклади друку виробів для заміни схожих на піну полімерів [4]

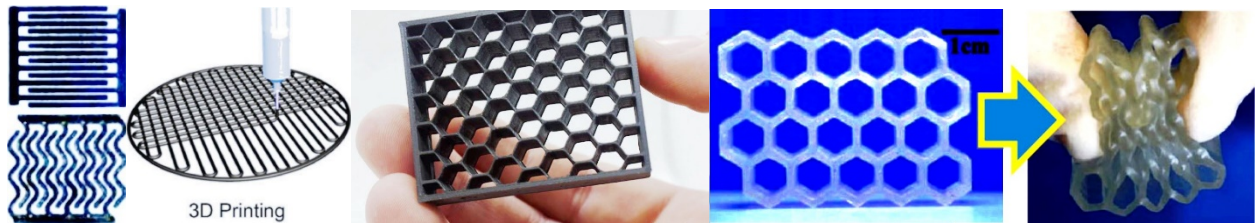


Рис. 4. Приклади друку конфігурацій виробів для мікроелектроніки [5]

Література:

1. Технология обработки материалов: учеб. пособие для академического бакалавриата / отв. Ред. В.Б. Лившиц. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – С. 153.
2. Патент 9003 Україна, МПК В22С 9/02. Спосіб формування / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський. – Опубл. 10.06.2015, Бюл. №11.
3. Патент 141852 Україна, МПК В22С 1/18, С04В38/06, С04В35/101. Спосіб виготовлення пінокерамічних фільтрів та пористих матеріалів / О. Й. Шинський, В.С. Дорошенко. – Опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8.
4. Julia Hider. 3D-Printed Lattice Structures Replace Foam Components. 22.12.2021. URL: <https://www.additivemanufacturing.media/articles/3d-printed-lattice-structures-replace-foam-components>.
5. Y.G. Park et al. High-Resolution 3D-Printing for Electronics. Adv. Sci. 2022. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/advs.202104623>.