

Загалом, механічні характеристики алюмінієвого ливарного сплаву типу АК8МЗч без берилію, але із цирконієм у його складі, відповідають такому ж сплаву з берилієм у його складі.

Література:

1. ДСТУ 2839-94 Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ, 1995. 55 с. (Інформація та документація).

Калюжний П.Б., Бродовий О.В, Дорошенко В.С., Нейма О.В.
(ФТІМС НАН України, Київ)
**3D-ГЕНЕРАЦІЯ ПОРИСТИХ СТРУКТУР ДЛЯ ДРУКУ ЛИВАРНИХ
МОДЕЛЕЙ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ**
E-mail: doro55v@gmail.com

Тривимірні періодичні мінімальні поверхні (МП), такі як гіроїд, стали звичайними елементами дизайну для 3D-друку. Однак, компанією Spherene Inc. (Швейцарія, <https://spherene.ch>) розроблено алгоритм, що створює адаптивні поверхні мінімальної щільності (Adaptive Density Minimal Surfaces, ADMS) в якості плагіну до програми заповнення тіла 3D-друкованих деталей, який можна використовувати для зменшення маси та керування властивостями матеріалу [1]. Матеріали з МП, яку компанія називає «spherenes», заснована на класі геометричних форм, якими є сфери, або, точніше, інверсні сфери. До речі, простий приклад МП – мильна плівка, яка зтягує контури різної конфігурації та набуває форми, що відповідає мінімуму енергії поверхневого натягу, яка прямо пропорційна її площі.

Використанням МП для моделювання мінімальних енергетичних станів матеріалів у фізичних моделях досягають того, що структури Spherene Inc. рівномірно розподіляють напругу, мінімізуючи кількість використовуваного матеріалу. Приклади за методикою такого моделювання показано на рис. 1.

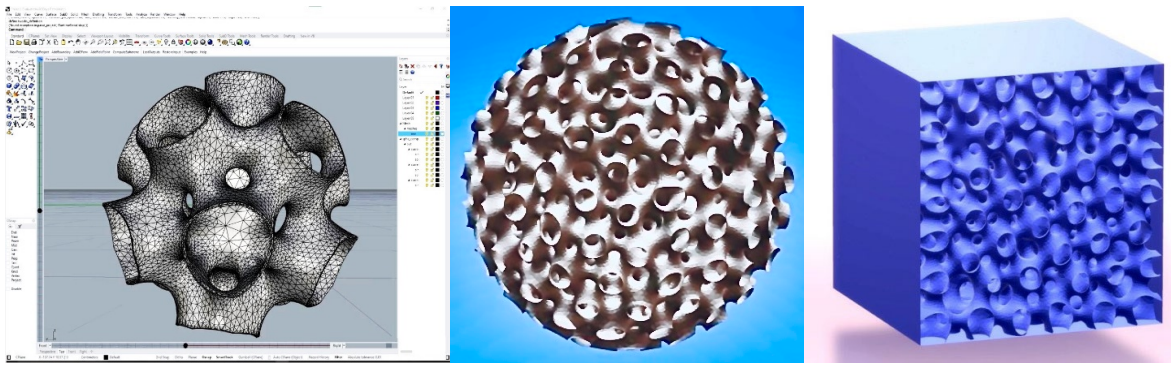


Рис. 1. Моделі структур spherenes, в тому числі в якості наповнювача для куба з гладкою поверхнею (створено в програмі з сайту <https://spherene.ch>)

Компанія Spherene Inc. алгоритм заповнення друкованих конструкцій за допомогою інверсних сфер зробила доступним через інтерфейс застосування API в програмі Rhino (Rhinoseros). На рис. 1 перше фото ліворуч та ряд інших фото нижче відтворено у вигляді скріншота з екрану, де автори статті виконали моделювання в програмі Rhinoseros 8. Алгоритм за допомогою хмарного API може заповнити проектний об'єм оболонками з поверхнею ADMS, геометрія якої повторює перевернуті сферичні поверхні для створення міцної та відкритої структури, або серцевини тіла чи стінок 3D фізичних об'єктів (рис. 2).



Рис. 2. Приклади друкованих полімерних і металевих виробів типу корала чи кістки, кронштейнів та декоративної фігурки (з сайту <https://spherene.ch>)

Сфери складають наче один безперервний оболонковий лабіринт як ідеальна форма для втримання і розподілення напружень всередині порожнього об'єму.

Засновник компанії, Крістіан Вальдвогель, після експериментів з моделями семикутників застосував заповнення простору МП з перевернутих сфер. Переваги матеріалу *spherene* заявлено такі [1]:

1. Зменшення ваги. Замінює інший матеріал на заповнення заданої об'ємної ваги, зберігаючи міцність.

2. Можливість налаштування. Сфероподібну пористу «геометрію» можна поєднати з суцільними областями, щоб закрити певні об'єми, ввести отвори під гвинти чи створити внутрішні порожнини. Можна використовувати градієнти для зменшення маси матеріалу (рис. 3), зміщення центру ваги тощо.

3. Відповідність поверхні. Сферени за своєю природою повторюють форму обмежувальної геометрії.

4. Самопідтримний. У більшості процесів 3D-друку об'єкти зі сфероподібного матеріалу можна друкувати без опорних структур.

5. Економія матеріалів. Конструкції, наповнені такими структурами, потребують менше матеріалу для друку та можуть друкуватися швидше.

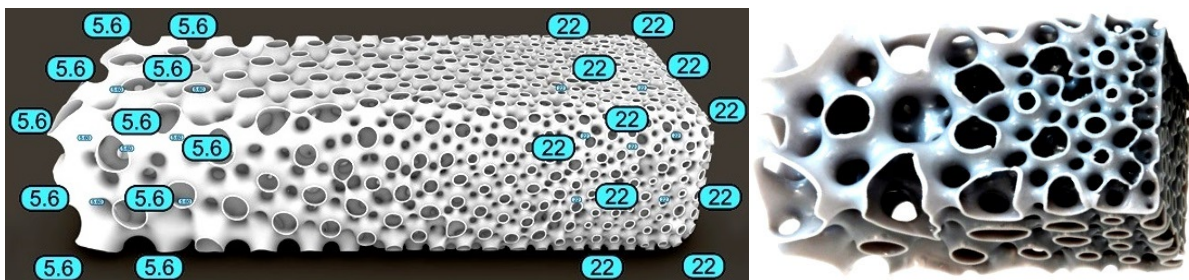


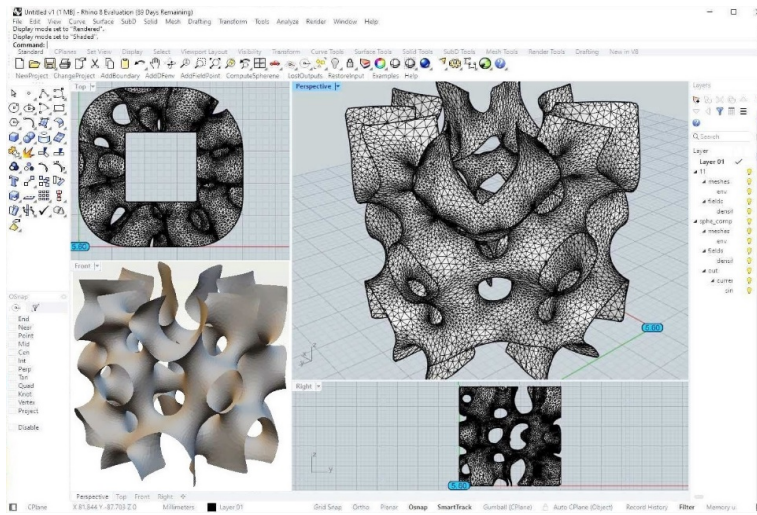
Рис. 3. Структури з градієнтом щільності (з сайту <https://spherene.ch>)

Використання Spherene API потребує, щоб користувач спочатку визначив модель у САПР, що слугує обчислювальною оболонкою, у якій генеруються оболонки сферичної геометрії. Залежно від вибору дизайнера, модель може бути заповнена сферою постійної щільності та фіксованої товщини, або може містити градієнти щільності та товщини, порожнини чи суцільні області. Спосіб, у який

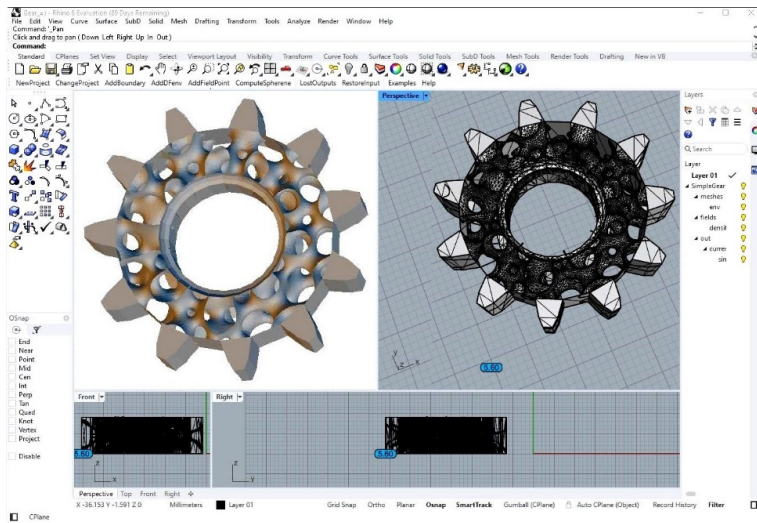
сферичні поверхні зустрічаються (стикуються) з конвертом (відомий як «умова конверта»), також можна контролювати. Незалежно від вхідних даних або геометричної складності оболонки, алгоритм Spherene Inc. генеруватиме ізотропну мінімальну поверхню, що складається з двох переплетених просторів [4]. Якщо цього не буде спеціально вказано, то алгоритм не створить повністю закриту форму для 3D-друку. API Spherene автоматично адаптує заповнення до вимог, встановлених користувачем, створюючи структури, схожі на корал або кістку в перерізі (рис. 2). Це означає, що користувачам не потрібно мати справу з особливостями загальної форми або маніпулювати такими параметрами, як розмір пор або товщина стінки, щоб отримати бажаний результат; замість цього вони отримують результат, виражений в термінах щільності заповнення та стану оболонки. Вищий відсоток щільності заповнення створює більше оболонкового матеріалу, який може бути використаний, наприклад, для збільшення жорсткості в певних областях, тоді як нижчу щільність може бути застосовано для забезпечення гнучкості або пружності. Алгоритм моделює матеріал автоматично.

Нерідко градієнти потрібні для створення жорсткіших окремих областей деталі. Так, можна надрукувати сталеву деталь з низькою щільністю до такої міри, що матеріал буде нагадувати алюміній, як за вагою, так і за міцністю. Економія часу та матеріалів впливає на собівартість деталі [1]. Як методика заповнення (порівняно з іншими системами, такими як TPMS і балкові решітки), ADMS від Spherene Inc. має ті переваги, що забезпечує ізотропну міцність по всьому об'єму деталі, а також сферо-похідні оболонки є самонесучими для виготовлення за допомогою більшості способів 3D-друку. За словами компанії, відповідність поверхні та контрольований стан оболонки також забезпечують бездоганну інтеграцію збірки з цими структурами [1]. Інструмент дизайну Spherene Inc. наразі загальнодоступний для тестування безкоштовно. Компанія має досвід моделювання таких галузях, як аерокосмічна промисловість, високоефективні технології, інструменти, взуття, медицина [1].

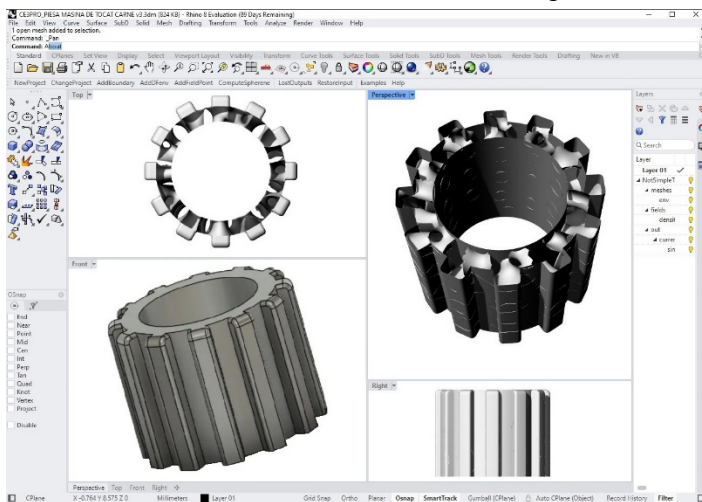
На рис. 4, а-г показано наші моделювання у програмі Rhinoceros з метою отримати друковані пористі моделі для ЛГМ-процесу.



а



б



в

г

Рис. 4. Моделі: а – заповнення оболонками простору «куб» з каналом «квадрат» і кісточки; б – модель шестерні і гачка; в – модель «втулка приводна»; г – моделі і виливки «втулка приводна» (3D-друк суцільної моделі із вставкою з ППС)

Для порівняння на рис. 4, в показано два варіанти ливарних моделей (верхній ряд) і деталей «втулка приводна» (нижній ряд), вилитих нами методом ЛГМ з чавуну СЧ200. Друковані методом FDM суцільні частини моделі (чорного кольору) для полегшення маси всієї моделі були насаджені на патрубки з пінополістиролу (ППС білого кольору). Інакше вилити литтям за друкованими моделями (що газифікуються – ЛГМ) без створення в них пористої стінки з ППС не вдалось, бо такі спроби давали лише браковані металовироби. Наші пробні друкування з PLA на принтері «Bambu Lab A1 mini» елементів за алгоритмом ADMS (рис. 5), схожі на спрощений варіант моделей (рис. 4, а).

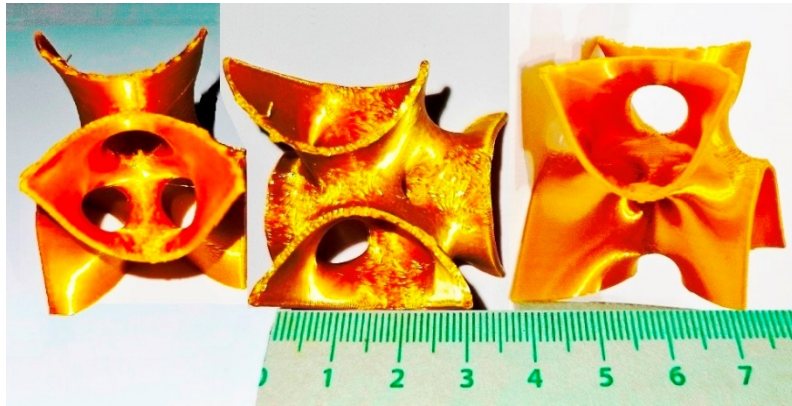


Рис. 5. Друковані елементи за алгоритмом ADMS на 3D-принтері методом FDM

Виконані нами перші приклади цифрового моделювання і друкування пористих (порожнистих) ливарних моделей показали придатність використання алгоритму ADMS для зменшення маси моделей і перспективу їх застосування для ЛГМ. Наступні кроки можуть включати вибір оптимального способу їх друку, дослідження ряду можливих переваг чи функцій з огляду мінімізації маси в залежності від достатніх механічних властивостей моделі та регулювання аеродинамічних характеристик утворених вентканалів для виведення газів через верхній випор з моделі у вакуумований пісок форми, зниження коефіцієнта опору фільтрації в них газів в залежності від рівня впливу вакуумування і ступеню його силової дії на стінки піщаної форми (для забезпечення їх непорушності) та на метал, що газифікує модель, тощо.

Після першого етапу дослідження ЛГМ-процесу за 3D-друкованими моделями у вигляді комбінованих моделей з підкладками з ППС і друкованими поверхневими оболонками чи приєднаними окремими друкованими деталями, створюються передумови переходу до наступного етапу: моделювання і друкування оптимально спроектованих цільних пористих моделей з регульованою пористістю, до якої можливе підведення вакууму з піску форми.

Література:

1. S. Hendrixson. Spherene Creates Metamaterial with Geometry Derived from Spheres. 22.02.2024. URL: <https://www.additivemanufacturing.media/search?q=Spherene%20Creates%20Metamaterial%20>.

Калюжний П.Б., Дорошенко В.С., Погребач Є.В.
(ФТІМС НАН України, Київ)

**УСУНЕННЯ ГАЗОВИХ ДЕФЕКТІВ У ВИЛИВКАХ КУЛЬОВИХ КРАНІВ ЗІ
СТАЛІ 12Х18Н9ТЛ ПРИ ЛИТТІ У ВАКУУМОВАНІ ПІЩАНІ ФОРМИ**

E-mail: doro55v@gmail.com

До виливків корпусів кульових кранів висуваються високі технічні вимоги, що відповідають галузевому стандарту ОСТ 26-07-402-83. Виливки корпусів трубної арматури з корозійностійкої сталі не допускають дефектів, які знижують їх міцність, а внутрішні поверхні, які контактують з робочим середовищем, не повинні мати пригару чи нерівностей, що перешкоджають вільному проходу робочого середовища.

В реальних виробничих умовах при литті корпусів кульового крану зі сталі 12Х18Н9ТЛ ДСТУ 8781:2018 брак складав до 12 %. Аналіз браку показав, що основними видами дефектів були усадкові раковини та газові дефекти. Якщо перші вдалося усунути за рахунок оптимізації розмірів надливів, то для запобігання утворення других необхідно було провести вивчення процесів, що призводять до виникнення газових дефектів у виливках.