



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА  
ім. І. М. Францевича

„ЗАТВЕРДЖУЮ”

В.о. директора Інституту проблем  
матеріалознавства  
ім. І. М. Францевича НАН України  
член-кореспондент НАН України



Геннадій БАГЛЮК

2024 р.

## ВИТЯГ

з протоколу №6/III-7  
від «26» червня 2024 р.

засідання секції Вченої ради Інституту проблем матеріалознавства  
ім. І. М. Францевича НАН України «Матеріалознавство порошкових та композиційних  
матеріалів і покриттів»

### БУЛИ ПРИСУТНІ:

академік НАН України, д.ф.-м.н. Ю.М.Солонін, чл.-кор. НАН України, д.т.н. Г. А. Баглюк, чл.-кор. НАН України, д.т.н. М.Б. Штерн, д.т.н. М.С. Ковальченко, д.т.н. О.І.Гетьман, д.т.н. А.Л.Максименко, д.т.н. О.В.Михайлов, д.т.н. Г.О.Фролов, д.т.н. М.С.Стороженко, д.т.н. А.І.Троцан, д.т.н. В.П.Солнцев, чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.Б.Згалат-Лозинський, д.х.н. О.В.Дуднік, д.ф.-м.н. Г.С.Олейник, к.т.н. О.В. Мазна, к.т.н. Т.М.Павлиго, к.т.н. О.І.Толочин, к.т.н. О.В.Власова, к.т.н. І.А.Морозов, к.т.н. П.М.Силенко та інші.

### СЛУХАЛИ:

Доповідь аспіранта відділу реологічних та фізико-хімічних основ технології порошкових матеріалів Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України Коробка Павла Олександровича «Вплив особливостей мезоструктури на ефективні властивості метаматеріалів типу інверсного опалу та інверсного бджолиного стільника», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13.Механічна інженерія за спеціальністю 132.Матеріалознавство.

Науковий керівник роботи – д.т.н.,чл.-кор. НАН України Штерн Михайло Борисович.

### Рецензенти:

- д.т.н., с.н.с.Михайлов Олег Володимирович
- к.т.н., с.н.с.Вдовиченко Олександр Васильович

Секція вирішила рекомендувати уточнити формулювання назву дисертації з «Оптимізація структури та ефективні властивості високопористих матеріалів для захисних конструкцій, хвильових фільтрів та біомедичного застосування» (затверджено на засіданні Вченої ради Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України 16.03.2021 р. протокол №

3) на «Вплив особливостей мезоструктури на ефективні властивості метаматеріалів типу інверсного опалу та інверсного бджолиного стільника» (протокол № 4 від 2.04.2024 р.)

### **ВИСТУПИЛИ:**

#### **З питаннями:**

к.т.н. Морозов І.А., чл.-кор. НАН України, д.т.н. Баглюк Г. А., д.т.н. Солнцев В.П., д.т.н. Ковальченко М.С., д.т.н. Максименко А.Л., академік НАН України, д.ф.-м.н. Солонін Ю.М., чл.-кор. НАН України, д.т.н. Згалат-Лозинський О.Б.

#### **З рецензіями:**

- д.т.н., с.н.с. О.В. Михайлов
- д.т.н., с.н.с. О.В. Вдовиченко

#### **В обговоренні взяли участь:**

д.т.н. Ковальченко М.С., чл.-кор. НАН України, д.т.н. Баглюк. Г.А., д.т.н. Михайлов О.В. - рецензент, д.т.н. Вдовиченко О.В. - рецензент, академік НАН України, д.ф.-м.н. Солонін Ю.М., чл.-кор. НАН України, д.т.н. Згалат-Лозинський О.Б., чл.-кор. НАН України, д.т.н. Штерн М.Б.

В результаті обговорення та обміну думками засідання відзначає:

**Актуальність даної роботи.** Визначення ефективних властивостей різноманітних структур сприяє пошуку оптимальних матеріалів для подолання інженерних викликів в інноваційних галузях, таких як авіа- та ракетобудування, інформаційні та оборонні технології, біомедична інженерія, тощо. Дослідження впливу як структури метаматеріалу на його реологічний відгук, так і впливу деформування на зміну структури, – є важливим науковим та практичним завданням. Оскільки масштаб неоднорідності структури метаматеріалу є достатньо великим, для того щоб поведінку складових матеріалу в цьому масштабі описувати континуально, – взаємозв'язок між структурою та властивостями можна дослідити засобами механіки мікронеоднорідних матеріалів. Цю галузь на стику матеріалознавства та континуальної механіки також часто називають мікромеханікою або механікою композитів. В роботі досліджувались два типи структур пористих метаматеріалів – «інверсні опали» та «інверсні бджолині стільники». При цьому була виділена низка проблем дотичних до ефективних реологічних властивостей таких метаматеріалів. Функціональні оптичні властивості інверсного опалу вельми чутливі до зміни геометрії порового простору, тобто структури матеріалу. Тому прогнозування незворотної зміни структури такого метаматеріалу внаслідок навантаження та деформування є досить актуальним. Однією з важливих характеристик інверсно-опалових матеріалів для адсорбційного та хіміко-каталітичного застосування є збереження суцільної проникності пористої структури. Тому важливим є прогнозування граничного ступеня деформування, після якого втрачається суцільна проникність порової структури.

Важливо також мати змогу розраховувати на міцність та жорсткість конструкції, що містять елементи з метаматеріалів. Тому імплементація в існуючі програмні пакети скінчено-елементного моделювання як пружних так і незворотних ефективних реологічних властивостей такого метаматеріалу є вельми важливою та актуальною.

Не зважаючи на ефективність мікромеханічного моделювання пластичності пористих метаматеріалів, залишається важливою експериментальна ідентифікація границі текучості. Аналіз характеру обчислювально отриманих ефективних пластичних властивостей такого пористого матеріалу може «пролити світло» на питання про мінімізацію кількості установчих експериментів. Відомо, що високопориста стрижнева структура інверсного бджолиного стільника має унікальні ауксетичні властивості. Тобто від'ємний коефіцієнт поперечного розширення при однобічному стиску. Проте важливо знати діапазон відносної товщини стрижнів та характер їх з'єднання за якого зберігатимуться ці ауксетичні властивості.

**Мета роботи** – знаходження залежностей між геометричними характеристиками порового простору та механічними властивостями матеріалів.

**Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання:**

1. знаходження пружних властивостей матеріалів;
2. знаходження пластичних властивостей матеріалів;
3. аналітичний опис залежностей механічних властивостей і геометричних характеристик структур;
4. оптимізація геометрії структур, що характеризуються від'ємним коефіцієнтом Пуассона.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Вперше було знайдено граничні значення напружень пружного деформування для інверсно-опалового пористого матеріалу з металевою матрицею для всього діапазону схем навантаження. При цьому був охоплений широкий діапазон структури самого інверсного опалу.
2. Вперше для широкого діапазону структури інверсного опалу було знайдено ефективні модулі пружності.
3. Було показано, що ідентифікація пластичної поведінки інверсного опалу невідомої структури за допомогою простого експерименту на одновісне навантаження є коректною тільки у висопористому випадку. В протилежному випадку прогнозована за результатами експерименту на одновісне навантаження величина границі текучості на всебічний стиск дає похибку на 30%.
4. Вперше формула В.В. Скорохода для визначення коефіцієнта Пуассона для пористого матеріалу із нестисливим матеріалом каркасу була застосована для дослідження ауксетичних властивостей просторової періодичної стрижневої структури інверсного бджолиного стільника.

**Достовірність і обґрунтованість результатів, положень та висновків** забезпечується використанням сучасних обчислювальних методів (методу скінченних елементів), регресійного аналізу та аналітичних методів.

**Особистий внесок здобувача.** Основні обчислювальні результати дисертаційної роботи отримані особисто. Особисто проведено літературний пошук та узагальнення отриманих результатів. Постановка задач дослідження, планування обчислювального експерименту та обговорення проводилися під керівництвом наукового керівника д.т.н. М.Б. Штерна та наукового консультанта к.т.н. А.В. Кузьмова.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 5 наукових праць: 4 статті у фахових виданнях, 1 публікація тез доповідей на конференції.

### **За темою дисертації опубліковані наступні роботи:**

1. Кузьмов А.В., Штерн М.Б., Коробко П.О. Моделювання впливу площинних дефектів на пластичність порошкових матеріалів обчислювальними методами мікромеханіки. *Успіхи матеріалознавства.* – 2021. – №3. – С. 77-85. doi.org/10.15407/materials2021.03.077

*Особистий внесок здобувача: обробка літературних даних, опрацювання аналітичних моделей, обробка отриманих результатів моделювання.*

2. Коробко П.О., Кузьмов А.В., Штерн М. Б., Кіркова О. Г. Ефективна пластична поведінка пористих матеріалів зі структурою інверсного опалу. *Успіхи Матеріалознавства.* – 2023. – №6. – С. 32-40. doi.org/10.15407/materials2023.06.032

*Особистий внесок здобувача: опрацювання літературних даних, проведення обчислювального експерименту, обробка отриманих результатів моделювання, підготовка графічних матеріалів.*

3. Коробко П.О., Кузьмов А.В. Ефективні пружні властивості пористих матеріалів зі структурою інверсного опалу. *Наукові Нотатки.* – 2024. – №77. – С. 46-50. doi.org/10.36910/775.24153966.2024.77.7

*Особистий внесок здобувача: переклад тексту іноземною мовою, проведення обчислювального експерименту, обробка отриманих результатів, оформлення статті та формування висновків.*

4. Korobko P.O., Kuzmov A.V. Effective Plastic Properties of Porous Materials with an Inverse Opal Structure. *Powder Metall Met Ceram.* – 2024. – Vol. 62. – Issue 9–10. doi.org/10.1007/s11106-024-00418-4

*Особистий внесок здобувача: опрацювання літературних даних, проведення обчислювального експерименту, обробка отриманих результатів.*

### **Список публікацій, що засвідчують апробацію дисертації на наукових конференціях:**

1. Korobko P., Kuzmov A. Theoretical evaluation of mechanical properties of inverse opal structure. IXth International Samsonov Conference “Materials Science of Refractory Compounds”, May 27-30, 2024, Kyiv, Ukraine. P 32.

*Особистий внесок здобувача: підготовка та переклад тез доповіді, оформлення графічних супроводжуючих матеріалів, очна стендова доповідь (презентація плакату) на конференції.*

**Наукова зрілість здобувача:** Коробко Павло Олександрович закінчив у 2020 році Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за спеціальністю «Прикладна механіка». У 2020 році вступив до аспірантури ІПМ НАНУ. З перших днів роботи в інституті, наукові інтереси Павла стосувалися прогнозування механічних властивостей впорядкованих пористих структур. Під час роботи П. Коробко зарекомендував себе як самостійний, сумлінний та відповідальний дослідник, з хорошою підготовкою в області технічних наук, в особливості в галузі механіки.

### ПОСТАНОВА СЕКЦІЇ:

В результаті обговорення дисертаційної роботи і висновків рецензентів засідання встановило:

1. В дисертаційній роботі Коробка Павла Олександровича проведено дослідження впливу особливостей мезоструктури на ефективні властивості метаматеріалів типу інверсного опалу та інверсного бджолиного стільника, що є опорними даними для подальшого використання в експериментальному дослідженні і розробці матеріалів з прогнозованими механічними та функціональними властивостями. Дисертація є **закінченою науково-дослідною роботою**, яка за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами), та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми ІПМ НАНУ зі спеціальності 132.Матеріалознавство.
2. **Робота рекомендується до захисту на спеціалізованій Вченій раді при Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ України на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13.Механічна інженерія за спеціальністю 132.Матеріалознавство**
3. Рекомендувати Вченій раді ІПМ НАН України затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради: *Вдовиченко Олександр Васильович*, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії акустичних методів дослідження матеріалів Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

Рецензенти:

*Латтєв Анатолій Васильович*, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу термомеханічної обробки матеріалів Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України;

*Толочин Олександр Іванович*, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу термомеханічної обробки матеріалів Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

Офіційні опоненти:

*Куц Володимир Іванович*, доктор фізико-математичних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу комп'ютерного моделювання та механіки композиційних матеріалів Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля;

*Тітов В'ячеслав Андрійович*, доктор технічних наук, професор кафедри технології виробництва літальних апаратів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Голова секції,  
чл.-кор. НАН України, д.т.н.

Остап ЗГАЛАТ-ЛОЗИНСЬКИЙ

Учений секретар,  
к.т.н.

Тетяна ПАВЛИГО