

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Повстяного Олександра Юрійовича** на тему:
**«Багат шарові пористі проникні матеріали з регульованою пористістю з відходів
промислового виробництва»**, поданої
на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство»
Технічні науки (13 Механічна інженерія)

Актуальність обраної теми дисертації

Дисертаційна робота Повстяного О. Ю., що подана до захисту, спрямована на вирішення важливої науково-технічної проблеми в галузі матеріалознавства, що стосується прогнозування структури, технології, експлуатаційних характеристик на етапі створення нових та вдосконаленні існуючих технологій отримання пористих проникних матеріалів із відходів промислового виробництва при використанні чисельних та комп'ютерно-імітаційних моделей в умовах радіально-ізостатичного пресування.

Дисертаційна робота Повстяного О. Ю. пов'язана з виконанням наступних науково-дослідних робіт, які виконувались на замовлення Міністерства освіти та науки України: 1. Використання відходів промислового виробництва для виготовлення деталей конструкційного та триботехнічного призначення за напрямком 04.07 «Економічні порошкові технології в металургії, металообробці та інших галузях виробництва» (номер державної реєстрації № д/р: 0112U00286), 2012 – 2013 р.р.; 2. Розробка технологій одержання матеріалів конструкційного та триботехнічного призначення на основі відходів промислового виробництва» напряму «Матеріали і вироби з порошків; конструкційні, інструментальні, порошкові матеріали зі спеціальними властивостями» (номер державної реєстрації № д/р: 0117U000631), 2017 – 2018 р.р. 3. Дослідження процесів виготовлення виробів конструкційного та триботехнічного призначення з комплексом керованих властивостей» (номер державної реєстрації № д/р 0116U001941), 2016 – 2020 р.р.

Науково-технічні роботи, що виконувались у межах перелічених наукових тем, є свідченням затребуваності науково-дослідних робіт з даного напрямку, і, відповідно, вказують на актуальність дисертаційного дослідження Повстяного О. Ю.

З погляду на основні особливості порошкових матеріалів у процесі їх деформаційної обробки в дисертації автором було узагальнено результати робіт таких вчених, як Я.Е. Бейгельзимер, Л.С. Богінский, В.М. Горохов, Ю.Г. Дорофеев, Б.А. Друянов, Г.М. Жданович, Р.М. Кадушніков, В.М. Капцевич, М.С. Ковальченко, А.Г. Косторнов, І.Ф. Мартинова, В.З. Мідуків, О.В. Михайлов, А.М. Ніколенко, А.М. Лаптев, В.Е. Перельман, Г.Л. Петросян, І.Д. Радомисельский, О.А. Розенберг, О.В. Роман, В.Д. Рудь, Г.Г. Сердюк, В.В. Скороход, М.Б. Штерн, Г.А. Баглюк, Shima S., Oyane M., Green A., R.M. German, H. Kuhn, A. Gurson, P. Doremus, D. Bouvard, A. Cocks, R. McMeeking, A. McMillan та ін.

Як відомо, конкурентоспроможність промислових підприємств формується, зокрема, за рахунок регулювання собівартості продукції. Завдяки сучасним технологічним інноваціям вторинні промислові відходи є цінним додатковим джерелом сировини і матеріалів.

Дисертант Повстяної О. Ю. обґрунтував, що сучасне маловідходне промислове виробництво визначається потребою у створенні нових та вдосконаленні наявних методів отримання, зокрема, пористих проникних матеріалів (ППМ), способами застосування прогресивних технологій пресування порошків. Автор дисертації показав, що, як свідчить вітчизняний та світовий досвід останніх десятиріч, прогнозування, оптимізація та моделювання в порошковій металургії потребують подальшого вдосконалення теоретичних уявлень та їх втілення як нових методів та алгоритмів, що реалізуються за допомогою сучасних комп'ютерно-інформаційних технологій.

Втім вибір оптимальних параметрів технологічного процесу пресування ППМ є вельми складним завданням. Тому, як показав дисертант Повстяної О. Ю., поряд з традиційними

методами досліджень в даний час все більше застосовується метод попереднього комп'ютерного моделювання та прогнозування.

Наведені обставини стали підґрунтям для формулювання дисертантом Повстяним О. Ю. актуальної науково-технічної проблеми, що полягала у одержанні можливості прогнозування структури, технології, експлуатаційних характеристик на етапі створення нових та вдосконаленні існуючих технологій отримання пористих проникних матеріалів із відходів промислового виробництва при використанні чисельних та комп'ютерно-імітаційних моделей в умовах радіально-ізостатичного пресування.

Вирішення сформульованої дисертантом Повстяним О. Ю. науково-технічної проблеми відкриває шляхи одержання виробів конструкційного призначення, у тому числі багатошарових фільтрувальних пористих проникних матеріалів із відходів промислового виробництва (порошку сталі ШХ15) з урахуванням розмірів структурних елементів шихти, встановлення фізичних зв'язків між складовими, будовою та властивостями готових виробів, їх експлуатаційними властивостями.

Наведені факти характеризують тему рецензованої дисертації як актуальну, та підтверджують її відповідність вимогам за ознакою «актуальність обраної теми дисертації».

Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

Обґрунтованість наукових положень дисертаційного дослідження Повстяного О. Ю., їх переконливість, ґрунтовність висновків та рекомендацій, виконаних за результатами роботи, обумовлені використанням для їх одержання великої кількості різнопланових методів досліджень та найсучасного експериментального обладнання. Серед них використовувався системний підхід до теоретичних та експериментальних напрямів досліджень на основі аналізу й узагальнення виконаних розробок з використання матеріалів і технологічних процесів одержання готових виробів. У роботі були використані сучасні методи імітаційного й аналітичного моделювання та експериментальних досліджень. Результати роботи базуються на континуальних уявленнях про поведінку пористих середовищ, використанні нової реологічної моделі пластичності пористого тіла і методів скінчених елементів. При дослідженні процесів пресування пористих порошкових матеріалів (вкладених циліндрів) застосовувався метод моделювання, що поєднує методи дискретних і скінчених елементів. Сухе радіально-ізостатичне пресування та формування фільтрувальних ППМ досліджувалось на оригінальних експериментальних і дослідних установках, які розроблені і виготовлені в Луцькому НТУ.

Достовірність одержаних у дисертаційній роботі результатів, положень, висновків і рекомендацій підтверджено співпадінням результатів, отриманих різними методами (теоретичними і експериментальними), застосуванням сучасного високоточного експериментального обладнання, а також апробацією результатів досліджень в умовах виробництва, про що свідчить затверджена технічна документація, яку наведено у «Додатках» до дисертації.

Результати різнопланових досліджень, що отримані автором з використанням перелічених методів, надали надійну і взаємоузгоджену інформацію про особливості структуроутворення та комплекс властивостей вискоефективних порошкових пористих проникних матеріалів, одержаних за розробленими технологіями, відпрацьованими в процесі виконання дисертації.

Обґрунтовані положення і висновки рецензованої роботи не вступають у протиріччя з фундаментальними основами матеріалознавства, порошкової металургії, металознавства та термічної обробки металів.

Вирішення поставленої науково-технічної проблеми дозволило Повстяному О. Ю. одержати низку нових результатів, що являть собою наукову новизну дисертації. Вважаю за необхідне наголосити на найважливіших положеннях:

1. *Вперше* теоретично обґрунтовано та запропоновано узагальнену модель розподілу густини порошкових середовищ за радіусом пористого тіла (циліндра) під дією зовнішнього радіального навантаження; модель описує як деформацію порошку, так і пористого тіла, при деформуванні якого наявний вказаний опір.

2. На підставі застосування запропонованої моделі та методу обчислень, що на ній базується, *вперше* розглянуто ряд технологічних процесів створення пористих проникних матеріалів з одночасним їх формоутворенням та прогнозуванням властивостей.

3. На підставі розроблених теоретичних уявлень *вперше* розроблено метод комп'ютерного моделювання, що дозволяє не тільки визначити розподіл пористості та інших характеристик порошкового проникного матеріалу, але й встановлювати взаємозв'язок між технологічним режимом їх отримання і експлуатаційними характеристиками.

4. *Вперше* удосконалено методологію розрахунку моделі прогнозування розподілу пор у ППМ на етапі засипання матеріалу у бункер з урахуванням фізичної основи складових компонентів вихідного порошку.

5. На основі теорії пластичного деформування матеріалів, що стискаються, *вперше* розроблена комп'ютерна програма, яка дає можливість визначати розподіл густини по радіусу кожного шару ППМ в різний момент часу деформування.

6. Встановлено та підтверджено комп'ютерним моделюванням, що при пресуванні фільтрувальних елементів циліндричної форми зі збільшенням радіуса ППМ величина пористості зростає.

7. Доведено, що при радіально-ізостатичному пресуванні порошкового фільтрувального елемента складної форми розподіл величин пористості та накопиченої пластичної деформації за об'ємом залежить від схеми ущільнення.

8. *Вперше* розроблена нова методика для нанесення комбінованих покриттів для деталей конструкційного призначення з відходів промислового виробництва, що застосована для пористих проникних матеріалів для підвищення корозійної стійкості.

З моєї точки зору, вищенаведене позитивно характеризує наукові напрацювання дисертанта Повстяного О. Ю. і свідчить про вагомість отриманих результатів та узагальнень, що дозволило автору одержати реальні можливості прогнозування структури, технології, експлуатаційних характеристик на етапі створення нових та вдосконаленні існуючих технологій отримання пористих проникних матеріалів на основі цінних промислових металевих відходів при використанні чисельних та комп'ютерно-імітаційних моделей в умовах радіально-ізостатичного пресування.

Значимість результатів дисертаційної роботи для науки і практики

Наукова та практична значимість дисертації Повстяного О. Ю. полягає в тому, що автор на основі теоретичних та експериментальних досліджень встановив закономірності формування структури пористих проникних матеріалів; виявив та обґрунтував механізми створення багат шарових ППМ з прогнозованою пористістю з керованими експлуатаційними властивостями за рахунок розробки та розв'язання завдань засипання, формування порошкових матеріалів, а також пресування, спікання та нанесення корозійностійкого покриття.

Інноваційний підхід дисертанта дозволив розробити методологію розрахунку моделі випадкових пор у ППМ на стадії засипання матеріалу у бункер з урахуванням фізичної основи складових компонентів для двомірного випадку на базі моделей випадкової узагальненої упаковки. В результаті чого було доведено, що засипку у бункер порошку можна прогнозувати через властивість вихідного матеріалу та визначити через інтегральну характеристику порошкового матеріалу, зокрема діелектричну.

На основі запропонованих розрахунків ілюмінаційної моделі зображення пористої поверхні ППМ, а також методики оцінки параметрів пори автором дисертації апробовано програмне забезпечення для аналізу 3D зображень – Avizo®. Дана методика дозволяє визначити довжину, об'єм пори, а також глибину пороутворення, а оцінка зміни кольору – встановлювати фазовий склад матеріалу ППМ.

Окрім цього автором дисертації розроблено та запропоновано модель пластичного деформування порошково-пористих середовищ, яка, на відміну від існуючих моделей, враховує неоднорідність розподілу густини за радіусом при радіально-ізостатичному пресуванні, коли пористість змінюється на 25% від початкового значення при зміні радіусу циліндричної заготовки ППМ (пустотилого циліндру), що виготовлений методом радіально-ізостатичного пресування.

Мені видається, що вагомим науково-практичним доробком є розроблена нова методика для нанесення комбінованих покриттів для деталей конструкційного призначення з промислових відходів та застосована для пористих проникних матеріалів для підвищення корозійно- та зносостійкості. Порівняльні дані з корозійної стійкості показали, що застосування двохшарових та тришарових фільтрувальних матеріалів на основі порошку ШХ15 для очищення малоагресивних середовищ дало змогу збільшити довговічність фільтруючого матеріалу в 1,5–2,0 рази за рахунок їх покращених властивостей.

Вважаю за необхідне зазначити, що важливим практичним напрацюванням дисертанта є дослідно-виробнича перевірка результатів дисертаційного дослідження, а саме, розробки Повстяного О. Ю. впроваджено у виробництва на Луцькому МПД ДП «Укрспирт» (м. Луцьк) та ТОВ «ВОГ ТРЕЙД» (м. Київ) для очищення технічних рідин та палива від механічних забруднень.

Окрім цього на виробничій базі компанії Ningbo FUTEC Co., Ltd (м. Нінбо, КНР) була виготовлена дослідна партія багатшарових пористих проникних матеріалів. Ефективність нового фільтрувального ППМ порівняно з аналогічними традиційними ППМ склала 82%.

Не менш значущим є те, що на основі результатів досліджень в Інституті нових матеріалів Guangdong Juhang Institute For Advancer Material Co., LTD (провінція Гуандун, КНР) впроваджено партію тришарових ППМ для очищення технічних рідин від механічного забруднювача. Дані ППМ мають коефіцієнт проникності в 3, а ресурс і брудоемність в 1,5 рази вищу у порівнянні з відомими ППМ.

Вищевказане переконливо свідчить про високу наукову та практичну значимість виконаного Повстяним О. Ю. дисертаційного дослідження.

На мою думку різнобічні дослідження, наукові та практичні результати яких представлено у дисертації, відрізняються системністю, коректністю та обґрунтованістю накопиченого фактажу, який отримано із застосуванням сучасних методів досліджень та обладнання, і підтверджених практичною апробацією в умовах промислового виробництва.

Повнота викладу основних результатів дисертації

Основні результати рецензованої дисертаційної роботи Повстяного О. Ю. опубліковані у 49 наукових публікаціях, з них 12 – у журналах, що входять до Переліку наукових фахових видань України в галузі технічних наук, з яких 6 включено до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 2 – у зарубіжному фаховому виданні за напрямком технічних наук, 21 публікацій за матеріалами доповідей на вітчизняних і міжнародних конференціях та симпозіумах. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 2 монографії (у співавторстві), отримано 3 патенти на корисну модель та 3 авторських свідоцтва на твір. Всі надруковані праці за темою дисертації виконані автором особисто та у співавторстві.

Загалом вимоги стосовно повноти публікацій та апробації результатів дисертації Повстяного О. Ю. виконано у повному обсязі.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація Повстяного О. Ю. складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 14,125 друкованих аркушів, з них – 13,54 друкованих аркушів основного тексту; дисертація містить 232 рисунки, 25 таблиць, 5 додатків. Список використаних джерел нараховує 361 найменування.

Вступ дисертації достатньо повно розкриває сутність та сучасний стан науково-технічної проблеми, аргументи, що зумовили її постановку; автором обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, наведено зв'язок роботи з науковою програмою, мету роботи, задачі, об'єкт, предмет і методи досліджень, сформульовано наукову новизну, визначено практичну значимість одержаних результатів, наведено особистий внесок здобувача, апробацію результатів досліджень, публікації за темою дисертації та структуру роботи.

У **першому розділі** дисертант Повстяной О. Ю. докладно висвітлив сучасний стан питання та узагальнення щодо відомих розробок і тенденцій розвитку технологій та процесів засипання, пресування та спікання ППМ, розглянуті методи нанесення захисних покриттів, проведений аналіз наявних математичних моделей процесів фільтрування ППМ та описано пористість через фільтрувальну здатність. Як біло проаналізовано автором дисертації прогнозування

закономірностей формування структури та властивостей матеріалів залежать, передусім, від геометричних факторів часток порошку. Крім того, аналіз сучасних технологічних процесів порошкової металургії показує, що наявність кореляційних зв'язків між складовими, будовою та властивостями забезпечується всіма операціями технологічного процесу, де початковим етапом є заповнення прес-форм порошком, який визначає не тільки розміри, форму, густину, продуктивність, безпеку і культуру праці, але й впливає на ряд найважливіших властивостей готового продукту.

Аналіз літературних джерел показав, що сучасний технологічний прогрес зумовлює необхідність пошуку нових технологічних прийомів і методів, які б дозволили створювати такі структури ППМ, що забезпечать найбільш оптимальне поєднання експлуатаційних характеристик.

Особливу увагу дисертант приділив питанням виготовлення фільтрувальних ППМ, які відповідають сучасним вимогам, і що найбільш раціональною є радіальна схема пресування, яка може бути основою для створення нового виду продукції – багатошарових фільтрів різноманітного призначення.

Як завершення розділу 1, проаналізувавши та узагальнюючи сучасні тенденції створення ППМ, шляхом критичного аналізу дисертантом було зроблено висновок, що на сьогодні виникла необхідність у комплексному дослідженні та розробці науково-практичних принципів прогнозування, моделювання, розробки структури та властивостей ППМ. Це підтверджується необхідністю та своєчасністю розробки концептуальних підходів та технологічних принципів управління процесами створення ППМ з відходів промислового виробництва.

Таким чином здобувач Повстяной О. Ю. концентрується на головному напрямку дисертаційного дослідження і на шляхах вирішення поставлених завдань.

Мені видається, що глибокий аналіз літературних вітчизняних і закордонних джерел інформації та наступні узагальнення аналітичних даних, що виконані шляхом критичного аналізу, дозволили здобувачеві Повстяному О. Ю. переконливо обґрунтувати доцільність виконання досліджень з означеної теми, визначити мету і завдання роботи та окреслити шляхи їх реалізації.

У другому розділі дисертації здобувач Повстяной О. Ю. висвітлює узагальнену методологію виконання дисертаційної роботи. Автором сформовано методологічний підхід до виконання досліджень, який дозволив визначити послідовність проведення експериментів, спрямованих на досягнення сформульованої мети роботи.

У даному розділі подається опис використаних в роботі матеріалів. Так, вихідним матеріалом у дослідженнях був шліфувальний шлам сталі ШХ15, що утворюється після механічної обробки кілець та роликів підшипників в умовах ПАТ „SKF – Україна”.

Надалі у розділі 2 автор подає описи методик і відповідного обладнання для досліджень характеру розвиненості поверхонь частинок, гранулометричного складу та інших технологічних властивостей порошку.

Важливою частиною розділу 2 дисертації є висвітлення об'єктів комп'ютерного металографічного аналізу, якими були зображення пористих тіл, отриманих за допомогою рентгенівського мікроскопу, що укомплектований системами для отримання зображень на просвіт і відображення, у світлому і темному полі зору, і підключеною до нього цифровою фотокамерою, яка забезпечує високу роздільну здатність цифрової фотографії.

Також в цьому розділі дисертант подає детальну інформацію про обладнання і методику отримання фільтруючих ППМ на основі шліф-відходів сталі ШХ15 сухим радіально-ізостатичним пресуванням, зосереджуючись на такому важливому питанні як консолідація ППМ на етапі формування заготовок, що має вирішальний вплив на якість і економічні показники виробів з порошку.

Для цієї мети автором була спроектована вдосконалена установка для пресування ущільнювальних матеріалів різної природи: металеві і керамічні порошки, графіт, волокнисті матеріали, дріт, сітка тощо.

Окрім цього в розділі 2 дисертант Повстяной О. Ю. також подає обґрунтування матеріалів і методів нанесення захисних покриттів для ППМ.

Для цього здобувач дає окремий опис матеріалів і методів нанесення електродугових алюмінієвих покриттів на метали для їх подальшого оксидування, та методику формування оксидокерамічних шарів на металах.

Дисертант детально висвітлює особливості методики і апаратного забезпечення для нанесення захисного корозійностійкого покриття, та вказує, що покриття синтезовано на легких сплавах Al, Mg, Ti і на алюмінієвих покриттях, отриманих методом електродугового напилення за визначеними технологічними режимами.

Окремо необхідно відзначити методологічне забезпечення для оцінки структурно-морфологічних характеристик матеріалів, що розглядаються автором дисертаційної роботи.

Зокрема, справляє позитивне враження розробка методики виконання металографічних досліджень, де розглядаються теоретичні передумови для розробки алгоритму, який дозволяє використовувати кольорові ознаки зображень мікрошліфів матеріалів, та модель і алгоритм власне обробки отриманих кольорових зображень пористих проникних матеріалів.

Підсумовуючи відомості, що представлені у розділі 2, слід зазначити, що автором дисертації обґрунтовано та скомпоновано комплексну методику розгалужених теоретичних і експериментальних досліджень, що має у своєму складі низку найсучасних тонких, стандартних та оригінальних методів досліджень з використанням різноманітного експериментального устаткування.

З моєї точки зору, даний розділ дисертації Повстяного О. Ю. є надзвичайно значущим розділом, який розкриває обґрунтований напрям досліджень та методи вирішення задач, поставлених у роботі.

Вказане демонструє послідовний та системний підхід автора до вирішення важливої науково-технічної проблеми, що поставлена у дисертації.

Застосований в дисертаційній роботі комплексний підхід до проведення досліджень з використанням сучасних апробованих методик і обладнання для проведення експериментів, технологічного контролю процесів виготовлення матеріалів і нанесення захисних покриттів, точної обробки експериментальних даних підвищив достовірність отриманих результатів досліджень.

На мою думку, сформована дисертантом Повстяним О. Ю. методика проведення всебічних досліджень, що викладена у розділі 2, забезпечила одержання достовірних та коректних результатів.

Вважаю, що загалом даний розділ дисертації Повстяного О. Ю. свідчить про логічні та чіткі напрямки реалізації поставленої мети роботи, та підтверджує здатність автора ставити і послідовно розв'язувати складні наукові завдання, застосовувати найсучасніші методики та обладнання, співставляти і аналізувати одержані результати, робити на їх основі коректні висновки, що демонструє системний підхід до вирішення складних задач.

У третьому розділі дисертації здобувач Повстяной О. Ю. зосереджується на моделюванні процесів радіально-ізостатичного пресування пористих проникних матеріалів на основі шліфувальних відходів.

Як показав автор, методи моделювання невизначеності геометрії впливають на міцність складових компонентів, які знаходяться на початковій стадії заповнення, але моделювання випадкового розміщення порошку на стадії засипання у бункер з урахуванням фізичних параметрів складових повністю не була досліджена.

Дисертантом було визначено, що розробка методології моделювання розрахунку реальної засипки у форму ППІМ, яка представляє більш реалістичний рівень гетерогенності, є основою для виявлення фізичної поведінки порошку на стадії засипання для більшості випадків, які в даний час визначаються як емпірично, так і характеризується реальними експериментами.

Далі у розділі 3 здобувач концентрує увагу на розробці нової методики розрахунку фізичних параметрів, які закладаються для дослідження реальних упаковок (двомірний випадок). Автором визначено інтегральні характеристики вихідного матеріалу (порошку сталі ШХ15) такі, як наприклад, діелектрична проникність.

Було розроблено комп'ютерну модель і також в цьому розділі 3 автор наводить приклади візуалізації засипки згідно розробленої комп'ютерно-імітаційної моделі.

Для перевірки розрахункових значень, автором дисертації проводилась серія експериментів для циліндричних зразків ППМ $\varnothing 40$ мм і $h=220$ мм з різними комбінаціями відсоткового вмісту вихідних компонентів. Після проведення ряду досліджень структурно-неоднорідних матеріалів дисертантом були одержані результати основних технічних параметрів реального засипання порошку.

Слід підкреслити, що застосовуючи системний підхід до вирішення поставлених завдань, дисертант Повстяной О. Ю. одержав взаємоузгоджені результати теоретичних і експериментальних досліджень, що підкреслює достовірність отриманих даних.

Далі в розділі 3 автор зосереджується на розробці системи моделювання параметричного проектування установок для сухого радіально-ізостатичного пресування, та ілюструє установку на відповідних рисунках.

Як показав здобувач, розроблені та наявні технології не вирішують проблему виготовлення ППМ виробів з оптимальним поєднанням структурних характеристик та фізико-хімічними властивостями. При цьому важливо керувати якістю виробів, механізувати й автоматизувати процеси пресування, устаткування та інструменту, прогнозуючи їх властивості на початковій стадії формування.

Для досягнення цього автор використав континуальну теорію пластичності пористого тіла. Далі було отримано результат, який має відносно простий аналітичний вигляд, що дозволяє аналізувати фактори неоднорідності розподілу густини. А саме, як показав автор, з теоретичних розрахунків та проведеного практичного дослідження пористість змінюється при зміні радіусу циліндричної заготовки ППМ (пустотілого циліндру), який виготовлений методом радіально-ізостатичного пресування. При цьому був отриманий результат, який має аналітичний вигляд і дозволяє аналізувати фактори, що сприяють неоднорідності розподілу густини – радіальні та осові напруження.

Окрім цього дисертантом було розроблено нове програмне забезпечення, яке дало змогу моделювати процес радіально-ізостатичного пресування зі заданою пористістю ППМ. За результатами розрахунків був визначений розподіл пористості та радіальної швидкості при моделюванні радіально-ізостатичного пресування багатошарового ППМ. Автор дисертації визначив, що радіальна швидкість дає можливість керувати розподілом пористості у багатошаровому ППМ та дозволяє аналізувати фактори, які сприяють неоднорідності розподілу густини.

На наступному етапі виконання роботи автором вивчено проблему напилення захисного покриття на ППМ та розроблено нове програмне забезпечення, яке моделює та досліджує процес нанесення на деталь захисного покриття, що значно скорочує витрати часу на обчислення.

На мій погляд, одержані результати являють собою надзвичайно важливий фактичний матеріал з погляду отримання високоякісних пористих матеріалів і виробів з них.

Мені видається, що наведені у даному розділі результати та зроблені висновки показують цінність отриманого фактажу і ґрунтовних висновків не тільки у науковому, але і у прикладному плані, коли стає можливим цілеспрямовано формувати структуру пористих проникних матеріалів та прогнозувати їх функціональні характеристики.

Четвертий розділ дисертації Повстяного О. Ю. розкриває результати досліджень технологічних процесів отримання ППМ на основі відходів промислового виробництва з елементами комп'ютерного моделювання.

Було показано, що технологічні параметри процесу пресування визначають розміри, форму, а також розподіл властивостей за об'ємом виробів, що, в свою чергу, впливає на експлуатаційні властивості виробів з ППМ, а саме, фільтрів.

Дисертант обґрунтував, що оскільки вибір оптимальних параметрів процесу пресування є складним завданням, поряд з традиційними методами досліджень, був застосований метод попереднього комп'ютерного моделювання.

Для здійснення моделювання автором було використано континуальний підхід. Як визначальні рівняння здобувач використав рівняння теорії пластичності пористого тіла. Визначення форми заготовки, що ущільнюється, а також полів щільності, напруг і деформацій було виконано на основі методу скінченних елементів.

Проведене автором моделювання процесу пресування при ущільненні ППМ на основі відходів сталі ШХ15 показало, що характер розподілення густини по контуру пресовки не змінюється. Це свідчить про визначальну роль характеристик матеріалу деформуючого інструменту в процесі пресування, що забезпечує рівномірність розподілу густини по об'єму.

Не менш важливим, на мою думку, було обґрунтування вибору і проведення досліджень із застосування СВС-процесу для консолідації ППМ. Дисертант Повстяной О. Ю. дослідив особливості СВС-методу, визначив технологічні параметри процесу, встановив найраціональніші співвідношення вихідних компонентів шихти – порошоків Ti, C і сталі ШХ15 для одержання високих результатів. У процесі експериментів автором було показано, що після СВС-процесу ППМ мають достатньо високі властивості, а саме, вловлюють механічні домішки дисперсністю 15-500 мкм, ефективність очищення повітряно-газових сумішей не менше 98%, ефективність очищення емульсії і води не менше 95%, продуктивність по воді і емульсії від 1л/год., по мастильних речовинах – 0,5-200 л/год., безперервність роботи (до регенерації) не менше 30 год., а термін роботи складає не менше 1 року (профілактика виконується методом регенерації).

Окрім цього дисертантом Повстяним О. Ю. були виконані різнопланові дослідження з нанесення корозійностійкого захисного електрометалізаційного покриття на деталях конструкційного призначення та був запропонований метод вакуумно-дугового напилення та плазмоелектролітного оксидування. В результаті експериментів автором було встановлено, що властивості нанесених покриттів визначаються складом електроліту і режимами процесу, що було проілюстровано у розділі 4 дисертації.

На мою думку значущим також було відпрацювання нової технології нанесення корозійностійкого захисного покриття на ППМ.

Як встановив дисертант Повстяной О. Ю., синтез ОКП на цирконієвому сплаву у електроліті з вмістом 10 г/л КОН та 15 г/л рідкого скла і співвідношенні $I_a/I_c = 20/20$ забезпечує формування покриття ППМ високої мікротвердості (16 ГПа).

Не менш значущим результатом досліджень автора дисертації Повстяного О. Ю., представленим у розділі 4, є запропонований високоефективний спосіб підвищення міцності та корозійної стійкості фільтруючих ППМ, що полягає у застосуванні процесу хромоалітування.

Порівняльні дані по зносостійкості показали, що застосування двошарових і трьохшарових фільтруючих матеріалів на основі порошоків-відходів сталі ШХ15 та пороутворювача для очищення малоагресивних середовищ дозволило істотно збільшити довговічність фільтрів. Це було досягнуто завдяки покращенню властивостей, а саме, високої хімічної стійкості, механічної міцності, рівномірному розподілу пор вздовж всієї поверхні фільтрації, підвищеної проникності та брудоемності, забезпечення об'ємного фільтрування та можливості регенерації.

Як було переконливо показано у дисертаційній роботі, застосування даного способу дозволило збільшити тривалість експлуатації фільтруючого ППМ у 1,5–2,0 рази, що є надзвичайно важливим і цінним практичним результатом.

Представлений дисертантом аналіз результатів показує, що цей розділ дисертації Повстяного О. Ю. займає одну з ключових позицій з погляду не тільки наукової цінності доробку автора, але і з точки зору рекомендацій виробникам та розробникам нових ефективних технологій.

П'ятий розділ дисертації Повстяного О. Ю. присвячений висвітленню результатів комплексних досліджень властивостей фільтруючих ППМ, одержаних з відходів промислового виробництва.

Для дослідження структурних властивостей ППМ автором було апробовано програмне забезпечення для аналізу 3D зображень – Avizo®. Ця методика дозволяє визначити довжину, об'єм пори, а також глибину пороутворення, а оцінка зміни кольору дозволяє встановлювати фазовий склад матеріалу ППМ.

З метою реалізації завдань металографічного аналізу здобувач Повстяной О. Ю. виконав статистичну обробку отриманих у процесі вимірювань характеристик об'єктів, визначив середні значення цих величин, а також побудував графічні залежності для візуалізації процесу аналізу.

Дисертант проілюстрував, що утворення 3D-зображення за допомогою програмного середовища Avizo® здійснюється через накладання плоских поперечних розрізів відповідного діапазону за висотою готового пористого проникного матеріалу.

Окрім цього обробка 3D зображень ППМ дала змогу визначити лінійні розміри і зв'язки між частинами зрізу шліфу ППМ за допомогою Avizo®, виявити основні структурні характеристики ППМ, встановити розподіл зміни пористості вздовж перерізу ППМ та продемонструвати її нерівномірний характер.

Як показав дисертант, 3D-реконструкція та виконаний морфологічний аналіз ППМ дозволили визначити середнє значення відносної пористості у об'ємі, яка становила 0,687.

В результаті досліджень автор зробив важливий підсумок, що фізичні основи проходження рідини через пористий матеріал, які керують рухом в'язких рідин у звичайних вільних каналах, виражаються рівнянням класичної гідродинаміки Стокс-Нав'є.

Далі увага автора дисертації була зосереджена на дослідженнях проникності ППМ як експериментальними методами, так і методами моделювання. Як результат було показано, що розподіл частинок забруднювача за розмірами не суттєво впливає на такі характеристики, як розмір пор, коефіцієнт проникності та пористість. Це дало змогу автору дійти висновку про високу ефективність використання фільтруючих матеріалів на основі промислових відходів, особливо у випадку багатошарових градієнтних фільтрів.

Дуже важливим результатом є факт, що в при значеннях пористості ППМ величини параметрів тиску і швидкості газу зменшуються, а значення температури залишається незмінним. Дисертант показав, що продуктивність фільтрації води та газу ППМ з пористістю 25-55% за різних перепадів тиску складає відповідно до 10 і до 40, та при цьому міцність на згин є більшою за 5 МПа.

Проведене автором моделювання міцності ППМ показало, що чим далі від зони закріплення ППМ діє навантажувальне середовище (вода, повітря, газ), тим більший тиск створюється у ППМ.

Окрім цього не менш важливими були проведені автором дослідження корозійної стійкості ППМ, результати яких також представлено у розділі 5.

Здобувач Повстяной О. Ю. показав, що кращу корозійну стійкість мають покриття, що синтезовані у електролітах більшої концентрації. Причому, як встановив автор, введення в електроліт пероксиду водню підвищує опір корозії матеріалу, а додавання оксиду хрому значно знижує корозійну стійкість.

Виконані здобувачем експериментальні дослідження дозволи дійти висновку, що найбільшої корозійної стійкості можна досягти, виконуючи синтез покриття у електроліті складу: 10 г/л КОН+15 г/л рідкого скла за високих величин густини струму.

Встановлений автором дисертації фактаж перекоонує у важливості отриманих результатів і висновків не тільки у науковому, але й у прикладному плані, що дозволяє позитивно охарактеризувати дисертанта Повстяного О. Ю. як ретельного науковця, який чітко окреслює та успішно вирішує найскладніші наукові завдання і реалізує їх на практиці.

Мені видається, що наведені у даному розділі дисертації результати ілюструють такий важливий і невід'ємний бік роботи, як практичне значення напрацювань здобувача Повстяного О. Ю.

У додатках до дисертації, що рецензується, представлено затверджену технічну документацію, яка підтверджує застосування наукових напрацювань на практиці, це, насамперед, акти впровадження результатів дисертаційної роботи на Луцькому МПД ДП «Укрспирт» (м. Луцьк) від 01.08.2019 р.; у ТОВ «ВОГ ТРЕЙД» (м. Київ), акт від 26.11.2019 р.; результати роботи було апробовано на виробничій базі компанії Ningbo FUTEC Co., Ltd (м. Нінбо, КНР), акт від 10.09.2019 р. та впроваджено в Інституті нових матеріалів Guangdong Juhang Institute For Advancer Material Co., LTD (провінція Гуандун, КНР), акт від 02.09.2019 р.

Зауваження по дисертаційній роботі

Окрім викладених вище позитивних якостей рецензованої дисертації Повстяного О. Ю. слід зробити наступні зауваження по роботі:

1. На жаль, у п. 6 і 7 рубрики «Наукова новизна одержаних результатів», не вказано ступінь новизни отриманих результатів (чи то вперше, чи дістало подальшого розвитку тощо). Це - надзвичайно важливий доробок дисертанта щодо встановлення та підтвердження шляхом комп'ютерного моделювання, що при пресуванні фільтрувальних елементів циліндричної форми зі збільшенням радіуса ППМ величина пористості зростає. Не менш важливий результат

напрацювання автора, що при радіально-ізостатичному пресуванні порошкового фільтрувального елемента складної форми розподіл величин пористості та накопиченої пластичної деформації за об'ємом залежить від схеми ущільнення.

Однак відсутність ступеню новизни не дозволяє оцінити пріоритетність одержаних дисертантом важливих результатів.

2. У розділі 2 дисертації і у авторефераті автор подає характеристику об'єкту досліджень.

Втім, на жаль, у тексті нема детального обґрунтування вибору об'єкту досліджень, його порівняння з іншими, більш легковими шліфувальними відходами, які позитивні якості сталі ШХ15 були підставою для її обрання, чому саме цей об'єкт є найдоцільнішим. Натомість дисертант більш детально обґрунтовує вибір пороутворювача карбаміду $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

3. Також у розділі 2 автор вказує, що вихідним матеріалом були шламові промислові відходи сталі ШХ15, що виникають при механічній обробці, зокрема, при шліфуванні підшипників.

У той же час відомо, і що було справедливо відмічено дисертантом, шліфувальні відходи, які утворюються на операціях шліфування литого металу, завжди забруднені. Насамперед, вони є дуже окисненими, що різко знижує властивості порошку, і тому шліф-відходи потребують відновлення від надлишкового кисню. Окрім цього шліфувальні відходи забруднені абразивними частинками від шліфувального круга. І також потребують додаткового очищення від абразиву перш, ніж з них будуть виготовлятися вироби.

На жаль автор дисертації не висвітлив хоча б у стислому вигляді питання регенерації і попередньої технологічної підготовки вихідного порошку сталі ШХ15 для подальших досліджень, обмежившись згадуванням на С. 70 дисертації про «технологічну схему утилізації підшипникового шламу» з посиланням на джерела [159, 160].

Окрім цього, на жаль, висновки до розділу 2 носять загальний реферативний характер без належного стислого викладення основних значущих аспектів такого важливого розділу як методологічне забезпечення дисертаційної роботи.

4. У розділі 4 на С. 185 дисертації здобувач зазначає, що на основі проведених досліджень встановлені оптимальні параметри процесу синтезу і складу електролітів для отримання ОКП з визначеними властивостями. Проте, на жаль, не обґрунтовано що було критерієм оптимізації як для режимів синтезу, так і для складів електролітів.

5. На рис. 4.37-4.39 розділу 4 представлено залежність товщини покриттів t від часу їх формування τ в електролітах різного складу. Залишилось незрозумілим як виконувалась обробка одержаних експериментальних результатів, як отримувались конкретні точки на графіках, що з'єднані прямими лініями?

Та, на жаль, використовується досить «вільна» термінологія щодо зміни товщини покриттів з часом. Так, автор неодноразово використовує словосполучення «покриття росте», натомість має бути словосполучення «покриття збільшується». Це ж стосується підписуноків підписів вище згаданих рисунків.

6. У розділі 4 дисертації у п. 4.2 дисертант переконливо обґрунтовує застосування саморозповсюджуючого високотемпературного синтезу (СВС) для консолідації ППМ на основі відходів сталі ШХ15 і подає надзвичайно важливий отриманий фактаж цього дослідження.

Втім чомусь у авторефераті таким цінним і важливим результатам приділено не достатньо уваги щодо режимів СВС-процесу, концентраційних співвідношень порошків Ti , C і ШХ15, опису процесу горіння тощо, а лише представлено кінцевий вигляд заготовок після застосування СВС-процесу (рис. 27 автореферату, рис. 4.29 дисертації).

7. Дисертант приділив значну увагу питанням нанесення і подальшого дослідження захисних покриттів на вироби конструкційного призначення та ППМ з відходів сталі ШХ15 (п. 4.3, 4.4. дисертації, С. 25-27 автореферату).

Проте, на мій погляд, було б доцільним висвітлити дослідження міцності зчеплення нанесених покриттів з основним матеріалом, оскільки цей параметр суттєво впливає на довговічність виробу і його здатність відповідати функціональному призначенню.

8. У розділі 5 дисертант представив результати визначення границі міцності ППМ за допомогою методів моделювання, що є важливим для оцінювання фізико-механічних характеристик виробів.

Проте наведення автором експериментальних даних щодо межі міцності ППМ та порівняння і співставлення їх з результатами моделювання значно підсилило би цю частину роботи і підтвердило достовірність результатів, що одержані різними методами – і теоретичними, і експериментальними.

9. Автором дисертації було розроблено і виготовлено ППМ з промислових відходів сталі ШХ15, які є придатними для очищення технічних рідин та газів, що підвищило ефективність використання виробів.

Втім, на жаль, в роботі не показано чи можна розповсюджувати одержані автором результати досліджень для одержання ППМ на основі інших марок сталей з промислових шламових відходів.

10. Дуже важливим у роботі є практичне значення результатів наукових досліджень, а саме, дисертант надає відомості щодо впровадження та дослідно-виробничої перевірки результатів дисертаційної роботи на ряді підприємств України і у закордонних установах, про що свідчать відповідні акти, наведені у Додатках.

Це дуже важливий технічний ефект, який досягнуто завдяки використанню наукових напрацювань дисертанта для практичних цілей.

Втім, на жаль, у дисертації відсутній розрахований економічний ефект (реальний або очікуваний) від впровадження розробок, який би мав підтвердити одержану при впровадженні величину технічного ефекту.

11. На жаль, у англійській анотації дисертації присутні стилістичні помилки, насамперед, пов'язані з порядком слів у англійській мові.

Загальні висновки по дисертації

Дисертація Повстяного О. Ю. є завершеною науковою працею, при виконанні якої були одержані нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують актуальну науково-технічну проблему - розробку, отримання та застосування багатошарових пористих проникних матеріалів з відходів промислового виробництва з керованими функціональними та технологічними характеристиками шляхом прогнозування складу, структури і властивостей.

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у наукових фахових і міжнародних виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science, закордонному фаховому виданні за напрямком технічних наук і широко апробовані на вітчизняних, міжнародних конференціях та симпозіумах.

Матеріали і напрацювання, що входили до кандидатської дисертації Повстяного О. Ю., не використовуються у представлений докторській дисертації.

Зміст автореферату дисертаційної роботи Повстяного О. Ю. є ідентичним до основних положень дисертації.

Вважаю, що дисертаційна робота «Багатошарові пористі проникні матеріали з регульованою пористістю з відходів промислового виробництва» повністю відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – «Матеріалознавство» та вимогам п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567, щодо докторських дисертацій, а її автор – **Повстяной Олександр Юрійович** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за означеною спеціальністю.

Офіційний опонент,
професор, доктор технічних наук,
в. о. зав. кафедри технології поліграфічного виробництва
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

 Т. А. Роїк

Підпис професора, д.т.н. Т. А. Роїк засвідчую:
Вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського



В. В. Холявко