

До спеціалізованої вченої ради
Д26.207.03 в Інституті проблем
матеріалознавства ім. І.М.Францевича
НАН України

В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертацію ПОВСТЯНОГО Олександра Юрійовича «**БАГАТОШАРОВІ ПОРИСТІ ПРОНИКНІ МАТЕРІАЛИ З РЕГУЛЬОВАНОЮ ПОРИСТІСТЮ З ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА**», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Актуальність дисертації роботи.

За допомогою створення сучасних моделей деформування порошкових середовищ проблеми пресування пористих середовищ можливо вирішувати із використанням комп'ютерного матеріалознавства, яке дозволяє оптимізувати технологію отримання пористих проникних матеріалів. Це стало можливим завдяки істотному прогресу в розумінні основних особливостей поведінки порошкових матеріалів в процесі їх ущільнення, створення відповідних математичних моделей. Проведення теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих на отримання виробів конструкційного призначення, у тому числі багатошарових фільтрувальних пористих проникних матеріалів з урахуванням розмірів структурних елементів шихти, встановлення фізичних зв'язків між складовими, будовою та експлуатаційними властивостями готового виробу, є безумовно актуальною науковою проблемою матеріалознавства.

Мета роботи полягає у вирішенні важливої науково-прикладної 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.

Достовірність отриманих результатів експериментальних досліджень ґрунтується на використанні сучасних методик випробувань матеріалів та теоретичних дослідженнях виконаних сучасними математичними методами. Результати теоретичних та експериментальних досліджень, одержаних автором, узгоджуються якісно та кількісно.

Наукова новизна одержаних результатів. Автор теоретично обґрунтував і практично довів наступне:

1. Вперше теоретично обґрунтовано та запропоновано узагальнену модель розподілу густини порошкових середовищ за радіусом пористого тіла (циліндра) під дією зовнішнього радіального навантаження; модель враховує як деформацію порошку, так і пористого тіла;
2. На підставі застосування запропонованої моделі та методу обчислень, що на ній базується, вперше розглянуто ряд технологічних процесів ущільнення пористих

проникних матеріалів радіально-ізостатичним пресуванням та прогнозування їх властивостей;

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

4. Вперше удосконалено методологію розрахунку моделі прогнозування розподілу пор у ППМ на етапі засипки матеріалу у бункер з урахуванням гранулометричних властивостей 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;

Практичне значення одержаних результатів.

Автором дисертаційно роботи запропоновано модель пластичності порошкових і пористих середовищ, що може бути використана при дослідженні різних схем деформування, розробці нових і оптимізації наявних технологічних процесів одержання порошкових виробів. Розроблено новий спосіб отримання фільтрувального матеріалу (свідоцтво №100743) з регульованою пористістю для очищення технічних рідин та газів залежно від умов експлуатації. Розроблено комп'ютерні програми «Моделювання пресування одношарових фільтрів (Фільтр 1)» (свідоцтво №68843) та «Моделювання пресування багатошарових фільтрів (Фільтр N)» (свідоцтво №68842), що дозволяють описувати та прогнозувати процес пресування одношарових та багатошарових порошкових проникних матеріалів із потрібною пористістю, отримані методом сухого радіально-ізостатичного пресування. Результати комп'ютерного моделювання і встановлені закономірності пресування пористих заготовок були використані при одержанні багатошарових ППМ, виготовлених методом радіально-ізостатичного пресування у Луцькому національному технічному університеті. Результати роботи використані в університетському курсі лекцій дисципліни «Маловідходні технології в машинобудуванні» Луцького НТУ та Національного університету харчових технологій (м. Київ). Основні результати роботи 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. Використання розроблених одношарових фільтрувальних ППМ із порошку сталі ШХ15, отриманих методом радіально-ізостатичного пресування, підвищує рівномірність поророзподілу фільтрувальних матеріалів на 20-30% і збільшує проникливість на 15-20% порівняно з аналогічними традиційними фільтрувальними матеріалами. На виробничій базі компанії Ningbo FUTEC Co.,

Ltd (м. Нінбо, КНР) була виготовлена дослідна партія дво- та тришарових пористих проникних матеріалів (фільтрів) з порошку сталі ШХ15 методом радіально-ізостатичного пресування. Підтверджено збільшення ефективності нового фільтрувального ППМ порівняно з одношаровими ППМ на 82%.

Повнота опублікування результатів дослідження

Результати дисертаційної роботи 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 - тези доповідей на вітчизняних, міжнародних конференціях та симпозиумах. За матеріалами дисертаційної роботи написано та 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.

Структура і обсяг роботи.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку цитованих літературних джерел з 361 найменувань. Повний обсяг роботи становить 21,125 друкованих аркушів, з них – 20.06 друкованих аркушів основного тексту; дисертація містить 189 рисунки, 55 таблиць та 5 додатків.

Зміст автореферату відповідає основним результатам, положенням й підсумковим висновкам, що наведені в дисертаційній роботі. Обсяг та стиль викладення матеріалу, поданого в авторефераті, повністю відображають зміст дисертації.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, відображені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі роботи розглянуто сучасний стан та розвиток 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.

За результатами критичного аналізу літературних джерел визначені основні задачі теоретичних і експериментальних досліджень.

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, але й впливає на ряд найважливіших властивостей готового продукту. Початковою стадією технології порошкової металургії є засипання – упаковка з досить низькою густиною, важливим саме є моделювання нещільної упаковки сферичних частинок.

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. Для отримання фільтрувальних ППМ було спроектовано та виготовлено нову установку для пресування ущільнювальних матеріалів різного роду: металічні та керамічні порошки, графіт, волокна, дріт, сітка, тощо .

Показано, що при виготовленні фільтрувальних ППМ, які відповідають сучасним вимогам, найбільш раціональною є радіальна схема пресування, і вона може бути основою для створення нового виду продукції – багатошарових фільтрів різноманітного призначення. Була розроблена технологія пресування методом СР-ІІ з наступним спіканням за допомогою саморозповсюджувального високотемпературного синтезу. Для приготування суміші вихідними компонентами є порошок титану марки ПТС-1, сажа та порошок сталі ШХ15 після додаткової обробки у кульовому млині. Поєднання $Ti+C+ШХ15$ вибране із міркувань підвищення швидкості СВС спікання з метою отримання анізотропних властивостей ППМ з пористою структурою. Оптимальний тиск при СР-ІІ, з точки зору формуємості, для суміші $Ti+C+ШХ15$ становив $P = 140 \dots 160$ МПа.

У другому розділі наведено характеристику вихідних матеріалів,. Початковий матеріал – шліфувальний шлам сталі ШХ15, що утворюється після механічної обробки кілець та роликів підшипників. Отриманий високоякісний металевий порошок з частинками регулярної форми та розмірів для отримання ППМ. Характер розвиненості поверхонь частинок та розподіл структурних складових в об'ємі матеріалу автор досліджував на модульному комплексі Dimic 1000 з оптичною 3D-системою контролю.

Гранулометричний склад порошку досліджено методом ситового аналізу. Насипну густину порошку автор визначав у відповідності з ДСТУ 19440–94. Пікнометричну густину порошку визначали відповідно до загальноприйнятої методики у пікнометрі у середовищі толуола. Текучість порошку визначали за методикою передбаченою ДСТУ 20899–75, і порівнювали з текучістю порошку ПЖ–3М ГОСТ 26802–86, що визначалася за цією ж методикою. Ця характеристика оцінюється за густиною пресовок, що виготовляються при тиску пресування 200–800 МПа у циліндричній прес-формі. Випробування проводилися на гідравлічному вібростолі. Захисне корозійностійке покриття наносили методом розпилення електродних дротів за допомогою електродугового металізатора ЕМ-17 із модифікованою системою розпилювання, за якої електрична дуга горить в каналі розпилювальної головки, що давав змогу отримувати дрібнодисперсні покриття з концентрованого потоку металоповітряної суміші. Оксидокерамічні покриття синтезовано на легких сплавах Al, Mg, Ti і на алюмінієвих покриттях, отриманих методом електродугового напилення. Гальванічні покриття формували в катодно-анодному режимі імпульсним струмом густиною 20 А/дм² у електроліті за співвідношеннями струмів катоду та аноду, рівними 1 і 1,5.

Об'єктами металографічного аналізу були зображення пористих тіл, отриманих за допомогою рентгенівського мікроскопу, який укомплектований системами для отримання зображень. Застосований 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.

Третій розділ роботи присвячено моделюванню процесів радіально-ізостатичного пресування пористих матеріалів. 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. Розробка методології моделювання розрахунку реальної засипки у форму ППМ, яка представляє більш реалістичний рівень гетерогенності, і 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. Розроблена нова методика розрахунку фізичних параметрів, які закладаються для дослідження реальних упаковок (двовірний випадок). На підставі дослідження структурно-неоднорідних матеріалів отримані основні технічні параметри реальної засипки порошку. Об'єктно-орієнтована САПр, механізм параметризації якої реалізований для використання системи параметричного креслення і моделювання T-FLEX CAD та Pro/ENGINEER, що стали основою для розробки системи моделювання параметричного проектування установок для сухого радіально-ізостатичного пресування.

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 використаємо континуальну теорію пластичності пористого тіла. Далі отримано результат, який має відносно простий аналітичний вигляд, що дозволить аналізувати фактори неоднорідності розподілу густини.

Геометричну модель заготовки ППМ у вигляді пустотілого циліндру, який перебуває під дією радіального обтиснення, яке прикладене на його зовнішній поверхні. Розв'язок здійснювався у двох етапах. На першому з них – поле густини приймається однорідним, але реально воно розподілено неоднорідно. Щоб цю неоднорідність визначити, необхідно описати поверхню навантаження рівняннями деформацій. Параметр α визначили із експерименту на всебічному стиску, апроксимуючи криву «тиск–пористість». Автором був отриманий результат в аналітичному вигляді, що дозволяє аналізувати фактори, що сприяють неоднорідності розподілу густини, зокрема, радіальні та осьові напруження.

За даною методикою було розроблено нове програмне забезпечення, яке дало змогу змоделювати процес радіально-ізостатичного пресування зі заданою пористістю ППМ. Визначений за результатами таких розрахунків розподіл пористості та радіальної швидкості при моделюванні радіально-ізостатичного пресування багатошарового ППМ. Радіальна швидкість дає можливість керувати розподілом пористості у багатошаровому ППМ та дозволяє аналізувати фактори, які сприяють неоднорідності розподілу густини. Процес ущільнення протікає аналогічно процесу накопичення деформацій. На ділянках ППМ, які розташовані ближче зовнішньої поверхні (останні шари), спостерігається збільшення

пористості. Вивчено вплив густини на розподіл пористості ППМ. Система використовується для розрахунку оптимізації процесів отримання фільтрів на основі порошкових матеріалів при радіально-ізостатичному пресуванні. Наявність протитиску підвищує загальний рівень накопиченої деформації та приводить до більш рівномірного її розподілу. При цьому підвищується рівень накопиченої деформації в областях, розташованих біля вісі стрижня капсули.

У четвертому розділі показані технологічні процеси отримання ППМ з відходів промислового виробництва з елементами комп'ютерного моделювання. Технологічні параметри процесу пресування визначають розміри, форму, а також розподіл властивостей за об'ємом виробів, що, в свою чергу, впливає на експлуатаційні властивості фільтрів. Вибір оптимальних параметрів процесу пресування є складним завданням. Тому поряд з традиційними методами досліджень, в даний час все більш активно застосовується метод попереднього комп'ютерного моделювання. У якості визначальних рівнянь автор використав рівняння теорії пластичності пористого тіла. Визначення форми заготовки, що ущільнюється, а також полів щільності, напружень і деформацій виконано на основі методу скінченних елементів.

При радіально-ізостатичному пресуванні порошкового фільтрувального елемента у вигляді колби розподіл величин пористості та накопиченої пластичної деформації за об'ємом виробу нерівномірний і залежить від схеми ущільнення. На першому етапі більш інтенсивно ущільнюється стінка, а на другому етапі - дно фільтрувального елемента. У результаті досягнуті величини пористості та накопиченої пластичної деформації розподілені більш рівномірно.

Розглядалося пресування двошарових і тришарових фільтрів. При моделюванні ущільнення двошарових порошкових фільтрів величина внутрішнього діаметра еластичного елемента дорівнювала також 40 мм. Результати моделювання по розподілу пористості у перерізі фільтрувальних елементів. При ущільненні одношарового фільтра розподіл пористості нерівномірний. Зі збільшенням радіуса пористість зростає. Також зі збільшенням ступеня деформації різниця між величинами пористості матеріалу у внутрішньої і зовнішньої поверхонь фільтра зменшується.

У цьому розділі представлено розподіл пористості в двошаровому фільтрі. Ущільнення другого (зовнішнього) шару відбувається так само, як і першого шару. При цьому більш щільний внутрішній шар деформується незначно та виконує роль оправки. Подальше збільшення навантаження призводить до того, що настає момент, коли зовнішній шар ущільнився і обидва шари продовжують деформуватися одночасно. Товщиною і пористістю шарів можна управляти за рахунок зміни початкової пористості засипаного порошку, внутрішнього діаметра еластичного елемента, а також тиску пресування. Для тришарового фільтрувального ППМ визначили розподіли пористості та накопиченої деформації при радіально-ізостатичному пресуванні. Із результатів моделювання видно, що мінімальна пористість і максимальна накопичена деформація міститься у внутрішній поверхні, на зовнішній – навпаки.

Підвищення продуктивності ППМ без зміни їх розмірів може бути досягнуто через збільшення площі робочої поверхні за рахунок ускладнення форми поверхні. Був розроблений процес пресування ППМ з розвинутою бічною

поверхнею у вигляді повздовжніх ребер, які утворені дугами кіл з розмірами, що розраховані з точки зору максимізації коефіцієнта збільшення поверхні при виконанні певних технологічних операцій.

У зв'язку з геометричною неоднорідністю системи абсолютні переміщення в об'ємі еластичної оболонки на різних ділянках різні, тому на різних ділянках границі контакту еластичної оболонки та порошку співвідношення величини нормальних та дотичних напружень індивідуальні. Найбільші переміщення спостерігаються в областях між ребрами ППМ, що пресується, зумовлено перетіканням поліуретану під дією тиску.

Виготовленні дослідні партії ППМ мають такі переваги: вловлюють механічні домішки дисперсністю 15-500 мкм; ефективність очищення повітряногазових сумішей не менше 98%; ефективність очищення емульсії і води не менше 95%; продуктивність коливається в діапазоні: по воді і емульсії від 1 л/год до 1000 л/год; по мастильних речовинах – від 0,5 л/год до 200 л/год; неперервність роботи (до регенерації) при визначеній продуктивності не менше 30 год, а термін служби не менше одного року. Профілактика фільтрів відбувається методом регенерації.

Можливість створення на поверхні цирконієвих сплавів оксидного шару дозволяє суттєво підвищити їх експлуатаційні характеристики. Створення ОКП через оксидування, в процесі якого між деталлю та електролітом виникають електричні дуги малої протяжності, забезпечує зростання мікротвердості і, як наслідок, підвищується його зносо- та корозійну стійкість.

У п'ятому розділі проведені комплексні дослідження властивостей отриманих з відходів промислового виробництва пористих проникних матеріалів. Для дослідження структурних властивостей ППМ апробовано програмне забезпечення для аналізу 3D зображень – Avizo®. Дана методика дозволяє визначити довжину, об'єм пори, а також глибину пороутворення. Утворення 3D-зображення за допомогою програмного середовища Avizo® здійснюється за допомогою накладання плоских поперечних розрізів відповідного діапазону по висоті готового пористого проникливого матеріалу.

В цьому розділі також показані структури ППМ з відходів промислового виробництва отримані методом сухого радіально-ізостатичного пресування. Механічна міцність тришарового фільтрувального ППМ найвища за рахунок перетікання менших частинок порошку у більші пори, що робить фільтр міцнішим після спікання. Також виконано моделювання процесу проходження рідини через ППМ при різних тисках та пористості в діапазоні $P=10-50\%$. Результати моделювання добре узгоджуються з експериментальними даними та підтверджуються реальними розрахунками.

По змісту дисертаційної роботи можна висловити наступні зауваження:

1. Наукова проблема полягає не в отриманні та застосуванні багатошарових пористих проникних матеріалів, а у створенні науково-обґрунтованого підходу формування фільтраційної структури з регульованими розмірами пори й розподіленням їх в об'ємі виробу;
2. На с.23 та с.200 - у слові «Хроалітування...» помилка – «хроматування». Та розділ 4.5 Хромоалітування...;

3. На с.67. Автор використовує відходи виробництва підшипників, які якимось чином очищуються від залишків шліфувальних інструментів (карбиду кремнію або оксиду алюмінію та ЗОР) але інформація про процес сепарації й очистку частинок порошку ШХ-15 відсутня;
4. На с.69 - Автор посилається на частинки абразива з SiO_2 , але з оксиду кремнію абразивних інструментів не виробляють; ... в шламі також вміщується іржа ... Що це? Мабуть автор має на увазі оксиди заліза FeO , Fe_2O_3 або Fe_3O_4 ?
5. Відсутня інформація про розподіл розмірів частинок порошку ШХ-15 сепарованих з шламу та їх класифікацію по розмірах напередодні використання у заготовках фільтрів;
6. Автор не аналізує розподіл розмірів пор, як функцію радіуса циліндричної заготовки після радіального пресування;
7. Починаючи з с.74 по всьому тексту в розділах, які присвячені моделюванню та процедурам радіально-ізостатичного пресування автор користується термінологією «отримання ППМ», хоча це ще тільки заготовка (тобто брикет) , а ППМ вона має бути тільки після спікання;
8. На с.81 , рис.2.11 – помилка у розмірності часу;
9. На с.87- 2.4.2 Модель і алгоритм обробки кольорових металографічних зображень. Але такий підхід вже відомий й називається колориметрія – наука о вимірюванні кольора;
10. Починаючи з с.92 по всьому тексту автор наводить результати розрахунків не у вигляді графіків, а у вигляді **Print Screen** , при чому в масштабі, який не дає можливості проаналізувати отримані результати та ще й без позначень координат на графіках;
11. На с.100 –рис.3.3 – Комп'ютерна програма..., яка програма може бути у форматі **Print Screen**. Лістинг розробленої програми повинен додаватись у Додатку до дисертації;
12. На с.104 автор наводить Таблиці 3.2 та 3.3 з механічними властивостями порошку сталі ШХ15. Це властивості прокату сталі, а не порошку. У частинок порошка немає ні відносного звуження ні ударної в'язкості;
13. На с.105 – рис.3.5 d_{\min} [mm]. Мабуть розмірність не [мм] , а [мкм]?
14. На с.112. У розробленій об'єктно-орієнтованій САПр... Це тільки посилання, а де сам САПр? Невже знов тільки **Print Screen**? Також див. рис.3.18, 3.19.
- На с.134 – Розроблена система «Математика ФІЛЬТР». Де вона наведена?
15. На с.136 – рис.3.23 , на с.157-158 - рис.4.13 та с.179 – рис.4.30-4.31 - відсутні позначення координат на рисунках;
16. На с.138 - на рис. 3.29 та 3.27 – Наведені **Print Screen** «зовнішнього вигляду операційного вікна програми «FiltrTotal», а сама програма відсутня;
17. На с.142 – на рис.3.29 наведено інтерфейс програми. Навіщо?
18. На с.151 –Зі збільшенням радіуса пористість зростає. Автор посилається на рис.4.4, з якого це не видно (знов **Print Screen**);
19. На с.154 –рис.4.9 при радіальному ущільненні нерівномірність пористості по довжині пресовки досягає 32%;
20. На с.173. Розділ 4.2. Технологія СВС спікання описна дуже стисло. Автор не показав як змінюється фазовий стан ППМ після спікання та розподіл розмірів пор?

21. На с.201 табл.4.5 –Гідродинамічні властивості. Про які гідродинамічні властивості може йти мова, коли в таблиці наведені тільки фільтраційні параметри фільтрів й ніякої гідродинаміки потоків рідини?

22. На с.205, с.208 та с.209 – на рис.5.1, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 та 5.9 знов **Print Screen** зображення поперечного перерізу без аналізу форми, пористості та структурних складових.

Загальні висновки стосовно дисертації.

У дисертаційній роботі вирішено науково-технічну проблему розробки, отримання та застосування багат шарових пористих проникних матеріалів з відходів промислового виробництва з керозаними функціональними та технологічними характеристиками шляхом прогнозування складу, структури, властивостей за допомогою комп'ютерно-інформаційних технологій. Розроблено і виготовлено ППМ з відходів промислового виробництва придатні для очищення технічних рідин та газів, що підвищило ефективність використання виробів у різних галузях машинобудування.

Вважаю, що дисертаційна робота **ПОВСТЯНОГО** Олександра Юрійовича **«Багат шарові пористі проникні матеріали з регульованою пористістю з відходів промислового виробництва»**, за актуальністю, обсягом експериментальних даних і теоретичних узагальнень, науковою новизною, практичною цінністю та достовірністю отриманих результатів відповідає вимогам пунктів 9, 10, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., що до докторських дисертацій, а її автор **ПОВСТЯНОЙ** Олександр Юрійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент,
завідувач відділу „Комп'ютерного
матеріалознавства надтвердих композиційних
матеріалів для породоруйнівних інструментів”
Інституту надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України,
чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф.

А.Л. Майстренко

Підпис чл.- кор. НАН України, д.т.н., проф. А.Л.Майстренка засвідчую:

Вчений секретар Інституту
надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України,
к. т. н.



В.В.Смоквина