

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Козирацького Євгена Олександровича

### **«Відображення властивостей багатокomпонентних порошкових і композиційних матеріалів у керованих акустичних полях»,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі  
спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство

#### **Актуальність теми дисертації.**

Багатокomпонентні (БК) порошкові і композиційні матеріали (ПіКМ) характеризуються унікальними властивостями, що дає можливість їх використовувати для різноманітних завдань. Формування таких матеріалів є складним багатостадійним процесом, на результати якого впливає багато чинників. Прогнозування їх властивостей є складним і можливим лише за певних умов. Тому реальні властивості таких матеріалів можна отримати лише експериментальними методами. Для отримання оптимальної структури необхідний контроль розроблювального матеріалу і контрольованість технологічного процесу на кожній стадії. З цією метою ефективно використовують методи неруйнівного контролю, серед яких акустичні методи є одними з найбільш перспективних. Поряд з цим, складна структура БК та ПіКМ вимагає створення нових методів контролю, які адаптовані до вирішення таких завдань. Тому наукове обґрунтування та експериментальне підтвердження якісно нового рівня відображення властивостей БК ПіКМ в генерованих акустичних полях за рахунок їхнього керування є актуальним науково-технічним завданням.

#### **Загальна характеристика роботи.**

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і 2 додатків. Обсяг роботи становить 7,0 авторських аркушів, які включають 65 рисунків, 23 таблиці, список використаних джерел із 152 найменувань.

У **вступі** розкрито актуальність обраної теми, зазначено мету, основні завдання та методи дослідження, описана наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, подано інформацію щодо апробації основних результатів роботи та перелік публікацій за ними.

У **першому** розділі за результатами літературного огляду наведені аналіз сучасного стану, вихідні наукові принципи використання та проблеми практичного застосування найбільш поширених неруйнівних акустичних методів дослідження властивостей багатокomпонентних матеріалів; зроблені висновки щодо актуальності роботи, сформульована мета та основні завдання досліджень.

Запропоновано використовувати чотири різні моделі для експериментального оцінювання величин динамічних модулів пружності: однорідного ізотропного ідеально лінійно-пружного твердого середовища,

неоднорідного середовища, квазіпружного твердого середовища та трансверсально-ізотропного середовища. Кожна з моделей використовується для відповідних об'єктів контролю, що дозволяє адекватно описувати їх властивості.

У **другому** розділі представлені матеріали та задачі досліджень відповідно них, форми зразків, напрямки і зони їх прозвучування; використані для акустичних вимірювань устаткування та методи; описано застосовані стандартні методи досліджень мікроструктури, густини матеріалу, механічних властивостей. Для формування акустичних полів у зразках та його аналізу використаний унікальний апаратний комплекс для прецизійних вимірювань параметрів пружних хвиль, розроблений в ІІМ НАНУ. Сформульовано засоби керування акустичними полями, які полягають у виборі виду акустичних методів, типів пружних хвиль, параметрів сигналів для зондування, напрямків, методів та схем прозвучування зразків.

**Третій** розділ присвячений критичному аналізу факторів впливу на результати оцінок властивостей БК ПіКМ акустичними методами, розвитку наукових принципів отримання такої інформації з застосуванням керованих акустичних полів, прикладам використання цих принципів. Експериментально виявлено п'ять груп факторів впливу на результати оцінки МП багатофазних порошкових матеріалів (ПМ) акустичними методами: вихідні компоненти, особливості матеріалу, технологія виготовлення, метод вимірювань і геометрія зразка. Зроблено порівняння імпульсних та резонансних методів визначення модулів пружності.

Сформульована схема коректної постановки акустичного експерименту.

Можливості неруйнівних акустичних методів при комплексному дослідженні закономірностей структуроутворення ПМ на етапах формування і спікання продемонстровано на прикладі модельного матеріалу – пористого титану, для якого характерна висока пористість, що ускладнює акустичні дослідження. Також можливості вірогідної оцінки пружних сталей в нетрадиційних умовах продемонстровано при постановці акустичного експерименту з вимірювання у багатошаровому мікроламіні.

У **четвертому** розділі наведено приклади експериментальних робіт, які підкреслюють важливість коректної постановки вимірювального експерименту і адекватної обробки експериментальних даних для забезпечення вірогідного результату вимірювань і можливості збільшення інформативності при розв'язанні різних задач у БК ПМ різноманітного призначення.

При дослідженні композитів на основі фаз високого тиску вуглецю і нітриду бору за допомогою акустичних методів визначали пружні сталі й проводили відпрацювання складу нового матеріалу та режимів технологічного процесу його створення.

При дослідженні процесу формування псевдосплавів на основі системи Fe-Cu-Mo відпрацьовували вплив складу вихідного порошку та технологічного режиму на пружні сталі.

Також проведена постановка акустичного експерименту з вимірювань комплексу різних швидкостей поширення пружних хвиль, яка забезпечила коректний неруйнівний контроль властивостей багатофазного ПМ після кожної стадії технологічного процесу, у тому числі при наявності прокатки, де суттєво змінюються умови вимірювань.

В наступній задачі визначали і зіставляли величини пружних сталей матеріалів на основі порошку біогенного гідроксиапатиту з різними добавками, отриманих в різних умовах, з різною структурою і властивостями, у тому числі з високою крихкістю і пористістю, назрках, які відрізнялися за формою і розмірами.

У п'ятому розділі наведені приклади розв'язання нетрадиційних задач контролю шляхом адаптування вимірюваних параметрів акустичних полів до особливостей структури певного матеріалу чи конструкції для забезпечення високої вірогідності та інформативності, які знайшли використання у виробництві.

Була проведена атестації злитків нового БК жаростійкого сплаву на основі системи Nb-Cr-Ti-Zr-Al, які одержували шляхом сплавлення заготовок методом аргонодугової плавки при неповному їх розплавленні з допомогою визначення швидкості акустичних хвиль.

Також було розроблено й впроваджено у виробництво методики ультразвукового неруйнівного контролю дефектності широкого сортаменту роликів різних прокатних станів, відновлених після руйнування в процесі експлуатації при їх дрібносерійному відновленні.

**Висновки** належним чином відображають результати дисертаційної роботи.

**Додатки** містять акти впровадження та список опублікованих праць за темою дисертаційної роботи.

Результати дисертаційної роботи були впроваджені на підприємстві Нанкінської корпорації "Чень Гуан", КНР (розробка жароміцного сплаву і виготовлення з нього виробів), а також ТОВ «Компанія «Інтервіт», де була розроблена та впроваджена у виробництво оригінальна методика ультразвукової експрес дефектоскопії якості контакту шару наплавлення з матеріалом-основою у дрібних партіях таких роликів різного сортаменту.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність.**

Достовірність результатів, обґрунтованість наукових висновків і рекомендацій, які випливають із дисертаційної роботи Козирацького Є.О. не викликають сумнівів. Експериментальні результати отримані із використанням апробованих методик та на основі коректної постановки та проведення досліджень. Отримані дані узгоджуються із даними інших дослідників. Результати дисертаційної роботи апробовані на авторитетних міжнародних і національних науково-технічних конференціях, опубліковані у виданнях, що входять до наукометричних баз та у провідних вітчизняних спеціалізованих виданнях.

### **Наукова новизна отриманих в роботі результатів.**

В дисертаційній роботі Козирацького Є.О. отримано ряд важливих наукових результатів. Серед найважливіших з них можна назвати:

1. Знайшли подальшого розвитку наукові підходи отримання інформації про властивості багатокомпонентних порошкових та композиційних матеріалів акустичними методами, в основі яких лежить аналіз керованих акустичних полів, генерованих у цих матеріалах. Керування проводять у рамках постановки акустичного експерименту з використанням фізичних, структурних, акустичних і математичних моделей, адаптованих до особливостей певного матеріалу та задачі, яку відносно нього розв'язують. В результаті підвищується інформативність та вірогідність оцінки властивостей матеріалів з неоднорідною структурою.

2. Вперше запропонований новий критерій оцінки стану структури порошкового матеріалу в результаті формування чи формування та спікання. Величина критерію кількісно дорівнює відношенню експериментально визначених швидкостей поширення різних типів пружних хвиль. Використання цього критерію для спечених матеріалів дозволило виявити різний характер емпіричної залежності коефіцієнта Пуассона від пористості в порошковому титані при закритій і відкритій пористості, а також показати, що перехід матеріалу пресовок і спеченого матеріалу від закритої до відкритої пористості проходить при різних значеннях пористості.

3. Вперше показано, що керування параметрами акустичного поля в напівфабрикатах порошкового матеріалу дозволяє адекватно зіставляти його властивості на різних стадіях виготовлення, навіть при наявності в технологічному процесі стадії прокатки, після якої суттєво змінюються умови вимірювання.

4. Вперше шляхом керування параметрами акустичного поля в багатошаровому мікроламіні, а також вибору адекватних структурної, акустичної та математичної моделей матеріалу поставлений акустичний експеримент, який дозволив визначити вірогідні динамічні пружні сталі такого матеріалу.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Розвинута в роботі методологія дозволяє на основі аналізу особливостей будови матеріалу і розв'язуваної задачі шляхом керування акустичним полем й адекватної постановки експерименту синтезувати акустичні методи прогнозування і контролю, діагностичні параметри яких мають підвищену чутливість до конкретної властивості, особливостей структури або дефектів матеріалу із будь-якою складною структурою і тому сьогодні їх вже використовують в ІІМ НАН України для одержання якісно нової інформації про структуру і реальні вірогідні значення властивостей порошкових і композиційних, у тому числі багатокомпонентних, матеріалів під час відпрацювання технології їх

створення, при виготовленні, паспортизації та експлуатації виробів з них, для порівняння і тестування різних матеріалів за певними властивостями.

Результати досліджень були використані у розробці жароміцного сплаву і виготовлення з нього виробів для Нанкінської корпорації "Чень Гуан", КНР у ТОВ «Компанія «Інтервіт», була розроблена та впроваджена у виробництво оригінальна методика ультразвукової експрес дефектоскопії якості контакту шару наплавлення з матеріалом-основою у дрібних партіях таких роликів різного сортаменту.

#### **Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях.**

За матеріалами дисертації опубліковано 20 наукових праць, з яких 12 статей – у вітчизняних виданнях, які входять до переліку фахових видань МОН України в галузі технічних наук, в тому числі 1 стаття у виданні, яке входить до категорії „А”, що індексується наукометричними базами даних SCOPUS та ін., та 8 – в матеріалах міжнародних наукових конференцій. Автореферат дисертації повністю відповідає основним положенням дисертації. Матеріал у роботі викладено логічно і повністю розкриває поставлену в роботі мету.

#### **Оцінка мови та стилю дисертації.**

Дисертаційна робота викладена професійно та грамотно. Матеріали дисертації логічно систематизовані та якісно графічно оформлені.

#### **Зауваження до дисертації та автореферату.**

1. Під час порівняння резонансних та імпульсних методів вимірювання швидкості акустичних хвиль варто було б звернути увагу також і на величину загасання, яка впливає на можливості вимірювань резонансним методом. Високе загасання суттєво зменшує точність резонансних методів. Також цікаво було б пояснити фізичну основу впливу неоднорідності зразка на різницю у визначенні швидкості акустичних хвиль імпульсним та резонансним методом.

2. На с.43 стверджується, що ізотермічні модулі визначаються статичними методами, а адіабатичні – динамічними методами. Більш вірно стверджувати, що динамічні методи за певних умов теж дозволяють визначати ізотермічні модулі. Тип модулів, які визначають, залежить від частоти акустичних коливань та теплопровідності матеріалу.

3. На с.44 допущена неточність під час опису величини  $\alpha$ , (вираз (1.6)), для якої слід замінити термін «лінійний коефіцієнт теплового розширення» на «об'ємний коефіцієнт теплового розширення».

4. В дисертаційній роботі проведено детальний аналіз впливу різноманітних чинників на точність визначення швидкості акустичних хвиль імпульсними та резонансними методами. Разом з тим, цікавим було б оцінити вплив на точність визначення швидкості акустичних хвиль ефектів, які спричинені дифракцією акустичних хвиль, величиною ближньої та дальньої зон акустичних полів перетворювачів.

5. Не зовсім вдало використано для позначення величини швидкості акустичної хвилі символу «с», оскільки аналогічне позначення в роботі використовується і для пружних модулів, що утруднює сприйняття математичних виразів. Це видно у виразах (1.5), де описують зв'язок між швидкістю та пружними модулями. З іншого боку, у виразі (3.1) для позначення швидкості акустичних хвиль використовується інший символ, а саме «v», що є набагато зручніше.

6. В авторефераті на с. 11 використовується не зовсім зрозумілий термін «скалярна суміш», який, можливо, варто пояснити.

Проте вважаю, що вищенаведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаного на високому науковому рівні дисертаційного дослідження та не зменшують його наукову новизну та практичну цінність.

### Загальні висновки

Дисертаційна робота Козирацького Євгена Олександровича на тему «Відображення властивостей багатокомпонентних порошкових і композиційних матеріалів у керованих акустичних полях» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує актуальне науково-технічне завдання – наукове обґрунтування та експериментальне підтвердження якісно нового рівня відображення властивостей багатокомпонентних порошкових і композиційних матеріалів в генерованих акустичних полях за рахунок їхнього керування.

Дисертаційна робота повністю відповідає п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою КМУ №567 від 24 липня 2013 р., а здобувач Козирацький Євген Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук,  
в.о. провідного наукового співробітника  
відділу №2  
акустичних методів та засобів технічної діагностики  
Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка  
НАН України



О.М. Мокрий

Підпис Мокрого О.М. засвідчено  
Учений секретар ФМІ ім. Г.В. Карпенка  
НАН України, кандидат технічних наук




В.В. Корній