

ВИСНОВОК

комісії спеціалізованої Вченої ради Д 26.207.03 про відповідність спеціальності і профілю ради дисертаційної роботи **Лаптева А. В.** «Особливості консолідації, формування структури і властивостей порошкових матеріалів під дією ударного навантаження в широкому діапазоні температур», на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.06 – Порошкова металургія та композиційні матеріали.

Комісія у складі членів спецради чл.-кор., д.ф.-м.н. Штерн М. Б., чл.-кор., д.т.н. Гогаєва К. О., д.т.н. Рудь В. Д., розглянувши дисертаційну роботу Лаптева А. В. «Особливості консолідації, формування структури і властивостей порошкових матеріалів під дією ударного навантаження в широкому діапазоні температур», на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук, прийшла до наступного висновку:

1. Актуальність теми.

Актуальність даної роботи полягає в удосконаленні методу ударного ущільнення порошків для створення як однофазних, так і гетерофазних матеріалів з високою щільністю та дрібнозернистою структурою і в результаті з високими механічними властивостями за рахунок використання відносно високого вакууму ($1,33 \cdot 10^{-2}$ Па) при нагріванні та ущільненні порошків, високого тиску (≥ 1000 МПа) при ущільненні, підвищеної (на 20- 30 %) пластичної деформації та високої швидкості (100 с^{-1}) деформації порошкових брикетів, забезпечуючих проявлення при ущільненні таких фізичних явищ як схоплювання та прискорена дифузія при температурах, суттєво знижених по відношенню до температури вільного спікання порошків вибраних матеріалів.

2. Наукова новизна роботи відображена наступними основними положеннями:

1. Запропоновано нове рівняння ущільнення металевих порошків у жорсткій матриці, яке містить чотири постійні параметри і дозволяє описати процес ущільнення порошку від початкової до будь-якої кінцевої щільності, а також апроксимувати експериментальні дані щодо ущільнення різних порошків з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,9900 - 0,9999$.

2. Вперше показано, що при ударному ущільненні металевих порошків у вакуумі ($\leq 0,0133$ Па) з високим рівнем загальної енергії (≥ 1000 Дж/см³), а також завдяки підвищеному на 15-30% ступеню деформації пористих брикетів та високої швидкості деформації ($50-100 \text{ с}^{-1}$) можна знизити температуру формування міцного зв'язку поміж металевими частинками за тисячні частки секунди до рівня $0,5-0,55 T_{пл}$.

3. Встановлено явище швидкої рекристалізації структури порошкових металевих зразків за час їх охолодження після ударного ущільнення при температурах вище $0,5-0,6 T_{пл}$.

4. Встановлено факт прискореної дифузії елементів, зокрема атомів вольфраму в сталеву частинку при ударному ущільненні порошків нержавіючої сталі X17H2 зі ступенем деформації $\sim 50\%$ та швидкістю деформації $\sim 100 \text{ с}^{-1}$. Коефіцієнт дифузії при температурі $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ збільшується приблизно на 4 порядки зі значення $3,96 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$ при ізотермічному відпалі до значення $2,91 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$ при ударному ущільненні. (Коефіцієнт дифузії вольфраму в залізі при $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ дорівнює $3,4 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$).

5. Показано можливість і визначено умови отримання в твердій фазі високощільних і більш міцних біметалічних композитів з нерозчинних або слабо розчинних один в одному металів. Це досягнуто на композитах Ag-Ni, Cu-W, Cu-Cr за рахунок реалізації деформації пластичної фази при високоенергетичному ударному ущільненні.

6. Вперше показано, що ударне ущільнення у вакуумі метало-карбідних композитів Co-WC, Ni-WC, Cu-WC дозволяє сформувати за тисячні частки секунди міцні міжфазні границі у твердій фазі за певної температури. Для кобальтової та нікелевої матриць це температура $1150-1200 \text{ }^\circ\text{C}$, для мідної матриці - $1050 \text{ }^\circ\text{C}$.

7. Встановлено, що в основі процесу низькотемпературного (твердофазного) схоплювання між частинками пластичного металу та практично непластичного карбїду вольфраму лежить не стільки ступїнь та швидкїсть пластичної деформації кобальту або нїкелю, скїльки висока хїмїчна активнїсть компонентів при певнїй температурї, яка здатна утворити фактично миттєво мїцний зв'язок мїж металом та карбїдом вольфраму при їх стисканнї. Про високу хїмїчну активнїсть помїж кобальтом і карбїдом вольфраму при температурї 1200 ± 50 °C свїдчать такі встановленї явища як рїзке зниження питомого електроопору у зразках, суттєве прискорення (вчетверо) зростання карбїдних частинок, швидке скорочення розмїру пор та пористостї, зменшення ступеня контакту карбїдних частинок.

8. Встановлено граничне значення мїцностї на вигин твердих сплавів WC-Co з об'ємним вмістом кобальту від 25 до 55 %. Граничне значення мїцностї вїдповїдає рївню 3200-3500 МПа, і воно обумовлено мїцнїстю тонких прошарків металевої зв'язки, яка коригує з мїцнїстю ниткоподїбних кристалів даного металу.

3. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

1. При низькотемпературному ударному ущїльненнї рїзних металевих порошоків вдається отримати зразки з бїльш дрїбнозернистою структурою та пїдвищеною мїцнїстю. Причому мїцнїсть, наприклад, мїдних, нїкелевих, титанових зразків із дрїбнозернистою структурою досягає значень, що перевищують мїцнїсть зразків із звичайною структурою у два і бїльше разів. Це дає можливїсть у рядї випадків використовувати у промисловостї звичайнї метали без їхнього легування та дисперсного змїцнення.

2. Технологїя низькотемпературного ущїльнення металевих порошоків суттєво розширює можливостї в отриманнї високомїцних та високотвердих дисперсно-змїцнених матерїалів за рахунок, з одного боку, збїльшення об'ємного вмісту дисперсних частинок, а, з іншого боку, використання високотвердих, але хїмїчно активних частинок, якї неможливо застосувати за звичайних температур спїкання порошоків. Зокрема:

- низькотемпературне ущїльнення титану при температурах 750-850 °C дозволить використовувати в якостї наддрїбнозернистих змїцнюючих частинок такі високотвердї сполуки як TiB_2 , SiC, B_4C , якї при високих температурах активно взаємодїють з титаном, утворюючи небажанї шкїдливі фази;

- низькотемпературне ущїльнення порошку нїкелю дозволить розробити конкурентний вїдомому дисперсно-змїцненому нїкелю (ТД-нїкель) матерїал, що мїстить в якостї дисперсних частинок карбїди титану, нїобїю, вольфраму, якї мають бїльш мїцний зв'язок з нїкелевою матрицею;

- результати низькотемпературного ущїльнення порошку нїхрому створюють передумови для створення бїльш жаромїцних, нїж ТД-нїхром, матерїалів за рахунок пїдвищеного вмісту змїцнюючих частинок, що перешкоджають високотемпературнїй рекристалїзації матерїалу;

- особливу увагу викликає можливїсть отримання бїльш зносостїйких алмазовмісних композитів, оскїльки низькотемпературне, нижче 900 °C, ущїльнення металевих матриць дозволить виключити графїтизацію алмазу і забезпечити бїльш мїцне з'єднання алмазних частинок з матрицею.

3. Дуже обнадїйливими є результати низькотемпературного ущїльнення бїметалїчних композитів. Наприклад:

- композит для електричних контактїв на основї срїбла та нїкелю, якїй отримано низькотемпературним ударним ущїльненням, має у порївняннї з традицїйними зразками бїльш високу мїцнїсть на вигин – у 3 рази для зразків із крупнозернистою структурою та у 1,6 рази для зразків із дрїбнозернистою структурою, що повинно забезпечити бїльш високу електроерозїйну стїйкїсть електричних контактїв із срїбно-нїкелевих композитів;

- композити на основї мїдї та вольфраму, ущїльненї в твердїй фазї мають бїльш високу щїльнїсть і бїльш дрїбнозернисту структуру, що забезпечує їм також бїльш високу мїцнїсть і твердїсть. Такї зразки можуть володїти пїдвищеною експлуатацїйною стїйкїстю в декїлькох

застосуваннях, а саме, у випадках їх використання в якості електричних контактів, електродів для точкового зварювання, електродів для електроерозійної обробки матеріалів таких як жароміцні сплави та тверді сплави;

- композити на основі міді та хрому, які отримані ударним ущільненням у твердій фазі, можуть бути ефективними, як мінімум, з трьох причин: 1 – за рахунок відсутності практично пористості; 2 – за рахунок збереження дрібнозернистої структури; 3 – завдяки створенню зразків з підвищеним об'ємним вмістом частинок хрому.

4. Великий резерв у підвищенні експлуатаційної стійкості композитів на основі міді або срібла при використанні їх в якості електричних контактів є у зразках з градієнтною або комбінованою структурою. Створення градієнтних структур істотно спрощується при твердофазному і низькотемпературному ущільненні порошків, при якому загальмовані активні дифузійні процеси між частинками у зразку з різною концентрацією елементів. Одним із прикладів створення комбінованих зразків є кільцеві зразки, наприклад, з мідною матрицею і різним по діаметру об'ємним вмістом зміцнюючих частинок хрому. Такі градієнтні електричні контакти можуть мати підвищену стійкість через формування, як встановлено японськими дослідниками, «розтягнутої» по поверхні зразка електричної дуги.

5. Метод ударного ущільнення в твердій фазі може забезпечити отримання високоміцних сплавів на основі вольфраму як за рахунок збереження ультрадрібнозернистої структури, так і за рахунок використання високоміцних вольфрамових волокон.

6. Технологія ударного ущільнення у вакуумі традиційних твердих сплавів WC-Co із вмістом кобальту 15-25 мас. % показало можливість отримання зразків з граничною міцністю на вигин на рівні 3000-3500 МПа при знижених енергетичних витратах. Крім того, у зразках зберігається дрібнозерниста структура без використання інгібіторів росту частинок карбиду вольфраму та забезпечується більш низький ступінь контакту карбідних частинок, що може значно збільшити втомну міцність або циклічну стійкість виробів з даних твердих сплавів.

7. Ефективність застосування методу ударного ущільнення композитів на основі карбиду вольфраму може бути радикально збільшена при використанні замість кобальту інших зв'язок, наприклад, таких як вуглецеве залізо, сплави на основі заліза с проявом тріп-ефекту, а також інтерметалід Ni_3Al .

8. Метод низькотемпературного ударного ущільнення металевих порошків дозволив отримати велику різноманітність структур у зразках з одного і того ж самого матеріалу за рахунок зміни температури ударного ущільнення. Такі зразки мали різну міцність і пластичність, що відобразилося на діаграмах випробування зразків. Наявна різноманітність поведінки зразків з одного матеріалу не завжди можна зустріти в підручниках з матеріалознавства, і тому воно може бути корисним як для навчання студентів, так і для фахівців з матеріалознавства.

9. Ще один результат, що має важливе значення для студентів та для фахівців у галузі порошкової металургії, отримано у цій дисертаційній роботі. Мається на увазі нове рівняння, що дозволяє описати, а точніше апроксимувати весь процес ущільнення металевих порошків у жорсткій матриці (від початку до кінця ущільнення) з надзвичайно високою точністю. Нове рівняння має чотири константи, які визначаються шляхом комп'ютерної апроксимації експериментальних даних щодо ущільнення металевих порошків. Це рівняння дає у багатьох випадках більш високу точність апроксимації експериментальних даних, якщо його перетворити у напрямку обліку початкової щільності порошку, який засипано у матрицю.

10. Розроблено методику обліку сил тертя між зразком та стискаючими плитами при розрахунку напруження у процесі стискання зразків. Методика дозволяє визначити нижню границю міцності зразків при стисканні, яка реалізується при дії максимальних сил тертя між стискаючими плитами та торцевими поверхнями зразка, а також виявити максимум міцності при випробуванні зразків.

4. Вірогідність і обґрунтованість результатів, положень та висновків забезпечується використанням сучасних експериментальних та аналітичних методів досліджень таких як: хімічний та рентгенофазовий аналізи вихідних порошків та готових зразків, метод БЕТ для визначення питомої поверхні порошків, скануюча електронна мікроскопія для дослідження мікроструктури та поверхні руйнування зразків, енергодисперсійна спектроскопія для аналізу домішкових включень, а також Оже-електронна мікроскопія для визначення елементів на поверхні руйнування зразків. Використані сучасні методи визначення механічних властивостей зразків на випробувальних машинах з комп'ютерною реєстрацією процесу навантаження та руйнування багатьох зразків, кількість яких в більшості випадків дозволяла встановити значення механічних властивостей с довірчим інтервалом при надійності 90 та 95 %. Для побудови статичних та динамічних графіків різних теоретичних та експериментальних залежностей а також для проведення апроксимації різними рівняннями експериментальних даних по ущільненню порошків і порошкових сумішей у жорсткій матриці була використана комп'ютерна програма «Математика-10».

5. Особистий внесок здобувача. Основні результати, що представлені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто, а також у співавторстві з іншими фахівцями. При цьому автор є розробником оригінальної конструкції початкової і потім модернізованої установки для нагрівання та ущільнення порошків у відносно високому вакуумі під дією ударного навантаження, є також автором ідеї використання допоміжної пористої графітової втулки, що оточує пористий брикет і забезпечує при ущільненні брикету його більшу щільність за рахунок: 1- збереження температури при контакті з холодною матрицею. 2 – зниження сил тертя зі стінкою матриці; 3 – збільшення ступеню зсувної деформації брикету через додаткову радіальну деформацію. Автором роботи запропоновано нове рівняння, що описує з високою точністю залежність тиску від відносної щільності порошкового брикету при його ущільненні в жорсткій матриці та зміні щільності від початкового значення до практично щільного стану, що не може зробити жодне відоме на сьогоднішній день рівняння. Автором роботи проведено також конструювання та виготовлення різних пристроїв для визначення важливих механічних властивостей зразків на випробувальних машинах і розроблена методика оцінки міцності та пластичності при випробуванні зразків на стиск з урахуванням дії сил тертя між зразком та опорними плитами. У співавторстві з Ю. М. Подрезовим, Д. Г. Вербило, Я. І. Євич та Є. А. Кондряковим дисертантом проведено випробування зразків та встановлені залежності властивостей від параметрів ударного ущільнення відповідних порошків. У співавторстві з Л. Ф. Очкас, С. С. Пономарьовим, В. В. Ковиляєвим, І. Ю. Окунем та М. Є. Головковою проведено дослідження мікроструктури зразків та встановлено вплив кількісних характеристик структури (середній розмір частинок карбідної фази, середня товщина металевого прошарку, ступінь контакту карбідних частинок) на механічні властивості різних зразків. У співавторстві з М. В. Карпець, О. С. Фомічовим та О. М. Мисливченко встановлено вплив температури пресування порошків на фазовий склад отриманих зразків. У співавторстві з В. В. Гарбузом, Л. Н. Кузьменко, Т. А. Сілінською та Т. Є. Бабутіною визначено хімічний склад і питома поверхня порошків та їх вплив на властивості ущільнених зразків. Разом з польськими колегами Т. Brynk, В. Romelczyk, Z. Pakielа з Варшавського Технологічного Університету встановлено вплив температури, розміру та хімічного складу порошків заліза і суміші порошків WC-Co на механічні властивості отриманих зразків.

6. Матеріали дисертації повною мірою викладено в 50 наукових працях, із них 30 статей у наукових спеціалізованих виданнях України та інших країн, що входять до міжнародних наукометричних баз даних (SCOPUS, EBSCO, Thomson Reuters, Google Scholar, Research Gate та ін.), 1 патент України та 18 публікацій за матеріалами доповідей на міжнародних конференціях. Згідно з даними Google Академія особистий індекс цитованості Хірша (h-index) автора становить 8.

Всі надруковані праці за темою дисертації виконані автором особисто та у співавторстві.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

Список публікацій здобувача в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. **Laptiev A.**, Pakiela Z., Tolochyn O., Brynk T. Microstructure and mechanical properties of WC–40Co composite obtained by impact sintering in solid state // Journal of Alloys and Compounds. – 2016. – Vol. 687. – P. 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.05.343> (Особистий внесок здобувача: вибір температурного діапазону пресування зразків та їх ударне ущільнення, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті).
2. **Anatolii Laptiev**, Barbara Romelczyk, Oleksandr Tolochyn, Tomasz Brynk, Zbigniew Pakiela. Influence of the impact sintering temperature on the structure and properties of samples from the different iron powders // Advanced Powder Technology. – 2017. – vol. 28.–P. 363-374. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2016.10.007> (Особистий внесок здобувача: вибір температурного діапазону пресування зразків та їх ударне ущільнення, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті).
3. Tomasz Brynk, Barbara Romelczyk, **Anatolii Laptiev**, Oleksandr Tolochyn, Zbigniew Pakiela. Fatigue crack growth in Fe mini-samples consolidated by means of impact sintering // Key Engineering Materials, 2014. – Vols. 577–578. – P. 245–248. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.577-578.245> (Особистий внесок здобувача: вибір параметрів ударного ущільнення зразків, підготовка зразків для випробування, обговорення тексту статті).
4. Brynk T., **Laptiev A.**, Tolochyn O. Pakiela Z. The method of fracture toughness measurement of brittle materials by means of high-speed camera and DIC // Computational Materials Science, 2012 – vol.64 – P. 221–224. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2012.05.025> (Особистий внесок здобувача: вибір температурного діапазону пресування зразків та їх ударне ущільнення, підготовка зразків для випробування, обговорення тексту статті).
5. **Laptev A. V.**, Ponomarev S.S., Ochkas L.F. Solid-Phase Consolidation of fine-grained WC-16%Co hardmetal. // Journal of Advanced Materials, 2001.–vol. 33, No 3.–P. 42-51. (Особистий внесок здобувача: вибір параметрів пресування зразків та їх отримання, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, корегування тексту статті).
6. **Laptev A.V.**, Ponomarev S.S., Ochkas L.F. Structural Features and Properties of Alloy 84% WC — 16% Co, Obtained by Hot Pressing in the Solid and Liquid Phases. Part 1. Effect of the Temperature at which the Specimens are Prepared on Their Density and Structure. Powder Metallurgy and Metal Ceramics 39, 607–617 (2000). <https://doi.org/10.1023/A:1011388400293> (Особистий внесок здобувача: вибір параметрів пресування зразків та їх отримання, дослідження структури зразків, підготовка рукопису статті).
7. **Laptev A.V.**, Ponomarev S.S., Ochkas L.F. Structural Features and Properties of Alloy 84% WC — 16% Co, Obtained by Hot Pressing in the Solid and Liquid Phases. Part 2. Influence of the Temperature at which the Specimens are Made on Their Physicomechanical Properties. Powder Metallurgy and Metal Ceramics 40, 77–83 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1011368124481> (Особистий внесок здобувача: вибір параметрів пресування зразків, дослідження та аналіз властивостей зразків, підготовка рукопису статті).
8. **Laptev A.V.** Potential of the High-Energy Hot Compaction in a Vacuum for Creating Materials with an Ultrafine Structure and High Strength. Powder Metallurgy and Metal Ceramics 40, 103–111 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1011963019060>
9. Koval'chenko M.S., **Laptev A.V.** Dynamics of WC – Co Hard Alloy Compaction with Hot Pulsed Pressing. Powder Metallurgy and Metal Ceramics 43, 117–126 (2004). <https://doi.org/10.1023/B:PMMC.0000035698.34943.c6> (Особистий внесок здобувача: підготовка принципової схеми конструкції експериментальної установки для динамічного ущільнення порошків у вакуумі).

10. **Laptev A.V.** Theory and technology of sintering, thermal and chemicothermal treatment. Densification of WC–Co alloys in solid-phase sintering (review). // Powder Metall Met Ceram 46, 317–324 (2007). <https://doi.org/10.1007/s11106-007-0051-3>

11. **Laptev A.V.** Structure and properties of WC-Co alloys in solid-phase sintering. I. Geometrical evolution. Powder Metall Met Ceram 46, 415–422 (2007). <https://doi.org/10.1007/s11106-007-0065-x>

12. **Laptev A.V.** Structure and properties of WC-Co alloys in solid-phase sintering. II. Mechanical properties of samples. Powder Metall Met Ceram 46, 517–524 (2007). <https://doi.org/10.1007/s11106-007-0080-y>

13. **Лаптев А. В.**, Толочин А. И., Ковыляев В. В., Вербило Д. Г., Кондряков Е. А. Ударное спекание порошка жаропрочной нержавеющей стали X17H2. I. Плотность и структура образцов // Металлофизика и новейшие технологии. – 2012. – Т. 34. – №2. – С. 195–208. (*Особистий внесок здобувача: вибір параметрів пресування зразків та їх отримання, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті*).

14. **Лаптев А.В.**, Толочин А.И., Ковыляев В.В., Вербило Д.Г., Кондряков Е.А. Ударное спекание порошка жаропрочной нержавеющей стали X17H2. II. Механические свойства образцов и оценка коэффициентов диффузии при изотермической выдержке и ударном уплотнении // Металлофизика и новейшие технологии. – 2012. – Т.34. – №4. – С. 521–540. (*Особистий внесок здобувача: вибір параметрів пресування зразків та їх отримання, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті*).

15. **Лаптев А. В.**, Крячко Л. А., Толочин А. И., Вербило Д. Г., Головова М.Е. Сравнение структуры и механических свойств обычного и ультрамелкозернистого композитов Ag–30Ni, полученных методом ударного спекания // Металлофизика и новейшие технологии, 2012. – Т.34. – №10. – С. 1001–1018. (*Особистий внесок здобувача: вибір температурного діапазону пресування зразків та їх ударне ущільнення, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті*).

16. Толочин А. И., **Лаптев А. В.**, Окунь И. Ю., Евич Я. И. Ударное уплотнение порошка вольфрама в широком диапазоне температур. I. Плотность и структура // Металлофизика и новейшие технологии, 2014. – Т. 36. – №1. – С. 17–29. (*Особистий внесок здобувача: вибір параметрів ударного ущільнення зразків, аналіз впливу температури на структуру зразків, корегування тексту статті*).

17. Толочин А. И., **Лаптев А. В.**, Окунь И. Ю., Евич Я. И. Ударное уплотнение порошка вольфрама в широком диапазоне температур. II. Механические свойства // Металлофизика и новейшие технологии, 2014. – Т. 36. – №2. – С. 217–228. (*Особистий внесок здобувача: вибір параметрів ударного ущільнення зразків, аналіз впливу температури на властивості зразків, корегування тексту статті*).

18. Radchenko P.Y., Get'man O.I., Panichkina V.V., Skorokhod V. V., Podrezov Yu. N., Verbilo D. G., **Laptev A. V.**, and Tolochin A. I. The Structure and Properties of Powder Copper Hardened by Fine Tungsten Particles. Powder Metall Met Ceram 53, 404–410 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11106-014-9631-1> (*Особистий внесок здобувача: підготовка та ударне ущільнення зразків, аналіз структури та властивостей зразків, обговорення тексту статті*).

19. **Laptev A.V.**, Tolochin A.I., Verbilo D.G. and Okun' I. Yu. Structure and Properties of Kh20N80 Alloy Powders Produced by Impact Sintering at Different Temperatures. Powder Metall Met Ceram 54, 416–427 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11106-015-9731-6> (*Особистий внесок здобувача: вибір температурного діапазону пресування зразків та їх ударне ущільнення, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті*).

20. **Laptev A.V.**, Tolochin A.I., Kovalchenko M.S., Evich Ya. I. and Okun' I. Yu. Structure and Properties of Ni3Al Intermetallic Under Vacuum Impact Sintering. Powder Metall Met Ceram 54, 554–567 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11106-016-9749-4> (*Особистий внесок здобувача: вибір*

температурного діапазону пресування зразків та їх ударне ущільнення, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті).

21. **Laptiev A.** Some Trends in Improving WC–Co Hardmetals. I. Hybrid and Coarse-Grained Hardmetals. Powder Metall Met Ceram 58, 42–57 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11106-019-00046-3>

22. **Laptiev A.** Some Trends in Improving WC–Co Hardmetals. II. Functionally Graded Hardmetals. Powder Metall Met Ceram 58, 170–183 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11106-019-00061-4>

23. **Лаптев А.В.**, Толочин А.И., Карпец М.В., Мысливченко А.Н., Окунь И.Ю., Евич Я.И. Влияние температуры ударного спекания на плотность, структуру и свойства композита Ni₃Al – 45 об. % WC. // НАУКОВІ НОТАТКИ, Луцьк, 2019. Вип. № 66.– С. 195-207. (Особистий внесок здобувача: вибір параметрів пресування зразків та їх отримання, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті).

24. Хоменко Е. В., **Лаптев А. В.**, Толочин А. И., Минакова Р. В., Ковальченко М. С. Структура и свойства композитов Cu – Cr различного состава, полученных твердофазным прессованием в вакууме. // Электрические контакты и электроды: Труды Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины. Серия "Композиционные, слоистые и градиентные материалы и покрытия" – Киев, 2008 г. – С. 110–115. (Особистий внесок здобувача: вибір параметрів пресування зразків та їх отримання, підготовка зразків для механічних випробувань, корегування тексту статті).

25. **Лаптев А. В.**, Толочин А. И., Крячко Л. А., Вербило Д. Г., Окунь И. Ю. Свойства ультрамелкозернистого композита Cu–64WC, полученного вакуумным горячим прессованием // "Электрические контакты и электроды". Сб. трудов ИПМ НАНУ. Киев, 2010. – С. 198–206. (Особистий внесок здобувача: вибір параметрів пресування зразків та їх отримання, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті).

26. Толочин А. И., Хоменко Е. В., **Лаптев А. В.**, Анализ прочности и пластичности композитов Cu–35Cr и Cu–65Cr, полученных прессованием в твердой фазе // "Электрические контакты и электроды". Сб. трудов ИПМ НАНУ. Киев, 2010.– С. 189–197. (Особистий внесок здобувача: підготовка зразків для випробування, дослідження структури і властивостей зразків, участь у написанні тексту статті).

27. **Лаптев А. В.**, Толочин А. И., Хоменко Е. В. Влияние температуры ударного прессования в вакууме на плотность, структуру и свойства порошковой меди // Электрические контакты и электроды. Труды ИПМ НАНУ. Серия «Композиционные, слоистые и градиентные материалы и покрытия». – Киев, 2012. – С. 117–124. (Особистий внесок здобувача: вибір параметрів пресування зразків та їх отримання, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті).

28. Подрезов Ю. М., **Лаптев А. В.**, Толочин О. И., Евич Я. И. Контактотворения при импульсному пресуванні в порошкових двокомпонентних системах Cu–Ni та Ag–Ni // Электронная микроскопия и прочность материалов. Вып. 18. Труды ИПМ НАНУ. Серия «Физическое материаловедение, структура и свойства материалов». – Киев, 2012. – С. 139–149. (Особистий внесок здобувача: підготовка зразків для механічних випробувань, виготовлення пристрою для випробування зразків, корегування тексту статті).

29. Толочин А. И., **Лаптев А. В.**, Хоменко Е. В. Влияние температуры ударного прессования в вакууме на физико-механические свойства композитов Cu–Cr // Электрические контакты и электроды. Труды Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины. Серия "Композиционные слоистые и градиентные материалы и покрытия". – Киев, 2014. – С. 65–74. (Особистий внесок здобувача: вибір параметрів ударного ущільнення зразків, аналіз впливу структури на властивості зразків, участь у написанні тексту статті).

30. Крячко Л. А., **Лаптев А. В.**, Толочин А. И., Бега Н. Д., Евич Я. И., Головкова М. Е., Лебедь А. В. Структура и свойства композита W-50 об.% Cu, полученного с применением порошка вольфрама, активированного размолом в шаровой мельнице // Электрические контакты и электроды. Труды Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины. Серия "Композиционные слоистые и градиентные материалы и покрытия". – Киев, 2014. – С. 75–89. *(Особистий внесок здобувача: вибір параметрів ударного ущільнення зразків, аналіз впливу структури на властивості зразків, участь у написанні тексту статті).*

31. Ковальченко М.С., **Лаптев А.В.**, Юрчук Н.А., Свердел В.В. Анализ физико-механических свойств твердого сплава на основе карбида вольфрама, полученного спеканием и горячим прессованием в вакууме. // Сб. Карбиды и материалы на их основе, Киев, ИПМ, 1991.– С. 110-117. *(Особистий внесок здобувача: пресування зразків та їх підготовка для випробувань, обробка та аналіз результатів випробування зразків, підготовка рукопису статті).*

які засвідчують апробацію матеріалів дисертації на конференціях:

32. **Laptev A. V.** Intercarbide surface is the main obstacle to increase fracture toughness and strength of hardmetals. // Proc. PM'94, Powder Metallurgy World Congress, Paris, France, 1994.– vol.1.– P. 103-106.

33. **Laptev A. V.** Influence of porosity on transverse rupture strength and fracture toughness of two-phase alloy. // Proc.1996 Eur. Conf. on Advances in Hard Materials Production, Stockholm, Sweden, May 27-29, 1996.– P. 313-320.

34. **Laptev A. V.** Strength and fracture toughness of the WC-16 % Co fine grained cemented carbide obtained under high pressure in solid phase. // Proc.14-th International Plansee Seminar '97, May 12-16, Austria, 1997.– vol.2.–P. 665-679.

35. **Laptev A. V.**, Ponomarev S.S., Ochkas L.F. Study of Possibility of Solid Phase Producing Poreless WC-25% Co Hard Metal at High Energy Pressing. // Proc.EURO PM'99 Conf. On Advances in Hard Materials Production, Turin, Italy, November 8-10, 1999.– P. 205-212. *(Особистий внесок здобувача: вибір температурного діапазону пресування зразків та їх ударне ущільнення, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, корегування тексту статті).*

36. **Laptev A. V.**, Ochkas L.F. Study of Solid-Phase Consolidation of Ultrafine Grained WC-26% Ni Hardmetal During High-Energy Hot Pressing. // Proc. PM2001, European Congress and Exhibition on Powder Metallurgy, France, Nice 2001.– vol. 1.– P. 187-193. *(Особистий внесок здобувача: вибір температурного діапазону пресування зразків та їх ударне ущільнення, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті).*

37. **Laptev A. V.**, Solid – state consolidation of WC-Co hardmetals. Peculiarities and prospects. // Proc. Int. Conference "Science for Materials in the Frontier of Centuries: Advantages and Challenges", 4-8 Nov., 2002, Kyiv, Ukraine.– vol.2.– P. 491-492.

38. Homenko E.V., Minakova R.V., **Laptev A.V.** Study of the densification process and mechanical properties of Cr-Cu composite, obtained by sintering and pressing. // Proc. PM2004, Powder Metallurgy World Congress & Exhibition, Austria Centre Vienna, Austria, 17-21 October 2004. - Vol. 5.- P. 577-583. *(Особистий внесок здобувача: вибір параметрів пресування зразків та їх отримання, підготовка зразків для механічних випробувань, корегування тексту статті).*

39. **Laptev A.V.** High-energy (impact) vacuum pressing of powders. //Proceeding of 4th Int. Conference "Welding and Powder Metallurgy-2005", Riga, Jurmala, April 28-29, 2005, Latvia. - ISBN 9984-32-179-7 (in Russian) - P. 175-184.

40. Толочин, А. И., **Лаптев А. В.** Преимущества ультрамелкозернистых твердых сплавов WC-Co с высоким содержанием связки. // Матер. 27-й межд. конф. и выставки "Композиционные материалы в промышленности". – Ялта – Киев, 2007.– С. 184-187. *(Особистий внесок здобувача: аналіз впливу структури зразків на їх механічні властивості, участь у підготовці тексту статті).*

статті).

41. **Laptev A. V.**, Khomenko E. V., Tolochin A. I., Yevich Ya. I. Influence of Pressing Temperature on the Structure and Properties of the Cu – 50Cr Composite // Proc. EURO PM2008, International Powder Metallurgy Congress and Exhibition, – Mannheim, Germany. – 29th September – 1st October 2008.– vol.1.– P. 51-56. *(Особистий внесок здобувача: вибір температурного діапазону пресування зразків та їх ударне ущільнення, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка рукопису статті).*

42. Tolochin A. I., **Laptev A. V.** Relationship between hardness and structure of ultra-fine grained WC–Co alloys rich in binder // 17-th Plansee Seminar 2009 – Int. Conf. on High Performance P/M Materials, Reutte, Austria, May 25–29. – 2009. – Vol.2. – HM52A. *(Особистий внесок здобувача: вибір параметрів пресування зразків, підготовка зразків для механічних випробувань, корегування тексту статті).*

43. **Лаптев А. В.**, Толочин А. И., Хоменко Е. В. Анализ прочности и пластичности композитов Cu–35Cr и Cu–65Cr, полученных прессованием в твердой фазе // Международная Конференция “Электрические контакты и электроды”, 21–27 сентября, Кацивели, Крым, Украина, 2009. – С.37. *(Особистий внесок здобувача: вибір температурного діапазону пресування зразків та їх ударне ущільнення, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків, підготовка тез).*

44. **Лаптев А.В.**, Толочин А.И., Ковальченко М.С. Ударное спекание в вакууме одно- и многофазных порошковых материалов // Материалы конференции ПМ2012 «Порошковая металлургия: ее сегодня и завтра», Киев, Украина, 27-30 ноября, 2012. – С. 152. *(Особистий внесок здобувача: аналіз особливостей ударного ущільнення і спікання порошків у вакуумі, підготовка тез).*

45. Brynk T., Romelczyk B., **Laptev A.**, Tolochyn O., Pakiela Z. Fatigue crack growth in Fe mini-samples consolidated by means of impact sintering // 12th International Conference on Fracture and Damage Mechanics (FDM2013), Sardinia, Italy, September 17–19, 2013. *(Особистий внесок здобувача: вибір параметрів ударного ущільнення зразків, підготовка зразків для випробування, участь у підготовці тез).*

46. **Лаптев А. В.**, Толочин А. И., Крячко Л. А., Евич Я. И., Головкова М. Е. Структура и свойства композита W–50 об.% Cu, полученного из мелкозернистой смеси W–Cu₂O // Международная конференция «Электрические контакты и электроды», Украина, АР Крым, Кацивели, 23–27 сентября, 2013 г. – С.26. *(Особистий внесок здобувача: вибір параметрів ударного ущільнення зразків, аналіз впливу структури на властивості зразків, підготовка тез).*

47. Толочин А. И., **Лаптев А. В.**, Хоменко Е. В. Влияние температуры ударного прессования в вакууме на структуру и физико-механические свойства композитов Cu–Cr // Международная конференция «Электрические контакты и электроды», Украина, АР Крым, Кацивели, 23–27 сентября, 2013 г. – С.27. *(Особистий внесок здобувача: вибір параметрів ударного ущільнення зразків, аналіз впливу структури на властивості зразків, підготовка тез).*

48. **Anatolii Laptev**, Oleksandr Tolochyn, Olena Khomenko, Lidia Kryachko. Solid-state impact sintering in vacuum of composites based on copper and silver // 27th International Conference on Electrical Contacts, June 22 – 26, 2014, Dresden, Germany. – P. 457–462. *(Особистий внесок здобувача: вибір параметрів ударного ущільнення зразків, аналіз впливу структури на властивості зразків, підготовка статті).*

49. Barbara Romelczyk, **Anatolii Laptev**, Oleksandr Tolochyn, Tomasz Brynk, Zbigniew Pakiela. Influence of the impact sintering temperature on the properties of the samples from coarse and fine Fe powders // European Materials Research Society (E-MRS) Fall Meeting and Exhibit, September 15–19, Warsaw, Poland, 2014. *(Особистий внесок здобувача: вибір температурного діапазону пресування зразків та їх ударне ущільнення, дослідження та аналіз структури і властивостей зразків,*

підготовка доповіді).

які додатково відображають наукові результати дисертації:

50. Патент UA 80215, B22F 3/16, C22C 1/05. Інститут проблем матеріалознавства НАН України, **Лаптев А. В.**, Толочин О. І., Ковальченко М. С. Спосіб одержання твердих сплавів з ультрадисперсною структурою, які містять зв'язуюче. Заявл. 04.04.2006, опубл. 27.08.2007, Бюл. № 13.

Вважаємо, що дисертація **Лаптева А. В.** «Особливості консолідації, формування структури і властивостей порошкових матеріалів під дією ударного навантаження в широкому діапазоні температур», на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.06 (Порошкова металургія та композиційні матеріали) виконана на високому науковому рівні і відповідає спеціальності 05.16.06 – “ Порошкова металургія та композиційні матеріали ” та профілю спеціалізованої вченої ради Д26.207.03. У докторській дисертації та наукових працях, які розкривають її результати, відсутні академічний плагіат, фабрикації та фальсифікації.

Робота може бути рекомендована до захисту на спеціалізованій вченій раді Д26.207.03 в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

Рекомендуються офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Рудь Віктор Дмитрович**,
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк,
професор кафедри матеріалознавства

доктор технічних наук, професор **Бейгельзімер Яків Юхимович**,
Донецький фізико-технічний інститут НАН України, м. Київ,
головний науковий співробітник відділу високих тисків та перспективних технологій

доктор технічних наук, професор **Мініцький Анатолій В'ячеславович**,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ,
професор кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

Автореферат відповідає змісту дисертації і може у поданому вигляді бути надрукований.

Висновок комісії затверджено на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.207.03 від “ 09 ” серпня 2023 р., протокол № 1.

Члени комісії:

Член-кореспондент НАНУ, доктор технічних наук, професор Штерн М. Б.



Член-кореспондент НАНУ, доктор технічних наук, професор Гогаев К. О.



Доктор технічних наук, професор Рудь В. Д.

