

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з навчальної роботи  
Національного технічного  
університету України  
Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”  
к.філос.н., проф.  
Анатолій МЕЛЬНИЧЕНКО



“ 19 ” лютого 2024 р.

### ВИТЯГ

з протоколу № 11 від 07 лютого 2024 р. розширеного засідання  
кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

#### БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії:  
зав. кафедри, д. т. н., професор, Богомол Ю. І.; доцент, к. т. н., Соловйова Т. О.; професор, д. т. н., Лобода П. І.; професор, д. ф-м. н.; Зауличний Я. В.; професор, д. т. н., Юркова О. І.; заст. директора НН ІМЗ ім. Є. О. Патона, д. т. н., професор Мініцький А. В.; доцент, к. т. н., Троснікова І. Ю.; к. т. н., доцент, Бірюкович Л. О.; аспірант Наконечний С.О.; аспірант Резнік Д. О.; провідний інженер Пономарчук С. Г.; доцент, к. т. н. Степанов О.В.

#### *інших кафедр КПІ ім. Ігоря Сікорського:*

- кафедри фізики металів та термічної обробки: доцент, к. т. н., Іващенко Є. В.; ст. викладач, к. т. н. Вербицька Т. І.; д. т. н., професор, Макогон Ю. М.;
- кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій: к. т. н., доцент, Кагляк О. Д.;
- кафедри зварювального виробництва: д. т. н., професор, Смирнов І.В.

#### СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії Завадюка Сергія Вікторовича за матеріалами дисертаційної роботи «Керування процесами формування із порошків

сплавів заліза деталей складної форми з підвищеними фізико-механічними властивостями», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю матеріалознавство код 132, Освітньо-наукова програма: Матеріалознавство.

Тему дисертаційної роботи «Керування процесами формування із порошків сплавів заліза деталей складної форми з підвищеними фізико-механічними властивостями» затверджено на засіданні Вченої ради ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 4 від 09.12.2020 року)

Науковим керівником затверджений академік НАН України д.т.н., професор Лобода П.І.

## 2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

- д. ф-м. н., професор, Зауличний Я. В.
- д. т. н., професор, Макогон Ю. М.;
- к. т. н., доцент, Кагляк О. Д.
- д. т. н., професор, Богомол Ю. І.

## 3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

- д. т. н., професор, Юркова О. І.;
- д. т. н., академік НАН України, професор Лобода П. І.;
- д. т. н., професор, Макогон Ю. М.;
- д. т. н., професор, Богомол Ю. І.;
- д. ф-м. н., професор, Зауличний Я. В.;
- д. т. н., професор, Мініцький А. В.;
- д. т. н., професор, Смирнов І. В.

## **УХВАЛИЛИ:**

**ПРИЙНЯТИ** такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

**1. Актуальність теми дослідження** Технологія інжекційного лиття порошків набула широкого поширення у виготовленні деталей вогнепальної зброї та спецзасобів. Дана технологія дозволяє виготовляти деталі складної форми у великих кількостях з низькою собівартістю. Проте, до таких деталей пред'являються підвищені вимоги щодо надійності та безвідмовності

впродовж всього терміну експлуатації виробу. Деталі вогнепальної зброї переважно працюють в умовах ударно-абразивного зносу, тому матеріали, які використовуються для їх виготовлення повинні мати високі показники втомної міцності, твердості та ударної в'язкості. Під час експлуатації виробів із сплаву Catamold8740 виявлено, що після спікання в порошковій сталі залишаються крупні пори, які призводять до руйнування деталей. Тому метою даної роботи є підвищення фізико-механічних властивостей деталей складної форми, що виготовляються за технологією ІЛП із низьколегованих порошкових сталей Catamold8740 та PolyPOM8740

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Робота виконувалась на кафедрі високотемпературних матеріалів та порошкової металургії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» і мала зв'язок з науково-дослідною роботою «Створення фізичних основ керування ущільненням порошків під час інжекційного формування деталей для екстремальних умов експлуатації» (номер державної реєстрації: 0120U102142)

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

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше на сумішах порошків для інжекційного формування PolyPOM8740 і Catamold8740 доведено, що частинки порошку лігатур крупністю  $\geq 40$  мкм активують процес локально неоднорідного ущільнення, який призводить до формування крупних пор та зниження ударної в'язкості спеченої порошкової сталі.

2. Вперше встановлено взаємозв'язок між ступенем та швидкістю об'ємного та локально неоднорідного ущільнення пресовки із порошків заліза з розміром частинок 5 мкм, 100 мкм та їх еквімолярних сумішей, величиною залишкових напружень та областей когерентного розсіювання. В рамках фізичного експерименту доведено, що в порошковій пресовці залишкові напруження тим більші, чим більша швидкість та ступінь об'ємного ущільнення пресовки і чим менше реалізується процес локально неоднорідного ущільнення в мікрооб'ємах, ступінь реалізації якого корелює з розміром областей когерентного розсіювання, що збільшуються по мірі збільшення полідисперсності порошків, що спікаються.

3. Вперше встановлено величину напружень, що виникають в пресовці, що спікається внаслідок фазового переходу альфа заліза в гамма залізо під час нагрівання і в зворотному напрямку під час охолодження. Доведено, що величина напружень розтягування та стиснення в матеріалі частинок порошку перевищує межу пластичності і спричиняє формування сходинок проковзування дислокацій, що виявляються растровою електронною

мікроскопією.

4. Вперше доведено, що величина напружень в порошковій пресовці під час спікання тим більша, чим менший середній розмір порошку і міцніші зв'язки між частинками порошку. Іншими словами, напруження в пресовці тим більші, чим більша міцність міжчастинного контакту зусилля розтягування, що обумовлені локально неоднорідним ущільненням в макрооб'ємах.

5. Встановлено, що механічна міцність спечених сталей після термообробки практично не залежить від величини щільності, яка значно змінює механічні характеристики міцності, пружності та граничного видовження сталей після спікання.

6. В роботі вперше встановлено можливість покращення ударної в'язкості низьколегованих порошкових сталей, отриманих інжекційним формуванням, за рахунок термоциклічного спікання в зоні температур фазового перетворення.

#### **4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи**

Отримані результати з впливу параметрів спікання на властивості матеріалів, отриманих методом інжекційного формування, реалізовано в КНВО «ФОРТ» для виготовлення компонентів стрілецької зброї, що працюють в умовах ударно-абразивної взаємодії.

#### **5. Апробація/використання результатів дисертації**

Основні наукові положення та результати роботи представлено та обговорено на наступних конференціях: XLVIII Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2019), Міжнародна наукова конференція «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 10» (2020), Школа-конференція молодих вчених. Сучасне матеріалознавство: фізика, хімія, технології (2021).

#### **6. Дотримання принципів академічної доброчесності**

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Завадюка Сергія Вікторовича визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

**7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача**

За результатами досліджень опубліковано 9 наукових публікацій, у тому числі:

- 4 статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю, 132 Матеріалознавство, в т.ч. 3 статті, у яких число співавторів (разом із здобувачем) більше двох осіб;

- 2 статті у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах Scopus та/або Web of Science Core Collection із зазначенням квартилю видання Q3;

- 3 тези виступів на наукових конференціях;

1. **Zavadiuk S.V.**, Loboda P.I., Soloviova T.O., Trosnikova I.I., Karasevska O.P. Fracture Features of Low-Alloy Steel Produced by Metal Injection Molding // *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. – 2021. – Vol. 59, № 11-12. – P. 641 – 650. DOI: 10.1007/s11106-021-00199-0. (Особистий внесок: виготовив дослідні зразки, брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував статтю до друку).
2. **Zavadiuk S.V.**, Loboda P.I., Soloviova T.O., Trosnikova I.I., Karasevska O.P. Optimization of the Sintering Parameters for Materials Manufactured by Powder Injection Molding // *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. – 2020. – Vol. 59, №1-2. – P. 22 – 28. DOI: 10.1007/s11106-020-00134-9(Особистий внесок: виготовив дослідні зразки, брав участь у обробленні й обговоренні результатів).
3. Remizov D.O., Stepanchuk A.M., Soloviova T.O., Loboda P.I., **Zavadiuk S.V.** The use of self-fluxing alloys as a source of alloying elements in producing powder products of construction purpose from low-alloyed iron // *KPI Science News*. – 2021. – №. 4. – P. 58–68. doi: 10.20535/kpissn.2021.4.263195. (Особистий внесок: виготовив дослідні зразки, брав участь у обробленні й обговоренні результатів)
4. Karasevskaya O., Trosnikova I., Solovyova T., **Zavadyuk S.**, Loboda P. Influence of heat treatment on stress deformed state for materials obtained by powder injection molding // *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. – 2021. – № 72. – С. 94-100. DOI 10.36910/775.24153966.2021.72.14. (Особистий внесок: виготовив дослідні зразки, брав участь у обробленні й обговоренні результатів)
5. Писаренко В.Г., **Завадюк С.В.** Дослідження ударної в'язкості матеріалу отриманого за технологією інжекційного лиття порошку // *Проблеми трибології*. – 2018. – № 3. DOI:10.31891/2079-1372-2018-89-3-42-46. (Особистий внесок: виготовив дослідні зразки, брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував статтю до друку)
6. **Zavadyuk S.V.**, Loboda P.I., Soloviova T.O., Trosnikova I.Yu. Influence of heat treatment on the impact strength of materials produced via metal injection molding // *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. Луцьк. – 2020. – №70. – С. 65-70. DOI 10.36910/6775.24153966.2020.70.9 (Особистий внесок: виготовив дослідні зразки, брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував статтю до друку)

7. Соловйова Т.О., Завадюк С.В., Штофель О.О., Троснікова І.Ю., Лобода П.І., Карасевська О.П. «Встановлення відмінностей характеристик зразків, отриманих за технологією інжекційного лиття порошків» // Школа-конференція молодих вчених. Сучасне матеріалознавство: фізика, хімія, технології. Ужгород Водограй Україна, 4 - 8 жовтня. 2021р. – С. 146-147. (Особистий внесок: брав участь в отриманні, обробленні та обговоренні результатів).

8. Завадюк С.В. Визначення впливу параметрів спікання на мікроструктуру матеріалу виготовленого за технологією інжекційного лиття порошку // *XLVIII Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту*, 2019. – С. 1-2. (Особистий внесок: брав участь в отриманні, обробленні та обговоренні результатів)

9. Завадюк С.В., Лобода П.І., Соловйова Т.О., Троснікова І.Ю. Вплив процесу гарячого ізостатичного пресування на динамічні властивості порошкових матеріалів // *Міжнародна наукова конференція «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 10»*, Київ, Україна, 10 – 11 грудня 2020 р. – С. 30-34. (Особистий внесок: брав участь в отриманні, обробленні та обговоренні результатів)

Якість та кількість публікацій відповідають “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Завадюка Сергія Вікторовича «Керування процесами формування із порошків сплавів заліза деталей складної форми з підвищеними фізико-механічними властивостями», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю матеріалознавство код 132, за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред’являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПІ ім. Ігоря Сікорського Матеріалознавство, зі спеціальності 132 Матеріалознавство

#### РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу «Керування процесами формування із порошків сплавів заліза деталей складної форми з підвищеними фізико-механічними властивостями», подану Завадюком Сергієм Вікторовичем на здобуття

наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

Доктор фізико-математичних наук, професор кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Зауличний Ярослав Васильович;**

Члени:

Рецензенти:

Доктор технічних наук, доцент кафедри ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Лютий Ростислав Володимирович;**

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри зварювального виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Смирнов Ігор Володимирович**

Офіційні опоненти:

Член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, директор, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича

**Баглюк Геннадій Анатолійович**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології металів та матеріалознавства, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Глушкова Діана Борисівна**

Головуючий на засіданні  
д. т. н., професор, зав. кафедри ВТМ та ПМ,  
НН ІМЗ ім. Є. О. Патона,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського



Юрій БОГОМОЛ

Вчений секретар  
Кафедри ВТМ та ПМ,  
к. т. н., доцент



Ліна БІРЮКОВИЧ