



БАГЛЮК

Геннадій Анатолійович — доктор технічних наук, заступник директора Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ІННОВАЦІЙНІ ПЕРСПЕКТИВИ НОВІТНІХ РОЗРОБОК У ГАЛУЗІ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 31 березня 2021 року

У доповіді наведено найважливіші результати фундаментальних і прикладних досліджень у галузі порошкової металургії та композиційних матеріалів, проведених в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, який протягом багатьох років був і залишається головною організацією в країні, що координує наукову і науково-технічну діяльність у галузі порошкової металургії. Розробки Інституту впроваджено на підприємствах оборонно-промислового комплексу, авіабудівної та ракетно-космічної галузей України. На виконання урядових рішень триває процес створення на базі Інституту матеріалознавчого центру з оцінювання відповідності та взаємозамінності матеріалів критичного імпорту з метою задоволення потреб вітчизняних підприємств.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні члени Президії!

Сьогодні я маю честь ознайомити вас зі станом справ у галузі порошкової металургії та найважливішими результатами фундаментальних і прикладних робіт, проведених в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

Хотів би розпочати свою доповідь з короткого екскурсу до історії нашого Інституту та розвитку в Україні такого важливого науково-технічного напрямку, як порошкова металургія, головним завданням якої є створення новітніх матеріалів з унікальними властивостями.

Історія Інституту проблем матеріалознавства починається з 1952 р. У повоєнний період в Інституті чорної металургії АН УРСР успішно функціонував відділ фізико-хімії металургійних процесів, який очолював відомий учений, лауреат Державної премії СРСР член-кореспондент (згодом — академік) АН УРСР Іван Микитович Францевич. Саме на базі цього від-

ділу у листопаді-грудні 1952 р було створено окрему установу — Лабораторію спеціальних сплавів АН УРСР. Під її розміщення було передано напівзруйновану будівлю економічного двору Києво-Печерської лаври. Лабораторія виконувала фундаментальні дослідження з розроблення матеріалів з високими показниками жаростійкості, жароміцності та ерозійної стійкості, зокрема й з використанням методів порошкової металургії. Потім, у 1955 р., її було реорганізовано в Інститут металокераміки і спецсплавів АН УРСР, а в 1964 р. перейменовано на Інститут проблем матеріалознавства. Від моменту створення і до 1973 р. директором Інституту був І.М. Францевич.

Біля витоків Інституту разом з І.М. Францевичем стояли такі видатні вчені та організатори науки, як фізико-хімік Валентин Никифорович Єременко, хімік і металург Георгій Васильович Самсонов, металознавець і порошковик Іван Михайлович Федорченко.

Після Івана Микитовича Францевича Інститут очолювали відомі вчені, кожен з яких зробив свій внесок у розвиток матеріалознавства і, зокрема, порошкової металургії: Віктор Іванович Трефілов (1973–2001), Валерій Володимирович Скороход (2002–2015), Юрій Михайлович Солонін (з 2015).

У всі роки діяльності Інституту головний напрям його наукової роботи ґрунтувався на глобальній ідеї І.М. Францевича — створення нових матеріалів із заданими властивостями для екстремальних умов експлуатації на основі результатів фундаментальних досліджень у галузі фізичної та неорганічної хімії, фізичного матеріалознавства, фізики твердого тіла, механіки деформованого твердого тіла тощо.

Упродовж більш як пів століття Інститут був і залишається головною організацією, спочатку — в СРСР, а потім — у незалежній Україні, яка координувала наукову і науково-технічну діяльність у галузі порошкової металургії. Для поліпшення координації робіт з цього напрямку та прискорення впровадження наукових розробок у промисловість на базі Інституту було створено міжгалузевий науково-технічний комплекс (МНТК) «Порошкова металургія»,

до складу якого входило близько 20 інститутів, проєктних організацій і промислових підприємств. У 1990 р. колектив МНТК налічував понад 4,5 тис. осіб, зусилля яких було спрямовано на розвиток фундаментальних матеріалознавчих досліджень, впровадження нових матеріалів і технологій у такі наукомісткі галузі економіки, як прецизійне машинобудування, електроніка, енергетика, авіаційна і космічна промисловість, транспортне машинобудування тощо. Значну кількість розробок у галузі порошкової металургії було створено на замовлення оборонно-промислового комплексу. У той період Інститут очолював комплексну науково-технічну програму співробітництва держав — членів Ради економічної взаємодопомоги «Порошкова металургія», в якій брали участь понад 60 організацій з 8 країн-учасниць.

Тепер перейдемо безпосередньо до порошкової металургії — напряму з виготовлення виробів з металевих порошків або з їх композицій з неметалевими порошками. На сьогодні розроблено вже десятки різних технологій для отримання металевих і керамічних порошків, і практично кожна з них розвивається в нашому Інституті. На особливу увагу заслуговують створені нами установки для розпилення порошків газом, а також метод плазмового ротаційного розпилення з електрода, що обертається (PREP), які дають змогу отримувати порошки з будь-яких жароміцних матеріалів з частинками правильної сферичної форми і регламентованим фракційним складом. Це особливо важливо для застосування в адитивних технологіях 3D-принтингу, які останнім часом дуже активно розвиваються в усьому світі.

Загалом порошкова металургія, порівняно з традиційними металургійними методами, має дві істотні переваги. По-перше, вона дозволяє отримувати вироби складної форми, які практично не потребують подальшої механічної обробки. Це забезпечує безвідходність і, відповідно, економічність процесу виготовлення деталей, тому провідні автомобілебудівні компанії світу з кожним роком все більше застосовують ці технології у виробництві своєї продукції. Другою важливою перевагою порошкової

металургії є те, що вона дає змогу створювати нові матеріали, які принципово неможливо одержати в будь-який інший спосіб. Саме про розроблення таких матеріалів я розповім дещо детальніше.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України традиційно приділяв велику увагу створенню матеріалів триботехнічного призначення. Так, було запропоновано і науково обґрунтовано принципово новий технологічний підхід для отримання високозносостійких композиційних матеріалів на основі залізовуглецевих та нікелевих сплавів, армованих високомодульними сполуками з карбідів (карбоборидів) титану. Цей підхід оснований на використанні ефекту *in situ* формування високодисперсної карбідної фази в процесі термічного синтезу з вихідної суміші з порошків титану (гідриду титану), вуглецю (або карбиду бору) та сплаву на основі заліза (нікелю). Такі групи матеріалів вирізняються високою зносостійкістю і є значно дешевшими, ніж традиційні вольфрамкові тверді сплави, оскільки температура їх синтезу (близько 1140–1150 °С) є істотно нижчою за температуру синтезу традиційного порошку TiC (1600 °С). Проте спечені заготовки, отримані таким способом, через високу екзотермічність реакції мають досить велику поруватість. Тому було розроблено технологію їх додаткової обробки гарячим штампуванням, що сприяє утворенню набагато більш дисперсної мікроструктури, ніж у виробів зі спеченої карбідосталі, отриманих методом рідкофазного спікання, і, відповідно, зумовлює вищі механічні характеристики. Крім того, ця технологія дає можливість одночасного гарячого штампування біметалевих виробів, які складаються з високозносостійкого шару карбідосталі та зовнішнього шару з більш дешевої базової сталі.

Розроблений нами підхід до заміни порошку карбиду титану як вихідної сировини на порошки титану або гідриду титану було застосовано і до одержання алюмоматричних композитів системи Al–TiC. Такий низькотемпературний синтез з варіюванням складу вихідних компонентів дозволяє отримувати не тільки компо-

зити зі сферичними частинками TiC розміром близько 1 мкм, а й голкоподібні включення складних карбідів Ti та Al, що зумовлює електропровідні та зносостійкі властивості матеріалів. Такі алюмоматричні композити з поліпшеними механічними і триботехнічними властивостями використовують, зокрема, для виготовлення поршнів компресорів методом гарячого штампування.

Цікавою виявилася розроблена нами технологія виготовлення державок металорізального інструменту зі спеченої порошкової сталі. Зазвичай вважається, що чим твердіший і менш поруватий матеріал, тим вищі його механічні характеристики. Однак виявилось, що для державок різців існує певний оптимум поруватості (близько 15 %), який забезпечує меншу силу різання і більшу чистоту поверхні оброблюваного матеріалу внаслідок поліпшення вібродемпфувальних властивостей. Цю технологію впроваджено на двох вітчизняних підприємствах та одному підприємстві в Болгарії.

Ціла низка розробок нашого Інституту стосується електроконтактних порошкових матеріалів. Я розповім лише про дві з них. Це електроконтактні вставки для струмознімальних вузлів тролейбусів, виготовлених з металополімерного композиту (металева порувата заготовка, просочена відповідним електропровідним полімером), які мають дуже високі експлуатаційні характеристики, а також струмознімальні біметалеві контактні пластини з антифрикційного дисперснозміцненого матеріалу на основі порошків міді, серійне виробництво яких організовано для потреб Укрзалізниці на підприємстві ТОВ «Інтер-Контакт-Пріор».

Що ж до наших розробок зі створення жароміцних металевих та керамічних порошкових матеріалів, наведу лише два приклади. Так, під керівництвом члена-кореспондента НАН України О.М. Григор'єва було створено ультрависокотемпературні кераміки на основі бориду цирконію. Ці матеріали мають високі, а б навіть сказав — рекордні, експлуатаційні характеристики в агресивних середовищах та в умовах високих температур (до 1800–2000 °С), такі як стійкість до корозії та окиснення, тер-

мо- і ударостійкість, міцність і в'язкість при руйнуванні, абразивна зносостійкість і досить задовільна, як для кераміки, пластичність. Такі матеріали затребувані в аерокосмічній промисловості для виготовлення деталей космічних апаратів багаторазового використання, передніх кромок гіперзвукових аерокосмічних апаратів, високотемпературних частин газотурбінних двигунів, а також у виробництві енергетичного та металургійного обладнання.

У 2019 р. на замовлення наших китайських колег з Інституту авіаційних матеріалів у Пекіні ми виготовили установку гарячого пресування для отримання виробів з ультрависокотемпературної кераміки.

За результатами дослідження закономірностей реакційного спікання металічних композицій, що містять інертні добавки, розроблено серію нових дисперснозміцнених жароміцних нікелевих сплавів і технологію виготовлення з них деталей та конструкцій аерокосмічного призначення. Порівняно з відомими зарубіжними аналогами ці матеріали характеризуються меншою густиною, що важливо для цієї галузі застосування, більш високими міцнісними параметрами та вищими робочими температурами.

На замовлення ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля» (м. Дніпро) з таких дисперснозміцнених жароміцних нікелевих сплавів було виготовлено кромки повітрязбірника гіперзвукового літака та теплозахисну панель стільникової конструкції для багаторазового космічного апарата.

В Інституті створено унікальні установки для нанесення високотемпературних покриттів та отримання методом випаровування-конденсації високочистих тугоплавких сплавів і порошків. Забезпечено серійні поставки високочистих металевих високолегованих сплавів, порошків та покриттів на їх основі з використанням розробленого на базі НВП «Елтехмаш» обладнання для потреб провідних промислових підприємств України, а також за контрактами з кількома зарубіжними компаніями.

Так, на ДП НВКГ «Зоря-Машпроект» (м. Миколаїв) використовується сплав CoCrAlY

(МЗП-1) для термоосадження бар'єрного покриття, а також порошок сплаву CoCrAlYSi (МЗП-11) для формування внутрішнього жаростійкого підшару термобар'єрного покриття метал/кераміка, що осаджується за допомогою плазмової технології. За останні 5 років ми поставили нашим партнерам з України та Китаю 6000 кг сплаву МЗП-1 і 1500 кг сплаву МЗП-11.

Трубчасті катоди, виготовлені за електропроменевою технологією зі сплаву NiCrAlY (МЗП-6), використовуються для нанесення іонно-плазмових покриттів на наших установках серії МАП, які експлуатуються на підприємстві АТ «Мотор Січ» (м. Запоріжжя). Це дало можливість відмовитися від закупівлі таких катодів за кордоном. Наші промислові електронно-променеві установки працюють на ДП «Івченко-Прогрес» (м. Запоріжжя), а також у Китаї, Великій Британії та Вірменії.

Спільно з КБ «Південне» проведено комплекс досліджень з розроблення та атестації тонкошарового теплозахисного покриття ТТП-ФС донної частини першого ступеня ракетносія «Антарес». Якість проведених робіт було підтверджено успішними пусками РН «Антарес».

В інтересах оборонно-промислового комплексу України в нашому Інституті розроблено дискретні кераміко-полімерні конструкції додаткового балістичного захисту легкоброньованої техніки від ураження зброєю калібрів 7,62; 12,7; 14,5 мм з вмістом керамічних циліндричних елементів з карбїду кремнію, виготовленого методом реакційного спікання. Ця додаткова броня при зниженні поверхневої питомої маси може забезпечити захист від багаторазових влучень бронебійних куль і підвищити живучість елементів конструкції легкоброньованої техніки. Зараз такі кераміко-полімерні конструкції додаткового захисту вже випускаються серійно, хоча й невеликими партіями.

Створено спеціальну вдосконалену технологію виготовлення артилерійських гільз (піддонів) діаметром до 160 мм методом гарячого штампування з наступною ротаційною витяжкою. Технологія вже пройшла дослідно-

промислову апробацію, і її впроваджено у виробництво на ПАТ «Кузня на Рибальському» (м. Київ). Також розроблено технологію виготовлення кумулятивних воронок бойових частин протитанкових ракет калібру 125 мм з хвостовим аеродинамічним стабілізатором, яка забезпечує підвищені характеристики бронепробиття (до 650 мм).

У 2019 р. на виконання протокольного рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.08.2019 «Щодо проблемних питань сертифікації вітчизняних комплектувальних виробів, матеріалів та сировини для авіаційної техніки Збройних Сил України та інших військових формувань», а також рішення узгоджувальної наради за участю представників Міністерства оборони України, Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України, Державного концерну «Укроборонпром» та Національної академії наук України від 24.12.2019 було запропоновано створити на базі Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України матеріалознавчий центр з оцінювання відповідності та взаємозамінності матеріалів критичного імпорту. Зараз триває процес узгодження з Міністерством з питань стратегічних галузей промисловості України та підготовка проєкту спільного з НАН України наказу про започаткування такого центру.

Останнім часом поряд з традиційними для Інституту розробками нових складів та технологій виготовлення порошкових конструкційних матеріалів інтенсивно почали розвиватися нові напрями досліджень, пов'язані зі створенням полікомпонентних (високоентропійних) сполук. Так, спільно з ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» уперше було розроблено промислову технологію отримання надтвердих високоентропійних нітридних, карбідних та оксидних покриттів, які забезпечують збільшення терміну працездатності інструмента в 2–3 рази. При цьому було синтезовано та досліджено властивості більш як 40 раніше не відомих полікомпонентних сполук з рекордними значеннями модуля пружності та твердості.

Створено композиційну наноструктуровану, армовану менш розчинними голкоподібними частинками біоактивну кальцій-фосфатну кераміку, що здатна стимулювати в організмі людини регенерацію повноцінної кісткової тканини. Застосування таких матеріалів у черепно-щелепно-лицевій хірургії, стоматології, парадонтології, отоларингології, ортопедії, офтальмології, ендокринній хірургії пов'язане з низкою їх переваг, а саме: ці матеріали містять лише фізіологічні складові; мають високу біосумісність завдяки їх подібності до мінеральних компонентів кісткової тканини; імплантати з них інтегруються з кісткою без утворення фіброзної капсули; матеріали дають можливість регулювати швидкість розсмоктування, формувати вироби складної форми, наносити покриття без зміни фазового складу; вони добре зберігаються і їх можна багаторазово стерилізувати.

Крім того, в Інституті розроблено технології модифікування розплавів порошковими брикетованими модифікаторами. При цьому ступінь засвоєння магнію в розплаві зростає на 25–30% порівняно з аналогічними литими основними сплавами, стабілізується хімічний склад, структура та властивості сплавів, підвищуються механічні характеристики. До того ж такі модифікатори отримують з пилоподібних відходів виробництва феросплавів, чим забезпечується можливість їх утилізації. Із застосуванням Fe-Cu-Mg порошкових модифікувальних брикетів було відлито валки і проведено їх експлуатаційні випробування. Результати цих випробувань показали підвищену міцність та на 20–25% вищу стійкість валків, відлитих з використанням порошкових брикетів, порівняно з валками серійної виплавки. Технологію виробництва титанової бронзи з використанням порошкових брикетованих модифікаторів впроваджено на підприємствах компанії Ningbo Jintan Copper Group (Китай).

Розроблено також технології утилізації відходів металургії та машинобудування з використанням методів порошкової металургії. Наприклад, було отримано зносостійкі композити системи карбід титану–сталь (карбідосталі)

на основі шламових відходів підшипникового виробництва. Одержані в такий спосіб матеріали можна застосовувати для виготовлення деталей, до яких висуваються підвищені вимоги щодо зносостійкості та абразивного зношування. Також створено фрикційні композити на основі абразиввмісних шліфувальних шламів і технології утилізації золошлакових відходів теплових електростанцій, які містять залізо, кремній, алюміній, титан, кальцій, манган та інші хімічні елементи.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України є головною організацією зі стандартизації в галузі порошкової металургії. За період з 2009 по 2020 р. було розроблено 35 державних стандартів України, які відповідають міжнародним стан-

дартам у цій галузі. Більшість з них уже набули чинності.

Як я вже зазначав, Інститут активно співпрацює із зарубіжними науковими центрами і виробничими компаніями зі Сполучених Штатів Америки, Польщі, Болгарії, Македонії та інших країн, але найбільш плідно наше співробітництво розвивається з колегами з Китаю — за їх ініціативою було створено Українсько-китайський інститут матеріалознавства ім. І.М. Францевича та науково-технологічний центр зі створення нових високоефективних матеріалів та технологій порошкової металургії.

Дякую за увагу!

*За матеріалами засідання
підготувала О.О. Мележик*

Gennadiy A. Baglyuk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3305-8896>

Frantsevich Institute for Problems of Materials Science
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

CURRENT STATE AND INNOVATIVE PROSPECTS OF THE LATEST DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF POWDER METALLURGY AND COMPOSITE MATERIALS

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, March 31, 2021

The report presents the most important results of basic and applied research in the field of powder metallurgy and composite materials, conducted at the Institute for Problems of Materials Science of the NAS of Ukraine, which for many years was and remains the main organization in the country that coordinates scientific and scientific-technical activities in the field of powder metallurgy. Developments of the Institute have been implemented at the enterprises of the defense-industrial complex, aircraft-building and rocket-space industries of Ukraine. It is proposed to create a materials science center on the basis of the Institute to assess the conformity and interchangeability of critical import materials to meet the needs of domestic enterprises.

Keywords: powder metallurgy, composite materials, metal powders, ceramic powders.