

М. НОВІКОВ

НА РІВНІ СВІТОВИХ ДОСЯГНЕНЬ

На тлі загальної ситуації в науці, коли внаслідок різкого скорочення фінансування деякі галузі змушені були відчутно зменшити обсяги дослідницької діяльності, особливу увагу привертає досвід академічних установ, яким вдалося зберегти рівень своїх розробок і навіть цілеспрямовано рухатися вперед. Саме таким є Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, який, подолавши труднощі кризового періоду, робить упевнені кроки, опановуючи ази ринкової економіки, і вже має чимало нових досягнень світового рівня.

Сьогодні Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України — головна ланка концерну АЛКОН НАНУ, до якого входять ще 12 підприємств виробничої бази. Потужна лабораторно-виробнича база установи, на жаль, застаріла вже на 70—80%. Однак завдяки творчим зусиллям колективу, його прагненню максимально адаптуватися до ринкових реалій інститут продовжує успішно працювати і навіть виходить на нові рубежі. Він, як і раніше, утримує позицію провідного дослідницького матеріалознавчого та інструментально-виробничого центру України.

Завдяки цілеспрямованим фундаментальним дослідженням закладаються наукові основи для практичного одержання матеріалів, ефективніших, ніж існуючі, з високими характеристиками твердості і комплексом інших функціонально важливих фізико-механічних властивостей. Дослідницький пошук підкріплюється технічними розробками і комп'ютерним проектуванням інструментів, виробів із заданими властивостями. Вдосконалюються технологічне обладнання, методи і прилади контролю якості матеріалів і виробів. Важливим напрямом у роботі дослідників є вивчення контактної взаємодії інструментів з надтвердих матеріалів з оброблюваними матеріалами у різних процесах механообробки.

Створюються породоруйнівні інструменти з твердих сплавів, наділені поліпшеними властивостями, з нової технічної високощільної кераміки. Ця техніка потрібна для буріння свердловин, проходки шахт, обробки гранітів, бетону, інших будівельних матеріалів. Інститут неухильно керується принципом доведення своїх науково-дослідних розробок до прикладних виробничих результатів у єдиному циклі. Його підприємства беруть безпосередню участь у дослідному освоєнні нових технологій.

Базовими для установи є дослідження можливостей одержання нових матеріалів під дією високих тисків до 10,0 ГПа і температур до 2500 К. Результатом розрахунків, комп'ютерного проектування і технічних робіт стало створення зразків досконалих пресів, які забезпечують навантаження від 650 до 3,5 тис. тонн, і твердотільних апаратів високого тиску з підвищеною надійністю, довговічних, із збільшеним робочим об'ємом.

Застосування аналітичних методів нелінійної механіки твердого тіла для числових розрахунків полів напружень, кінетики пружно-пластичних деформацій, а також методів термодинаміки для аналізу об'ємного розподілу температури у складних за набором деталей твердотільних апаратах високого тиску дає змогу здійснювати експериментально-обчислювальні операції на світовому рівні. Забезпечено можливість вивчати особливості

синтезу алмазів і кубоніту у циклах від кількох секунд до сотень годин. Завдяки дослідженням наших науковців уперше стало реальним прогнозувати чисельно вихід крупних кристалів або порошків (навіть з нанорозмірами) на підставі даних про склад розчину вуглецевої речовини у металевому розплаві, про особливості конструкції реакційної чарунки апарата високого тиску, заданої у часі температурної програми, рівня високого тиску.

Введені до ладу кілька нових стендів із сучасним обладнанням для досліджень за надвисоких тисків. Тут використано апарати з алмазними ковадлами і лазерним нагріванням досліджуваних речовин при стисканні та крутінні, наноіндентор (один із небагатьох в Європі), тунельний мікроскоп, комбінований з пристроями для індентування зразків та виміром нанопереміщень з реєстрацією емісії хвиль напружень від мікропластичних локальних деформацій. Особливість цих унікальних пристроїв у тому, що, застосовуючи відносно прості засоби (але досягаючи при цьому бездоганної точності), можна здійснювати локальне навантаження зразків матеріалів до 30 ГПа (тиск у 300 тис. атм.).

У результаті експериментів на створеному устаткуванні та подальших розрахунків побудовані подвійні і потрійні фазові діаграми систем металів з вуглецем або нітридом бору за високих тисків. Уперше запропоновано 7 таких діаграм. Використано спеціальну за конструкцією чарунку апарата високого тиску і створено сучасну вимірювальну систему, що дає змогу спостерігати поверхневі явища при змочуванні розплавами вуглецевих і нітридних утворень для з'ясування особливостей механізму масопереносу в процесах синтезу алмазів і кубоніту. Так, для алмазів встановлено фазові рівноваги у металевих розплавах з вуглецем, визначено закономірності формування зародків кристалів і кінетики кристалізації. Завдяки цьому одержано кристали синтетичних алмазів нових морфологічних форм, у тому числі крупні (5—7 мм), виростити які раніше не вдавалося. Підвищився ступінь перетворення вихідної вуглецевої речовини на алмази.

Розроблена класифікація добавок у ростові середовища для отримання порошків з кристалів алмазу різних за морфологією, розмірами і властивостями. Вона базується на можливості керування міжфазною енергією межі поділу «кристал—ростове середовище». Кристалографічний аналіз та оцінка каплярних характеристик цієї межі дали змогу встановити закономірну кореляцію між змочуванням різних граней кристала алмазу, формою, яка утворюється, та інтенсивністю маси, що нарощується. Висновок — кристал зростає і формується тими гранями, які гірше змочуються розплавом ростового середовища. Це є важливим доповненням до основної теореми (Вульфа) про умови кристалізації з розчинів у розплавах.

Виявлено особливість, яка має принципове значення: вплив добавок — модифікаторів розплавів — на габітус кристалів алмазів визначається вибірковою адсорбцією домішки тими гранями, які мають найвищу поверхневу енергію. Це спричиняє зміну анізотропії розподілу поверхневої енергії різних граней і створює умови для появи нових граней з високою поверхневою енергією. Досягається зменшення відхилень форми кристалів від бажаної при кристалоутворенні та розширюються можливості її вдосконалення.

Надзвичайно перспективним є вивчення форм існування домішок азоту і бору в алмазних кристалах. Технологічна реалізація розробок у цьому напрямі привертає сьогодні особливу увагу світової наукової і бізнесової спільноти. Кількість таких домішок (концентрація від 10^{16} до 10^{20} см⁻³) і розміщення у структурі (рівномірне, нерівномірне, форма — парамагнітна чи непарамагнітна) визначають забарвлення і властивості, зокрема напівпровідникові, звичайного діелектричного алмазного кристала, а також

характеристику його теплопровідності. Теоретично і експериментально доведено можливість змінювати колір, частково виправляти дефекти у природних алмазах, а також синтезувати різнокольорові (білі, жовті, сині) алмази, такі, що мають досконалу прозорість, напівпровідникові властивості або ж значно вищу теплопровідність. Для цього використовуються спеціальні конструкції реакційної чарунки, оптимізовані режими термобаричної обробки природних алмазів і програмовані до ста годин режими вирощування синтетичних. У реакційний склад вносяться спеціальні добавки.

Великий обсяг попередньої роботи дав змогу успішно підготувати і провести складні наукові експерименти разом із зарубіжними вченими. Були створені досконалі умови для спостереження стадійності фазових перетворень у реакційній суміші при зростанні тиску та нагріванні до надвисоких рівнів у реальному часі. Спостереження за станом зразків велося методом дифракції яскравого синхротронного випромінювання на сучасних синхротронах 2-го і 3-го покоління у Гамбурзі (Німеччина), Греноблі (Франція) та Харіма (Японія), де енергія заряджених частинок сягає 8 гігаелектронвольтів.

В експериментах світового рівня їх учасники вперше могли наочно спостерігати стадійність процесу формування невідомої у природі сполуки - кристалів надтвердого (другого після алмазу) кубічного за кристалічною будовою карбонітриду бору та кристалізації алмазів із розчинів вуглецю. Використовуючи розплави різного складу (зокрема традиційного), вдалося з'ясувати певні закономірності такої кристалізації.

Зроблено узагальнення фундаментального значення: знайдено прямі докази на користь давно відстоюваного нами положення щодо можливості одержувати кристали алмазів, однакових за властивостями з природними. У виробничих умовах економічно виправдано вирощувати крупні (до 10 мм) алмази, які практично не відрізняються за оптичними характеристиками від природних. Доведено також можливість змінювати термобаричною обробкою жовтий і брунатний кольори природних алмазів на білий, прозорий (щоправда, з певними фізичними обмеженнями щодо вихідного стану кристалів).

За принципово новою технологією вперше одержано за високих тисків високощільну полікристалічну сполуку «алюміній—магній—бор», високоміцну полікристалічну кераміку на основі кубічного нітриду бору «гетероніт». Створено алмазний термостійкий матеріал (АКТМ) з вихідних нанопорошків, полікристали «кіборит-2», «кіборит-3», які за структурою відрізняються від раніше одержаного в інституті та широко запровадженого «кібориту». Отримано практично важливі результати термобаричної обробки високотемпературної ітрієвої надпровідної кераміки для підвищення щільності та густини критичного струму. Дуже перспективною є технологія високотемпературного з'єднання під тиском ітрієвої надпровідної кераміки без будь-якої втрати її провідності.

Розширюється сфера застосувань порошків НТМ. Так, створені за оригінальною технологією алмазні порошки з каталітичними властивостями довели свою ефективність у пристроях перетворення вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання. Впроваджуються досконалі фільтри для крові та теплостоки з пористої спеченої алмазної кераміки, алмазні й алмазоподібні плівки для перетворювачів світлової енергії на електричну, пройшли випробування виробу для електроніки із нанодисперсного нітриду алюмінію.

Вагомі результати одержано і в галузі механообробки матеріалів. Високу ефективність забезпечує оптимальна побудова системи «оброблювана деталь—інструмент—верстат». Для підвищення продуктивності раніше у зону обробки вводили іззовні додаткову енергію. Нам вдалося довести можливість істотного (вдвічі) підвищення продуктивності

внаслідок використання не додаткової зовнішньої, а внутрішньої енергії системи завдяки синхронізації дії її складових. На основі досліджень створено новий процес вібропрецесійного алмазного шліфування. Перебудова існуючого верстата, його керуючого обладнання та застосування нових зразків алмазних шліфувальних інструментів допомогли оптимізувати робочий рух інструменту і вдвічі підвищити продуктивність обробки за високої якості і точності. Варто нагадати, що у 60—70-х роках продуктивність алмазного шліфування не перевищувала 500 куб. мм на хвилину, у 90-х — 5 тис. куб. мм, а тепер досягла 10 тис. куб. мм на хвилину.

Для ряду сучасних технологій механообробки створені складнопрофільні алмазні, кубонітові та твердосплавні інструменти, кожен з яких замінює набір з кількох існуючих. Ідеться про стійкі, надійні й точні алмазні складнопрофільні ролики, профільні фрези, комбіновані за формою різці. Застосування інструментів нового покоління заощаджує час і забезпечує безперервність обробки у багатовимірному просторі. До того ж вони повністю відповідають можливостям кінематики нових верстатів.

У галузі механообробки розпочався новий етап: засоби електроніки дедалі більшою мірою відіграють не допоміжну, а провідну роль в автоматизації машинного виробництва. Адже від початку ери конвеєризації переналагодження автоматизованих і механізованих виробництв на випуск нової продукції завжди супроводжувалося втратою їхньої гнучкості. Створені нами комбіновані інструменти разом з новим поколінням кінематичних верстатів (поліноїдів) за швидкістю переміщень зрівнялися з інформаційно-обчислювальними і керуючими електронними приладами. Вони забезпечили необхідну гнучкість автоматизованим безлюдним машинним виробництвам.

Для підвищення прецезійності поверхневої обробки на основі фрактального аналізу розвинуто комп'ютерне моделювання геометрії шорсткості та стану структури поверхонь деталей після механо- і фізико-хімічної обробки. Розроблено вдосконалені процеси прецезійної обробки на кластерному та атомарно-молекулярному рівнях (нанотехнології) для металевих, неметалевих виробів, напівпровідників, деталей оптичних та електронних систем. До таких технологій належать процеси надгладкої прецезійної обробки полістиролу, монокорунду, скла і ситалів. Збережена і розвинена технологія та інструментально-верстатна техніка прецезійного алмазного мікроточіння металооптики і захисних плівкових покриттів, кераміки. Дослідники створили методи комп'ютерної оптимізації конструкцій інструментів з твердих сплавів, НТМ, технічної кераміки для руйнування гірських порід, обробки різних будматеріалів — бетону, граніту, мармуру, піщаників, вапняків, твердих глин тощо.

За контрактами з конкретними підприємствами вирішуються технічні завдання підвищення продуктивності проходки і вуглевидобутку в шахтах, високоякісного формування гранітних виробів. Досконалий буровий інструмент, створений у Києві, вже працює не тільки в Україні, а й в Росії та Азербайджані.

Сьогоднішній день Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля — це не тільки розробки світового рівня, а й нові, співзвучні часові форми організації наукових досліджень. Ми вважаємо, що обрана нами і підтримана Президією НАН України форма організації виробничо-комерційної роботи науково-технічного комплексу ІНМ як науково-технологічного алмазного концерну (АЛКОН НАНУ) виправдала себе. Зростає авторитет інституту як потужного матеріалознавчого та інструментального академічного науково-дослідного центру.

М. Новіков

НА РІВНІ СВІТОВИХ ДОСЯГНЕНЬ

Резюме

У статті висвітлені нові здобутки Інституту надтвердих матеріалів НАН України ім. В.М. Бакуля у галузі одержання новітніх матеріалів з високими характеристиками твердості і комплексом інших функціонально важливих фізико-механічних властивостей.

М. Novikov

At world achievement level

Summary

In this article new achievements of V.M. Bakul Institute for superhard materials of the NAS of Ukraine are highlighted. The achievements were reached in the field of creation of new materials with good characteristics of hardness and other functionally important physico-mechanical properties.

© *НОВІКОВ Микола Васильович. Академік НАН України. Директор Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (Київ). 2003.*