

Фізика металів: здобутки українських науковців і загальні перспективи галузі

Сучасна промисловість широко використовує метали та металеві сплави з різними механічними, тепловими, електричними, магнітними й іншими спеціальними властивостями, а також потребує дедалі новіших і досконаліших технологій отримання матеріалів із заданими характеристиками. Це, у свою чергу, передбачає необхідність здійснення фундаментальних і прикладних досліджень, що забезпечуються фахівцями з фізики металів (металофізики) – галузі фізичної науки, яка вивчає атомно-кристалічну, дефектну й гетерофазну структуру металів і сплавів, їх фізико-хімічні властивості та процеси, що відбуваються у вказаних матеріалах при їх отриманні, механічній та термічній обробці, а також за різних умов експлуатації. І хоча металофізика є передусім теоретичною основою металознавства, вона, однак, дає змогу виконувати й вагомі та актуальні практичні розробки для машинобудування, авіакосмічної техніки, мікроелектроніки, енергетики та багатьох інших важливих галузей. Про основні напрями своєї діяльності та наукові досягнення розповіли програмі «Наука: пошуки і знахідки» телеканалу УТР співробітники Інституту металофізики (ІМФ) ім. Г. В. Курдюмова НАН України.

Однією з найвагоміших практичних розробок інституту є так звана аморфна нанокристалічна стрічка, отримана дослідниками внаслідок здійснення впливу на речовину на мікрорівні – завдяки надшвидкому охолодженню, яке в природних умовах не відбувається. Цей унікальний матеріал не має трансляційної симетрії (тобто кристалічної ґратки) і, таким чином, за своєю структурою, близький до звичайного віконного скла, а також характеризується надзвичайно високими магнітними властивостями, механічною міцністю, стійкістю до корозії, високим електричним опором. Аморфну нанокристалічну стрічку застосовують в електродах та під час нанесення захисних шарів на ножі, турбінні лопатки та інші важливі конструкційні деталі в машинобудуванні.

При відпалюванні такого аморфного нанокристалічного матеріалу одержують інші матеріали з особливою структурою та специфічними магнітними властивостями, які роблять їх придатними до використання в енергетиці, приладобудуванні, силовій електроніці (зокрема під час електронної плавки титану) тощо. Відпалений аморфний нанокристалічний матеріал надзвичайно ефективно застосовується в конструюванні трансформаторів, суттєво зменшуючи їх габарити (незалежно від потужності приладів) та запобігаючи надмірному перегріванню (це уможливило суттєве зменшення витрат на охолодження), а також електронних лічильників електроенергії та в комунікаційних системах і системах фільтрування електричних сигналів. Аморфна нанокристалічна стрічка знайшла застосування і в космічних

дослідженнях, геологічних розвідках, у виробництві промислових і побутових нагрівачів (випромінюване з її допомогою тепло сприятливо впливає на організм людини, оскільки належить до комфортного інфрачервоного діапазону, близького до сонячного).

Проте найбільшим своїм досягненням учені вважають розроблення цілої низки тестувальних пристроїв, сконструйованих із застосуванням аморфної нанокристалічної стрічки, – для метрологічної атестації найрізноманітніших приладів. Метрологічні пристрої, як стверджують фахівці ІМФ ім. Г. В. Курдюмова НАН України, відповідають усім вимогам до подібної продукції та виготовляються з дотриманням найвищих сучасних світових стандартів у вказаній галузі. Іншою великою групою матеріалів з особливими властивостями є надпровідники, у яких за певної низької температури – так званої температури надпровідного переходу – цілком зникає електричний опір. Найбільш очевидним застосуванням цього явища є створення надпровідних дротів для передачі електричної енергії без втрат. Проте традиційні надпровідники не були придатними для виконання такого важливого практичного завдання, оскільки потребували охолодження досить високовартісним рідким гелієм. Тому свою увагу вчені спершу зосередили на інших перспективних напрямках застосування надпровідників, одним з яких є робота над надпровідними магнітами, що використовуються в прискорювачах заряджених частинок і токамаках (пристроях для здійснення реакцій ядерного синтезу). У великому адронному колайдері, наприклад, використано 10 тис. надпровідних магнітів (дротів з ніобій-титану) загальною масою 1200 т. І оскільки в цьому прискорювачі енергія адронів обмежується виключно критичними характеристиками самих надпровідників, то задля розширення його можливостей учені працюють, відповідно, над збільшенням критичних характеристик надпровідних магнітів.

Створення високотемпературних надпровідників відбувалося за умов, що впродовж тривалого часу не давали змоги виробляти їх у промислових масштабах, – через крихкість, а отже, і нетехнологічність отриманого матеріалу. Однак після 30 років активних досліджень ученим вдалося розробити надпровідні дроти на основі високоякісних надпровідних плівок, які вже мають необхідні критичні параметри.

Із часом виявилось, що унікальність надпровідників полягає ще й у тому, що вони в особливий спосіб взаємодіють з магнітним полем: чисті надпровідники його виштовхують, а у високотемпературні (які називають також надпровідниками другого роду) воно проникає у вигляді магнітних вихорів (завдяки численним дефектам структури, притаманним високотемпературним надпровідникам). Сила пінінгу, тобто встановлення магнітних вихорів у високотемпературних надпровідниках, визначає і

критичний струм, який може проходити через такий матеріал без втрат. Тому збільшення сили пінінгу є для науковців першочерговим завданням.

Особливості взаємодії високотемпературних надпровідників з магнітними полями описують як явище левітації. Воно знайшло застосування у виробництві магнітних підшипників та інерційних накопичувачів енергії, а також потенційно спроможне здійснити революцію в транспортній галузі – з огляду на те, що відкриває широкі можливості для такого пересування транспортних засобів, що практично не супроводжується тертям (наприклад, рух надпровідних потягів магнітними рейками).

До, без перебільшення, визначних здобутків українських учених-металофізиків належить і запропонована ними порівняно проста модель взаємодії надпровідників з магнітами, яка має значні перспективи застосування в космічній галузі (при створенні систем безконтактного під'єднання різних модулів – антен, дослідних блоків тощо – до орбітальних станцій).

Крім того, фахівці інституту продовжують дослідницьку традицію, започатковану засновником і першим директором установи – відомим ученим-металофізиком Г. В. Курдюмовим, – а саме в галузі вивчення мартенситних перетворень, тобто змін розташування атомів або молекул у кристалічній ґратці, що відбуваються шляхом їх упорядкованого переміщення під дією певних чинників, зокрема температури. Г. В. Курдюмов спільно зі своїми колегами експериментально довів, що це явище, по-перше, є не просто казусом при гартуванні сталей і, по-друге, спостерігається не тільки у сплавах заліза, а й у сплавах кольорових металів.

Об'єктом особливої уваги науковця були утворювані в процесі мартенситного перетворення пружні кристали, які він спостерігав у сплаві міді, алюмінію та нікелю: під впливом температури вони виникали і зникали у певному порядку. Завдяки цьому відкриттю науковці з'ясували можливі сфери застосування ефекту пам'яті форми, виявленого американськими дослідниками в 1960-х роках. Це – насамперед найрізноманітніші запобіжники та клапани. Однак матеріали з ефектом пам'яті форми використовуються і при розколюванні кам'яних порід (замість тротилу), в авіації (сполучення без зварювання), медицині (як біологічно сумісні імплантати, скоби для з'єднання уламків кісток, стенти для розширення коронарних судин тощо), енергетиці, автомобілебудуванні й авіакосмічній галузі.

Учені інституту здійснюють дослідження і в такому надзвичайно цікавому та популярному нині напрямі, як вивчення магнітної пам'яті форми: у даному випадку йдеться про керування формозміною в матеріалах за допомогою магнітних полів, а не температур. До того ж їм вдалося довести, що мартенситні перетворення та ефект пам'яті форми спостерігаються і в нових високоентропійних матеріалах, які не мають елемента основи, а містять 5-6 елементів, узятих у рівних обсягах. Оскільки такі нові матеріали демонструють

кращі властивості, ніж традиційні, то вітчизняні науковці вважають дослідження в цьому напрямі надзвичайно перспективними і планують продовжувати їх і надалі.

Переглянути відеозапис телепередачі: <http://g.ua/DfFR>

Про інші важливі результати фундаментальних і прикладних досліджень, що здійснюються в ІМФ ім. Г.В. Курдюмова НАН України: <http://g.ua/DfF6>
(Фізика металів: здобутки українських науковців і загальні перспективи галузі // Національна академія наук України (<http://g.ua/DfFf>). – 2015. – 18.08).