

У табл. 1 наведено значення модуля Юнга для міді та нікелю з ГЦК ґратками, розраховані за формулою (1) для монокристалів та реальних кристалів (E_{hkl}), та проведено порівняння з експериментальними даними (E_{exp}).

З табл. 1 видно, що результати розрахунку модуля Юнга з використанням квантово-механічного підходу добре узгоджуються з експериментальними значеннями. З іншого боку, простежується залежність впливу дефектності структури на значення модуля Юнга. Зростанням густини дислокацій (ρ) призводить спочатку до зменшення, а потім до збільшення модуля Юнга, що добре корелює з гіпотетичною діаграмою Одингга.

Треньов М. С. Пономаренко О. І.

(НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)

**ФОРМУВАННЯ НОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛЮМІНІЄВИХ ВИЛИВКІВ
ЗА РАХУНОК НАНОСТРУКТУРНИХ ДОБАВОК**

E-mail: djekgor4676@gmail.com

Сучасний етап розвитку промисловості характеризується стрімким зростанням вимог до експлуатаційних властивостей конструкційних матеріалів. Особливо це стосується тих галузей, де поєднання малої маси та високої міцності має вирішальне значення: авіаційної та космічної техніки, автомобілебудування, оборонної сфери та спорту. У цих секторах навіть незначне зменшення ваги деталей дає суттєву економію палива, підвищує енергоефективність і збільшує довговічність механізмів.

Проте легкі метали, насамперед алюміній та його сплави, незважаючи на беззаперечні переваги, мають низку вроджених недоліків. До них належать пористість, усадкові дефекти, схильність до залишкових напружень і деформацій під дією навантажень. Такі фактори можуть знижувати надійність і спричиняти передчасне руйнування конструкцій. Тому актуальною стає потреба у пошуку нових підходів, які дозволяють значно підвищити фізико-механічні характеристики металів, не збільшуючи їх масу.

Традиційні методи, що довели свою ефективність – термічна обробка, легування мікродисперсними елементами, модифікування за допомогою спеціальних добавок, використання нових формувальних сумішей – і далі широко застосовуються у виробництві. Однак їх можливості часто вичерпуються, коли йдеться про задоволення потреб високотехнологічних галузей. Саме тому на перший план виходить впровадження нанотехнологій, які відкривають нову епоху в матеріалознавстві.

Серед найперспективніших наноматеріалів для алюмінієвих сплавів вирізняються вуглецеві нанотрубки, фулерени та графен. Вони здатні відігравати роль армуючої фази, створюючи в матриці металічного матеріалу просторову сітку, яка перерозподіляє навантаження, підвищує міцність, жорсткість та зносостійкість виробів. На відміну від традиційного мікролегування, нанорозмірні частинки завдяки великій питомій поверхні та високій енергії взаємодії більш активно впливають на процеси кристалізації й формування мікроструктури.

Розробка технологій одержання таких нанокомпозитів є одним із ключових напрямів сучасної науки. Коли хоча б один із компонентів системи має нанорозмірну структуру, він істотно змінює поведінку усього матеріалу. Наночастинки, введені в алюмінієвий розплав, сприяють формуванню дрібнозернистої структури, пригнічують розвиток дендритів, підвищують щільність відливки та зменшують схильність до утворення мікротріщин. У результаті кінцевий виріб демонструє підвищений ресурс роботи й стабільність у складних умовах експлуатації.

Особлива увага приділяється саме алюмінієвим сплавам, які є базовими у транспортній, енергетичній та спортивній індустрії. Наприклад, в авіації зменшення маси деталей без зниження міцності дозволяє значно підвищити вантажопідйомність і знизити витрати пального. В автомобілебудуванні – це зменшення шкідливих викидів та покращення динаміки. У спорті ж легкі, але надміцні конструкції підвищують ефективність екіпірування й інвентарю.

Водночас перед науковцями стоїть серйозне технологічне завдання – забезпечення рівномірного розподілу наночастинок у розплаві. Нерівномірність

може призвести до локальних концентрацій, утворення кластерів і, як наслідок, до зниження властивостей. Тому ключовими аспектами залишаються:

- **попередня обробка наночастинок** (функціоналізація, поверхнева активація, диспергування);
- **методи їх стабілізації** у металічній матриці;
- **способи введення у розплав** (механічне перемішування, ультразвукова кавітація, газофазне дозування, застосування компактованих брикетів).

Практика доводить, що нанокомпозити на основі вуглецевих матеріалів формують міцну структурну сітку, яка забезпечує ефективне передавання навантажень на армуючі елементи. Це відкриває перспективу для створення деталей нового покоління, що поєднують високу надійність, малу вагу й стабільність у роботі.

Характерним прикладом є дослідження можливості використання наноматеріалів під час виготовлення відповідальних деталей, таких як алюмінієві поршні. Тут основним завданням є підвищення міцності й жаростійкості без зміни маси елемента, що особливо актуально для двигунобудування. Досягти цього можна лише за умови ретельної підготовки наночастинок і вибору оптимальної технології їх інтеграції в розплав.

У лабораторних умовах уже проводяться експерименти з попередньої обробки нанотрубок і фулеренів, їх диспергування та стабілізації у рідкому алюмінії. Перші результати підтверджують: технології на основі карбонових наноматеріалів здатні радикально змінити традиційні уявлення про лиття та створити основу для нової генерації композитних матеріалів.

Таким чином, застосування нанотехнологій у ливарному виробництві — це не лише черговий етап удосконалення існуючих методів, а стратегічний напрям, який визначатиме подальший розвиток матеріалознавства. Завдяки рівномірному розподілу нанодобавок у структурі металу можна створювати відливки з принципово новим набором властивостей: підвищеною жорсткістю, зносостійкістю, стійкістю до втомних руйнувань та тривалішим строком служби. Це дає можливість перейти до виробництва матеріалів, що відповідають найвищим

стандартам сучасних технологій та здатні витримувати екстремальні умови експлуатації.

Література

1. Тренъов М.С. Підвищення механічних та фізичних властивостей алюмінієвих сплавів за допомогою використання нанодисперсних матеріалів. / М.С.Тренъов, О.І. Пономаренко // Матеріали XXXI Міжнародної науково-практичної конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD-2023)». – Харків. <https://web.kpi.kharkov.ua/microcad> - 2023.
2. Тренъов М.С. Аналіз способів вводу наночасток в сплави на основі алюмінію / М.С. Тренъов, О.І. Пономаренко, С.А. Князєв // Науково-технічний журнал «Метал та лиття України». – 2025. – Т. 33, №1. – С. 25–34. – DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2025.01.025>.

Турчанін М. А., Агравал П. Г., Водоп'янова Г. О., Корсун В. А.
(Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ)
ДІАГРАМА СТАНУ СИСТЕМИ ТИТАН–ЦИРКОНІЙ–ГАФНІЙ ЗА
РЕЗУЛЬТАТАМИ МОДЕЛЮВАННЯ В РАМКАХ CALPHAD-МЕТОДУ
E-mail: pagraval68@gmail.com

Система Ti–Zr–Hf є базовою для розробки жароміцних ливарних сплавів, тугоплавких високоентропійні сплавів і високоентропійних карбідних фаз, а також багатокомпонентних об'ємних аморфних сплавів, вироби з яких можуть бути одержані ливарними методами. Разом з тим, високі температури плавлення і хімічна активність компонентів утруднюють дослідження фазових рівноваг в цій системі, а її діаграма стану на теперішній час залишається невивченою. Тому окремі ділянки діаграми стану стали об'єктами термодинамічного моделювання в роботах [1, 2]. В даній роботі діаграма стану системи Ti–Zr–Hf у вигляді поверхні ліквідуса і набору ізотермічних і політермічних перерізів розрахована в рамках CALPHAD-методу виходячи з термодинамічних описів граничних