

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Даниленка Віталія Івановича **“Закономірності зміцнення ОЦК і ГЦЦУ металів на розвинених стадіях пластичної деформації”**, яка представлена на здобуття ступеню кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.13 – фізика металів.

Подана до захисту дисертаційна робота Даниленка В.І. присвячена вирішенню важливої науково-практичної проблеми розробці фізичних уявлень про вплив умов навантаження та параметрів вихідної структури на закономірності деформаційної зміцнення матеріалів з ОЦК та ГЦЦУ ґраткою в області великих деформацій.

Дисертаційна робота пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт за рядом держбюджетних тем : “Дослідження закономірностей деформації та руйнування титанових сплавів, схильних до мартенситних перетворень” (№ 0111U002405, 2011-2013 рр.); “Зсувно-дифузійні перетворення в сплавах на основі заліза, титану і цирконію та вплив процесів, що їх супроводжують, на структуроутворення та зміцнення” (№ 0114U000549, 2014-2016 рр.); “Структурні та фазові перетворення під дією деформації та їх вплив на механізми зміцнення” (№ 0117U000256, 2017-2019 рр.); проекту науково-дослідних робіт молодих учених НАН України, за грантами НАН України “Моделювання та експериментальне дослідження впливу структурних перебудов на механічну поведінку наноматеріалів деформаційного походження” (№ 0109U007068, 2009-2010 рр.).

Деформаційні методи впливу на матеріал виконують дві основні функції: з одного боку це надання матеріалу необхідної форми, з іншого - оптимізація структури та підвищення механічних властивостей. Структурні аспекти зміцнення набули особливого розвитку з появою теорії дислокацій. В теоретичному плані, цей напрямок сформувався в фізичну теорію деформаційного зміцнення, в практичному – в конкретні технологічні умови одержання деформованих матеріалів з оптимальною структурою та максимальними властивостями. В останні роки цей науковий напрямок отримав нове дихання у зв'язку з розвитком наноструктурного матеріалознавства. Виявилось, що деформаційні методи є одними з найперспективніших з точки зору отримання об'ємних наноматеріалів, виробі з яких мають великі розміри в усіх трьох вимірах.

Такий структурний стан виникає в наслідок дислокаційних перетворень, що відбуваються в матеріалі під дією пластичних деформацій і є характерним саме для матеріалів, які продеформовані до великих ступенів, тобто на стадії так званої розвинутої деформації. Слід враховувати, що оптимальна структура залежить від технологічних параметрів: температури, швидкості деформації, ступеню деформації та схеми деформування, а також від параметрів структури вихідного матеріалу. Проблема оптимізації є багатопараметричною задачею, для її вирішення потрібні ґрунтовні наукові знання механізмів, які визначають закономірності структуроутворення та формування властивостей. Тому тема дисертаційної роботи є безумовно **актуальною**.

Важливість і своєчасність постановки такої роботи пов'язана з суттєвим розривом в рівні знань, який досягнуто для розуміння механізмів зміцнення при малих і середніх деформаціях, де створені практично завершені фізично обґрунтовані теорії, та при великих деформаціях, де пропонуються лише феноменологічні моделі. Експериментальні складнощі спостереження еволюції структури є головною причиною відставання цього розділу дислокаційної теорії зміцнення. Накопичення інформації та встановлення зв'язків між умовами деформування, структурою матеріалу та параметрами зміцнення при великих деформаціях безумовно сприяє прискоренню подолання цієї кризи.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна. Обґрунтованість результатів дослідження, отриманих в дисертаційній роботі Даниленка В. І, забезпечена використанням широкого інструментарію сучасних фізико-механічних методів досліджень. В роботі використані різноманітні методи механічних випробувань, що дало змогу, з одного боку, отримати велику кількість стандартних механічних характеристик, з іншого – визначити фізичні параметри, що характеризують механізм зміцнення. Для проведення структурного аналізу застосовувались методи, растрової, трансмісійної електронної мікроскопії. Сформульовані положення і висновки по роботі, що рецензується, не протирічать фундаментальним основам фізичного матеріалознавства та фізики міцності. Достовірність отриманих в дисертації теоретичних напрацювань, положень, висновків і рекомендацій підтверджено їх достатньо точним збігом з експериментальними даними та співпадінням результатів експериментів, отриманих різними методами.

Новизна роботи полягає в наступному. В роботі в широкому інтервалі деформацій та розмірів зерен вперше досліджена структурна чутливість параметрів зміцнення. Показано, що деформація, яка відповідає переходу від параболічного до лінійного зміцнення, зменшується зі зменшенням розміру зерна. Процес зародження дисклінаційних стінок різко прискорюється за наявності границі зерна. Вперше зроблено припущення, що розвиток ротаційного механізму деформації відбувається по естафетному механізму.

Вперше встановлено ефект деградації коефіцієнта лінійного зміцнення при збільшенні попередньої деформації. Ефект пов'язаний з перебудовою та переорієнтацією площин легкого ковзання в напрямку найбільш сприятливому до умов прокатки. Показано, що в матеріалах, продеформованих методами інтенсивної пластичної деформації (ПД), деградації зміцнення не відбувається. Ці матеріали мають високий коефіцієнт лінійного зміцнення, що помітно перевищує границю плинності.

Вперше проаналізована температурна залежність коефіцієнтів лінійного зміцнення. Встановлено співпадіння характеру цієї залежності з температурною чутливістю границі плинності як для рекристалізованих станів, так і для попередньо деформованих матеріалів. З цього робиться висновок, що температурна чутливість кривої зміцнення визначається переважно термоактиваційними процесами, які відповідають за формування температурної чутливості границі плинності, і в меншій мірі – особливостями колективної взаємодії між дислокаціями.

Наукове та практичне значення роботи. Отримана в роботі нова інформація про закономірності зміцнення сильно деформованих матеріалів свідчить про перспективність використання, в якості конструкційних, зважаючи на можливість за оптимальних структурних станів досягати унікального поєднання високої міцності та пластичності. Одержані в роботі результати використовуються при оптимізації технологічних процесів отримання якісних виробів методами ІПД. Зокрема, результати роботи використовуються технологами для удосконалення схеми асиметричної прокатки – сучасної технології, яка дозволяє отримувати деформовані наноматеріали з високою міцністю та задовільною пластичністю в промислових об'ємах. Теоретичні напрацювання та експериментальні результати роботи можуть бути рекомендовані для включення їх в курс лекцій з фізики міцності та пластичності матеріалів.

Основний зміст дисертації Даниленка В. І. опубліковано у 16 наукових працях, з них 15 у фахових виданнях. Результати апробовані на 5 конференціях.

Дисертаційна робота Даниленка В.І. складається із вступу, п'яти основних розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел. Повний об'єм 185 сторінок, 69 рисунків, 11 таблиць, перелік використаних джерел складає 159 посилань.

У вступі дисертант обґрунтовує актуальність теми дисертації, формулює мету роботи і визначає основні задачі, описує об'єкт і методи дослідження, викладає наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів з визначенням особистого внеску.

Перший розділ «Сучасні моделі деформаційного зміцнення» присвячений аналізу існуючих уявлень про механізми деформаційного зміцнення. Розглянуті моделі деформаційного зміцнення та відзначаються загальні риси та відмінності, що притаманні існуючим теоріям зміцнення ГЦК- та ОЦК-металам. Особлива увага звертається на стадійність кривої деформаційного зміцнення та наявність фізичного зв'язку між цими стадіями та структурними перебудовами під час деформації. Розглянуті існуючі підходи до аналізу механізмів деформаційного зміцнення при великих деформаціях. Вказується на відсутність теорій, які б визначали фізичні причини лінійного зв'язку між напруженням та деформацією при великих ступенях деформації.

В другому розділі «Матеріали та методика досліджень» обґрунтовано вибір матеріалів та методів досліджень. Коротко розглянуті основні методи деформаційної обробки, що використовувались для отримання сильно деформованих станів. Запропонована оригінальна методика дослідження процесу зміцнення сильно деформованих матеріалів за допомогою випробування на стиснення та методи обрахунку кривих зміцнення

В третьому розділі «Температурна і структурна чутливість деформаційного зміцнення» на прикладі мало легованого молібдену розглянуто вплив температури та розміру зерна на закономірності зміцнення в широкому діапазоні деформацій. Показано, що на віх стадій деформування температурна залежність параметрів зміцнення подібна до температурної залежності границі плинності. Аналіз результатів досліджень структурної чутливості параметрів зміцнення дозволив отримати узагальнений вираз для

структурної чутливості кривої зміцнення. Встановлено вплив розміру зерна на величину рівномірної деформації, структурну чутливість напруження та деформації, що характеризують перехід від трансляційного до ротаційного механізму деформації та за допомогою методу дислокаційної динаміки проілюстровано механізм розповсюдження ротаційного механізму в полікристалі.

У четвертому розділі «Вплив попередньої деформації на формування кривої деформаційного зміцнення» розглянуті закономірності зміцнення попередньо деформованих матеріалів на основі титана та заліза. Аналізується вплив попередньої деформації вальцюванням на механічні властивості при одновісному розтягу та стисненні. Звертається увага на загальні риси та особливості формування кривої зміцнення в матеріалах з різним типом ґратки. Проаналізовано вплив ступеню деформації на коефіцієнт лінійного зміцнення. Зазначається, що при великих ступенях деформації величина коефіцієнта лінійного зміцнення зменшується практично до нульових значень. Це явище пояснюється впливом структурної та кристалографічної анізотропії.

В п'ятому розділі «Закономірності формування кривих деформаційного зміцнення в матеріалах, отриманих методами інтенсивної пластичної деформації» проаналізовані результати досліджень механічної поведінки під дією одновісного розтягу або одновісного стиснення матеріалів, вихідний стан яких було отримано методом інтенсивної пластичної деформації. Досліджувались зразки титану, що були продеформовані до великих деформацій методами рівноканального кутового пресування, гвинтової екструзії та асиметричної прокатки. Показано, що всі зразки демонструють дуже високий коефіцієнт лінійного зміцнення, який по абсолютному значенню близький до границі плинності матеріалу. Ця тенденція зберігається при всіх температурах випробувань, що пояснюється меншим впливом анізотропії при зсувних схемах деформування. Продемонстровано переваги цих матеріалів з точки зору поєднання високої міцності та задовільної пластичності.

Зауваження до дисертації

Поряд з наведеними вище позитивними якостями дисертаційної роботи, що рецензується, вважаю за необхідне зробити наступні зауваження.

1. При співставленні результатів на стиснення та розтяг анізотропних матеріалів, до яких відносяться прокатані стрічки, слід враховувати, що якщо з точки зору прикладання навантаження ці схеми навантаження відрізняються лише напрямком, з точки зору зміни деформації ситуація складніша: при розтягу вздовж однієї вісі зразок збільшується, а вздовж двох інших – зменшується. При випробуваннях на стиснення, навпаки: вздовж однієї вісі зразок зменшується, а вздовж двох інших – збільшується.
2. В моделі, яка описує перехід дислокаційних стінок від одного зерна до іншого за допомогою методу дислокаційної динаміки, слід враховувати не тільки розподіл сил, але і кристалографію сусідніх зерен.

3. При тому, що робота присвячена дослідженню найбільш ефективного сучасного методу зміцнення металів (ПД), в дисертації, на жаль, не наведено конкретних рівнів досягнутих показників міцності і пластичності 3D-зразків з досліджених матеріалів.
4. Для визначення об'єкту досліджень автор використовує термін розвинуті деформації. В тексті дисертації неодноразово зустрічаються терміни великі деформації (стор. 11, 12, 41 та ін.), інтенсивні пластичні деформації (розд. 5) і, навіть мегадеформації (розд. 1.6 на стор. 59). Бажано було б більш чітко дати фізичне тлумачення кожному з термінів і, зокрема, запропонованому в роботі терміну розвинута пластична деформація.
5. Слід зазначити, що робота написана досконалою науковою мовою, добре оформлена, а наведені автором рисунки дозволяють більш наочно уявити процеси, що відбуваються в досліджених матеріалах. Проте, є вади у оформленні. Зокрема, пояснююча індексація фізичних величин іноді дається англійською мовою e_{fr} та σ_{fr} , іноді українською $\varepsilon_{рiвн}$ та $\varepsilon_{ав}$ (табл. 4.1), а іноді, навіть українською, але англійськими літерами σ_{st} (рис. 3.2 на стор.81), зустрічаються російськомовні терміни (стр. 52 та ін.).

Зазначені зауваження не впливають на позитивну в цілому, оцінку роботи.

Загальні висновки стосовно дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Даниленка В.І. є закінченою науковою працею, в якій вирішена актуальна науково-практична проблема по розробці фізичних засад деформаційного зміцнення на розвинутих стадіях деформації. Одержані в роботі результати дозволяють оптимізувати деформаційну наноструктуру та підвищити параметри міцності та пластичності цього важливого класу матеріалів.

Викладені в дисертації наукові положення, висновки та практичні рекомендації є обґрунтованими на належному науковому рівні. Всі результати дослідження опубліковані в авторитетних фахових наукових виданнях і пройшли апробацію на вітчизняних та міжнародних конференціях і семінарах відповідного профілю.

Автореферат адекватно та з достатньою повнотою відображає зміст дисертації.

Підсумовуючи вище сказане, можна констатувати, що дисертаційна робота Даниленка Віталія Івановича “Закономірності зміцнення ОЦК і ГЦУ металів на розвинених стадіях пластичної деформації” є завершеним дослідженням, в якому отримані науково-обґрунтовані результати, що мають наукову новизну і значимість. В сукупності вона є значним досягненням для розвитку нового напрямку в фізики металів – розробці механізмів структуроутворення та зміцнення в матеріалах, отриманих методами пластичної деформації.

Дисертаційна робота Даниленка В.І. відповідає всім вимогам Міністерства освіти і науки України до дисертацій на здобуття наукового

ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.13 – фізика металів, а автор дисертації заслуговує присудження йому вказаного ступеню.

Головний науковий співробітник
Інституту металофізики
ім. Г.В. Курдюмова НАН України
чл.- кор. НАН України, д.т.н., професор



Ю.Я. Мешков

Підпис чл.- кор. НАН України, д.т.н., професора Ю.Я. Мешкова засвідчую:
Вчений секретар Інституту металофізики
ім. Г.В. Курдюмова НАН України
к.ф.-м.н.



С.В. Кочелаб