

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Лукашина Віктора Васильовича

«Деформаційна пошкоджуваність анізотропних ОЦК-структур»

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»

Актуальність теми

Дисертація Віктора Васильовича Лукашина є ретельно виконаним науковим дослідженням, присвяченим дослідженню механізмів деформаційної пошкоджуваності сталі DC04 з об'ємноцентрованою кубічною (ОЦК) структурою. Основна увага в роботі зосереджена на впливі текстури матеріалу, умов механічних деформацій та термічної обробки на пошкоджуваність матеріалу. Ця робота розвиває важливий напрямок механіки матеріалів і є актуальною у контексті потреб сучасної промисловості, зокрема машинобудування, будівництва та авіабудування, де сталі з ОЦК-структурою використовуються для створення конструкцій із високими вимогами до міцності та довговічності.

Проблематика дослідження є надзвичайно актуальною, оскільки забезпечення довговічності конструкційних матеріалів є одним із ключових викликів сучасної науки та техніки.

Сталі з ОЦК-структурою, такі як DC04, зазнають значних механічних навантажень під час експлуатації, зокрема в умовах циклічних деформацій. У таких умовах можливість прогнозування їхньої поведінки та підвищення міцності є важливим завданням.

Зокрема, дослідження, проведене Віктором Васильовичем Лукашином, спрямоване на вирішення наступних питань:

1. Дослідження механізмів зародження та розвитку мікротріщин у текстурованих сталях.

2. Розробка оптимальних режимів термічної обробки, що дозволяють мінімізувати ушкоджувальність.

3. Аналіз текстурних перетворень і їх вплив на анізотропію властивостей матеріалу.

Структура дисертаційної роботи

Дисертація В. В. Лукашина складається зі вступу, чотирьох розділів, кожний з яких закінчується відповідними висновками, загальних висновків та списку цитованої літератури зі 102 найменувань, що включають власні публікації автора. Робота викладена на 136 сторінках, включаючи список літератури, та містить 59 рисунків та 4 таблиці.

У вступі міститься актуальність роботи, визначення мети, об'єкту та предмету досліджень, методів дослідження, завдань роботи, сформульовані наукова новизна, практична значимість та основні положення, що виносяться автором на захист.

У першому розділі представлено літературний огляд щодо видів руйнування полікристалів, зародження тріщин, масштабні рівні руйнування твердих тіл. Представлено огляд прогностичних оцінок руйнування та їх аналіз в результаті накопичення пошкоджень у роботах від Пальмгрена до Качанова, Работнова, Леметра.

Другий розділ присвячений методикам дослідження текстури, мікроструктури та пружних властивостей сталі. Описано рентгенівські дифрактометричні методи визначення текстури, метод дифракції зворотно розсіяних електронів, орієнтаційна мікроскопія, яка дозволяє досліджувати контраст і зміну кристалографічних орієнтацій у матеріалах. Описано динамічний метод виміру пружних властивостей анізотропних полікристалів, що базується на визначенні частоти власних згинальних коливаннях прямокутного зразка точність якого не перевищує 1 %, а також статичному методі визначення модуля пружності, що базується на триточковому вигині прямокутних зразків.

У третьому розділі представлено дослідження текстури, мікроструктури та анізотропії пружних властивостей листів феритної сталі DC04 як в умовах постачання (після гарячого прокатування), так і після дорекристалізаційного відпалу в інтервалі температур від 100 до 400°C через кожні 50°C. Показано, що основною компонентною текстурою сталі є $\{111\}\langle uvw \rangle$, яка є ізотропною щодо пружних властивостей. При цьому за анізотропію відповідають додаткові компоненти (001) [100] +(332) [1 $\bar{1}$ 0]. Встановлено, що оптимальною температурою відпалу сталі DC04 є 175-200°C, при якій рівень пошкоджуваності є мінімальним.

Для визначення анізотропії модуля пружності у перерізі листа, перпендикулярного до площини прокатування, запропоновані інтегральні характеристики текстури, які визначаються оригінальним способом з величин модуля пружності, виміряних прокатуванням у поперечному напрямку та у напрямку під кутом 45° до напрямку прокатування.

У четвертому розділі представлено результати дослідження характеристик пошкоджуваності листів досліджуваної сталі DC04, деформованих як одновісним розтягом, так і при деформації знакозмінним вигином з різною кількістю циклів, який часто застосовують у промисловості для випрямлення листового та рулонного металу. Рівень пошкоджень визначали при цьому за зміною модуля пружності.

Основні положення дисертації:

1. *Механізми формування та розвитку мікроушкоджень.* У роботі детально проаналізовано процеси формування мікротріщин у сталі DC04. Автор встановив, що основними джерелами пошкоджуваності є пори та мікротріщини розміром 0,1–0,3 мкм, які зароджуються переважно на границях зерен під впливом механічного навантаження. Ці дефекти формують зони концентрації напружень, що прискорює подальший розвиток пошкоджуваності. У дослідженні також виявлено закономірності розвитку дефектів під час циклічних навантажень, таких як знакозмінний вигин.

Особлива увага приділена аналізу просторового розташування мікротріщин, що дозволяє краще прогнозувати траєкторії їхнього зростання.

2. *Оптимізація параметрів термічної обробки для мінімізації пошкоджуваності.* Автором обґрунтовано, що температури відпалу в діапазоні 175–200°C є оптимальними для стабілізації структури сталі та зменшення рівня мікроушкодженості. У цьому температурному режимі відбувається «заліковування» мікротріщин і пор, що зумовлено рекристалізаційними процесами та зменшенням внутрішніх напружень. Окремо зазначено, що тривалість відпалу також суттєво впливає на ефективність цього процесу. Встановлено, що оптимальна тривалість термічної обробки має бути підібрана залежно від початкової текстури матеріалу та умов його експлуатації. Автор детально аналізує вплив температурного режиму на характер зміни механічних властивостей сталі, що робить ці результати корисними для промислового застосування.

3. *Текстурні перетворення та їх вплив на анізотропію пружних властивостей.* У дисертації показано, що текстурні перетворення, які виникають під час механічної деформації та термічної обробки, є ключовими чинниками, що впливають на анізотропію модулів пружності сталі DC04. Встановлено, що наявність орієнтацій $\{110\}\langle uvw \rangle$ зумовлює значну анізотропію пружних властивостей, що може призводити до нерівномірного розподілу навантажень у виробках. Автором запропоновано методи зниження анізотропії шляхом корекції термічної обробки та контролю текстурних перетворень. Окремо вивчено вплив анізотропії на процеси зародження та поширення мікротріщин, що дозволило розробити рекомендації щодо підвищення довговічності сталі.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна роботи Віктора Васильовича Лукашина полягає у наступному:

1. *Розробка підходів до аналізу мікроушкодженості сталі.* Запропоновано методіку оцінки пошкоджуваності текстурованих листів

сталі на основі EBSD-аналізу, що дозволяє виявляти взаємозв'язок між текстурними перетвореннями та деформаційними ушкодженнями.

2. *Оптимізація термічної обробки.* Встановлено, що температури 175–200°C сприяють зменшенню рівня пошкоджуваності завдяки стабілізації структури матеріалу та "заліковуванню" дефектів.

3. *Дослідження анізотропії модулів пружності.* Виявлено, що текстурні орієнтації сталі DC04 суттєво впливають на її анізотропні властивості, що важливо для оцінки поведінки матеріалу під час циклічних навантажень.

Практична значимість отриманих результатів дослідження

Практична значимість дисертації полягає у можливості застосування отриманих результатів для підвищення міцності та довговічності матеріалів. Зокрема:

1. Запропоновані температурні режими відпалу дозволяють знизити рівень ушкоджуваності сталі DC04, що є важливим для створення деталей із підвищеними експлуатаційними характеристиками.

2. Розроблені підходи до аналізу текстурних перетворень можуть бути використані для оцінки властивостей інших сталей із подібними структурними характеристиками.

3. Результати дослідження мають значний потенціал для впровадження у промислові технології обробки сталей.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій та висновків

Достовірність та наукова обґрунтованість отриманих результатів забезпечувалися дисертації В. В. Лукашина поєднанням сучасних експериментальних методів і глибокого аналізу отриманих результатів. Автор обґрунтовано обрав такі методи:

1. *Електронна мікроскопія.* Застосування цього методу дозволило детально дослідити мікроструктуру сталі та ідентифікувати мікротріщини і пори розміром до 0,1–0,3 мкм.

2. *Дифракція зворотньо розсіяних електронів (EBSD)*. Цей метод забезпечив високу точність аналізу текстурних перетворень та їх впливу на анізотропні властивості матеріалу.

3. *Динамічні методи вимірювання пружності*. Оцінка анізотропії модулів Юнга дала змогу кількісно охарактеризувати вплив текстурних орієнтацій на механічні властивості сталі.

Застосовані методики є сучасними та відповідають завданням, поставленим у дисертації, що забезпечило високу достовірність отриманих результатів.

Положення, що виносяться на захист, засновані на коректності отриманих експериментальних результатів та їх докладному та ретельному аналізі. Підсумкові результати та висновки дисертаційного дослідження апробовані на міжнародних конференціях та опубліковані в журналах, що входять до науково метричної бази SCOPUS.

Дискусійні питання та зауваження.

Позитивно оцінюючи в цілому досягнуті в дисертації В. В. Лукашина теоретичні та практичні результати дослідження вважаю за необхідне висловити певні зауваження:

1. Потребує пояснення закономірності формування мікротріщин, що були виявлені при циклічних навантаженнях.

2. Чому температурний діапазон 175–200°C визнано оптимальним

3. Як обрані вами методи дослідження вплинули на точність визначення рівня пошкодженості сталі DC04.

4. Було б корисно висвітлити можливість екстраполяції результатів на інші марки сталей із подібними характеристиками, а також оцінити можливі обмеження такого підходу.

5. Практичні рекомендації, наведені в дисертації, стосуються лише окремих аспектів термічної обробки та оцінки пошкоджуваності сталі. Було б корисно розширити ці рекомендації для ширшого спектра умов, зокрема різних режимів навантаження та експлуатації.

6. У роботі зустрічаються термінологічні неточності.

Отримані результати мають значне прикладне значення, оскільки вони безпосередньо спрямовані на покращення властивостей конструкційних матеріалів, що використовуються в критичних умовах.

Висновок

Дисертаційне дослідження Віктора Васильовича Лукашина є вагомим внеском у розвиток науки про міцність матеріалів. Отримані автором результати мають високу теоретичну та практичну значущість. Робота вирізняється новизною, чіткою структурою та обґрунтованістю отриманих висновків.

З огляду на вище викладене, дисертація відповідає всім вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 14 січня 2022 року №44. Вважаю, що Віктор Васильович Лукашин заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри інформаційних систем та мереж
Національного університету
«Львівська Політехніка»

Роман ПЕЛЕЩАК

Підпис засвідчую

Вчений секретар
Національного університету «Львівська Політехніка»
к.т.н., доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ