

ЗАТВЕРДЖУЮ



Ректор
Державного закладу
«Південноукраїнський
національний педагогічний
університет імені
К. Д. Ушинського»

Андрій КРАСНОЖОН

« 28 » вересня 2024 року

ВИСНОВОК

Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» з дисертаційної роботи Лукашина Віктора Васильовича на тему «Деформаційна пошкоджуваність анізотропних ОЦК-структур», на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

ВИТЯГ

з протоколу № 3 розширеного засідання кафедри інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін навчально-наукового інституту природничо-математичних наук, інформатики та менеджменту від 11 вересня 2024 року.

Присутні: зав.каф., к.ф.-м.н., доц. Д. О. Дячок, д.ф.-м.н., проф. А. Ю. Ків, д.ф.-м.н., проф. В. В. Ковальчук, д.т.н., к.т.н., доц. І. І. Дончев, к.п.н., доц. Л. В. Боднар, д.п.н., доц. О. І. Ордановська, к.ф.-м.н., доц. Т. С. Совкова, к.ф.-м.н., доц. Н. А. Волчок, асп. В. В. Лукашин, лаб. І. І. Філіппович.

Запрошені: д.ф.-м.н., проф. В. В. Усов, проф. О. Р. Гохман (гарант ОНП 105), д.ф.-м.н., доц. Н. М. Шкатуляк.

Порядок денний: доповідь аспіранта В. В. Лукашина за змістом дисертації на тему «Деформаційна пошкоджуваність анізотропних ОЦК-структур»; затвердження рекомендацій щодо складу разової СВР.

1. Слухали: аспіранта В. В. Лукашина, який наголосив, що його дисертаційна робота присвячена дослідженню деформаційних пошкоджуваностей анізотропних ОЦК-структур.

Матеріалом дослідження була сталь. У випадку полікристалічних матеріалів, таких як сталь, анізотропія впливає на процеси зародження та розвитку мікроушкоджень під час деформації. Дослідження цих процесів є важливими як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки вони можуть допомогти покращити довговічність і надійність матеріалів в інженерних застосуваннях.

Метою досліджень дисертації стало вивчення процесів зародження мікроушкоджень та їх розвитку в текстурованих листах полікристалів зі структурою альфа - заліза при деформаціях розтягуванням, знакозмінним вигином, при дорекристалізаційних та рекристалізаційних відпалах та впливу їх на анізотропію.

Об'єкт дослідження слугували диференціальна структура полікристалу з ОЦК решіткою, її зміни на мікрорівні при деформації та термічній обробці та її зв'язок із макро властивостями сталі та інтегральними характеристиками структури текстурованих листів.

Предметом дослідження слугувала феритна сталь підвищеної міцності DC04 (0.06% C, до 0.35% Mn, до 0.40%Si, ~ 0.025% S та P) (європейського стандарту) у вигляді листів гарячої прокатки, підданих дорекристалізаційним та рекристалізаційним відпалам з подальшою деформацією розтягуванням, циклічною деформацією знакозмінним вигином.

Для досягнення поставленої мети вирішували такі завдання:

1. Отримати експериментальні дані про структурний та текстурний стан вихідного матеріалу досліджень.

2. Отримати експериментальні дані про вплив температури відпалу на рівень пошкодженості структури сталі DC04 на мікро та нанорівнях та вплив цих ушкоджень на пружні властивості листів сталі та інтегральну пошкодженість таких полікристалів. Оцінити вплив текстури після дорекристалізаційних и рекристалізаційних відпалів.

3. Визначити спосіб розрахунку інтегральних характеристик текстури (ІХТ) в масштабах листів без використання дифракційних методів для дослідження представницьких об'ємів мікромасштабного рівня.

4. Дослідити вплив пошкоджень на розподіл напруг у представницьких об'єктах.

5. Побудувати схему зміни структури та властивостей листів сталі DC04 після гарячої прокатки та наступних відпалах аж до рекристалізації.

6. Знайти оптимальну схему термічної обробки листів сталі DC04 для отримання еталона з мінімальним рівнем ушкодження.

7. Розробити спосіб створення в плоских зразках досліджуваної сталі контрольованого рівня деформації одновісним розтягуванням та малоциклової деформації знакозмінним вигином.

8. Отримати експериментальні дані про вплив ступеня деформації на рівень пошкоженості структури сталі DC04 на мікро та нанорівнях та вплив цих ушкоджень на пружні властивості листів сталі та інтегральну пошкоженість таких полікристалів. Оцінити вплив текстури на рівень локальної пошкоженості та анізотропію властивостей пружності.

9. Отримати експериментальні дані з анізотропії пружних властивостей, зародження та розвитку пошкоджень в областях розтягування та стиснення деформованих циклічними згинами зразків сталі.

10. Побудувати схему текстурних перетворень, зародження та розвитку пошкоджень у листах сталі DC04 під дією деформацій розтягуванням та знакозмінним вигином.

Д.ф.-м.н., проф., завідувач кафедри технологічної та професійної освіти В. В. Усов: «У науковій новизні, що означає літера k?»

Дисертант В. В. Лукашин: «Літера k – коефіцієнт комбінацій піддатливості монокристалу. Ці формули були виведені кафедрою фізики та допрацьовані разом з д.т.н., проф. А. О. Брюхановим».

Д.ф.-м.н., проф., завідувач кафедри технологічної та професійної освіти В. В. Усов: «Чи є демонстрація цих коефіцієнтів?»

Дисертант В. В. Лукашин: «Так, k виводиться з формули $S_{11} - S_{12} - 1/2 S_{44}$ ».

К.ф.-м.н., доцент кафедри прикладної математики та інформатики Н.М. Шкатуляк: «Як ви думаєте, що оригінального в формулах інтегральних характеристик структури (ІХТ)?».

Дисертант В. В. Лукашин: «Насправді була вирішена зворотня задача і формули ІХТ виводилися з модуля Юнга, який знімався з плоского листа сталі. Ці формули дали нам змогу визначити пружні властивості, а саме в експериментальних важко вимірювальних напрямках. Тобто, визначити пружні властивості площини перетину листа, з якого дуже важко робити заміри.

Д.ф.-м.н., проф. А. Ю. Ків: «Як пов'язана ступінь деформації с характером дефектів які виникають?»

Дисертант В. В. Лукашин: «Більшої ступені деформації відповідає більш складна структура дефекту.»

ОБГОВОРЕННЯ

Д.ф.-м.н., проф. А. Ю. Ків: робота аспіранта В. В. Лукашина є актуальною, тому що досліджувались матеріали, які в цей час широко використовуються. Напрямки дослідження відповідають потребам сучасного виробництва та особливо важливі у зв'язку з воєнним станом. У роботі одержані важливі результати, які роблять помітний внесок у сучасне матеріалознавство. Результати дослідження обговорювались на різних форумах і є достовірними.

Вважаю, що робота аспіранта В. В. Лукашина відповідає сучасним вимогам до дисертації на вчену ступінь доктора філософії і може бути представлена до захисту.

Рецензент к. т. н., доц. І. І. Дончев: дисертація аспіранта Віктора Лукашина за змістом та формальними ознаками є сучасним дослідженням і має належне наукове та практичне значення. Дисертантом одержано важливі наукові результати, отримано експериментальні дані про структурний та текстурний стан сталі, які в цей час мають велике практичне значення. Також детально вивчено вплив температури відпалу на рівень пошкодженості структури сталі. Досліджено вплив пошкоджень на розподіл напруг у

матеріалах, що вивчалися, і знайдено можливі закономірності щодо впливу ступеней деформації на рівень пошкодженості структури сталі. Одержано оригінальні експериментальні дані щодо анізотропії пружної характеристики, а також зародження та еволюцію пошкоджень протягом деформації процесів. При виконанні роботи використовувались сучасні методи та обладнання. Результати дисертаційної роботи обговорювалися на семінарах, конференціях і відображені в достатній кількості публікацій.

Вважаю, що дисертаційна робота аспіранта Віктора Лукашина повністю відповідає сучасним вимогам щодо дисертації на вчену ступінь доктора філософії і може бути представлена до захисту.

Рецензент к.ф.-м.н., доцент кафедри прикладної математики та інформатики Н. М. Шкатуляк: дисертаційна робота аспіранта Віктора Лукашина присвячена таким питанням, як вивченню початкових стадій руйнування структури сталі DC04 ОЦК-решіткою на мікро- і нано- рівнях під впливом термічної обробки та пластичної деформації. Ці питання є дуже актуальними, особливо в таких сферах, як в загальній механіці руйнування надійності і довговічності конструкцій. У роботі, як елемент руйнування структури, розглядаються пори, мікротріщини та інші порушення соціальним середовищем на мікромасштабному рівні, які виникають і розвиваються під впливом термічної обробки та внаслідок пластичної деформації. Був проведений великий обсяг досліджень структури, текстури та анізотропії властивостей дослідженого матеріалу, як в початковому стані, так і далі при різних обробках деформації та різних температурах. Початковий стан - поставка сталі, яка була поставлена фірмою, де кінцевим відомо обробки була гаряча прокатка деформації в ОЦК-стані. Отримані результати дозволили побудувати схему структурних змін у процесі такої обробки. Виділено роль саморекристалізації під час охолодження матеріалу та утворення пошкоджень на межах двійників рекристалізації. Дисертантом були отримані, розраховані інтегральні характеристики текстури (ІХТ) недифракційним методом цих початкових листів і відповідно анізотропії модуля нормальної пружності в площині та у перерізі листів. Вони задовільно збігаються з експериментом.

Показано, що біля мікропошкоджень утворюється кластер підвищеної внутрішньої напруги в якому можуть розмножуватись нові пошкодження. Досліджено вплив температури відпалу на рівень пошкоженості сталі. Дисертант показав, що низькотемпературні відпали призводять до загоєння пошкоджень, а рекристалізаційні внески до формування нового поля пошкоджень.

Я вважаю, що дисертаційна робота задовольняє вимогам порядку присудження ступені доктора філософії, яка затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 14 січня 2022 р. № 44.

Науковий керівник, к.ф.-м.н., доц. Д. О. Дячок: дисертаційна робота аспіранта Віктора Лукашина відрізняється тим, що у ній вирішено як теоретичні завдання фізики твердого тіла, так і практичні завдання покращення довговічності і надійності матеріалів в інженерних застосуваннях. Робота виконувалася у тісній взаємодії з експериментальними зарубіжними лабораторіями. У процесі виконання роботи було встановлено механізм залікування дефектів у вигляді різноманітних пошкоджень на нижчому масштабному рівні внаслідок дорекристалізаційних відпалів та зародження нових пошкоджень при процесах рекристалізації. Знайдено область температур відпалів для отримання мінімально пошкоджених еталонів.

На мою думку, робота може бути представлена до захисту, адже вона має значущий науковий характер та є актуальною.

2. Слухали: д.ф.-м.н., проф. А. Ю. Ківа: пропоную наступний склад разової СВР для проведення захисту дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії (105 Прикладна фізика та наноматеріали) аспіранта Університету Ушинського Лукашина Віктора Васильовича з теми «Деформаційна пошкоджуваність анізотропних ОЦК-структур»:

- Голова ради: доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри технологічної та професійної освіти В. В. Усов;
- Рецензенти: кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін

Н. А. Волчок, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри прикладної математики та інформатики О. Р. Гохман;

- Опоненти: доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автоматизація виробничих процесів», Донбаської державної машинобудівної академії О.Є. Марков, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету "Львівська політехніка" Р. М. Пелешак.

Ухвалили: у результаті обговорення дисертаційного дослідження Лукашина Віктора Васильовича з теми: «Деформаційна пошкоджуваність анізотропних ОЦК-структур», кафедрою інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» затвердити рішення:

Рекомендувати вченій раді університету Ушинського затвердити склад запропонованої разової СВР і представити дисертаційну роботу здобувача В. В. Лукашина з теми: «Деформаційна пошкоджуваність анізотропних ОЦК-структур» до захисту.

Актуальність теми.

Відомо, що утворення структури твердого тіла, яке веде його до руйнування (структура руйнування), відбувається набагато раніше, ніж поява мікротріщин, катастрофічний рух яких описується теорією Хіггінса.

Таким чином, робота дослідників, спрямованих на вивчення процесів руйнування на самих початкових етапах деградації структури, тісно пов'язана не лише з забезпеченням міцності та надійності структур, але і з елементарними проблемами техніки безпеки. І такі роботи завжди були та будуть актуальними.

Справжні тверді тіла мають складну структурну будову, принципово різну на кожному з масштабних рівнів. У процесі деформації в твердому тілі зміна структури матеріалу протікає на всіх масштабних рівнях і призводить до розвитку незворотної структури руйнування.

Кожен структурний рівень містить результати всіх процесів, які пройшли на менш масштабних рівнях.

Процеси на найвищому рівні ще не були описані, і можливості цього опису не вичерпані, побудова еволюції більш глибоких рівнів не є повною.

Внаслідок експериментальних досліджень на різних структурних рівнях пластичної деформації та руйнування полікристалів була сформульована гіпотеза щодо ключової ролі цього процесу масштабного рівня субмікротріщин з розмірами 0.1-0.3 мкм. У той же час процес руйнування йде як через виникнення нових мікротріщин, так і через їх розвиток. Співвідношення внеску цих процесів у зміни руйнування є залежним від структури матеріалу та умов його деформації.

Цей рівень називається мікромеханікою пошкодження, тобто етап великого масштабного мікрорівневого рівня, на якому виникає порушення безперервності твердих речовин у вигляді пор, мікротріщин тощо.

У даний час велика кількість експериментальних досліджень проводиться методами малокутового розсіювання X -Rays та електронної мікроскопії зародків утворення несплошностей у металах та сплавах у місцях локалізації зсуву або обертальної деформації. Картини накопичення мікротріщин були отримані під час процесу деформації для Ag, Zn, Fe, Al, W, Mo, Nb, феритної сталі, сталей 12MX, 15MX. Масове утворення та розвиток мікротріщин у полікристалах, спостерігали протягом усього часу знаходження зразків під навантаженням, починаючи майже з моменту навантаження.

Загалом, полікристали вивчали без яскраво вираженої текстури, тобто, з мінімальним рівнем анізотропії властивостей.

Наукова новизна одержаних результатів:

Встановлено механізм залікування дефектів у вигляді різноманітних пошкоджень на нижчому масштабному рівні внаслідок дорекристалізаційних відпалів та зародження нових пошкоджень при процесах рекристалізації. Знайдено область температур відпалів для отримання мінімально пошкоджених еталонів.

Показано, що процеси зародження деформаційних пошкоджень найбільш інтенсивно протікають при малих деформаціях, коли зародки у вигляді мікропорів та мікротріщин формують кластери полів підвищеної напруги і які у

свою чергу, провокують зародження нових пошкоджень. Середні та високі деформації сприяють збільшенню та коагуляції зародкових, доводячи, зрештою, до тріщин, рух яких (по Хіггінсу) призводить до поділу кристалічного тіла на частини.

Практичне значення одержаних результатів:

У дисертації запропоновано методи знаходження інтегральних характеристик текстури за результатами прямих вимірювань модулів Юнга у площині листів та на підставі цих результатів оцінки рівня пошкодженості листів, призначених для штампування або глибокої витяжки.

Надійність та вірогідність результатів: визначається порівнянням результатів з опублікованими роботами відповідної тематики, вивченням початкових стадій руйнування структури сталі DC04 ОЦК-решіткою на мікро- і нано- рівнях під впливом термічної обробки та пластичної деформації, а також порівнянням із експериментальними результатами, які одержані в лабораторіях з якими співпрацює кафедра.

Відомості про повноту надрукованих результатів автора:

Список публікацій здобувача за темою дисертації:

1. Determination of optimal sizes of sensors membrane elements by measuring elastic modules using the resonance method/ Lukashin V. V. et al. Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2017, № 22. (фахова, категорія Б)
2. Effect of tension on the formation of local voids and integral damages in DC04 steel sheets/Lukashin V. et al. *Functional Materials*. 2022. P 521 – 529. (Scopus)
URL: <http://functmaterials.org.ua/contents/29-4/0>
DOI: <https://doi.org/10.15407/fm29.04.521>
3. Complex network methods for plastic deformation dynamics in metals/ Lukashin V. et al. *Dynamics*. 2023. V.3. P.34-59. (Scopus, WoS)
URL: <https://www.mdpi.com/2673-8716/3/1/4>
DOI: <https://doi.org/10.3390/dynamics3010004>

4. Irreversibility of Plastic Deformation Processes in Metals/ Lukashin V. et al. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. 2023. pp. 425-445. (Scopus)
URL:https://www.researchgate.net/publication/373549944_Irreversibility_of_Plastic_Deformation_Processes_in_Metals
DOI: 10.1007/978-3-031-35467-0_26
5. Лукашин В., Бабаджанов М., Брюханов А. А. Диференційна та інтегральна пошкодженності низьковуглеродистої сталі при розтягуванні. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference Amsterdam, Netherlands (October 17 – 19, 2022). p.189-190
URL: <https://eu-conf.com/events/an-overview-of-modern-scientific-research-in-various-fields-of-science/>
6. Незворотні заходи складності процесів пластичної деформації в металах/ Лукашин В. et al. VI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці»(ІТОНТ-2022), (Черкаси, 23-25 червня 2022р.) [Електронний ресурс]. Черкаси: ЧДТУ, 2022. 220 с.

Апробація результатів дослідження: основні положення дисертаційної роботи опубліковано в 6 наукових працях, у тому числі в реферованих наукових журналах опубліковано 4 статті, 3 з яких у виданнях, які індексуються базою даних Scopus та Web of Science і 1 у фаховому виданні України. Результати дисертації висвітлено в 2 тезах і матеріалах міжнародних наукових конференціях та семінарів.

Дисертаційна робота Лукашина Віктора Васильовича з теми «Деформаційна пошкоджуваність анізотропних ОЦК-структур» відповідає чинним вимогам до дисертацій і може бути рекомендована до захисту на здобуття її автором наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Результати голосування: рекомендувати роботу Лукашина Віктора Васильовича з теми «Деформаційна пошкоджуваність анізотропних ОЦК-структур» до подачі в спеціалізовану вчену раду із захисту дисертацій на

здобуття її автором наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали: «за» - 13 ; «проти» - немає; «утримався» - немає. Рішення прийнято одностайно.

Рецензенти:

Кандидат фізико-математичних наук, доцент
кафедри прикладної математики та інформатики

Наталя ШКАТУЛЯК

Кандидат технічних наук, доцент

Іван ДОНЧЕВ

Головуючий на розширеному засіданні кафедри
(Доктор фізико-математичних наук, професор)

Арнольд Ків

