

Відгук офіційного опонента
на дисертаційну роботу **Козечко Валентина Івановича**

на тему: «Формування комплексу механічних властивостей
низьковуглецевих мікролегованих сталей в залежності від товщини
металопрокату», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство.

Актуальність теми досліджень. Тема дисертаційної роботи є надзвичайно актуальною в контексті сучасного матеріалознавства та будівельної інженерії, зокрема щодо використання низьковуглецевих мікролегованих сталей у будівництві. Вона вирішує важливі питання підвищення механічних властивостей та оптимізації використання сталі різної товщини в будівельних конструкціях. Дослідження, яке фокусується на механічних властивостях, поведінці матеріалу при руйнуванні та ударній в'язкості цих сталей, має безпосереднє значення для індустрії, яка прагне до економічно ефективних, надійних та довговічних будівельних матеріалів.

У дослідженні розглядається використання товстих листів для несучих елементів конструкцій, зокрема для мостів, резервуарів і висотних будівель, ці матеріали є необхідними для великих будівельних проектів, що робить дослідження важливим для підвищення міцності конструкцій та зниження витрат на будівництво.

Дисертаційна робота досліджує вплив товщини металопрокату на механічні властивості сталі, зокрема здатність матеріалу чинити опір розповсюдженню тріщин, що є критичним для довговічності зварених сталевих конструкцій під дією динамічних навантажень і сприяє розвитку надійніших та ефективніших матеріалів для будівництва та інших галузей.

Запропоноване використання металопрокату різної товщини для виготовлення будівельних конструкцій дозволяє знизити витрати на матеріали та виготовлення без втрати міцності конструкцій, що особливо актуально в умовах сучасної економіки, коли необхідно знаходити економічно ефективні рішення для будівництва.

Сучасні методи обробки матеріалів, такі як контрольована прокатка та термомеханічна обробка для поліпшення властивостей низьковуглецевих сталей призводить до підвищення якості матеріалів для будівництва, що забезпечує конкурентоспроможність вітчизняних сталей на ринку.

Таким чином, дисертаційна робота **Козечко Валентина Івановича** є актуальною не лише з наукової, але й з економічної та технологічної точки зору та сприяє розвитку будівельної галузі та матеріалознавства.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати досліджень увійшли до освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії за спеціальністю 132 “Матеріалознавство”, до методичних розробок для підготовки магістрів, а саме: “Експертна оцінка матеріалів і виробів”, методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни “Методи структурного аналізу матеріалів” для магістрів спеціальності 132 “Матеріалознавство”, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 69 с.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується: застосуванням сучасних методів дослідження та комп'ютерної техніки при одержанні та обробці результатів; обсягом експериментів.

Наукова новизна полягає в системному дослідженні взаємозв'язку між товщиною металопрокату, його структурними характеристиками та механічними властивостями, зокрема здатністю до в'язкого руйнування та ударної в'язкості. У роботі розроблено нові фізико-математичні моделі, що враховують зміни в структурному стані металу в залежності від товщини та температури обробки, а також механізми зародження і розвитку тріщин у низьковуглецевих мікролегованих сталях. У ході виконання роботи удосконалено загально прийняту теорію зародження та розповсюдження в'язкого руйнування за рахунок аналізу параметрів відповідного структурного стану. Запропоновані концепції містять урахування впливу пластичної деформації на відповідні стадії руйнування, а саме: зародження тріщини (енергетичні аспекти зародження мікропор); повільного зростання тріщини (пластичне деформування структурних складових); швидке зростання тріщини (одночасна дія двох механізмів – в'язкого та квазікрихкого). Під час виконання роботи одержані наступні нові наукові результати:

1. Набуло подальшого розвитку удосконалення енергетичні аспекти теорії зародження мікропор на поверхнях розділу між матрицею і частинками при в'язкому руйнуванні низьковуглецевих мікролегованих сталей з урахуванням товщини металопрокату. Розроблена концепція відрізняється урахуванням не тільки типу зв'язку частки з матрицею, а й аналізом хімічного складу частки, її розмірами та спроможністю формувати пори, тобто бути потенціальними місцем для зародження в'язкої тріщини.

2. Вперше розроблена концепція зв'язку між розповсюдженням пластичної деформації та параметрами структурних складових.

Запропонована фізико-математична модель враховує спроможність елементів структури низьковуглецевих мікролегованих сталей до опору розповсюдження в структурі пластичної деформації і, як наслідок, руйнування. Аналогічні моделі розповсюдження в'язкого руйнування зазначені факти не враховують.

3. Набуло подальшого розвитку процес руйнування сталей у ферито-перлітному структурному стані з урахуванням товщини металопрокату з точки зору проходження тріщиною трьох послідовних стадій: зародження, повільного зростання та швидкого зростання. Отримані фізичні моделі враховують вплив геометричних розмірів та відсоткового вмісту структурних складових низьковуглецевих мікролегованих сталей на зародження (формування мікротріщин за квазікрихким механізмом руйнування) та розповсюдження руйнування (розподіл пластичної деформації по структурним складовим).

4. Вперше побудовано та проаналізовано фізико-математичні моделі впливу параметрів структури на ударну в'язкість низьковуглецевих мікролегованих сталей з урахуванням товщини металопрокату. Запропонована концепція базується на результатах комплексних досліджень поверхонь зламів, відповідних дослідженнях структурного стану та теоретичному аналізу можливих механізмів, які працюють під час руйнування низьковуглецевих мікролегованих сталей.

Практичне значення результатів роботи. Практичне значення роботи спрямовано на підвищення механічних властивостей і розширення областей застосування прокату з низьковуглецевих мікролегованих сталей вітчизняного виробництва на основі встановлення взаємозалежностей між структурою та кінетикою розповсюдження тріщини при динамічних механічних руйнуваннях, а саме:

1. Розроблені фізико-математичні моделі визначення взаємозв'язку між параметрами структури та ударною в'язкістю металопрокату для будівельних металевих конструкцій, які впроваджені в практику ТОВ «Synergy RD» (договір від 14.08.2024р.).

2. В практику діяльності ТОВ «Катаріос Транс» (довідка від 4.09.2024р.) впроваджено використання високоміцних високов'язких сталей з різними товщинами конструктивних елементів що приводить до зниження вартості готового виробу більш ніж на 20% в порівнянні з класичним варіантом компоновки, що є суттєвим результатом для економіки підприємств.

3. Автором розроблені рекомендації щодо використання отриманих наукових результатів при розробці технологічних схем виробництва металопрокату різної товщини для будівельної галузі, які забезпечують отримання сталей з підвищеним рівнем механічних властивостей.

4. Отримані результати дослідження увійшли до освітньо-наукової програми зі спеціальності 132 “Матеріалознавство” для підготовки докторів філософії.

5. Результати роботи впроваджено у навчальний процес кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну НТУ «Дніпровська політехніка» при підготовці наступних дисциплін: «Експертна оцінка матеріалів і виробів», «Методи структурного аналізу матеріалів».

Аналіз основного змісту та повнота викладених положень. В роботі використаний науковий стиль та загальноприйнята термінологія. Робота виконана в чіткій логічній послідовності відповідно до поставлених мети та задач досліджень.

Оцінка публікацій автора. За темою дисертації опубліковано 5 наукових праць, серед них: 1 стаття у виданні що індексується Scopus, 4 статті у фахових виданнях, що відповідають переліку ДАК МОН України.

Оцінка структури і обсягу роботи. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел з 131 найменувань. Загальний обсяг роботи складає 119 сторінок, у тому числі 37 рисунків і 18 таблиць.

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи, сформульована мета роботи, викладені наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, а також представлені дані щодо апробації результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** дисертаційної роботи представлено комплексний огляд сучасного стану досліджуваної проблеми, що включає детальний аналіз наукової літератури, методологічних підходів та основних концепцій у вибраній галузі.

У розділі чітко окреслено наукову новизну роботи, яка полягає у розробці нових підходів до вирішення проблеми, адаптації існуючих методик до сучасних умов та інтеграції різних підходів у рамках єдиної моделі. На основі аналізу сучасного стану проблеми визначено основні напрямки дослідження, а також сформульовано задачі дослідження.

У **другому розділі** дисертації представлено методологічний підхід до вирішення поставлених завдань, детально розглянуто алгоритм дослідження та обґрунтовано вибір методів, які використовуються для досягнення цілей роботи. Особливу увагу приділено розробці теоретичної моделі, яка стала основою для проведення подальших експериментів та аналізу отриманих результатів.

Другий розділ забезпечує методологічну базу для реалізації основної частини дисертації, що дозволяє виконати детальний аналіз та отримати результати, які мають як наукову, так і практичну цінність.

У **третьому розділі** представлено результати проведених досліджень, їх аналіз і обговорення. Мікроструктурний аналіз показав, що мікроструктурними складовими усіх досліджуваних систем є ферит та перліт. Зі збільшенням товщини збільшується відсотковий вміст феритної складової з одночасним зменшенням відсотку перліту. Ферит формується у виді зерен поліедричної форми, а перлітні колонії розташовані у ліквіційних полосах.

На підставі отриманих кількісних даних побудовано регресійні моделі, аналіз яких показав, що аналізовані залежності мають нелінійний характер і описуються логарифмічними рівняннями.

Дослідження тонкої структури свідчать, що зі збільшенням товщини металопрокату спостерігається зріст розмірів структурних складових, при цьому їх відсоткове співвідношення майже не змінюється (зміни знаходяться у межах допустимої похибки).

На підставі отриманих даних було побудовано математичні моделі взаємозв'язку між геометричними розмірами структурних складових та товщиною металопрокату. В якості аналітичних моделей було отримано логарифмічні рівняння регресії.

Четвертий розділ присвячений дослідженню впливу товщини металопрокату на механізм руйнування матеріалу та його характер. Показано, що зі збільшенням товщини відбувається перехід від квазікрихкого до в'язкого механізму руйнування.

Математичний аналіз показав функціональну залежність між вмістом хімічних елементів у металі та його ударною в'язкістю. Зокрема, наявність сірки, марганцю та вуглецю істотно впливає на стійкість матеріалу до руйнування. Ця залежність дозволяє прогнозувати поведінку металопрокату за різних умов експлуатації, враховуючи його хімічний склад.

Отримані результати підтвердили, що зі збільшенням товщини металопрокату змінюється не лише механізм, а й характер руйнування. Тонкі зразки демонструють квазікрихку поведінку, а товсті – значну пластичну деформацію, яка є передумовою для розвитку в'язкого руйнування. Ці

результати є важливими для прогнозування довговічності та надійності матеріалу в умовах різного навантаження.

У п'ятому розділі дисертації показано що застосування прокату з різною товщиною в будівельних конструкціях дозволяє оптимізувати вагу та металоємність виробів, не знижуючи їх несучої здатності і дає змогу зменшити собівартість готових будівельних конструкцій більш ніж на 20% порівняно з традиційними рішеннями.

– Зниження витрат на матеріали: оптимальне використання сталі дозволяє мінімізувати перевитрати ресурсу.

– Скорочення витрат на транспортування: легші конструкції зменшують транспортні витрати.

– Економія на монтажних роботах: зниження ваги конструкцій полегшує процеси складання та зменшує потребу у важкому обладнанні.

– Зменшення витрат на обробку: раціональне використання металу сприяє зменшенню обсягу обробних операцій.

Застосування модифікованих сталей: запропоновано використовувати сталі з покращеними механічними властивостями, що дозволяє знизити вагу конструкцій без втрати міцності.

Математичне моделювання підтвердило ефективність підходу використання прокату варіативної товщини. Отримані залежності між товщиною прокату, його міцністю та пластичністю демонструють високу кореляцію, що дозволяє їх використовувати як основу для прогнозування властивостей металу та оптимізації виробничих процесів. Результати моделювання також показали, що застосування варіативного підходу сприяє досягненню балансу між технічними характеристиками та економічною ефективністю.

Зауваження по дисертаційній роботі.

Незважаючи на загальне позитивне враження від роботи, є декілька зауважень:

1. У розділі про наукову новизну зазначено декілька важливих досягнень, але їх формулювання варто уточнити. Наприклад, концепція зв'язку між розповсюдженням пластичної деформації та параметрами структурних складових описана загальною. Бажано чіткіше визначити, в чому саме полягає її новизна у порівнянні з попередніми дослідженнями.
2. Обґрунтування вибору моделей та методів дослідження: У роботі використовуються численні математичні моделі та фізичні концепції. Проте відсутнє детальне обґрунтування вибору саме цих моделей.

- Варто додати пояснення, чому обрані моделі є оптимальними для аналізу конкретних фізичних процесів.
3. Практичне значення роботи представлено у загальному вигляді. Рекомендується розширити аналіз, додавши конкретні приклади впровадження отриманих результатів на виробництвах або в інших галузях.
 4. Поглиблення висновків: Загальні висновки базуються на результатах досліджень, але вони доволі констатуючі. Слід додати аналітичну частину з підсумковим порівнянням результатів, виявленням закономірностей та рекомендаціями щодо подальших досліджень.
 5. Хоча в розділі проведено фрактографічний аналіз поверхонь руйнування, бракує більш детального опису методології та обладнання, які використовувалися. Це ускладнює оцінку точності отриманих результатів і можливість повторення експериментів іншими дослідниками.
 6. У розділі 5 рис. 5.4 та 5.5 мають підпис, який не містить детального опису. Підпис має включати короткий зміст того, що зображено на рисунку.
 7. Відсутній акт впровадження результатів роботи в навчальний процес.
 8. В роботі є посилання на літературні джерела, строк давності яких більше десяти років.

Загальний висновок по дисертаційній роботі.

Вважаю, що вказані недоліки не мають принципового характеру, та не впливають на загальну якість роботи, а дисертація **Козечко Валентина Івановича** «на тему «Формування комплексу механічних властивостей низьковуглецевих мікролегованих сталей в залежності від товщини металопрокату» поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 “Матеріалознавство” є завершеним науковим дослідженням, яке вирішує актуальну задачу підвищення ефективності використання низьковуглецевих мікролегованих сталей у будівельних металоконструкціях шляхом встановлення залежності між товщиною металопрокату, його мікроструктурою та механічними властивостями.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені наказом МОН України №40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової

спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44, а її автор **Козечко Валентин Іванович** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України,
завідувачка кафедри технологій металів
та матеріалознавства Харківського
національного автомобільно-дорожнього
університету «ХНАДУ»



Діана ГЛУШКОВА