

ВІДГУК

рецензента на дисертаційну роботу Козечко Валентина Івановича «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

Відгук складено на основі вивчення дисертації, опублікованих здобувачем наукових праць, а також документів, що свідчать про реалізацію та впровадження наукових досліджень.

1. Актуальність обраної теми досліджень

У контексті постійного зростання вимог до якості будівельних матеріалів, зокрема сталевих конструкцій, ця тема має велике практичне і наукове значення. Робота охоплює аналіз низьковуглецевих мікролегованих сталей – матеріалів, які знаходять широке застосування у різних галузях, включно з важкою промисловістю та будівництвом, де потрібні високі міцність, зносостійкість і надійність металоконструкцій.

Актуальність дослідження зумовлена потребою у вдосконаленні методів виготовлення сталевих конструкцій, які можуть витримувати складні та мінливі навантаження. У дисертації розглядається вплив товщини прокату на комплекс механічних властивостей, що включають стійкість до тріщиноутворення, пластичність і здатність протидіяти механічним руйнуванням. Важливо зазначити, що у чинних нормативних документах вимагається використання металопрокату однакової товщини, однак дослідження Козечко В.І. показують, що у деяких випадках доцільно використовувати листи різної товщини, що сприяє оптимізації навантажень у конструкціях та підвищує їхню надійність.

Основним об'єктом дослідження є низьковуглецева мікролегована сталь марки 10Г2ФБ різної товщини (16, 20, 30, 40, 50, 70 і 100 мм). У роботі автор досліджує кінетику руйнування матеріалу та його здатність протистояти зародженню і розповсюдженню тріщин, що є важливим аспектом у створенні міцних та безпечних будівельних конструкцій. Окрему увагу приділено аналізу впливу мікроструктури матеріалу на його механічні властивості, що дозволяє глибше зрозуміти механізми деформації і руйнування сталей при різних товщинах прокату.

Дисертаційна робота складається з комплексних досліджень, які проводилися на різних рівнях аналізу, зокрема за допомогою статичних і динамічних випробувань (розтяг, ударний вигін), а також використання методів металографії та скануючої електронної мікроскопії для вивчення мікроструктурних складових. Важливим результатом роботи є побудова регресійних моделей залежності механічних властивостей сталі від її мікроструктурного стану та товщини прокату. Ці моделі забезпечують надійний математичний інструмент для передбачення поведінки сталі в умовах експлуатації.

У роботі наводяться також результати фрактографічного аналізу поверхонь руйнування та їхніх структурних характеристик, що дозволяє детально описати механізми руйнування залежно від товщини сталевих прокатів. За результатами досліджень автором сформовано науково обґрунтовані рекомендації щодо застосування металопрокату різної товщини у будівельних конструкціях з метою підвищення їхньої надійності та зниження металоємності.

Дисертаційна робота Козечко В.І. є комплексним дослідженням, спрямованим на вирішення важливої задачі матеріалознавства – розширення сфер застосування і підвищення якості сталей для будівельної галузі. Отримані результати мають значний потенціал для впровадження у промисловість, зокрема у галузі проектування та виготовлення металоконструкцій.

Тому, вважаю, що тема дисертаційного дослідження **Козечко Валентина Івановича** є актуальною.

2. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами і темами

Результати досліджень увійшли та були прийняті до уваги при створенні освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії за спеціальністю 132 "Матеріалознавство".

Крім того результати наукових досліджень увійшли до методичних розробок для підготовки магістрів спеціальності 132 Матеріалознавство, а саме:

1. Експертна оцінка матеріалів і виробів [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання практичних робіт для здобувачів ступеня магістра спеціальності 132 Матеріалознавство / уклад.: Д. В. Лаухін, Н. О. Ротт, К.А. Зіборов, В. І. Козечко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024 – 44 с.

2. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни Методи структурного аналізу матеріалів для магістрів спеціальності 132 Матеріалознавство / В.А. Козечко, Козечко В.І. ; Нац.техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 69 с.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність та наукова новизна

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Козечко Валентина Івановича відзначаються високим ступенем обґрунтованості та достовірності, що досягнуто завдяки комплексному підходу до дослідження і використанню сучасних експериментальних методів. Дослідження базуються на ретельному аналізі властивостей низьковуглецевих мікролегованих сталей різної товщини, які підтверджені серією статичних і динамічних випробувань (випробування на розтяг, ударний вигін). Результати аналізу структурних складових, проведені методами металографічного аналізу та скануючої електронної мікроскопії, забезпечують точне розуміння впливу товщини прокату на структурні особливості матеріалу.

Для підтвердження обґрунтованості результатів дисертації також застосовано статистичний і регресійний аналіз, що підвищує достовірність отриманих результатів і дозволяє прогнозувати властивості матеріалів при різних товщинах металопрокату. Дисертація містить комплексний підхід до моделювання залежностей механічних властивостей від структурного складу, що дозволило розробити нові фізико-математичні моделі, які мають значну наукову цінність.

4. Наукові положення і результати, що виносяться на захист

Сформульовані автором, а саме **вперше**:

1. Удосконалено енергетичні аспекти теорії зародження мікропор на поверхнях розділу між матрицею і частинками при в'язкому руйнуванні низьковуглецевих мікролегованих сталей з урахуванням товщини металопрокату (**набуло подальшого розвитку**). 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. Концепція зв'язку між розповсюдженням пластичної деформації та параметрами структурних складових (**зроблено вперше**). 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. Досліджено 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 (**набуло подальшого розвитку**). 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. Побудовано та проаналізовано фізико-математичні моделі впливу параметрів структури на ударну в'язкість низьковуглецевих мікролегованих сталей з урахуванням товщини металопрокату (**зроблено вперше**). 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.

5. Оцінка змісту роботи та повнота викладення положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури (131 найменування), та додатків.. Загальний обсяг основного тексту дисертації – 119 сторінок, у тому числі 37 рисунків, 18 таблиць.

На мою думку, зміст дисертаційної роботи відповідає обраній темі. Текст викладено логічно з використанням коректної технічної мови. Робота містить достатню кількість ілюстративних матеріалів, таких як рисунки та таблиці, а також додатки, що свідчать про її цілісність та завершеність.

Розділ 1. містить аналіз впливу товщини металопрокату на перспективи його використання в будівельних металоконструкціях. Розглядаються сучасні вимоги до металів, що використовуються в будівництві, зокрема до сталі, яка повинна мати високі механічні властивості та стійкість до руйнувань при динамічних навантаженнях. Підкреслюється важливість використання прокату різної товщини, що дає змогу оптимізувати характеристики конструкцій. Описуються етапи виробництва металопрокату, зокрема методи термічної та термомеханічної обробки, що впливають на мікроструктуру і, відповідно, на механічні властивості сталі.

Піднімається питання доцільності використання металопрокату різної товщини у конструкціях, що дозволяє знизити металоємність і підвищити стійкість до навантажень. Це може особливо бути корисним у несучих конструкціях та зварних каркасах будівель.

Розділ завершується аналізом того, як різна товщина листів впливає на тип і характеристики руйнування сталі.

Розділ 2 присвячений опису матеріалу та методів досліджень, що використовувалися для вивчення механічних властивостей і мікроструктурних особливостей низьковуглецевих мікролегованих сталей різної товщини.

Розділ розпочинається з характеристики обраного матеріалу – низьковуглецевої мікролегованої сталі марки 10Г2ФБ, яку досліджували у різних товщинах (16, 20, 30, 40, 50, 70, 100 мм). Низьковуглецева сталь вибрана з огляду на її важливість у будівництві та промисловості, а також завдяки її широкому використанню в зварних конструкціях, де важливі ударна в'язкість та пластичність.

Для аналізу мікроструктури застосовувалися методи металографічного аналізу та скануючої електронної мікроскопії. У цьому підрозділі описуються підходи до вивчення морфології феритних і перлітних структур, а також зон осьової ліквациї та цементитного каркасу. Деталізується процес підготовки зразків для мікроструктурного аналізу.

У розділі наведено методи обробки результатів досліджень, зокрема кореляційний і регресійний аналізи, що забезпечують точність і достовірність отриманих результатів. Розглядається використання статистичних моделей для визначення залежності між товщиною прокату та механічними властивостями матеріалу.

Розділ 3 присвячений дослідженню впливу товщини прокату на структуру низьковуглецевої мікролегованої сталі 10Г2ФБ у різних товщинах.

У розділі розглянуто, як змінюється мікроструктура сталі залежно від товщини прокату. Описуються основні структурні компоненти (ферит і перліт) і аналізується їхнє розподілення в сталях різної товщини. Виявлено, що зі збільшенням товщини зростає частка феритної складової, що може впливати на механічні властивості сталі. Наведено кількісні дані про вміст

фериту і перліту для кожної з товщин досліджуваної сталі. Проведено аналіз процентного складу структурних компонентів залежно від товщини листа, що дає змогу зрозуміти, як ці зміни впливають на міцність та пластичність сталі.

Показано, що структура цементитного каркасу змінюється від сфероїдної до віялоподібної з підвищенням товщини прокату, що обумовлено повільнішим охолодженням товстих зразків. Проведено аналіз розмірів зерен фериту та перліту і їхнього розподілу в сталях різної товщини. Це дозволяє більш детально оцінити вплив товщини на формування мікроструктури сталі і пояснити зв'язок між структурою та механічними властивостями прокату.

На основі проведених досліджень у розділі зроблено висновки про закономірності зміни структури сталі в залежності від товщини металопродукату. Зокрема, встановлено, що зі збільшенням товщини прокату збільшується відсоток феритної фази і змінюється морфологія цементитного каркасу в перлітних колоніях, що підвищує пластичність сталі. Ці висновки є важливими для розуміння механічних властивостей низьковуглецевих сталей і подальшого застосування отриманих даних у виробництві сталевих конструкцій.

Розділ 4 присвячений дослідженню загальних закономірностей руйнування сталі 10Г2ФБ з урахуванням товщини металопродукату.

Наведено результати аналізу поверхонь зламів сталі після механічних випробувань. За допомогою методів фрактографії визначено, як змінюється характер руйнування в залежності від товщини матеріалу. Для зразків різної товщини виявлено особливості, такі як утворення пор, мікротріщин та зон локалізованої пластичної деформації. Зокрема, у товстих зразках спостерігається значна кількість пластичних деформацій, які стримують розвиток тріщин, що свідчить про вищу в'язкість.

Проведено кількісний аналіз впливу хімічного складу на процеси зародження і розвитку тріщин у сталі. Особлива увага приділяється ролі мікролегуючих елементів та неметалевих включень, таких як сульфіди марганцю, які можуть слугувати центрами зародження тріщин. Виявлено, що хімічний склад і розмір часток другої фази значно впливають на схильність матеріалу до в'язкого або крихкого руйнування.

Розділ 5 присвячено комплексному аналізу можливостей використання металопродукату різної товщини при виготовленні будівельних металевих конструкцій. Розглянуто залежність комплексу механічних характеристик (межа текучості, міцності, відносне видовження та звуження) від товщини металопродукату. Встановлено, що збільшення товщини металу впливає на показники пластичності і міцності, що важливо враховувати при проектуванні будівельних конструкцій. Проведено відбір оптимальних конструктивних рішень для сталевих каркасів, а також визначено конфігурації ферми з різними варіантами товщини елементів. Моделювання виконано з використанням програмного комплексу для чисельного аналізу напружень і деформацій, що дозволило дослідити вплив різної товщини на ефективність і економічність конструкції.

Здійснено модельний розрахунок економічної ефективності застосування металопрокату різної товщини. Виявлено, що використання конструкцій з товщинами, оптимізованими під навантаження, дозволяє знизити металоємність і вартість готового виробу на понад 20% порівняно зі стандартними конструкціями з однорідною товщиною.

6. Значення роботи для науки, практики та суспільства

Одним із ключових **наукових досягнень** роботи є вдосконалення існуючих уявлень про кінетику зародження та розповсюдження тріщин у низьковуглецевих мікролегованих сталях залежно від їхньої товщини. Це включає розробку енергетичних аспектів теорії зародження мікропор на межах між матрицею та включеннями, що забезпечують в'язке руйнування матеріалу. У роботі було запропоновано підхід, який враховує не тільки тип і розмір часток включень, а й хімічний склад, що робить цю теорію більш точною та універсальною.

Практичне значення отриманих результатів.

Практична значимість дисертаційної роботи Козечко Валентина Івановича полягає в її значущому внеску у вирішення актуальних завдань промисловості, зокрема у будівельній галузі, при виготовленні металевих конструкцій. Проведені дослідження дозволяють обґрунтовано обирати оптимальні параметри низьковуглецевих мікролегованих сталей залежно від товщини прокату, що підвищує якість будівельних матеріалів і знижує їхню вартість. Виявлені у дисертаційній роботі закономірності щодо впливу мікроструктурного складу на механічні властивості прокату різної товщини створюють підґрунтя для вдосконалення існуючих технологій обробки сталей.

Важливим практичним результатом є можливість застосування прокату різної товщини для виробництва будівельних конструкцій, що дає змогу ефективно розподілити навантаження в конструкціях і, відповідно, зменшити металоємність готових виробів без втрати їхньої несучої здатності. Це має особливе значення для великих будівельних проєктів, де економія металу може суттєво знизити загальні витрати на матеріали. Модельні розрахунки, проведені у роботі, показують, що використання сталевих елементів різної товщини може зменшити масу конструкцій і знизити вартість готового виробу на понад 20% у порівнянні зі стандартними варіантами. Це особливо важливо в умовах сучасних економічних викликів, коли зменшення витрат і підвищення ефективності є критично важливими.

7. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Розглянувши звіт подібності у програмному продукті Unicheck, щодо перевірки на плагіат, дійшов до висновку, що дисертаційна робота Козечко Валентина Івановича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Застосовані концепції, результати та тексти інших авторів містять посилання на відповідні джерела. Дисертація відзначається цілісністю змісту та відповідає вимогам оформлення.

8. Дискусійні положення

1. Питання стосовно першої наукової новини, а саме як удосконалені енергетичні аспекти теорії зародження мікропор враховують товщину

металопрокату та які наслідки це має для поведінки низьковуглецевих мікролегованих сталей під час в'язкого руйнування?

2. В роботі відсутні дані про можливий вплив температури експлуатації на механічні властивості сталі.

3. Незважаючи на використання фізико-математичних моделей, деякі етапи моделювання (зокрема, залежність ударної в'язкості від хімічного складу) представлені недостатньо докладно.

4. На стор. 4 дисертаційної роботи в анотації "Незважаючи на велику кількість пор біля часток, вони роблять руйнування в'язким" – помилка у стилістиці; правильніше: "велика кількість пор біля часток сприяє в'язкому руйнуванню"

5. розділ 5, рис. 5.1 замість вираз «гарниця плинності» заміни на межа планності.

6. Розділ 1, підрозділ 1.5 "Виникнення зони осьової ліквації внаслідок нерівномірності охолодження заготовки" – краще переписати на: "Виникнення зони осьової ліквації спричинене нерівномірним охолодженням заготовки"

Зазначені вище зауваження не знижують наукового рівня та загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

9. Загальний висновок щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота написана грамотною технічною мовою та логічно побудована. Отримані в ході досліджень наукові результати мають достатній рівень новизни та є інноваційними.

Зазначені недоліки та зауваження щодо дисертаційної роботи не мають принципового характеру і не впливають на її позитивну оцінку. Робота виконана самостійно та є завершеним науковим дослідженням.

Вважаю, що дисертаційна робота Козечко Валентина Івановича на тему: «Формування комплексу механічних властивостей низьковуглецевих мікролегованих сталей в залежності від товщини металопрокату», задовольняє вимогам, що передбачені наказом Міністерства освіти та науки № 40 від 12.07.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії» (пп. 5, 6, 8).

Козечко Валентин Іванович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 – Матеріалознавство, галузь знань 13 Механічна інженерія.

Офіційний рецензент

**Кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри конструювання,
технічної естетики і дизайну
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»**

Сергій ФЕДОРЯЧЕНКО