

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Подольської Олени Анатоліївни на тему «Закономірності впливу структурної неоднорідності та гарячої пластичної деформації доевтектоїдної сталі на надійність залізничних осей», подану на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Подольської О.А. присвячена дослідженню закономірностей формування структурної неоднорідності доевтектоїдних осевих сталей, її успадкування після гарячої пластичної деформації та встановленню впливу хімічного складу і структурного стану на механічні властивості дослідних вуглецевих сталей та втомну довговічність залізничних осей.

Актуальність виконаного дослідження визначається необхідністю підвищення надійності залізничних осей, які належать до найбільш відповідальних деталей рухомого складу та працюють в умовах багатоциклового знакозмінного навантаження. За таких умов локальна структурна неоднорідність, що формується в процесі кристалізації та подальшої технологічної обробки, може істотно впливати на зародження втомних тріщин і довговічність виробів. У зв'язку з цим встановлення закономірностей формування структурної неоднорідності та оцінювання її впливу на експлуатаційні властивості осевих сталей є актуальним науковим і практичним завданням.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертації - 181 сторінка, вона містить 85 рисунків та 29 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено мету, об'єкт і предмет дослідження. Обґрунтовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, а також наведено відомості про апробацію основних положень дисертації.

У першому розділі проведено інформаційно-аналітичні дослідження щодо формування структури, властивостей і надійності осьових сталей. Автором розглянуто вимоги чинних національних та міжнародних стандартів до хімічного складу, механічних властивостей і металургійної чистоти осьових сталей, проаналізовано вплив технології виготовлення сталі на її якість, особливості формування хімічної та структурної неоднорідності, а також сучасні уявлення про механізми втомного руйнування. Проведений аналіз літературних джерел дозволив обґрунтувати вибір напрямку дослідження, сформулювати мету і взаємопов'язані науково-практичні завдання дисертаційної роботи, що охоплюють аналіз процесів формування дендритної структури залежно від хімічного складу, оцінювання впливу гарячої пластичної деформації на трансформацію структурної неоднорідності, аналіз механічних властивостей і втомної довговічності осьових сталей, а також розроблення рекомендацій щодо вдосконалення технології виробництва залізничних осей.

Другий розділ присвячено опису матеріалів і методик дослідження. Автором детально охарактеризовано об'єкти дослідження, наведено методики виготовлення лабораторних плавок, моделювання гарячої пластичної деформації, проведення металографічних, рентгеноструктурних, механічних і фрактографічних досліджень. Для аналізу структури та оброблення експериментальних результатів використано сучасні програмні засоби, зокрема Thermo-Calc і цифрові методи аналізу зображень, що забезпечує належний методичний рівень виконаної роботи. Позитивною рисою другого розділу є комплексний підхід до вибору методів дослідження. Поєднання металографічних, електронно-мікроскопічних, рентгеноструктурних, механічних та розрахункових методів дало змогу отримати

взаємодоповнювальну інформацію про формування структури осьових сталей на різних етапах технологічного процесу та забезпечило достатній рівень достовірності отриманих результатів.

У третьому розділі наведено результати досліджень впливу вмісту основних легувальних елементів та умов кристалізації на формування макро- і мікроструктури осьових сталей. Дослідження виконано на лабораторних плавках, хімічний склад яких відповідає вимогам до сталей для залізничних осей. Автором простежено вплив вмісту вуглецю, кремнію та марганцю на особливості формування дендритної будови під час кристалізації, морфологію ферито-перлітної структури, твердість металу та фазовий склад сталі. Отримані результати доповнено термодинамічним моделюванням процесів кристалізації, що дозволило зіставити експериментальні дані з розрахунковими залежностями та більш повно пояснити механізми формування структурної неоднорідності. Це дозволило не лише описати особливості формування структури, а й пояснити їх з позицій фазових перетворень і впливу співвідношення Mn/Si на перебіг процесів кристалізації. Такий підхід підвищує обґрунтованість отриманих результатів і свідчить про прагнення автора встановити причинно-наслідкові зв'язки між хімічним складом сталі та формуванням її структурного стану.

Четвертий розділ присвячено дослідженню особливостей формування механічних властивостей осьових сталей після гарячої пластичної деформації та термічної обробки. Автором досліджено зміни мікроструктури сталі марки F після гарячої пластичної деформації, проаналізовано взаємозв'язок морфології зеренної структури з механічними властивостями та втомною довговічністю, а також виконано порівняльний аналіз якості металу залізничних осей, виготовлених різними способами. Така побудова розділу забезпечує логічний перехід від закономірностей структуроутворення до оцінювання їх впливу на експлуатаційні характеристики виробів. Слід відзначити, що результати, наведені у четвертому розділі, мають не лише науковий, а й прикладний характер. Дослідження виконано із використанням

лабораторних та промислових зразків, що дозволило оцінити отримані закономірності в умовах, наближених до реального виробництва.

У п'ятому розділі наведено результати дослідження впливу структурної неоднорідності, сформованої під час кристалізації та гарячої пластичної деформації, на опір втомному руйнуванню металу залізничних осей. Проведено комплекс металографічних і фрактографічних досліджень поверхонь руйнування, проаналізовано взаємозв'язок між локальними структурними особливостями та механізмом розвитку втомної тріщини. На підставі експериментальних даних встановлено кількісний зв'язок між площею структурної неоднорідності та втомною довговічністю осевої сталі, що є одним із найбільш вагомих результатів дисертаційної роботи. Заслугує на увагу те, що автор не обмежився якісною оцінкою впливу структурної неоднорідності, а запропонував кількісну залежність, яка дає можливість прогнозувати зміну втомної довговічності залежно від площі ділянок структурної неоднорідності. Практична цінність цього результату полягає у можливості використання встановленої залежності для оцінювання експлуатаційної надійності осевих сталей та обґрунтування технологічних заходів, спрямованих на підвищення структурної однорідності металу.

Структура дисертації є логічною та відповідає поставленій меті дослідження. Матеріал викладено послідовно: від аналізу сучасного стану проблеми до проведення експериментальних досліджень, узагальнення отриманих результатів та формулювання практичних рекомендацій. У цілому зміст дисертаційної роботи свідчить про покрокове вирішення поставлених науково-практичних завдань. Структура роботи забезпечує цілісне сприйняття проведеного дослідження, а наведені експериментальні дані є достатніми для обґрунтування сформульованих автором наукових положень і практичних рекомендацій.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота виконана державною мовою на належному науковому рівні. Текст відзначається логічною послідовністю викладу, цілісністю та завершеністю. Стиль подання матеріалу відповідає вимогам наукової літератури, використано коректну й усталену термінологію. Оформлення дисертації здійснено з дотриманням чинних нормативних вимог, зокрема наказу МОН України від 12 січня 2017 року № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами).

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечується комплексним підходом до виконання досліджень, використанням сучасних методів аналізу структури та властивостей металу, достатнім обсягом експериментального матеріалу та отриманих результатів.

Для вирішення поставлених завдань автором застосовано комплекс методів дослідження, що включає металографічний аналіз, оптичну та растрову електронну мікроскопію, рентгеноструктурний аналіз, термодинамічне моделювання, цифрову обробку мікроструктур, механічні випробування та фрактографічний аналіз поверхонь руйнування. Використання зазначених методів дозволило дослідити процес формування структурної неоднорідності на різних етапах технологічного процесу та оцінити її вплив на механічні властивості і втомну довговічність осьових сталей.

Отримані експериментальні результати характеризуються внутрішньою узгодженістю. Висновки щодо впливу співвідношення Mn/Si на процеси кристалізації підтверджуються результатами термодинамічного моделювання, рентгенофазового аналізу та металографічних досліджень, а встановлені закономірності впливу структурної неоднорідності на втомну довговічність

підтверджуються результатами механічних випробувань і фрактографічного аналізу. Це свідчить про достатній рівень достовірності отриманих результатів та їх обґрунтованість.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи сформульована достатньо чітко та підтверджується результатами виконаних експериментальних і теоретичних досліджень. Заявлені автором положення мають належне обґрунтування та послідовно розкриті у відповідних розділах дисертації.

До першого положення наукової новизни слід віднести встановлення закономірностей впливу співвідношення Mn/Si та вмісту вуглецю на процеси кристалізації і формування структурної неоднорідності осьових ферито-перлітних сталей. Автором показано, що збільшення співвідношення Mn/Si до 5 при одночасному зменшенні вмісту вуглецю від 0,45 до 0,36 % призводить до розширення температурного інтервалу існування δ -фази та збільшення її кількості до 30 %, що супроводжується посиленням ліквідаційних процесів. Отримані результати є достатньо переконливими та можуть бути використані для прогнозування схильності сталі до формування структурної неоднорідності ще на стадії проєктування її хімічного складу.

Заслуговує позитивної оцінки друге положення наукової новизни, відповідно до якого для осьових ферито-перлітних сталей із вмістом 0,36-0,59 %C, 0,56-0,95 %Mn та 0,12-0,44% Si вперше встановлено взаємозв'язок між параметром Mn/Si та фазовим складом металу. Наведені результати рентгенофазового аналізу, які демонструють зростання інтенсивності дифракційних максимумів фаз FeMn_4 , Fe_2Si та FeSi зі збільшенням співвідношення Mn/Si, переконливо підтверджують вплив ліквідаційних процесів на формування кінцевого фазового складу та структурної неоднорідності осьових сталей.

До нових результатів належить систематизація морфологічних проявів структурної неоднорідності залежно від хімічного складу сталі та

співвідношення Mn/Si. Автором встановлено, що для сталей із вмістом вуглецю 0,36–0,46 % характерним є формування дендритоподібного та направленого фериту, тоді як при вмісті 0,56–0,59 %C формується більш однорідна ферито-перлітна структура, а найменший рівень структурної неоднорідності спостерігається при концентрації вуглецю близько 0,5 %. Важливим є висновок автора про те, що визначальним фактором структуроутворення є саме співвідношення Mn/Si, а не абсолютний вміст марганцю чи кремнію. Це положення доповнює сучасні уявлення про механізми формування структури ферито-перлітних осьових сталей.

На особливу увагу заслуговує четверте положення наукової новизни, у якому вперше встановлено кількісний зв'язок між площею структурної неоднорідності та втомною довговічністю осьових сталей марки F. Автором показано, що збільшення площі структурної неоднорідності до 43 % призводить до зменшення довговічності до 300 тис. циклів, а збільшення площі неоднорідності лише на 1 % супроводжується зниженням довговічності приблизно на 42,5 тис. циклів за рівня напружень 286-295 МПа. Запропонована математична залежність характеризується високим коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,93$, що свідчить про її адекватність експериментальним даним та перспективність практичного використання для прогнозування експлуатаційного ресурсу залізничних осей.

Таким чином, наведені положення наукової новизни є взаємопов'язаними, достатньо аргументованими, підтверджуються матеріалами дисертаційної роботи та відповідають поставленій меті і завданням дослідження.

Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає у доведенні встановлених наукових закономірностей до рівня конкретних інженерно-технологічних рішень, спрямованих на підвищення якості та надійності залізничних осей.

До першого практично значущого результату слід віднести розроблені автором підходи до оптимізації хімічного складу осьових сталей. На підставі встановлених закономірностей показано доцільність контролю співвідношення Mn/Si та вмісту вуглецю у межах 0,36–0,59 %, що дозволяє цілеспрямовано впливати на процеси кристалізації та зменшувати прояви ліквацийної та структурної неоднорідності. Практична цінність цього результату полягає у можливості прогнозування структурного стану металу ще на стадії вибору його хімічного складу.

Позитивної оцінки заслуговують рекомендації щодо вибору способу гарячої пластичної деформації, спрямовані на зниження рівня структурної неоднорідності металу. Автором показано, що врахування особливостей первинної дендритної структури дозволяє зменшити площу ділянок структурної неоднорідності, яка в роботі досягає значень до 43 %, і тим самим підвищити однорідність механічних властивостей по перерізу осі.

Практичний інтерес становить також запропонований підхід до оцінювання якості металу за показниками структурної неоднорідності, який може бути використаний як додатковий критерій контролю під час виробництва осьових заготовок. Отримані результати створюють передумови для зниження ймовірності утворення небезпечних дефектів, зокрема ліквацийних ділянок і структурних концентраторів напружень, що безпосередньо впливають на зародження втомних тріщин.

Слід відзначити, що практична значущість дисертаційної роботи підтверджується впровадженням її результатів у виробничу діяльність ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ», де вони використані під час удосконалення технології виробництва залізничних осей. Крім того, результати роботи застосовуються у науковій діяльності профільних установ та в освітньому процесі, що свідчить про їх актуальність і затребуваність.

Таким чином, отримані в дисертаційній роботі результати мають чітко виражене практичне спрямування, доведені до рівня конкретних рекомендацій

та можуть бути використані для підвищення надійності та довговічності залізничних осей.

Повнота викладення результатів дослідження в наукових публікаціях

Основні результати дисертаційної роботи достатньою мірою висвітлені у наукових публікаціях автора. За темою дисертації опубліковано більше 20 наукових праць, серед яких статті у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами, статті у фахових наукових виданнях України, тези доповідей міжнародних та всеукраїнських конференцій, методичний посібник і свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Обсяг і зміст публікацій відповідають основним результатам дисертаційного дослідження та забезпечують достатній рівень їх апробації.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. У роботі наведено значний обсяг результатів термодинамічного моделювання процесів кристалізації, однак доцільно було б більш детально обговорити межі застосування використаної моделі щодо сталей із відмінним хімічним складом.

2. Під час аналізу впливу структурної неоднорідності на втомну довговічність основну увагу приділено досліджуваним маркам осевих сталей. Було б корисно навести коротке обговорення можливості поширення встановлених закономірностей на інші конструкційні сталі аналогічного призначення.

3. У роботі встановлено кількісну залежність між площею структурної неоднорідності та втомною довговічністю металу. Разом із тим заслуговує на увагу питання оцінювання впливу інших структурних чинників, зокрема неметалевих включень або залишкових напружень, на характер розвитку втомних тріщин.

4. Окремі рисунки містять значний обсяг графічної інформації, що дещо ускладнює їх сприйняття. На думку опонента, частину з них доцільно було б подати у збільшеному масштабі або винести окремими ілюстраціями.

5. У тексті дисертації трапляються стилістичні та редакційні огріхи, зокрема: дублювання речень (наприклад, у Вступі фраза «Основні результати роботи отримані здобувачем самостійно» повторюється двічі), а також поодинокі граматичні та пунктуаційні помилки. У тексті дисертації зустрічається неоднорідність у позначенні одиниць вимірювання. Наприклад, у таблицях 1.1–1.5 використано позначення «% мас.», а в таблиці 2.1 - «Елементи*100» без роз'яснення, що це означає. Також у тексті трапляються різні варіанти позначення відсотків: «%», «% мас.», «% по мас.», що свідчить про відсутність єдиного редакційного підходу. Також трапляється надмірне ускладнення синтаксичних конструкцій, що ускладнює сприйняття тексту.

Наведені зауваження мають переважно рекомендаційний характер, не знижують наукової цінності виконаної роботи та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Подольської Олени Анатоліївни на тему «Закономірності впливу структурної неоднорідності та гарячої пластичної деформації доєвтектоїдної сталі на надійність залізничних осей» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає у встановленні закономірностей формування структурної неоднорідності осевих сталей та оцінюванні її впливу на механічні властивості й втомну довговічність залізничних осей. Отримані результати характеризуються науковою новизною, є достатньо обґрунтованими, мають практичне значення та впроваджені у виробництво.

За актуальністю теми, рівнем наукової новизни, обґрунтованістю отриманих результатів, їх теоретичним і практичним значенням дисертаційна робота відповідає вимогам, установленим «Порядком 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 року №44 (зі змінами), а її авторка, Подольська Олена Анатоліївна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри
Матеріалознавства та обробки матеріалів
Навчально-наукового інституту «Придніпровська
державна академія будівництва та архітектури»
Українського державного університету
науки і технологій



Володимир ВОЛЧУК

Підпис засвідчую:
Вчений секретар ННІ «Придніпровська
державна академія будівництва та архітектури»



 Анастасія ГАЙДАР