

ВІДГУК

офіційного опонента

Тимофєєвої Ларіси Андріївни

на дисертаційну роботу Касьяненка Ігоря Вікторовича

«Підвищення надійності та збільшення ресурсу зварних з'єднань
паропроводів і роторів турбін ТЕС»

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

На експертизу адресовано дисертаційну роботу обсягом 160 сторінок тексту і копії наукових праць, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації, а також надані документи про впровадження науково-технічних розробок стосовно матеріалу дисертації.

Об'єктом дослідження є структурні перетворення, структурно-фазовий стан, пошкоджуваність і властивості паропроводів зі сталі 12Х1МФ і 15Х1М1Ф, а також роторів зі сталі 25Х2НМФА стосовно збільшення надійності і ресурсу їх напрацювання в умовах повзучості і втоми.

Предметом дослідження є вплив фізико-хімічних процесів на структурно-фазові перетворення і формування браковочних структур в металі зварних з'єднань паропроводів, зв'язок структури зварних з'єднань паропроводів і роторів з їх властивостями і пошкоджуваністю.

Дисертаційна робота Касьяненка Ігоря Вікторовича виконувалась в НТУ «ХПІ» протягом 2018-2023 рр. в тому числі згідно наукової теми «Теоретичні і практичні основи збільшення надійності експлуатації ТЕС» (ДР № 0120U101658).

Актуальність наукового дослідження.

Підвищення надійності і збільшення ресурсу напрацювання зварних з'єднань паропроводів і роторів турбін ТЕС є важливою проблемою для енергетики України. Зварні з'єднання паропроводів і роторів турбін

більшості теплових станцій України довготривало (понад 270 тис. год.) працюють в умовах повзучості і втоми. Їх структура деградує, зменшуються експлуатаційні характеристики. Зважаючи, що структура зварних з'єднань характеризується наявністю структурної, хімічної і механічної неоднорідності, їх пошкоджуваність відбувається з більшою швидкістю ніж пошкоджуваність основного металу паропроводів і роторів, який не зазнав впливу зварювального нагрівання. Деградація структури розглядається як поступове перетворення вихідної структури у феритно-карбідну суміш, що приводить до зниження механічних властивостей і збільшення пошкоджуваності зварних з'єднань. Значною мірою швидкість наведених перетворень, властивості і пошкоджуваність залежать від вихідної структури металу зварних з'єднань паропроводів і роторів.

Структурні перетворення забезпечуються фізико-хімічними процесами, які проходять в металі зварних з'єднань при повзучості. При збільшенні терміну їх напрацювання зазначені процеси надають відчутно більший вплив на структурно-фазові перетворення. Отже дослідження проходження фізико-хімічних процесів є актуальним. Водночас актуальним є і отримання вихідної структури зварних з'єднань з покращеними якісними характеристиками, що доцільно як для зварних з'єднань паропроводів так і для зварних з'єднань роторів. Наприклад, отримання менших за розмірами аустенітних зерен в зоні термічного впливу паропроводів і роторів.

Наведену задачу здобувач вирішив шляхом зварювання на оптимізованих параметрах режимів, що дозволило отримати зварні з'єднання з більш високими, якісними характеристиками їх вихідної структури.

Таким чином вирішення задачі, яка присвячена підвищенню надійності і збільшенню ресурсу напрацювання зварних з'єднань роторів і паропроводів із теплостійких і високоміцних сталей є доцільним для теплової енергетики України.

Виходячи з наведеної аргументації можна стверджувати, що дисертаційна робота Касьяненка Ігоря Вікторовича присвячена вирішенню

актуальної наукової задачі – підвищенню надійності та збільшенню ресурсу зварних з'єднань паропроводів і роторів турбін ТЕС.

Зміст та обсяг дисертації.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, який включає 116 найменувань і додатків.

У першому розділі наведено аналіз сучасного стану вирішення задачі стосовно надійності і збільшення ресурсу зварних з'єднань паропроводів і роторів турбін ТЕС. Розглянуто вплив фізико-хімічних процесів на структурні перетворення в металі зварних з'єднань паропроводів і схильність до пошкоджуваності, а також залежність властивостей зварних з'єднань роторів від їх вихідної структури. Зазначено відсутність обґрунтованого напряму досліджень спрямованого на підвищення надійності роботи і ресурсу зварних з'єднань паропроводів і роторів із теплостійких і високоміцних сталей.

Наведено, що структурні перетворення в зварних з'єднаннях паропроводів зі сталей 12Х1МФ і 15Х1М1Ф, які довготривало працюють в умовах повзучості і втоми сприяють утворенню пор повзучості і тріщин втоми. Розглянуто особливості їх пошкоджуваності за механізмами повзучості і втоми. Також розглянуто структурно-фазовий стан і властивості зварних з'єднань роторів зі сталі 25Х2НМФА.

Наведено, що збільшення надійності зумовлено: отриманням вихідної структури зварних з'єднань з меншими розмірами аустенітних зерен в їх зоні термічного впливу; наявністю перекристалізованого аустеніту у вигляді сорбіту або трооститу на ділянці неповної перекристалізації ЗТВ (зона термічного впливу). Обґрунтована доцільність дослідження дії наведених структурних складових на структурні перетворення, механічні властивості і пошкоджуваність металу зварних з'єднань. Зазначено, як необхідне, проведення досліджень стосовно впливу структурно-фазового стану на

механічні властивості, надійність і ресурс зварних з'єднань із теплостійких і високоміцних сталей. Надається необхідним розширити загальне уявлення на прояв фізико-хімічних процесів в зварних з'єднаннях.

На основі аналізу робіт, присвячених дослідженню впливу структурно-фазового стану зварних з'єднань із теплостійких і високоміцних сталей на їх механічні властивості та стійкість до пошкоджуваності, визначено мету роботи і задачі для досягнення поставленої мети.

У другому розділі обґрунтовано вибір матеріалів, наведені умови отримання зварних з'єднань, описані методи і методики дослідження, а також відповідне обладнання для зварювання.

Для дослідження структури зварних з'єднань із зазначених сталей використовували оптичний мікроскоп Meiji Techno (Японія), просвічуючий електронний мікроскоп JEOL JEM-2100F (Японія) і растровий електронний мікроскоп JEOL JSM-7800F (Японія).

Загальну аналітичну оцінку структурного стану, а також показники визначення механічних властивостей опрацювали шляхом використання комп'ютерних технологій, методів прикладної математики і відповідних програм.

Третій розділ присвячено дослідженню структурно-фазового стану, деформації і пошкоджуваності зварних з'єднань паропроводів зі сталей 12Х1МФ і 15Х1М1Ф при їх напрацюванні понад 270 тис. год. Вперше виявили, що в структурі зварних з'єднань відбуваються термічно активовані процеси відпочинку і рекристалізації. Їх проходження сприяє зменшенню міцності (на 8-12%) і ударної в'язкості (на 10-15%) металу ділянок сплавлення, перегріву і нормалізації зони термічного впливу зварних з'єднань. Встановили, що при масовій деформації паропроводів меншій за 1%, деформація ділянок зони термічного впливу може складати 2-3%. Вивчали зв'язок деформації металу зварних з'єднань зі знеміцненням стосовно їх довготривалого напрацювання в умовах повзучості і втоми. Також дослідили зв'язок деформації металу зварних з'єднань з їх

пошкоджуваністю за механізмом повзучості і втоми. Встановили, що пошкоджуваність на ділянці неповної перекристалізації ЗТВ зварних з'єднань в умовах повзучості відбувається на протязі всього терміну їх роботи. А сама пошкоджуваність зумовлена наявністю глобуляризованих зерен перекристалізованого перліту, які згруповані в ланцюжки на границях аустенітних зерен. Тріщини повзучості і втоми розвиваються переважно за крихким механізмом. Вперше встановили, що на ділянках сплавлення, перегріву і нормалізації ЗТВ, а також в металі шва тріщини втоми утворюються при наявності в їх структурі крупних аустенітних зерен або крупних зерен фериту і перліту.

В четвертому розділі наведено результати дослідження зв'язку структурно-фазового стану зварних з'єднань з їх пошкоджуваністю в умовах повзучості і втоми. Структурні перетворення сприяють збільшенню деформації, а також пошкоджуваності зварних з'єднань. Встановили, що пошкоджуваність при напрацюванні зварних з'єднань понад 270 тис. год. прискорюється. Виявили, що при довготривалому напрацюванні зварних з'єднань границі субзерен усуваються значною мірою. Стабільність бейніту після напрацювання зварних з'єднань є більшою ніж стабільність сорбіту, трооститу, перліту і фериту. Виявили, що сфероїдизація і розпад перліту в структурі зварних з'єднань при їх напрацюванні понад 270 тис. год. прискорюється. На ділянках сплавлення і перегріву ЗТВ коагуляція є більшою саме тих карбідів (M_7C_3 і $M_{23}C_6$), які знаходяться на границях аустенітних зерен і зерен α -фази, що співпадають. Першочергово утворюються пори повзучості в місцях контакту карбідів з перекристалізованими перлітними складовими. Встановили, що присутність у структурі зварних з'єднань крупних зерен аустеніту (3-4-й бал ДСТУ8272:2019) слід вважати як наявність дефектів, що загалом приводить до утворення тріщин повзучості і втоми. Запропонували шкалу, яка визначає термін залишкового напрацювання зварних з'єднань, при наявності їх пошкоджуваності. Обґрунтували, що близько 60% пошкоджень металу шва і

ділянок ЗТВ відбувається саме через наявність дефектних структур. Першочергово такими структурами є крупні аустенітні зерна на ділянках сплавлення, перегріву і нормалізації ЗТВ, а також глобуляризований перліт, продукт нового розпаду аустеніту на ділянці неповної перекристалізації.

Встановили, що пошкоджуваність, яка складає 0,25-0,30 від об'єму ділянки ЗТВ, або від об'єму металу шва є критичною. При наявності такої пошкоджуваності необхідно проводити заміну пошкоджених зварних з'єднань протягом 7-10 тис. год. їх напрацювання, або піддавати їх відновлюючому ремонту.

П'ятий розділ присвячено визначенню залишкового ресурсу і властивостей зварних з'єднань паропроводів і роторів парових турбін. Досліджено особливості структурно-фазових перетворень, які відбуваються в металі зварних з'єднань зі сталей 12Х1МФ і 15Х1М1Ф. Встановлено, що при напрацюванні зварних з'єднань понад 270 тис. год. прояв процесів повернення і рекристалізації підсилюється. Повернення характеризується зменшенням щільності дислокацій, а рекристалізація характеризується усуненням окремих границь між зернами. Структурно-фазові перетворення зумовлюють зниження показників міцності зварних з'єднань майже на 10-15%, а також ударної в'язкості на 15-18%. Вивчення процесів повернення і рекристалізації, які проходять в металі зварних з'єднань в умовах повзучості, дозволило обґрунтувати їх відмінності від аналогічних процесів, які відбуваються при відпалі. Встановлено, процеси повернення і рекристалізації сприяють утворенню в структурі зварних з'єднань феритно-карбідної суміші, що сприяє прискоренню пошкоджуваності зварних з'єднань та зниженню ресурсу їх напрацювання.

Отримання зварних з'єднань з якісною вихідною структурою сприяє підвищенню надійності і збільшення ресурсу зварних з'єднань роторів турбін ТЕС, що набуває зростаючу актуальність. Вирішення задачі отримання дрібнозернистої аустенітної структури на ділянках сплавлення, перегріву і нормалізації ЗТВ дозволило підвищити механічні властивості зварних

з'єднань. Також підвищенню механічних властивостей сприяло отримання вихідної структури ділянки неповної перекристалізації ЗТВ, до складу якої входив сорбіт, як новий продукт розпаду аустеніту.

Наведена задача вирішувалась шляхом удосконалення зварювальної технології. Зокрема автоматичне зварювання роторів виконували на оптимізованих режимах з використанням відповідних зварювальних матеріалів. Таким чином отримали зварні з'єднання, механічні властивості яких були вищими ніж аналогічні показники зварних з'єднань, виготовлених за штатною технологією.

Виконані здобувачем дослідження забезпечили узагальнення впливу структурно-фазового стану металу зварних з'єднань зі сталей 15X1M1Ф і 12X1MФ, які довготривало експлуатуються в умовах повзучості, на їх властивості і пошкоджуваність за механізмами повзучості і втоми. Здобувач обґрунтував і отримав зварні з'єднання паропроводів і роторів турбін з підвищеними якісними показниками їх вихідної структури.

Встановлено, що зварні з'єднання паропроводів, що мають якісну вихідну структуру, характеризуються більшою надійністю в роботі, а також збільшеним ресурсом. Отримані за удосконаленою технологією зварні з'єднання роторів також характеризуються наявністю більш якісної вихідної структури в порівнянні з аналогічними показниками зварних з'єднань, отриманих за штатною технологією. Відповідно їх механічні властивості також є більш високими.

Результати, отримані здобувачем ґрунтуються на узгодженні наукових обґрунтувань з даними результатів експериментів стосовно структурно-фазового стану, властивостей, а також пошкоджуваності зварних з'єднань, що наведено у висновках.

Достовірність експериментальних даних забезпечувалась використанням сучасних науково-технічних розробок, методик і методів проведення досліджень. Теоретичні положення ґрунтуються на відомих

досягненнях наукових дисциплін: фізики металів, матеріалознавства, фізики твердого тіла і прикладної математики.

Вірогідність теоретичних результатів роботи підтверджується експериментальними даними, які наводяться в публікаціях автора. Основні результати роботи доповідались на ряді міжнародних конференцій і семінарів.

Автор використовував відомі методи і методики для опрацювання отриманих результатів стосовно структурно-фазового стану, визначення хімічного складу і властивостей, а також пошкоджуваності відповідних зварних з'єднань. Висновки і рекомендації відповідають результатам досліджень і отриманим результатам.

Практична значимість отриманих здобувачем результатів підтверджується також зв'язком дисертаційних досліджень з напрямом наукових досліджень НТУ «ХП» (ДР № 0120U101658).

Повнота викладення отриманих результатів у наукових виданнях.

Основні результати досліджень, розробок, висновки і рекомендації, що наведені в дисертації, повністю висвітлені у 26 наукових публікаціях серед яких: 6 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, 19 тезисів у матеріалах конференцій.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Рекомендації по використанню результатів дисертації.

Отримані автором результати доцільно використовувати для підвищення надійності та збільшення ресурсу зварних з'єднань паропроводів

і роторів турбін ТЕС. Також отримані результати слід використовувати в матеріалах дисциплін «Матеріалознавство та термічна обробка зварних з'єднань», «Металографія зварних з'єднань», «Фізико-хімічні процеси в зварних з'єднаннях», які викладаються студентам матеріалознавчого та зварювального профілів.

Оформлення дисертації.

Дисертаційна робота викладена логічно, послідовно та коректно. Оформлення дисертації повною мірою відповідає відповідним вимогам стосовно дисертацій, що подаються на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Академічна доброчесність.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, де висвітлено основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, що виносяться автором на захист, отримані самостійно і входять до складу опублікованих робіт. У тих роботах, які опубліковані у співавторстві, використовуються тільки ті ідеї, положення та розрахунки, що є результатом особистих наукових пошуків.

Зауваження щодо змісту та оформлення роботи.

Слід відмітити наступні зауваження щодо змісту та оформлення розглянутої дисертаційної роботи:

- дослідження процесів повернення і рекристалізації, результати яких наводяться у 3-му і 5-му розділах, слідувало б згрупувати в одному місті. Наприклад у 5-му розділі;
- розмірності показників механічних властивостей слідувало б подавати в одній системі;
- для підтвердження механізмів пошкоджуваності і руйнування було б доцільним привезти зображення морфології руйнувань зварних з'єднань;

- окремі зображення структур повинні бути більш якісними;
- при дослідженні рекристалізації було б доцільним використовувати індекси напрямів і площин.

ВИСНОВОК

Зазначені зауваження можна вважати такими, що не знижують цінності роботи та не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Дисертаційна робота Касьяненка Ігоря Вікторовича є завершеним науковим дослідженням, що містить нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати в галузі матеріалознавства.

Подана дисертаційна робота «Підвищення надійності та збільшення ресурсу зварних з'єднань паропроводів і роторів турбін ТЕС» Касьяненка І. В. відповідає спеціальності 132 – Матеріалознавство, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Касьяненко Ігор Вікторович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Офіційний опонент

Професор кафедри інженерія

вагонів та якість продукції

Українського державного університету

залізничного транспорту, д.т.н., професор

Лариса ТИМОФЕЄВА



Особистий підпис

свідчую _____ 20__ р.

Завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Larisa Tymofeeva