

Рецензія

на дисертаційну роботу Кандаля С.М.

«Ресурс елементів внутрішньокорпусних пристроїв реактора ВВЕР-1000 з урахуванням залишкових зварювальних напружень»

на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 – Механічна інженерія
за спеціальністю 132 – Матеріалознавство

Актуальність теми дисертації.

На теперішній час в Україні більшість енергоблоків АЕС типу ВВЕР-1000 працюють у понад-проектному режимі за терміном експлуатації і вимагають розрахункового обґрунтування продовження терміну їх безпечної експлуатації. Згідно з вимогами нормативних документів всі зварні з'єднання елементів обладнання АЕС з аустенітної сталі після електрошлакового зварювання, в тому числі елементи внутрішньо корпусних пристроїв – вигородка і шахта внутрішньокорпусна, піддаються термообробці за режимом аустенізації, процес якої передбачає нагрів до 1100°C, короткочасну витримку і швидке охолодження на повітрі. Але в процесі охолодження в елементах внутрішньо корпусних пристроїв можуть виникати значні температурні градієнти, які призводять до утворення високих залишкових напружень. Вплив цих залишкових напружень на прогнозування ресурсу вигородки і шахти внутрішньокорпусної з точки зору можливості розвитку під час експлуатації неприпустимих деформацій прогресуючої формозміни, а саме, закриття зазорів між вигородкою і іншими елементами реактору ВВЕР-1000, а також забезпечення опору крихкому руйнуванню елементів внутрішньо корпусних пристроїв в умовах інтенсивного радіаційного опромінення з урахуванням процесів радіаційного розпухання і повзучості матеріалу є вкрай актуальною проблемою атомної енергетики України.

Метою дисертаційної роботи Кандаля С.М. є розробка методології розрахункового прогнозування ресурсу елементів внутрішньокорпусних пристроїв енергетичного реактору ВВЕР-1000 в процесі довгострокової експлуатації з урахуванням впливу залишкових зварювальних напружень, які можуть утворюватися при виготовленні вигородки і шахти внутрішньокорпусної за допомогою технології зварювання.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Здобувачем запропонована методика завдання вхідних даних за розподілом флюенсу радіаційного опромінення і об'ємних тепловиділень у вигляді апроксимаційних функцій, що дозволяє суттєво знизити трудомісткість підготовки таких даних для моделювання радіаційного розпухання матеріалу

елементів внутрішньокорпусних пристроїв під час довгострокової експлуатації.

2. Визначено, що післязварювальна термічна обробка вигородки і шахти внутрішньокорпусної реактора ВВЕР-1000 за режимом аустенізації ($T=1100^{\circ}\text{C}$) дозволяє істотно релаксувати залишкові зварювальні напруження, однак висока швидкість охолодження при інтенсивному теплообміні на повітрі та значна геометрична неоднорідність вигородки призводять до утворення високих залишкових напружень у вигородці.

3. Доведено, що врахування залишкових зварювальних напружень дозволяє значно знизити консервативність при оцінці опору крихкому руйнуванню вигородки для поверхневих напівеліптичних тріщин, розташованих на зовнішній поверхні вигородки, де в процесі виготовлення утворюються залишкові напруження стискання.

4. Визначено вплив залишкових зварювальних напружень на кінетику зазорів між тепловиділяючими збірками, вигородкою і шахтою внутрішньокорпусною, що впливає на консервативність оцінки ресурсу внутрішньокорпусних пристроїв ВВЕР-1000. При максимальних накопичених дозах контакт між вигородкою і шахтою внутрішньокорпусною можливий, а врахування залишкових зварювальних напружень може відстрочити момент контакту приблизно на 2 роки. Також визначено, що зазор між вигородкою і тепловиділяючими збірками за 60 років експлуатації при різних можливих рівнях накопиченої дози не буде вичерпаний.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Кандаля С.М. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 132 – Матеріалознавство та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Матеріалознавство.

Дисертаційна робота є завершеною оригінальною науковою працею і безумовно свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям дослідження актуальних новітніх проблем механіки суцільного середовища і механіки (теорії) напружень і деформацій при зварюванні і післязварювальній обробці.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Кандаля Степана Михайловича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, всі інформаційні матеріали і результати досліджень викладені в логічній послідовності, форма викладення доступна для спеціалістів за даною тематикою, використана

термінологія відповідає загальноприйнятій в галузі механіки суцільного середовища і теорії зварювальних напружень і деформацій.

У першому розділі робота містить результати проведеного аналітичного огляду стану проблеми математичного моделювання напружено-деформованого стану конструкційних елементів обладнання АЕС із аустенітної сталі типу 08X18H10T під час тривалої експлуатації з урахуванням процесів радіаційного розпухання і радіаційної повзучості, визначення залишкових зварних (технологічних) напружень в зоні зварних з'єднань внутрішньокорпусних пристроїв реактора ВВЕР-1000, релаксації залишкових напружень при термообробці, а також огляду розрахункових алгоритмів по оцінці опору крихкому руйнуванню і існуючих результатів з оцінки опору крихкому руйнуванню у вигородці шахти реактора ВВЕР-1000. Наведено обґрунтування актуальності уточненого визначення залишкових напружень в зоні зварних з'єднань внутрішньокорпусних пристроїв реактора ВВЕР-1000.

У другому розділі викладена методика оцінки ресурсу безпечної експлуатації елементів внутрішньокорпусних пристроїв реактора ВВЕР-1000 на основі визначення їх напружено-деформованого стану під час виготовлення та подальшої експлуатації і розрахункової оцінки їх крихкої міцності, та запропоновано нові підходи для оцінки ресурсу внутрішньокорпусних пристроїв ВВЕР-1000.

У третьому розділі представлені результати дослідження НДС внутрішньокорпусних пристроїв ВВЕР-1000 в процесі виготовлення та подальшої експлуатації. За результатами математичного моделювання залишкових технологічних напружень отримані поля НДС після зварювання та послідувочої термообробки. Визначено, що під час післязварювальної термообробки за режимом аустенізації (1100°C) зварювальні залишкові напруження релаксують, але за рахунок високої неоднорідності температури по товщині вигородки під час охолодження на повітрі утворюються досить високі залишкові напруження.

У четвертому розділі представлені результати дослідження впливу залишкових напружень на формування НДС вигородки під час довгострокової експлуатації енергоблоку ВВЕР-1000 до 60 років з різним рівнем накопиченої пошкоджуючої дози і на ресурс елементів внутрішньокорпусних пристроїв.

Представлені в кінці роботи загальні висновки повністю відповідають найбільш вагомим результатам, які отримані при виконанні досліджень, а також узгоджуються з формулюванням наукової новизни і практичної цінності дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 15 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 7 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science

Core Collection та/або Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 8 наукових фахових конференціях.

В списку публікацій здобувача на тему дисертації є посилання на всі зазначені вище праці. В тексті дисертації робились відповідні посилання. У більшості публікацій особистим внеском автора зазначені проведення чисельних розрахунків та аналіз результатів. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

При ознайомленні з текстом дисертаційної роботи виникли наступні зауваження:

1. В роботі використані методики визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) по ПНАЕГ, РД ЕО 1.1.2...-2012 та VERLIFE. Відмічене, що отримані розрахункові значення КІН різняться, але не приведені їх числові значення, наприклад, максимальних значень КІН від одиничного навантаження для вибраних постульованих тріщин.

2. Яким чином отримані на рис. 59 та рис. 65 розподіли характеристик тріщиностійкості та межі текучості?

3. Чому в Таблиці 10 геометричні параметри a та c відрізняються для оцінки КІН з урахуванням залишкових зварювальних напружень (ЗЗН) та без їх врахування?

4. Яким чином ЗЗН при нормальних умовах експлуатації зменшують розрахункове значення КІН, а при аварійних ситуаціях збільшують?

5. По тексту дисертації присутні деякі редакторські помилки і неточності термінології, наприклад:

- в розділі «Позначення» замість тимчасовий опір або границя (межа) міцності σ_b позначено як границя витривалості, МПа;

- в п.1.1. реактор не на «швидких», а на «теплових» нейтронах;

- в п.2.6. заявлено, що «При охолодженні на повітрі коефіцієнт тепловіддачі з поверхонь елементів ВКП при конвекційному теплообміні з навколишнім середовищем визначався із залежності, що була визначена експериментально» (рівняння (26)), але відсутнє посилання на джерело інформації;

- в висновках до розділу 3 заявлено, що під час стрімкого охолодження на повітрі у вигородці утворюються досить високі залишкові напруження, але не вказаний рівень цих напружень;

- в п.4.1. визначено, що «в перерізах №2-4 осьові напруження у разі врахування ЗЗН істотно вищі у внутрішньому об'ємі вигородки, коли як на внутрішній та зовнішніх поверхнях стають трохи нижчими порівняно з розрахунковим випадком, де ЗЗН не враховувалися», але не уточняється наскільки напруження стали нижчими;

до Таблиць 8 і 9 доцільно привести схему з вказівкою позначення параметрів K ;

- в розділі 4 деякі скорочення «ЗЗН» помилково записані як «ЗТН».

Приведені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну концепцію і результати дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Кандаля Степана Михайловича на тему «Ресурс елементів внутрішньокорпусних пристроїв реактора ВВЕР-1000 з урахуванням залишкових зварювальних напружень» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для атомної енергетики України. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 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 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Кандаля Степан Михайлович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Рецензент:

Завідуючий відділу
«Нові конструктивні форми
зварних споруд та конструкцій»
Інституту Електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України,
д.т.н., с.н.с.



Василь ТОРОП

Підпис оф. рецензента д.т.н., с.н.с. В.М. Торопа

Засвідчую

Учений секретар

Інституту Електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України, к.т.н.



Ілля КЛОЧКОВ

М.П.

« 05 » 02 2024 року