

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Тригубенка Олександра Вікторовича

«Ефект зниження ударної в'язкості металу корпусів реакторів ВВЕР в умовах понадпроектної експлуатації»,

висунутої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.14 – теплові та ядерні енергоустановки

На сьогодні ключовою проблемою атомної енергетики як у світовому масштабі, так і для України, зокрема, є подовження термінів експлуатації ядерних енергоблоків. Це потребує вдосконалення методів оцінки ступеня радіаційного окрихчення корпусного металу та розробки нових підходів до прогнозування його радіаційного ресурсу. У зв'язку з чим останнім часом широке поширення отримало використання методів механіки руйнування, зокрема методу Майстер кривої для отримання експериментальних даних щодо величини в'язкості руйнування опроміненого корпусного металу та прогнозування залишкового ресурсу корпусу реактора. Проте, класичний метод оцінки радіаційного окрихчення за результатами ударних випробувань зразків типу «Шарпі» не вичерпав своїх можливостей. Перш за все, це обумовлено тим, що при ударних випробуваннях реалізуються найбільш жорсткі умови навантаження металу, оскільки має місце одночасний вплив на метал таких факторів окрихчення як тривісний розтяг в околі надрізу, динамічне навантаження та низькі температури. Крім того, результати випробувань на ударну в'язкість дозволяють отримати інформацію щодо здатності металу чинити опір не лише крихкому, а й в'язкому руйнуванню (рівень в'язкості руйнування на верхньому шельфі). Останнє має ключове значення при понадпроектних значеннях флюенса нейтронів, оскільки в цьому випадку можливе значне падіння опору в'язкому руйнуванню. Все це свідчить про актуальність теми дисертаційної роботи. Прикладна значимість

теми обумовлена тим, що програма зразків – свідків для Рівненської АЕС передбачає використання *виключно* зразків – свідків типу «Шарпі».

Дисертаційна робота містить вступ, сім розділів, загальні висновки, список використаних джерел та додаток. Загальний обсяг дисертації складає 198 сторінок, у тому числі 10 таблиць, 98 рисунків, список використаних джерел, що містить 108 найменувань. Дисертаційна робота та реферат оформлені у відповідності до вимог МОН України.

До основних результатів дисертаційної роботи слід віднести:

1. Експериментальні дані щодо температурних залежностей ударної в'язкості основного металу та металу зварних швів українських АЕС в області понадпроектних флюєнсів. Ці дані мають самодостатнє значення як у фундаментальному, так і в прикладному плані.

2. Встановлено існування кореляційного зв'язку між рівнем KCV та величиною поперечного розширення зразків типу «Шарпі». Показано, що для досліджених матеріалів цей зв'язок з достатньою точністю описується лінійною регресійною моделлю з високими значеннями коефіцієнтів детермінації R^2 . Як правильно вказує дисертант, це дозволяє оцінювати величину KCV за значенням розширення ударного зразка. Більш того, наведені на рис. 5.1 дані свідчать про те, що при одному і тому ж значенні розширення величина KCV для основного металу дещо вища ніж для металу зварних швів. Це наглядно демонструє той факт, що величина роботи руйнування визначається не лише значенням пластичної деформації, але і рівнем міцності металу.

3. Заслужують на увагу отримані дані щодо кореляції частки в'язкої складової в зламі з величиною ударної в'язкості. Встановлення такого зв'язку є типовим елементом аналізу результатів випробувань на ударну в'язкість. Проте, цінність наведених в дисертаційній роботі результатів полягає в тому, що вони отримані для широкого інтервалу значень флюєнсів нейтронів і

дозволяють на кількісному рівні проаналізувати закономірності впливу флюенса на формування в'язкої тріщини.

4.В дисертаційній роботі отримано експериментальні дані щодо впливу великих флюенсів на величину верхнього шельфу ударної в'язкості корпусного металу реакторів ВВЕР – 1000 і ВВЕР – 440. Встановлено закономірності зменшення KCV на верхньому шельфі від величини дози опромінення, у відповідність до яких, ці залежності мають асимптотичний характер. Ці дані демонструють закономірності впливу високих доз опромінення на опір в'язкому руйнуванню корпусного металу і мають важливе практичне значення для прийняття рішення щодо подовження термінів експлуатації корпусів реакторів.

5.Встановлено, що у більшості випадків KCV на верхньому шельфі для металу зварних швів реакторів ВВЕР – 440 набагато нижче від аналогічних значень KCV для реакторів ВВЕР – 1000. На основі експериментальних даних обґрунтована недоцільність використання другого критеріального рівня роботи руйнування для визначення критичної температури крихкості. Цей результат має важливе практичне значення для прогнозування величини залишкового ресурсу корпусу реактора.

6.Важливими, з наукової точки зору, є результати стосовно впливу нейтронного опромінення на зв'язок між KCV на верхньому шельфі і величиною границі текучості. Зазвичай, збільшення величини границі текучості обумовлює зростання KCV, що, зокрема, враховується в нормативних документах при визначенні першого критеріального рівня для KCV. Проте, отримані результати свідчать, що при в'язкому руйнуванні опроміненого металу спостерігається протилежна тенденція. Ці результати можуть бути використані при розробці критерії ініціювання в'язкого руйнування опроміненого металу в умовах концентрації напружень.

7.В роботі для корпусного реактора ВВЕР – 440 встановлені закономірності радіаційного окрихчення після відновлювального відпалу. Спираючись на ці

дані було показано, що коректна оцінка критичної температури, тобто використання лише першого критеріального рівня для порогового значення KCV, дозволяє адекватно прогнозувати ступень радіаційного окрихчення після повторного опромінення. Цим самим обґрунтована необхідність внесення змін до діючих нормативних документів.

Достовірність отриманих експериментальних даних обумовлено тим, що випробування на ударний згин та одновісний розтяг проводились у відповідності з державними стандартами України. При визначенні характеристик ударної в'язкості матеріалу враховувались вимоги міжнародних стандартів ASTM. Обладнання для проведення механічних випробувань також відповідало діючим в атомній енергетиці стандартам.

Зауваження:

1. Важко погодитись з тлумаченням отриманих кореляційних залежностей між величиною роботи руйнування KCV і значенням поперечного розширення (рис.5.3). Автор стверджує, що «можна говорити про певний зв'язок енергії, яка затрачається на руйнування металу. Тобто, розрив міжатомних зв'язків і енергії, яка йде на залишкову деформацію, від кількості цієї деформації». У відповідності до сучасних уявлень при руйнуванні металевих сплавів реалізується не прямим розривом, міжатомних зв'язків у вершині концентратора, а в результаті утворення зародкових субмікротріщин в локальній пластичній області. Це означає, що основні затрати енергії витрачаються на локальну пластичну деформацію, яка необхідна для утворення зародкових тріщин. Саме це є причиною кореляції величини KCV і значенням залишкової деформації. Більш того, на цей зв'язок повинен впливати рівень міцності металу, про що, зокрема, свідчить більший кут нахилу прямої для основного металу порівняно із зварним швом (рис. 5.3а).

2. Дисертант стверджує, що наявність кореляційного зв'язку між величиною ударної в'язкості KCV і поперечним розширенням зразка Δb дозволяє оцінювати величину KCV за значенням Δb . Беручи до уваги значну величину середнього квадратичного відхилення, це твердження можна вважати коректним лише для великих значень Δb , яким відповідає KCV на верхньому шельфі.

3. При встановленні зв'язку між величиною KCV на верхньому шельфі і вмістом фосфору в корпусному металі, слід було проаналізувати частку інтеркристалічної складової у зламі.

Зауваження до оформлення роботи

В цілому робота гарно оформлена, проте, зустрічається сленг, русизми та термінологічні недоречності, а саме:

«одноосний розтяг», «прямолінійна кореляція», «в'язких властивостей», «супротив руйнуванню», тощо.

Вказані зауваження не ставлять під сумнів основні результати дисертаційної роботи, їх новизну, наукову і практичну цінність. Дисертаційна робота Тригубенка О.В. виконана на високому науково – методичному рівні. В ній розв'язана важлива науково – технічна задача, яка стосується встановлення закономірностей впливу високих флюєнсів на верхній поріг ударної в'язкості і використання цих закономірностей при визначенні критичної температури крихкості корпусного металу та прогнозуванні радіаційного ресурсу корпусу реакторів типу ВВЕР. Безпосереднє прикладне значення мають висновки, щодо необхідності внесення змін до нормативних документів у зв'язку з неправомірністю використання другого критеріального рівня для ударної в'язкості корпусного металу з низьким рівнем KCV на верхньому шельфі.

Автореферат дисертації відображає основний зміст дисертаційної роботи та оформлений згідно з вимогами ДАК МОН України. Основні

результати роботи опубліковані в провідних фахових журналах за напрямом атомної енергетики та доповідались на міжнародних науково-технічних конференціях.

Вважаю, що за актуальністю та новизною отриманих результатів, науковим і практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота Тригубенка О.В. цілком задовольняє вимогам ДАК МОН України, що висувуються до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.14 – теплові та ядерні енергоустановки.

Офіційний опонент,

доктор фізико-математичних наук,

професор, завідувач відділу Інституту металофізики

ім. Г.В. Курдюмова НАН України

С.О. Котречко

Підпис С.О. Котречка засвідчую:



Учений секретар ІМФ ім. Г.В. Курдюмова
НАН України,
к.ф.-м.н.

М.І. Савчук