

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В'ЯЗКОКРИХКОГО ПЕРЕХОДУ МАЛОЇ ПРОБИ МЕТАЛУ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИМ МЕТОДОМ

С.В. Гоженко, Л.С. Ожигов

Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»,
Харків, Україна

Представлено результати розробки методики та відповідного обладнання для визначення температури в'язкокрихкого переходу металу з використанням вирізаної з обладнання мікропроби. Методика заснована на реєстрації імпульсів акустичної емісії, що генеруються при руйнуванні елементів зразка у відповідному діапазоні температур. Приведено опис форми зразка для досліджень та розробленого обладнання для ручного та автоматичного визначення температури в'язкокрихкого переходу.

ВСТУП

У процесі довготривалої експлуатації обладнання та трубопроводів АЕС структура та механічні властивості металу, з якого вони виготовлені, зазнає змін. В результаті старіння температура в'язкокрихкого переходу (ТВКП) сталі може бути вище температури експлуатації. Це може привести до небезпеки виникнення та розповсюдження крихких тріщин. Для попередження аварійних ситуацій, гарантування надійної експлуатації та визначення можливості продовження терміну експлуатації об'єктів періодично контролюється ТВКП металу. На даний час відсутні випробувані методи неруйнівного контролю ТВКП металу. У більшості випадків температуру визначають за затрачуваною на руйнування енергією, в якості показника якої приймається ударна в'язкість, та за характером зламу зразків, в якості показника якого приймається доля в'язкої складової в зламі [1]. При визначенні затрачуваної на руйнування енергії зразки з надрізами (типу Шарпі) випробовуються на ударний згин шляхом прикладання динамічних навантажень у широкому інтервалі температур [2]. Вимірювана даним способом ТВКП залежить від умов прикладання динамічних навантажень та розмірів зразків. Внаслідок цього для порівняння результатів досліджень різних сталей рекомендується використовувати зразки розміром 10×10×55 мм. Спосіб потребує виготовлення значної кількості зразків, що обумовлює вирізання для дослідження масивних проб. Об'єкти після контролю при цьому потребують поновлюваних робіт, що в ряді випадків неможливо.

Відбір малих проб (мікропроб) дозволяє оцінювати весь комплекс фактичних властивостей металу при проведенні технічного діагностування або контролю обладнання та трубопроводів, що експлуатуються. Метод мікропроб засновано на кореляції властивостей металу малих проб та основного металу об'єкта контролю. Метод визначення механічних властивостей з використанням мікропроб включено до ряду нормативних документів [3–5]. Мікропроби металу, як правило, вирізаються з поверхні обладнання механічним або електроерозійним методом [6]. Вони мають форму пластини. Слід зазначити, що в біль-

шості випадків руйнування елементів обладнання починається з поверхні, оскільки на поверхні внутрішні напруження не протидіють відриву. Враховуючи також те, що в процесі експлуатації метал біля поверхні, наприклад судів підвищеного тиску більш схильний до деградації та окрихчування [7], відбір проб металу з поверхні повністю обґрунтовано.

Кількості металу в пробах з об'єктів, що знаходяться в експлуатації, як правило, недостатньо для визначення температурного діапазону в'язкокрихкого переходу за реєстрацією ударної в'язкості.

Метою роботи є розробки методики та відповідного обладнання для визначення ТВКП з використанням вирізаної з поверхні обладнання проби. Методика включає виготовлення з проби зразка спеціальної форми та послідовного руйнування окремих його елементів у широкому температурному діапазоні з одночасною акустичною емісією (АЕ).

МЕТОДИКИ ВИЯВЛЕННЯ КРИХКОГО РУЙНУВАННЯ МЕТАЛУ ЗА ДАНИМИ РЕЄСТРАЦІЇ АЕ

При руйнуванні зразків металу генеруються звукові хвилі АЕ, поява деяких з них є ознакою присутності крихкої компоненти. Слід зазначити, що інтенсивність АЕ при крихкому руйнуванні значно більша, ніж при в'язкому [8].

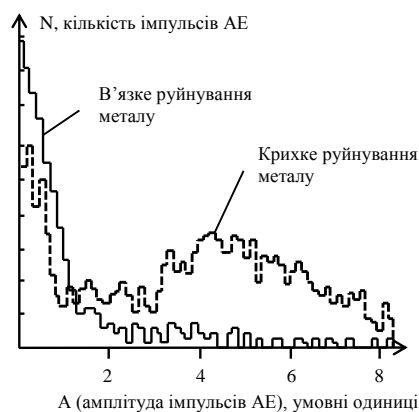


Рис. 1. Амплітудний розподіл імпульсів АЕ при в'язкому та крихкому руйнуванні металу

На рис. 1 представлено амплітудний розподіл імпульсів АЕ при в'язкому та крихкому руйнуванні металу.

При винятково в'язкому руйнуванні амплітудне розподілення близьке до експоненти. Поява та розвиток мікротріщин супроводжуються більш рівномірним розподілом амплітуд, при цьому збільшується відносна частка імпульсів з більшою амплітудою [9].

Аналіз частотної залежності сигналів АЕ при ударних випробуваннях показує істотні відмінності в спектрі для зразків з відмінними рівнями крихкої міцності [10]. Найбільш високий рівень сигналів АЕ відповідає частотам 80...180 кГц. Зі зростанням в'язкості матеріалу зразка в області більш високих частот (200...300 кГц) з'являються додаткові менш інтенсивні сигнали.

Таким чином, амплітудні та часові параметри імпульсів АЕ, що генеруються при крихкому та в'язкому руйнуванні, суттєво відрізняються. Це дозволяє відокремлено реєструвати акти крихкого руйнування за характерною АЕ і, відповідно, значно зменшити розмір зразків для дослідження. Особливо це актуально при дослідженні значної кількості зразків, наприклад, при визначенні температури в'язкокрихкого переходу металу обладнання, що знаходиться в експлуатації.

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В'ЯЗКОКРИХКОГО ПЕРЕХОДУ МЕТАЛУ МАЛИХ ПРОБ ЗА ДАНИМИ РЕЄСТРАЦІЇ АЕ

Реєстрація імпульсів АЕ, які виникають при крихкому руйнуванні, вже застосовується для визначення температурного діапазону в'язкокрихкого переходу [11]. Ця методика призначена для індикаторного контролю, метою даної роботи є розробка обладнання для кількісного аналізу [12]. У розробленому обладнанні, як і раніше, використовується монолітний зразок з декількома зонами руйнування. Форма зразка адаптована для виготовлення з мікропроб, що вирізані з поверхні обладнання.

Принциповою відмінністю є використання зразка, що забезпечує рівновеликість перерізів руйнувань окремих елементів (зубців). ТВКП визначається за температурною залежністю активності імпульсів АЕ, що властиві до крихкого руйнування, при руйнуванні окремих елементів монолітного зразка.

Зразок для визначення ТВКП представлено на рис. 2.

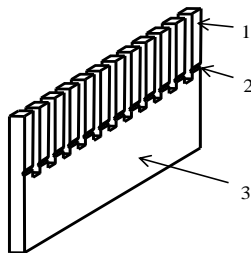


Рис. 2. Зразок для визначення ТВКП:
1 – зубці зразка; 2 – V-образні надрізи;
3 – тіло зразка

Зразок має форму пластини, на одній зі сторін якої зроблено пропили до утворення зубців. В основі зубців фрезерують V-образні надрізи, які паралельні площині зразка. Напрямок надрізів відповідає найбільш імовірному напрямку розповсюдження тріщини в зоні контролю при руйнуванні обладнання.

Зусилля прикладають до вільних кінцівок зубців з боку, де зроблені надрізи, до повного їх руйнування. У нашому випадку швидкість руйнування не впливає суттєво на результат контролю, оскільки швидкість крихкого руйнування металу завжди перевищує швидкість зовнішнього навантаження.

Схему вузла руйнування зразка при реєстрації імпульсів АЕ представлено на рис. 3.

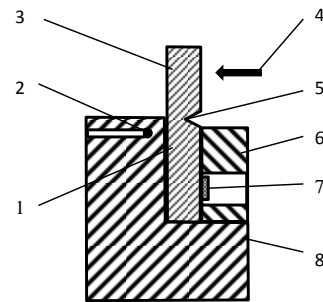


Рис. 3. Схема вузла руйнування зразка при реєстрації імпульсів АЕ: 1 – тіло зразка; 2 – датчик температури; 3 – зубець зразка; 4 – ударник; 5 – V-образний надріз; 6 – притискач; 7 – датчик АЕ; 8 – обойма

За допомогою притискача зразок вмонтовано в обойму, яка періодично покроково пересувається відносно ударника.

Датчик температури розташований в контакті з обоймою навпроти надрізів зубців, а датчик АЕ притиснуто до тіла зразка. Ударник послідовно руйнує зубці мікрозразка зі сторони розташування надрізу. При крихкому характері руйнування зерен металу в зразку утворюється потужна звукова хвиля, що викликає появу на датчику характерного електричного заряду. Упродовж усього циклу визначення ТВКП датчик АЕ постійно притиснуто до тіла, що забезпечує стабільність ефективності реєстрації АЕ при руйнуванні усіх зубців зразка.

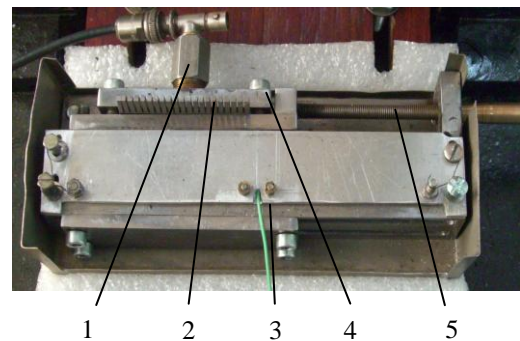


Рис. 4. Модуль переміщення зразка в зоні руйнування зубців: 1 – датчик АЕ; 2 – зубці зразка; 3 – датчика температури; 4 – притискач; 5 – привід переміщення

Модуль переміщень зразка вдовж зони руйнування представлено на рис. 4.

Модуль забезпечує послідовну подачу зубців зразка в зону руйнування. Зразок у модулі змонтовано на основі за допомогою притискача, крізь отвір у притискачі до нього притиснуто п'єзоелектричний датчик. При руйнуванні температура відповідного зубця реєструється датчиком температур. Переміщення зразка вдовж основи модуля забезпечує привод, при цьому датчик температури відводиться.

У процесі контролю модуль знаходиться в термостаті, температуру якого послідовно змінюють у діапазоні в'язкокрихкого переходу.

Для руйнування зубців зразка може бути використаний будь-який копер, що має достатньо місця для розташування термостата з модулем переміщень у робочій зоні. Додатковою умовою є також можливість повного обертання ударника навколо своєї осі, так як за наявності в'язкої компоненти при руйнуванні зразка унеможливується маятниковий рух.

На рис. 5 представлено установку для визначення ТВКП за даними реєстрації АЕ на базі спеціалізованого ударного копра (без термостата).



Рис. 5. Установка для визначення ТВКП (без термостата): 1 – комп'ютер; 2 – вимірювальний прилад Handyscope HS; 3 – передпідсилювач; 4 – модуль переміщень зразка; 5 – ударник

Зразок металу монтують на модуль переміщень, де його зубці послідовно руйнуються за допомогою ударника. При руйнуванні зубців п'єзоелектричний датчик перетворює звукові хвилі АЕ в послідовність електричних імпульсів. Імпульси підсилюються зарядочутливим передпідсилювачем та подаються на вхід вимірювального приладу. У приладі сигнал перетворюється в цифровий вид та подається до комп'ютера.

При визначенні ТВКП термостат модуля руйнування заздалегідь охолоджується до температури, яка нижче ТВКП для даного матеріалу. Конкретну температуру охолодження визначають за паспортними даними на матеріал, який контролюють. У процесі експлуатації об'єктів ТВКП металів, з яких вони виготовлені, як правило, тільки підвищується.

Поступово підвищують температуру термостата, руйнують зубці з одночасною реєстрацією АЕ та

температури. При цьому апаратна селекція імпульсів, що генеруються при крихкому руйнуванні, може бути здійснена на етапі їх підсилення. За здобутою залежністю інтенсивності АЕ визначають ТВКП.

В описаній установці підняття ударника перед руйнуванням зубців та пересування зразка вдовж зони руйнування здійснюються ручним способом. На рис. 6 та 7 представлено схему та зовнішній вигляд (без термостата) установки для автоматичного визначення ТВКП.

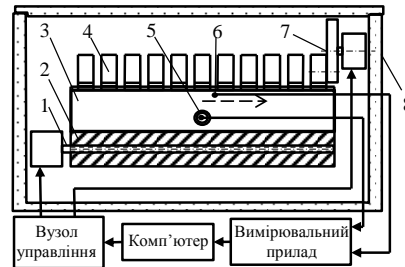


Рис. 6. Схема установки для автоматичного визначення ТВКП: 1 – привод обойми; 2 – обойма; 3 – притискач; 4 – зразок; 5 – датчик АЕ; 6 – датчик температури; 7 – привод ударника; 8 – термостат

Робота установки аналогічна раніше описаній, відмінністю є наявність привода обойми та привода ударника і, відповідно, вузла їх управління. Ударник у установці розташовується на диску його привода.

Сигнали з датчиків АЕ та температури подають на багатofункціональний вимірювальний прилад Handyscope HS, який, в свою чергу, підключено до персонального комп'ютера. Роботою привода обойми та ударника керує вузол управління. За даними датчика температури періодично проводиться руйнування ударником зубців з наступним покроковим переміщенням зразка.

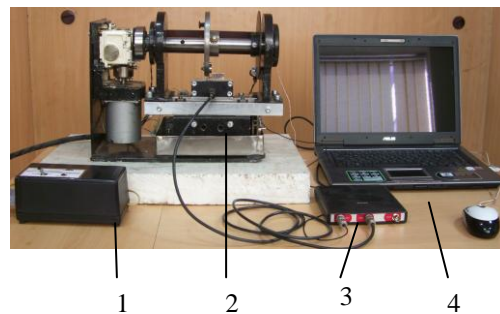


Рис. 7. Установка для визначення ТВКП: 1 – вузол управління; 2 – модуль руйнування; 3 – вимірювальний прилад Handyscope HS; 4 – комп'ютер

Незалежно від використаного обладнання ТВКП визначають при руйнуванні одного монолітного зразка, що дозволяє не враховувати суттєву залежність ефективності реєстрації АЕ від якості монтажу датчика. Коефіцієнти для урахування геометричних умов реєстрації АЕ від окремих зубців зразка визначають при проведенні контрольних експериментів. Калібрування розробленого обладнання забезпечує фактографічне дослідження зламів зубців. Зокрема, при цьому ураховуються відхилення

від лінійної залежності інтенсивності сигналу, що реєструється, від частки крихкого руйнування. Реєструється крапка при контролі окремих зразків є дані руйнування зубця при температурі, нижчій ТВКП. При цьому припускають, що цей зубець руйнується повністю крихко. Реєстрація сигналів АЕ, вище ТВКП, дозволяє ефективно враховувати фонові умови.

Введення таких поправочних коефіцієнтів дозволяє перетворити температурну залежність параметра, що реєструється. Цей параметр залежить від кількості імпульсів крихкого руйнування окремих елементів, суми їх амплітуд та частки зерен перерізу, що крихко руйнуються при певній температурі досліджень. За цією підсумковою залежністю і визначається придатна для практичного використання ТВКП.

ВИСНОВКИ

Реєстрація АЕ є ефективним методом визначення виду руйнування зразка металу. Амплітудні та часові параметри імпульсів АЕ, що генеруються при крихкому та в'язкому руйнуванні, суттєво відрізняються.

Реєстрація поодиноких актів крихкого руйнування дозволяє значно зменшити розмір зони руйнування при визначенні залежності виду руйнування від температури.

Розроблено зразок для визначення ТВКП за допомогою реєстрації АЕ. Зразок адаптовано для виготовлення з мікропроб металу з обладнання, що знаходиться в експлуатації.

Розроблено установки для визначення ТВКП металу малих проб за даними реєстрації АЕ в ручному і автоматичному режимах.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. *Основные элементы котлов, турбин и трубопроводов ТЭС. Контроль состояния металла: Нормы и требования. Стандарт Организации ОАО РАО «ЕЭС РОССИИ» СТО17330282.27.100.005-2008.*

2. ГОСТ 9454-78. *Металлы. Методы испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах.*

3. *Методика определения механических свойств металла оборудования и трубопроводов АЭС с помощью микрообразцов:* РД.00.ЕК.ХФ.МО.М.09-09.

4. *Инструкция по обследованию шаровых резервуаров и газгольдеров для хранения сжиженных газов под давлением:* РД 03-380-00.

5. *Инструкция по проведению комплексного технического освидетельствования изотермических резервуаров сжиженных газов:* РД 03-410-01.

6. С.В. Гоженко. Использование электродов-проволок при электроэрозионном вырезании образцов металла, находящегося в эксплуатации оборудования АЭС // *ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 2007, №6(91), с. 94-96.

7. М.М. Закиричная, И.Р. Кузеев, В.К. Бердин. Охрупчивание стали 20 в процессе длительной эксплуатации // *Машины и аппараты*. 2006, т. 4, №1, с. 207-214.

8. И.Ю. Быков, А.Л. Смирнов. Исследование структуры металла методом акустической эмиссии при осевом сжатии элементов буровых мачт // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2012, №8, с. 8-16.

9. О.В. Гусев. *Акустическая эмиссия при деформировании монокристаллов тугоплавких металлов*. М.: «Наука», 1982, 108 с.

10. С.В. Гладковский, Е.М. Бородин, С.В. Смирнова, Т.П. Богданова, М.А. Жирнов. Оценка хрупкой прочности Fe-Cr-Ni-Mo мартенситно-старееющей стали методом инструментированных ударных испытаний // *Инновации в материаловедении и металлургии: Материалы I Междунар. интерактив. науч.-практ. конф. [13-19 дек. 2011 г., Екатеринбург]*. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012, ч. 1, с. 401-407.

11. Пат. RU 2027988 Россия, МПК7 G01N29/14. *Способ определения температуры вязкохрупкого перехода материала* / Н.Ю. Кириллова, М.А. Штремель, И.Г. Алексеев, В.А. Болдырев. Опубл. 27.01.1995.

12. Пат. на корисну модель №97283 Україна, МПК14 G01N29/06, G01N29/14. *Спосіб визначення температури в'язкокрихкого переходу* / С.В. Гоженко, Л.С. Ожигів, О.Г. Руденко. Опубл. 10.03.2015.

Статья поступила в редакцию 28.12.2016 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЯЗКОХРУПКОГО ПЕРЕХОДА МАЛОЙ ПРОБЫ МЕТАЛЛА АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫМ МЕТОДОМ

С.В. Гоженко, Л.С. Ожигов

Представлены результаты разработки методики и соответствующего оборудования для определения температуры вязкохрупкого перехода металла с использованием вырезанной из оборудования микропробы. Методика основана на регистрации импульсов акустической эмиссии, которые генерируются при разрушении элементов образца в соответствующем диапазоне температур. Приведено описание формы образца для исследований и разработанного оборудования для ручного и автоматического определения температуры вязкохрупкого перехода.

DETERMINING THE TEMPERATURE OF THE DUCTILE-TO-BRITTLE TRANSITION OF SMALL METAL SPECIMENS USING ACOUSTICEMISSION METHOD

S.V. Gozhenko, L.S. Ozhigov

The results are presented of the development of methods and appropriate equipment for determining the temperature of ductile-to-brittle transition of metal using small metal specimens cut from the investigated equipment. The method is based on registration of acoustic emission pulses generated in the process of destruction of specimens in the proper temperature range. The form of specimens for research and equipment for manual and automatic determination of temperature ductile-to-brittle transition are also described.