

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ НАПЛАВЛЕННЯ З ОСНОВНИМ МЕТАЛОМ

О. А. Каток^а, М. А. Долгов^а, В. В. Харченко^а,
П. Е Мельник^б; А. В. Бажуков^б

^а Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна
^б ВП «Южно-Українська АЕС», [Южноукраїнськ](#), Україна

The procedure for assessing the bond strength is improved and tested for the cladding made of the material of grade 08Kh19N10G2B to steel 10GN2MFA using the developed equipment. A specimen with an axial dead hole is proposed, the bottom of which has the shape of a cone or a sphere segment. The fracture stresses characterizing the bond strength of the corrosion-resistant cladding to the base material were 560 MPa.

В сучасній концепції антикорозійного захисту конструкційних матеріалів технічних виробів енергетичного устаткування, що працює в умовах впливу рідких корозійних середовищ, широко використовують наплавлений шар стійкий до корозії металів. Тому досить актуальним постає питання оцінки міцності з'єднання наплавленого шару з основним металом.

Методи дослідження міцності зчеплення [1, 2] мають як переваги, так і недоліки. В даний час не існує єдиного універсального методу, який задовольняє всім вимогам. Характеристики міцності зчеплення, отримані різними методами, не завжди можна коректно зіставити. Результати визначення адгезійних характеристик залежать від форми і розмірів зразка, виду та характеру навантаження, крайових ефектів, напруженого стану в зоні адгезійного контакту і інших подібних чинників.

Найбільш доцільною при дослідженні міцності зчеплення наплавленого матеріалу є методика, яка приведена у стандарті ASTM В 898–11 [3]. Зразок (рис. 1) для випробування за даною методикою, виконаний у вигляді двох співвісних циліндрів 2 і 6 різних діаметрів, жорстко поєднаних між собою. З вільного боку основи циліндру 2 більшого діаметру виконаний глухий осьовий отвір 1. Плоске дно осьового отвору 1 розташоване у циліндрі меншого діаметру і перпендикулярне до осі циліндрів. Робоча ділянка 3 зразка являє собою кільце, утворене зовнішньою циліндричною поверхнею циліндра меншого діаметру 6 та циліндричною поверхнею глухого отвору. Глухий отвір 1 призначений для введення до нього пуансону циліндричної форми (рис. 1.б). Згідно нормативного документу довжина робочої частини дорівнює 3,46 ($2 \times 1,73$) мм.

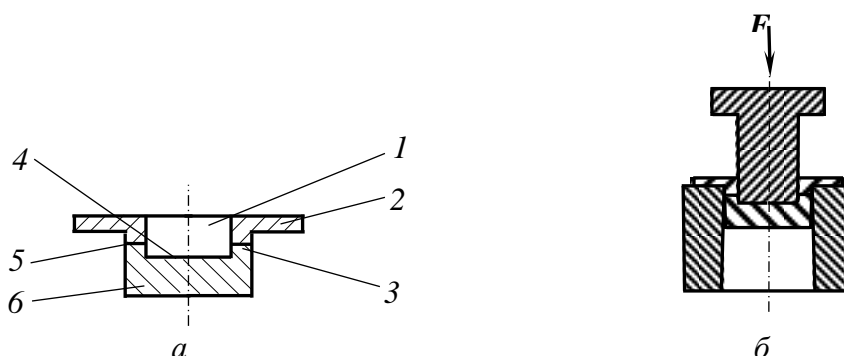


Рис. 1. Зразок і схема навантаження для дослідження міцності зчеплення наплавлення з основним металом: а – схема зразка; б – схема навантаження зразка: 1 – глухий осьовий отвір; 2 – циліндр більшого діаметру; 3 – робоча частина зразка у вигляді кільця, 4 – дно осьового отвору, яке має форму конуса; 5 – зона зчеплення наплавки з основним металом; 6 – циліндр меншого діаметру

При дослідженні міцності зчеплення з'єднань, які отримані зваркою вибухом застосовують зразки з кільцевою частиною рівною 0,4 (2×0,2) мм [4]. При використанні лазерного наплавлення, особливістю якого є точність процесу, досліджують зразки без кільцевої частини [5].

Метою цієї роботи є вибір і обґрунтування методу дослідження міцності зчеплення наплавлення з основним металом та отримання нових даних для зразків, виготовлених із фрагменту металу двошарової (плакуваної) труби Ø990×70, що є елементом головного циркуляційного трубопроводу (ГЦТ) Ду850 АЕС з реакторною установкою ВВЕР-1000, щодо міцності зчеплення конструкційних матеріалів різних структурних класів (або з різними фізико-хімічними властивостями).

Матеріали та обладнання. Випробовували фрагмент металу труби (далі темплет), що складається із основного металу (сталь марки 10ГН2МФА) та наплавленого матеріалу (присаджувальний матеріал марки 08Х19Н10Г2Б або ЕА 898/21Б). Корозійностійке наплавлення було зроблено за технологією в заводських умовах. Темплет вирізали в припуску контрольного зварного з'єднання з боку внутрішньої поверхні, виготовленого з метою відпрацювання технології зварювання ГЦТ. Схема вирізки зразків для дослідження міцності зчеплення показано на рис. 2. Для апробації методики випробувань використовували конструкційну вуглецеву сталь марки 20, яка також широко використовується в атомній енергетичній промисловості.

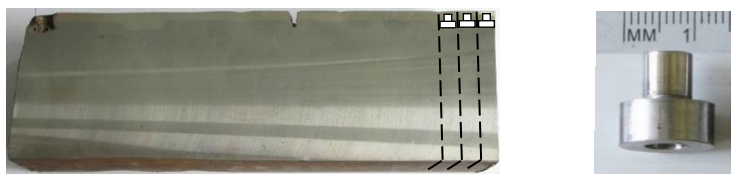


Рис. 2. Фото зразка та фрагменту вузла із схемою вирізки зразків для дослідження міцності зчеплення

Для реалізації методики з дослідження міцності зчеплення наплавлення з основним металом було використано лабораторну установку УТМ – 20 НТ (рис. 4) [6], після її модернізації. В устаткуванні було модернізовано затискний пристрій для фіксації мікророззка на координатному столику та саму оправу індентора (пуансона).

Устаткування працює наступним чином. Зразок встановлюється в циліндричний стакан і за допомогою кронштейнів жорстко кріпиться до координатного столика випробувальної машини співвісно з віссю прикладання навантажування. Навантажування зразка здійснюється через пуансон головки індентування і реєструється датчиком навантаження установки. Реєстрація розтягування робочої частини зразка відбувається шляхом вимірювання переміщення оправи індентора відносно верхньої поверхні стакана за допомогою індуктивних датчиків, що закріплені за допомогою кронштейна безпосередньо на пуансоні. В процесі випробувань сигнали з датчиків навантаження та переміщення поступають до вимірювальної системи установки. Перетворений цифровий сигнал від інформаційно-вимірювальної системи подається на персональний комп'ютер та обробляється за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення SP-Test.

Результати досліджень та їх обговорення. Апробацію методик оцінки міцності зчеплення проводили шляхом визначення механічних характеристик на модельному матеріалі (конструкційна вуглецева сталь 20). Випробування проводили на зразках без і з кільцевою робочою частиною довжиною 3,46 мм.

Діаграми деформування зразків сталі 20 без і з кільцевою робочою частиною. в координатах «навантаження-подовження» наведено на рис. 7. Видно, що діаграми деформування зразків без і з кільцевою робочими частинами відрізняються. Опір руйнування зразків без кільцевої робочої частини вищий ніж у зразках з робочою частиною. Максимальне навантаження при їх випробуванні становить 7 кН.

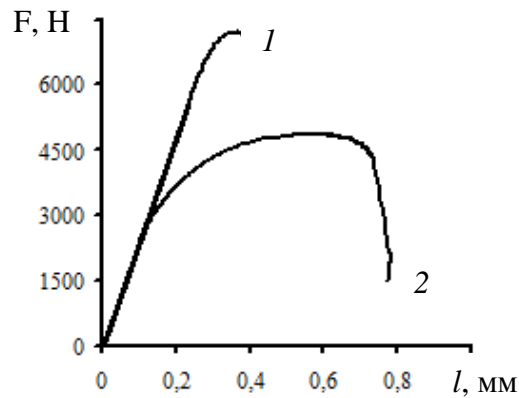


Рис. 3. Діаграми деформування зразків сталі 20 в координатах «навантаження-подовження»: 1 – випробування зразків на міцність без кільцевої робочою частиною; 2 – випробування зразків на міцність з кільцевої робочою частиною довжиною 3 мм.

Відхилення значень границі міцності, отриманих шляхом випробувань зразків виготовлених за кресленням приведеним на рис. 1, від таких, що отримані при випробуванні стандартних зразків на розтяг [7] сягає 5 %. Ймовірно це пов'язано з тим, що на стадії утворення шийки в зразку за рахунок деформацій кільцева робоча частина зразка звужується у місці утворення шийки і здавлює пуансон. Внаслідок чого змінюється напружений стан зразка, що призводить до некоректної реєстрації даних випробувань.

Для уникнення затирання між пуансоном і внутрішньою поверхнею кільцевої робочої частини зразка було запропоновано нову схему навантаження (рис. 4), де застосовано пуансон меншого діаметру в порівнянні з внутрішнім діаметром глухого осьового отвору зразка. Центрування зусилля навантаження відносно осі зразка забезпечено за рахунок модифікації дна глухого осьового отвору. Поверхня дна отвору виконана випуклою у напрямку матеріалу циліндра меншого діаметра і може мати форму конуса або форму сегмента сфери [8]. При цьому вільний торець пуансона повинен мати подібну вигнуту форму поверхні навантаження.

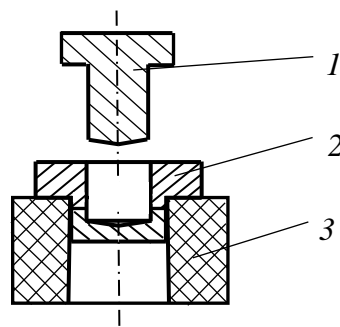


Рис.4. Модифікована схема навантаження для дослідження міцності зчеплення наплавлення з основним металом: 1 – пуансон; 2 – зразок з модифікацією дна глухого осьового отвору, яке має форму конуса; 3 – циліндричний стакан.

Середнє значення границі міцності σ_s для сталі 20 визначених шляхом випробувань зразків із модифікованим дном глухого осьового отвору складає 481 МПа. Відхилення значень границі міцності визначених за результатами випробувань стандартних зразків на розтяг і запропонованих зразків не перевищує 2 %.

За результатами випробувань фрагменту металу плакуваної труби Ду850 досліджували міцність зчеплення перлітної сталі 10ГН2МФА із аустенітним наплавленням 08X19H10Г2Б. В результаті дії пуансона спостерігали формозміну стінок робочої частини зразка у вигляді пластичної деформації на зовнішній поверхні і розшарування на внутрішній поверхні матеріалів. Середня величина напружень руйнування, які відшаровують наплавлення від основи матеріалу дорівнювала 560 МПа. На рис. 5 показано зразок після

руйнування та його фрактограми. За результатами фрактографічних досліджень спостерігали в'язке і крихке руйнування зразка.

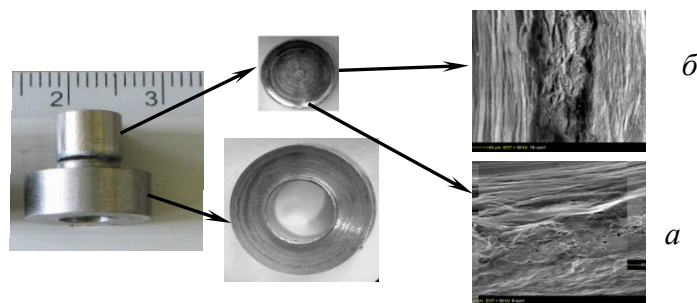


Рис. 5. Зразок після випробувань фрагменту металу вузла з фрактограмами руйнування: в'язке (а), крихке (б).

Висновки

1. На базі лабораторної установки створено устаткування для дослідження міцності зчеплення основного металу і його наплавлення.

2. Вдосконалено стандартну методику оцінки міцності зчеплення наплавлення з основним металом. Запропоновано зразок з глухим осьовим отвором, дно якого має форму конуса або форму сегмента сфери. Показано, що відхилення значень границі міцності сталі 20 визначених за результатами випробувань стандартних зразків на розтяг і запропонованих зразків не перевищує 2 %.

3. Із застосуванням запропонованих зразків досліджено фрагмент металу труби, плакуваної зсередини корозійностійким наплавленням. Середня величина напружень руйнування, які відшаровують наплавку від основи матеріалу дорівнювала 560 МПа.

4. Такі випробування є доцільними для різних стадій експлуатації трубопроводів та обладнання АЕС, виготовлених із перлітних сталей з корозійностійким наплавленням, та особливо актуальними є на стадії подовження понадпроектного терміну експлуатації.

1 Mittal K.L. Selected bibliography on adhesion measurement of films and coatings / K.L.Mittal, W.Kern // Journal of Adhesion Science and Technology. – 1987. – V.1, No1. – P.247 – 262.

2 Steinmann P.A. A review of the mechanical tests for assessment of thin-film adhesion/ P.A.Steinmann, H.E.Hintermann // Journal of Vacuum Science and Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films. – 1989. – V.7. – P.2267 – 2272.

3 ASTM B 898–11, Standard specification for reactive and refractory metal clad plate. Book of ASTM Standards, vol. 02.04, 2011

4 Hokamoto K., Izuma T., Fujita M. New explosive welding technique to weld// Metallurgical Transactions A.– 1993.– V.24, o10.– P.2289 – 2297.

5 P. Bhargava, C.P. Paul, C.H. Premsingh, S.K. Mishra, Atul Kumar, D.C. Nagpure, Gurbinderjit Singh, L.M. Kukreja Tandem rapid manufacturing of Inconel-625 using laser assisted and plasma transferred arc depositions // Adv. Manuf. (2013) 1:305–313.

6 Установка для определения механических характеристик конструкционных материалов методом инструментированного индентирования / В. В Харченко, Н. П. Рудницкий, О. А. Каток [та ін] // Надежность и долговечность машин и сооружений. – 2007. – Вып. 27. – С. 140 – 147.

7 Металлы. Методы испытаний на растяжение: ГОСТ 1497–84. Введ. 01.01.86. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 28 с.

8 Патент на корисну модель № 73839 Україна, МПК (2012.01) G 01 N3/00, G 01 N3/08 (2006.01). Зразок для випробування листових матеріалів на міцність у трансверсальному напрямку / В. В. Бухановський, В. В. Харченко., А. Г. Макаєв, О. А. Каток, А. В. Богомолів, М. І. Гречанюк – Чинний з 10.10 2012. Бюл. № 19.