

Mateusz Wróbel^{1*}, Maciej Szwed¹

¹Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego, Urząd Dozoru Technicznego

Wymagania dotyczące badań NDT i charakteryzowania uszkodzeń wg API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service

NDT and flaws characterization requirements according to API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service

STRESZCZENIE

Materiały urządzeń technicznych pracujących w instalacjach przemysłu rafineryjnego i petrochemicznego są narażone na działanie różnych mechanizmów degradacji, które prowadzą do powstawania pęknięć, ubytków korozyjnych, zmian geometrii, czy też zmian mikrostrukturalnych. Obecność tego typu uszkodzeń może skutkować pogorszeniem stanu technicznego urządzeń, a tym samym obniżeniem bezpieczeństwa eksploatacji całej instalacji. Wymiana lub naprawa uszkodzonych komponentów jest często niemożliwa, lub też trudna do wykonania z uwagi na czynniki ekonomiczne, logistyczne, a także konieczność utrzymania trwającego procesu technologicznego. W takiej sytuacji rozwiązaniem może być przeprowadzenie oceny danego urządzenia zgodnie z procedurami opisanymi w dokumencie API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service. Metodologia Fitness For Service pozwala na uzyskanie informacji dotyczących możliwości dalszej eksploatacji urządzenia zawierającego określony rodzaj uszkodzenia oraz warunków jego bezpiecznej pracy.

W prezentowanym artykule omówiono wymagania standardu API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service dotyczące wykonywania badań NDT i charakteryzowania uszkodzeń wywołanych określonymi mechanizmami degradacji. Przeprowadzenie rzetelnej oceny komponentu z istniejącymi uszkodzeniami wiąże się z koniecznością wykonania badań w zakresie umożliwiającym wykonanie obliczeń sprawdzających, np. pomiarów grubości na ściśle określonych siatkach pomiarowych. Dla analiz Fitness For Service istotne są także aspekty wynikające z miejsca wystąpienia danego uszkodzenia, odległości od głównych nieciągłości konstrukcyjnych, czy też orientacji względem kierunku oddziaływania naprężeń. W związku z powyższym znajomość prezentowanych zagadnień jest kluczowa nie tylko dla zespołu inżynierów wykonującego oceny wg metodologii Fitness For Service, ale również dla podmiotów odpowiedzialnych za planowanie i wykonywanie badań nieniszczących na instalacjach przemysłowych.

Słowa kluczowe: betatron 30MeV; badania RT; odlewy grubościennne; ASTM E186; ASTM E280

ABSTRACT

Materials of technical equipment operated in the refinery and petrochemical industry are exposed to various degradation mechanisms, which lead to the formation of cracks, corrosion, changes geometry, or microstructural changes. The presence of such damage may result in a deterioration of the technical condition of the equipment, and thus a reduction in the safety of operation of the entire installation. Replacing or repairing damaged components is often impossible or difficult to perform due to economic and logistic factors, and also the need to maintain the ongoing technological process. In such a situation, the solution may be to carry out an assessment of the equipment in accordance with the procedures described in the API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service document. The Fitness For Service methodology allows for obtaining information on the possibility of further operation of the equipment containing a specific type of flaw and the conditions of its safe operation.

The presented article discusses the requirements of the API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service standard regarding the performance of NDT and the characterization of flaws caused by specific degradation mechanisms. Carrying out a reliable assessment of a component with existing damage involves the need to perform tests to the extent that allows for performing verification calculations, e.g. thickness measurements on precisely defined inspection planes. For Fitness For Service analyses, aspects resulting from the location of a flaw, distance from the major structural discontinuities, or orientation in relation to the direction of stress are also important. Therefore, knowledge of the presented issues is crucial not only for the team of engineers performing assessments according to the Fitness For Service methodology, but also for entities responsible for planning and performing NDT on industrial installations.

Keywords: 30MeV betatron; RT testing; thick-walled castings; ASTM E186; ASTM E280

1. API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service w Urzędzie Dozoru Technicznego

Standard API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service jest zbiorem procedur służących do oceny zbiorników ciśnieniowych, rurociągów i zbiorników magazynowych zawierających różne typy uszkodzeń oraz szacowania ich pozostałej trwałości eksploatacyjnej. Dokument ten zawiera ponadto szereg przydatnych wskazówek dotyczących charakteryzowania uszkodzeń, badań NDT, zapobiegania

*Autor korespondencyjny.

E-mail: mateusz.wrobel@udt.gov.pl

ponownym awariom czy też sposobów monitorowania urządzeń w trakcie eksploatacji.

Metodyka Fitness For Service została opracowana z myślą o urządzeniach zainstalowanych w przemyśle rafineryjnym i petrochemicznym, jednak po spełnieniu określonych wymagań opisanych w standardzie możliwe jest jej zastosowanie w innych gałęziach przemysłu.

Urząd Dozoru Technicznego od kilku lat realizuje analizy Fitness For Service. Przykładowe wyniki prac były w przeszłości prezentowane, np. podczas 50. Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących. Zdobyte doświadczenia

pozwalają potwierdzić, że kluczowym aspektem, który umożliwia przeprowadzenie analizy Fitness For Service, jest ścisła współpraca pomiędzy zespołem realizującym ocenę, służbami odpowiedzialnymi za utrzymanie w ruchu danego urządzenia oraz innymi organizacjami, np. laboratoriami badawczymi, które są często odpowiedzialne za wykonywanie badań NDT i charakteryzowanie wykrytych uszkodzeń.

W celu przeprowadzenia analizy Fitness For Service niezbędne jest uzyskanie następujących danych:

- dane projektowe (np. warunki pracy, obliczenia projektowe, rysunki konstrukcyjne, materiały użyte do budowy urządzenia, raporty z badań wykonanych na etapie wytwarzania itp.);
- dane dotyczące historii eksploatacji i ewentualnych napraw (np. informacje na temat zmian warunków pracy, raporty z wykonanych badań diagnostycznych, informacje na temat ewentualnych napraw itp.);
- dane charakteryzujące wykryte uszkodzenie (np. maksymalne głębokości i średnice wżerów korozyjnych, kształt wykrytych wżerów, lokalizacja wżerów względem głównych nieciągłości konstrukcyjnych).

W prezentowanym artykule skoncentrowano się na wymaganiach dotyczących badań NDT i charakteryzowania uszkodzeń wg API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service.

2. Procedury oceny zawarte w API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service

W API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service zawarto następujące procedury oceny:

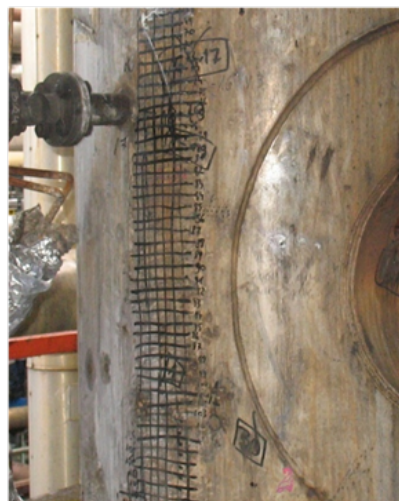
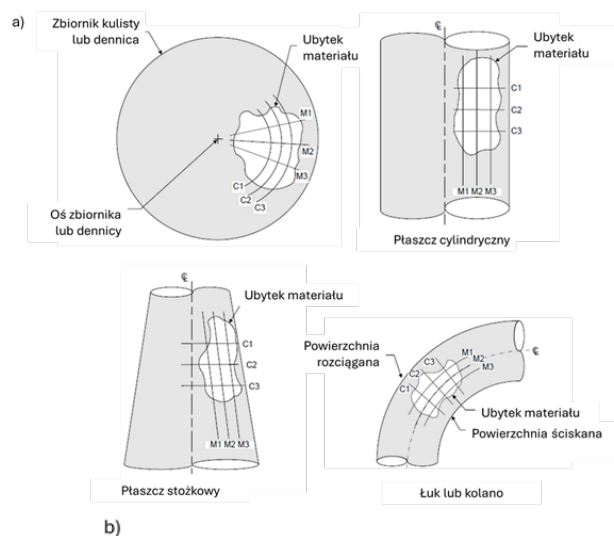
- Ocena urządzeń pod kątem ich podatności na wystąpienie kruchego pęknięcia;
- Ocena korozji ogólnej;
- Ocena korozji lokalnej;
- Ocena korozji wżerowej;
- Ocena uszkodzeń powstałych w wyniku działania wodoru (blistering, HIC, SOHIC);
- Ocena niewspółosiowego ułożenia połączeń spawanych i zniekształceń płaszcza;
- Ocena uszkodzeń o charakterze pęknięć;
- Ocena urządzeń pracujących w warunkach pełzania;
- Ocena uszkodzeń wywołanych pożarem;
- Ocena wgnieceń, wrębów i ich kombinacji;
- Ocena rozwarstwień;
- Ocena uszkodzeń zmęczeniowych.

W większości przypadków konieczne jest wykorzystanie odpowiednich metod/technik badawczych oraz wykonanie badań w taki sposób, aby jak najdokładniej scharakteryzować wykryte uszkodzenie. Z uwagi na ograniczenia dotyczące maksymalnej objętości artykułu, w dalszej części opracowania zostaną omówione wymagania dotyczące najczęściej spotykanych w praktyce dozorowej rodzajów uszkodzeń.

2.1 Ocena korozji lokalnej

W celu scharakteryzowania korozji lokalnej dany ubytek korozyjny należy zwymiarować za pomocą odpowiednio dobranej siatki pomiarowej i wyznaczonych na ich podstawie profili grubości krytycznych. Dana siatka pomiarowa

powinna obejmować swoim zasięgiem obszar pocienienia. Przykładowe siatki pomiarowe stosowane dla komponentów o różnej geometrii przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. a) Przykładowe siatki pomiarowe dla komponentów o różnej geometrii¹, b) Siatka pomiarowa na badanym komponentcie

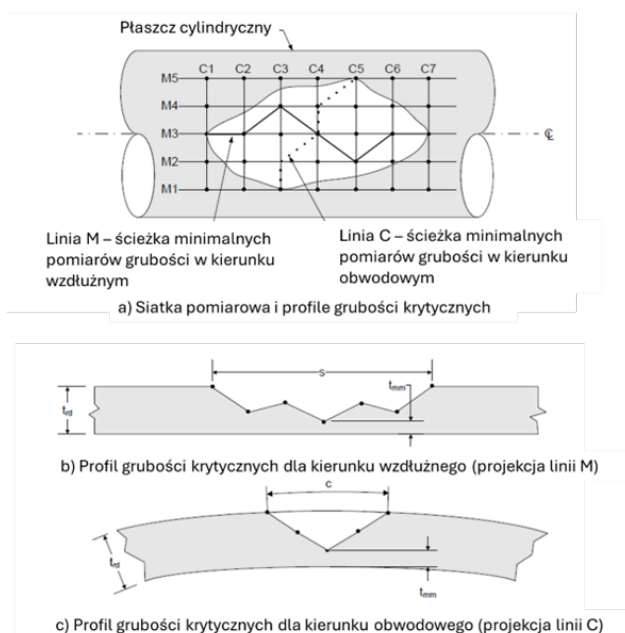
Fig. 1. a) Examples of inspection planes for components with different geometry, b) Inspection plane on the tested component

Odległość pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi (L_s) powinna wynosić:

$$L_s = \min [2 \cdot \text{grubość komponentu poza ubytkiem korozyjnym}, 25 \text{ mm}] \quad (1)$$

Z wyznaczonych w ten sposób siatek pomiarowych wyznacza się następnie profile grubości krytycznych, które stanowią podstawę do dalszej analizy Fitness For Service (Rys. 2)

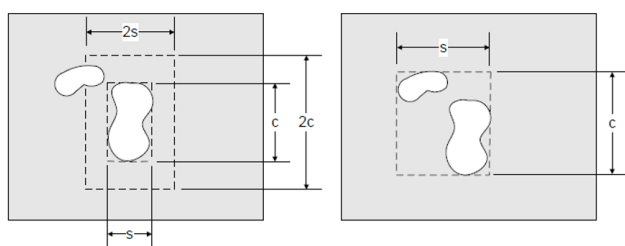
¹ Opracowano na podstawie Figure 4.7 i Figure 4.8 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service



Rys. 2. Sposób wyznaczania profili grubości krytycznych²
Fig. 2. Method for determining the critical thickness profile

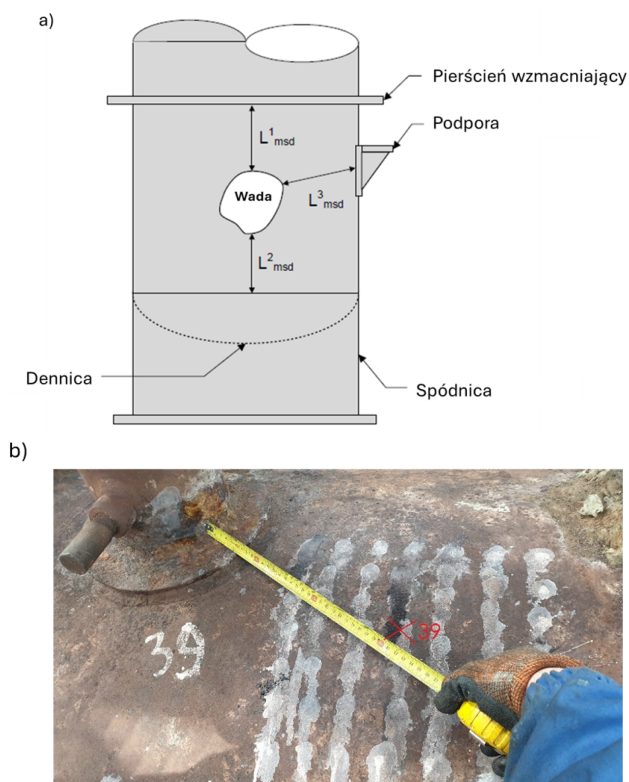
Podstawowymi narzędziami wykorzystywanymi podczas pomiarów lokalnych ubytków korozyjnych są przyrządy ultradźwiękowe, takie jak grubościomierze czy defektoskopy. W przypadku omawianego rodzaju dopuszcza standard API 579-1/ASME FFS-1 również możliwość wykorzystania badań radiograficznych.

Oprócz danych dotyczących grubości materiału pozostałej w obszarze ubytku korozyjnego istotne jest również wyznaczenie wymiarów powierzchni, na której dane pocienienie występuje. Przy wymiarowaniu lokalnych ubytków korozyjnych zastosowanie znajduje reguła grupowania uszkodzeń, którą zobrazowano na Rys. 3.

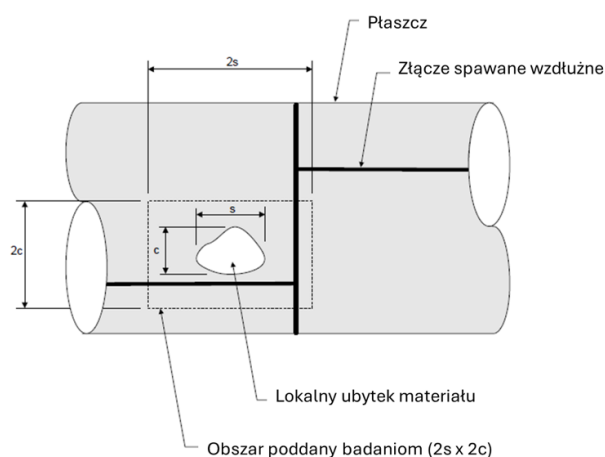


Rys. 3. Wymiarowanie grupy ubytków korozyjnych³
Fig. 3. Sizing of a region with multiple areas of metal loss

Istotnym elementem wpływającym na przebieg analizy Fitness For Service jest położenie ubytku korozyjnego i jego odległość do najbliższej głównej nieciągłości konstrukcyjnej (Rys. 4). Lokalizacja uszkodzenia wpływa bowiem na poziom oceny, którą należy przeprowadzić, a tym samym stopień trudności dalszych analiz.



Rys. 4. a) Sposób określania odległości uszkodzenia od głównych nieciągłości konstrukcyjnych⁴, b) Pomiar odległości uszkodzenia od najbliższej głównej nieciągłości konstrukcyjnej
Fig. 4. a) Method of determining the flaw spacing to major structural discontinuities, b) Measurement of the spacing of the flaw from the nearest major structural discontinuity



Rys. 5. Wyznaczanie złączy spawanych wymagających przeprowadzenia dodatkowych badań⁵
Fig. 5. Determination of welds requiring additional NDT

² Opracowano na podstawie Figure 4.10 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service

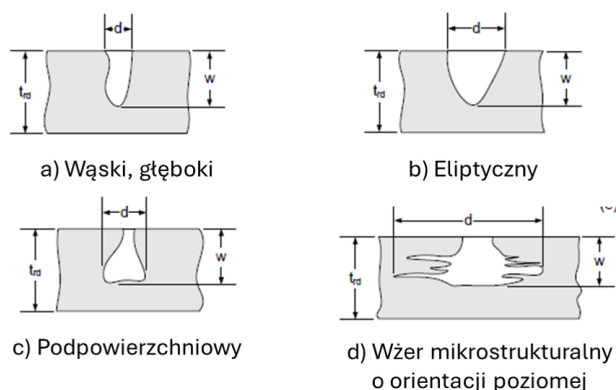
³ Opracowano na podstawie Figure 4.10 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service

⁴ Opracowano na podstawie Figure 4.10 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service

⁵ Opracowano na podstawie Figure 4.10 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service

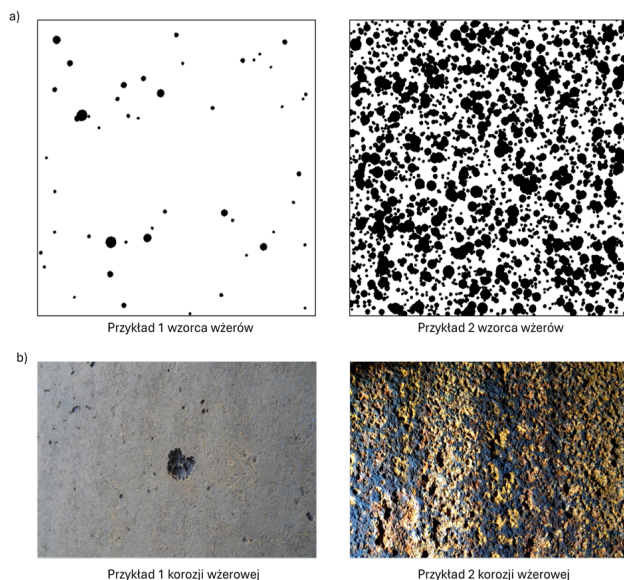
Jeżeli w sąsiedztwie lokalnego ubytku korozyjnego (obszar o wymiarach $2s \times 2c$) znajdują się złącza spawane, to powinny być one poddane dodatkowym badaniom NDT – patrz Rys. 5.

Wszystkie złącza spawane znajdujące się w obszarze $2s \times 2c$ oraz powierzchnię ubytku korozyjnego należy poddać badaniom penetracyjnym (PT) lub magnetyczno-proszkowym (MT). Jeżeli dodatkowo stwierdzono występowanie ubytku grubości w obszarze złącza spawanego (grubość mniejsza od minimalnej grubości obliczeniowej), to takie złącze spawane należy poddać badaniom objętościowym: ultradźwiękowym (UT) lub radiograficznym (RT).



Rys. 6. Przykłady wżerów o różnych przekrojach poprzecznych⁶

Fig. 6. Examples of pits with different cross-sections



Rys. 7. a) Przykładowe wzorce wżerów⁷, b) Przykłady korozji wżerowej wykrytej na badanych komponentach

Fig. 7. a) Examples pitting chart, b) Examples of pitting corrosion detected on the tested components

⁶ Opracowano na podstawie Figure 6.5 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service

⁷ Opracowano na podstawie Figure 6.6 i Figure 6.12 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service

2.2 Ocena korozji wżerowej

Korozja wżerowa stanowi przykład szczególnie trudnego do oceny rodzaju uszkodzenia. Co warto podkreślić, wżery korozyjne powinny być oceniane w warunkach badania wizualnego. Wżery należy charakteryzować poprzez określenie ich średnic oraz głębokości. Podanie tych wymiarów nie zawsze jest proste z uwagi na możliwość zanieczyszczenia wżerów produktami korozji, osadami i/lub geometrią samych wżerów. Przykłady wżerów o różnych przekrojach poprzecznych przedstawiono na Rys. 6.

Najprostszy wariant analizy zakłada, że ocenę korozji wżerowej można przeprowadzić na podstawie tzw. wzorców wżerów (Rys. 7).

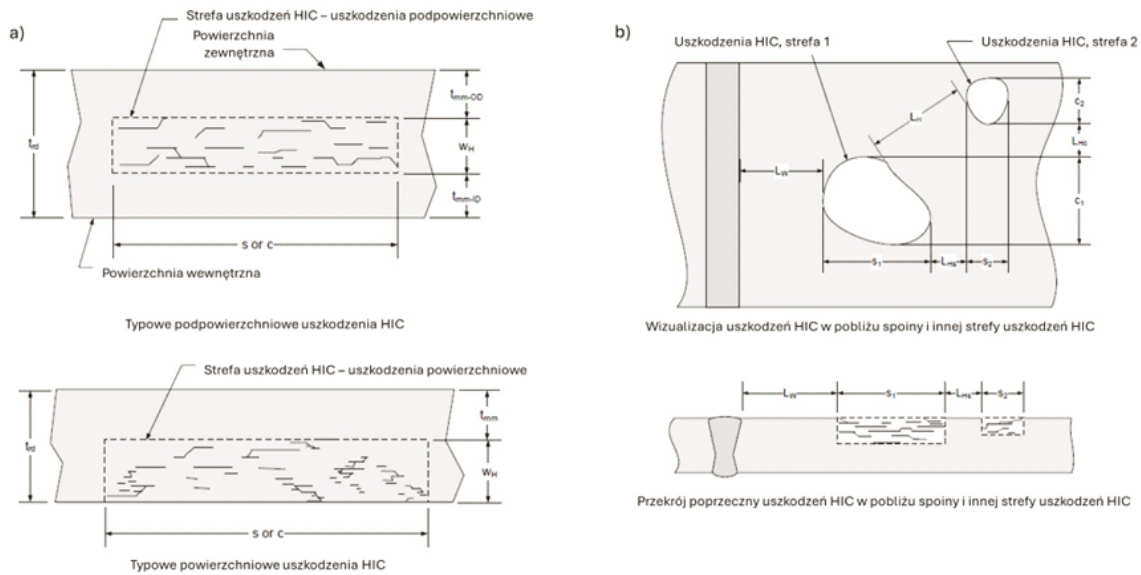
Takie podejście jest możliwe do zastosowania tylko w sytuacji, kiedy potwierdzone zostanie, że rozwój wżerów został zahamowany, tzn. nie dochodzi do zwiększania ich wymiarów, wzrostu częstości ich występowania lub kombinacji obu tych czynników jednocześnie.

Do wymiarowania wżerów można wykorzystać proste przyrządy pomiarowe takie jak suwmiarki, przymiary liniowe i głębokościomierze. W niektórych przypadkach można wykonać odwzorowanie ubytków korozyjnych za pomocą odcisków (replik silikonowych). Stosowanie punktowych pomiarów grubości nie jest dobrym rozwiązaniem. Przyrządy ultradźwiękowe powinny umożliwiać profilowanie powierzchni (zobrazowanie B-scan lub B-scan i C-scan). Do wymiarowania wżerów można wykorzystywać również badania radiograficzne.

2.3 Ocena uszkodzeń powstałych w wyniku oddziaływania wodoru (HIC, SOHIC, blistering)

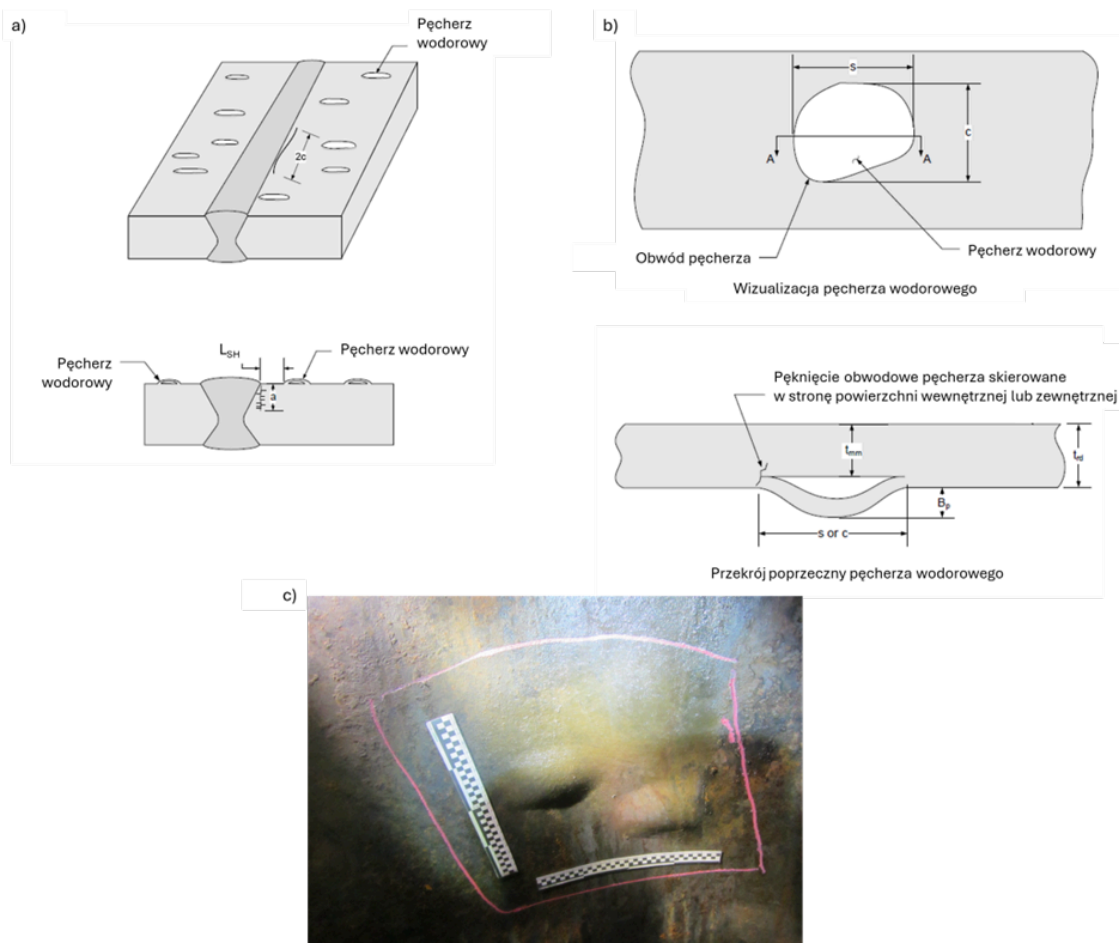
HIC (ang. Hydrogen Induced Cracking), SOHIC (ang. Stress Oriented Hydrogen Induced Cracking) i blistering to mechanizmy degradacji, na wystąpienie których narażone są urządzenia pracujące w środowiskach mogących być źródłem wodoru. Podstawową różnicą w każdym z tych uszkodzeń jest morfologia i miejsce ich występowania. HIC cechuje się powstawaniem w materiale siatki lamelarnych pęknięć, które łączą się ze sobą tworząc charakterystyczny schodkowy układ. SOHIC występuje przede wszystkim w strefach wpływu ciepła złączy spawanych i miejscach koncentracji naprężeń. Pęknięcia powstające w wyniku SOHIC propagują prostopadle do kierunku działania naprężeń. Blistering objawia się z kolei powstawaniem wybrzuszeń (pęcherzy) na powierzchni materiału.

Ocena uszkodzeń wodorowych wymaga ich dokładnego zwymiarowania. Pomiarom nie podlegają jednak same pęknięcia i pęcherze, ale również dodatkowe parametry. Analizując przykład HIC warto podkreślić, że w trakcie pomiarów należy wyznaczyć:



Rys. 8. a) Wymiarowanie HIC na przekroju poprzecznym materiału, b) Wymiarowanie elementów znajdujących się w sąsiedztwie HIC⁸
Fig. 8. a) Sizing of HIC cluster on the material cross-section, b) Sizing of elements located near the HIC

- odległość danego skupiska HIC od innego skupiska HIC (L_H) lub blistrów (L_{Hs}) o ile takie występują;
- odległość danego skupiska HIC od złączy spawanych (L_w);

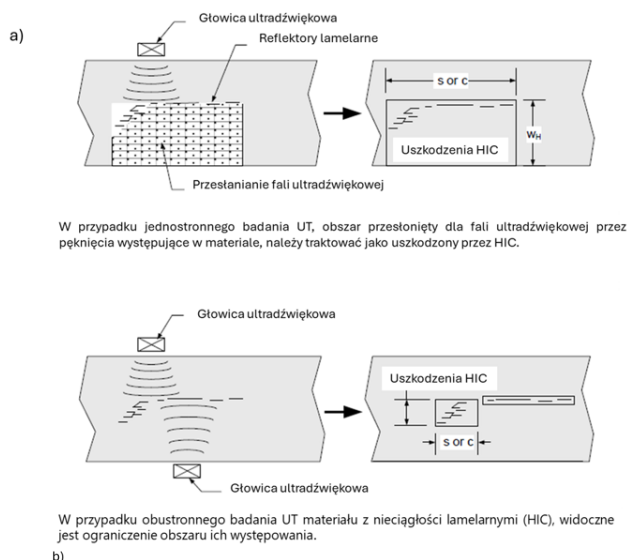


Rys. 9. a) Wymiarowanie uszkodzeń typu SOHIC⁹, b) Wymiarowanie blisteringu⁹, c) Wymiarowanie blisteringu na badanym komponencie
Fig. 9. a) Sizing of SOHIC damage, b) Sizing of blistering, c) Sizing of blistering on the tested component

⁸Opracowano na podstawie Figure 7.2 i Figure 7.3 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service

⁹Opracowano na podstawie Figure 7.4 i Figure 7.5 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service

- odległość danego skupiska HIC od głównych nieciągłości konstrukcyjnych (L_{msd});
- zakres występowania skupiska HIC na przekroju poprzecznym (w_H);
- minimalną niezdegradowaną grubość materiału do powierzchni wewnętrznej (t_{mm-ID}) i powierzchni



Rys. 10. a) Charakteryzowanie i wymiarowanie uszkodzeń typu HIC za pomocą badań UT¹⁰, b) Przykładowe zobrażowanie uszkodzeń wywołanych obecnością wodoru otrzymane podczas pomocy badań UT-TFM (TFM – ang. Total Focusing Method)¹¹

Fig. 10. a) Characterization and sizing of HIC damage zones using ultrasonic examination, b) Example of damage caused by hydrogen obtained during UT-TFM (Total Focusing Method) tests

- zewnętrznej (t_{mm-OD});
- wymiary skupisk HIC (s i c).

Wymienione parametry i sposób ich wymiarowania przedstawiono na Rys. 8.

Analogiczny sposób postępowania należy zastosować w przypadku uszkodzeń typu SOHIC i blisteringu. Określenia wymaga szereg parametrów, które zobrażowano poglądowo na Rys. 9.

W przypadku HIC uszkodzenia występujące na powierzchni mogą zostać wykryte za pomocą badań PT lub MT. W przypadku uszkodzeń podpowierzchniowych zastosowanie

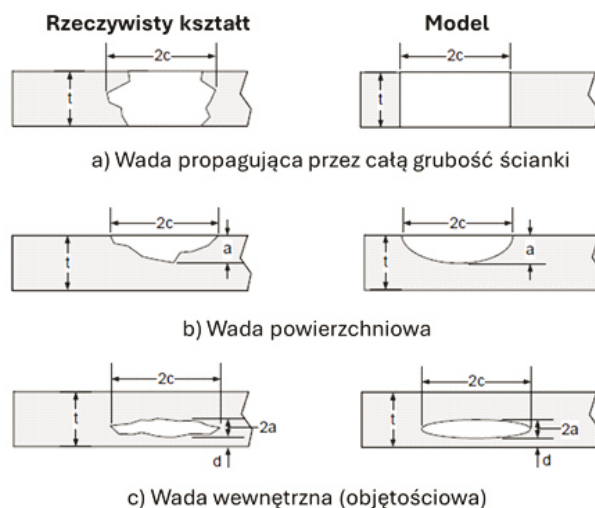
znajdują badania UT. Sposób charakteryzowania i wymiarowania tego typu nieciągłości przedstawiono na Rys. 10.

Pęknięcia typu SOHIC wychodzące na powierzchnie mogą zostać wykryte np. za pomocą badań PT i MT. Wymiarowanie tego typu uszkodzeń stanowi trudność, zwłaszcza, jeśli w pobliżu złącza spawanego występują uszkodzenia typu HIC. Oprócz tradycyjnych badań ultradźwiękowych z wykorzystaniem głowic kątowych rekomendowane jest stosowanie techniki UT-TOFD. Blistering może być wykryty i zwymiarowany poprzez wykonanie badań wizualnych. Wyniki badań UT stanowią w tym przypadku niezbędne uzupełnienie pozwalające na określenie np. pozostałej grubości w miejscu wybruszenia.

2.4 Ocena uszkodzeń o charakterze pęknięć

Uszkodzenia o charakterze pęknięć to wady płaskie, które są opisywane przez długość i głębokość zalegania. Charakterystyczną cechą tej grupy uszkodzeń jest ostro zakończony wierzchołek, który stanowi miejsce koncentracji naprężeń. Tego typu wady mogą występować na powierzchni materiału, w jego wnętrzu lub na całym przekroju poprzecznym. Przykładami uszkodzeń o charakterze pęknięć są pęknięcia płaskie, braki przetopu, ostre (bruzdowate) lokalne ogniska korozji, rozgałęzione pęknięcia charakterystyczne dla korozji naprężeniowej.

Wykonanie oceny Fitness For Service komponentów zawierających uszkodzenie o charakterze pęknięć stanowi skomplikowany proces, który wymaga szczegółowej analizy właściwości danego materiału oraz stanu naprężeń.



Rys. 11. Rzeczywiste i modelowe kształty uszkodzeń o charakterze pęknięć¹²

Fig. 11. Real and Idealized Shapes of Crack-Like Flaws

¹⁰ Opracowano na podstawie Figure 6.5 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service

¹¹ Opracowano na podstawie Figure 6.6 i Figure 6.12 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service

¹² Opracowano na podstawie Figure 9.1 API 579-1/ASME FFS-1 2021 Fitness-For-Service

W większości przypadków wymagane jest wykorzystanie narzędzi pozwalających na wykonanie analiz numerycznych (np. oprogramowania komputerowego do symulacji Metodą Elementów Skończonych – MES). Pierwszym etapem, od którego w głównej mierze zależy możliwość i jakość przeprowadzonej oceny, jest wykrycie i dokładne zwymiarowanie uszkodzeń. Charakterystyka pęknięć to trudne zadanie, na które mają wpływ nie tylko zastosowane metody/techniki badawcze, ale także (a może przede wszystkim) umiejętności i doświadczenie osoby przeprowadzającej badania NDT. Na podstawie danych dotyczących wykrytych uszkodzeń tworzone są modele, które stanowią podstawę do przeprowadzenia oceny w oparciu o mechanikę pękania. Przykłady rzeczywistych i modelowych uszkodzeń o charakterze pęknięć przedstawiono na Rys. 11.

2.5 Ocena urządzeń pracujących w warunkach pełzania

Podstawę do oceny urządzeń pracujących w warunkach pełzania stanowi analiza ich historii eksploatacji. Na podstawie danych dotyczących zmian ciśnienia (działających naprężeń) i temperatury pracy określa się stopień uszkodzenia (wyczerpania materiału). Badania NDT wykonuje się celu wykazania, że dany komponent nie zawiera uszkodzeń takich jak: ubytki korozyjne, wżery, HIC, SOHIC, blistering, pęknięcia, deformacje powierzchni, zmiany mikrostrukturalne (grafityzacja, wydzielenia fazy sigma, nawęglenie, wysokotemperaturowy atak wodorowy). Obecność różnego rodzaju wad wpływa na poziom komplikacji dalszej analizy.

W przypadku urządzeń pracujących w warunkach pełzania zastosowanie znajduje większość powszechnie stosowanych metod badań NDT, ale także badania mikrostrukturalne (zarówno za pomocą replik jak i wykonywane na wycinkach materiału), przenośne pomiary twardości, jak i zaawansowane roboty tzw. crawlers wykonujące pomiary geometrii, grubości i wykrywające pęknięcia.

3. Podsumowanie i wnioski

Dokument API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service to zbiór procedur, które pozwalają na ocenę urządzeń technicznych zawierających różne rodzaje uszkodzeń. Przedstawione przykłady dowodzą, że zarówno możliwość jak i poprawność przeprowadzonej analizy zależą od doboru właściwej metody/techniki badań, ustalenia odpowiedniego zakresu prowadzonych badań, jak i zebrania wszystkich wymaganych danych pomiarowych. Informacje w tym zakresie powinny stanowić obszar zainteresowań zarówno dla służb odpowiedzialnych za planowanie badań diagnostycznych jak i późniejszych ich wykonawców.

Warto podkreślić, że stosowane powszechnie normy dotyczące różnych wyrobów i badań nieniszczących mają zastosowanie na etapie wytwarzania. Ocena urządzeń znajdujących się w fazie eksploatacji stanowi trudność z uwagi na brak dokumentów odniesienia, które zawierałyby kryteria akceptacji dla wykrywanych uszkodzeń eksploatacyjnych. Główną zaletą prezentowanej metodologii

Fitness For Service jest zatem fakt, iż zawarte w niej procedury oceny pozwalają na przeprowadzenie analizy stanu technicznego urządzeń znajdujących się na etapie eksploatacji i oszacowanie czasu ich dalszej bezpiecznej pracy. Według wiedzy Autorów niniejszego artykułu podobne publikacje dedykowane dla branż innych niż branża rafineryjno-petrochemiczna nie zostały dotychczas opracowane. Wyjątek stanowi jedynie przemysł nuklearny, gdzie zastosowanie znajduje dokument ASME B&PV Code Section XI Rules for In-Service Inspection of Nuclear Power Plant Components.

Analizy Fitness For Service mogą być prowadzone na trzech poziomach oceny: poziomie 1, poziomie 2 i poziomie 3. Procedury oceny na poziomie 1 są stosunkowo najprostsze do wykonania, jednak prowadzą do otrzymania konserwatywnych (zachowawczych) wyników. Każdy kolejny poziom oceny charakteryzuje się coraz większą ilością danych wymaganych do przeprowadzenia oceny jak i stopniem złożoności prowadzonych obliczeń. Wykonanie analizy zgodnie z wymaganiami opisanymi w API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service może wymagać stworzenia interdyscyplinarnego zespołu składającego się z ekspertów z wielu dziedzin, np. inżynierii materiałowej, budowy maszyn, mechaniki pękania, badań nieniszczących, inżynierii procesowej itp., co wpływa na czas i koszt prowadzonej oceny. W pewnych przypadkach wykonanie analizy Fitness For Service może być utrudnione z uwagi na niepełny dostęp lub brak danych wymaganych do przeprowadzenia oceny.

4. Literatura

- [1] API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service, December 2021
- [2] Materiały wewnętrzne Urzędu Dozoru Technicznego
- [3] ZETEC Inc. TOPAZ64. Portable Phased Array UT Instrument for NDT. Application Solution (<https://www.zetec.com/wp-content/uploads/2020/03/Advanced-PA-UT-Probes-for-TOPAZ64.pdf>)