

Niezawodność Spoin Małych Grubości Badanych Ultradźwiękowo Metoda IBUS-TD Nz

1, Streszczenie.

Cel badań nieniszczących określonego elementu (np. spoiny) wydaje się intuicyjnie oczywisty. Jednak w normach, procedurach, instrukcjach badań, nie występują i to powszechnie definicje celu badań. Rzeczywiste istniejące przypadki potrzeb badania spoin to na przykład: zapewnienie trwałej wytrzymałości, zapewnienie odporności na pękanie, trwałej szczelności, niezawodności. Oznacza to, że dla realizacji różnych celów badań przyjmuje się ustalenia norm które o zakresie realizacji tych celów nie wspominają. Dają jednak formalną akceptację wyników badań nieniszczących, choć brak odpowiedzi na pytanie w jakim stopniu wymienione cele realizują. Czasem (rzadko) bada się sens techniczny uzyskanych wyników indywidualnymi procedurami „zdadności do stosowania” (fitnes for purpos).

W prezentowanym artykule podajemy sposób – procedurę ścisłego powiązania wyników badań ultradźwiękowych spoin z postępowaniem dla osiągnięcia wysokiego stopnia ich niezawodności. Artykuł zawiera elementy teorii niezawodności i ich odniesienie do modeli układów szeregowych (spoiny), oraz zawiera odniesienie do metody badań ultradźwiękowych IBUS-TD [7.2] która jest też dostępna w internecie [7.9]. Ponadto artykuł zawiera wnioski przetworzone w procedurę postępowania nazwaną IBUS-NZ. Istota procedury IBUS-NZ wynika z wniosków z przeprowadzonych analiz z teorii niezawodności potwierdzonych wieloletnią praktyką, że należy prowadzić skuteczną selekcję spoin oraz podnieść niezawodność każdej spoiny. Podniesienie niezawodności każdej spoiny jest silnie związane z ilością ich w danej konstrukcji i może być niezbędną koniecznością. Procedura IBUS-NZ to system sterowania jakością. W zasadzie jest to dynamiczna baza danych (silnik MySQL), która zbudowana ze wszystkich informacji dotyczących wykonania spoin poprzez sprzężenia zwrotne z wynikami badań ujawnia źródła błędów wykonania spoin. Umożliwia to odniesienia do decyzji organizacyjnych tak na poziomie wytwarzania (ocena spawaczy i kontroli) jak i analiz globalnych służących do oceny metody badania i skuteczności selekcji oraz ewentualnych modyfikacji. Program IBUS-NZ wraz ze modyfikowanym defektoskopem CUD tworzą system działający niezależnie od takich zmiennych elementów jak różni wykonawcy, czas działania, sprawność operatorów badań, bo wszystko to podlega selekcji i ewentualnie modyfikacji. Istotną cechą systemu jest zdolność samodoskonalenia się i szybkiego reagowania na pojawiające się nieprawidłowości.

2, Wstęp

Budowana dość dawno pierwsza polska elektrownia oparta o bloki 200 MW w Turoszowie miała start połączony z licznymi nieszczelnościami spoin rur o nasileniu granicznym z klęską [7.3] Wywołało to szereg reakcji, w tym opracowanie w Urzędzie Dozoru Technicznego we Wrocławiu metody badań tych spoin znanej jako IBUS-R [7.3], a także sposobu postępowania dla podniesienia ich niezawodności. Metoda bazowała (i nadal bazuje) na:

- selekcji spoin tj. przebadaniu całego zbioru spoin i usunięciu niepewnych (o niskiej niezawodności),
- dostarczeniu metody i sprzętu umożliwiającego tę selekcję.

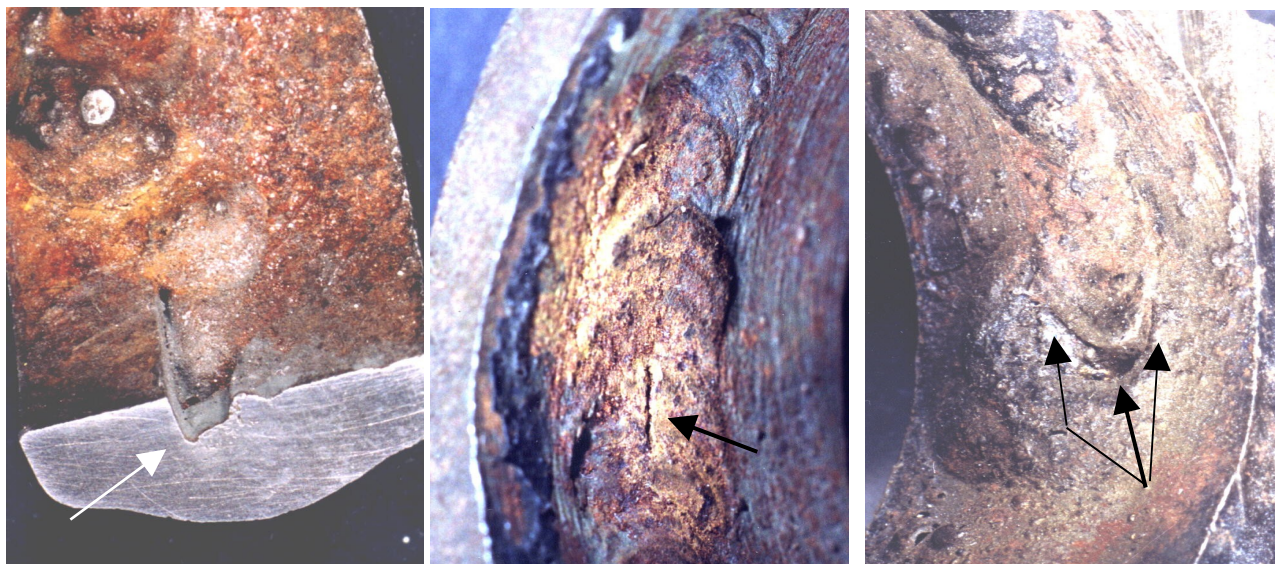
Nowością w zakresie skuteczności selekcji było wprowadzenie elementów teorii niezawodności. Umożliwiło to znaczne podwyższenie niezawodności całych układów kotłowych. Istnieją udokumentowane przykłady, że masowe zastosowanie instrukcji IBUS-R [7.3] podniosło niezawodność eksploatowanych kotłów energetycznych na przyzwoity poziom i wyeliminowało wcześniejsze liczne awarie, a także zapobiegło awariom w sieciach rurociągów.

Współcześnie procedura IBUS-Nz, która wykorzystuje współczesne możliwości informatyki i elektroniki pozwala na automatyzację wszystkich żmudnych czynności opisów badań, co umożliwia oceny nie tylko jakość spoin ale także cały proces technologiczny ich wykonania.

3, Potrzeba badań spoin małych grubości

Z możliwych wielu argumentów na uzasadnienie potrzeby wykonywania badań spoin małych grubości najistotniejszy jest fakt, że (w wielu przykładach dokonanych technicznych) zaniechanie tych badań grozi klęską, co zresztą wielokrotnie miało miejsce. Dotyczy to takich dokonanych jak budowa rurociągów do transportu materiałów palnych i wybuchowych oraz przede wszystkim budowa i remonty kotłów blokowych w elektrowniach, a także w zapewnieniu niezawodności eksploatacji sieci ciepłych. Niżej podane rzeczywiste przykłady wad ilustrują potrzebę badań.

Przykłady wad rzeczywistych spoin rur wykrytych w badaniach wg instrukcji IBUS



Rys. 1

Duży brak przetopu w spoinie rury $\varnothing 38/3$ mm

Rys. 2

Pęknięcie obwodowe w spoinie rury $\varnothing 38/3$ mm

Rys. 3

Efekt kanalikowy przyklejenia na zakończeniu spoiny $\varnothing 38/3$ mm

Z przedstawionych wyżej trzech typów wad rzeczywistych najtrudniejszą do wykrycia jest przyklejenie (rys. 3), w przykładzie pogłębione kraterem powstającej nieszczelności.

Przyklejenie na ogół powstaje na zakończeniu lub zapoczątkowaniu spawania spoiny obwodowej rury. Jest to wada o niewielkich wymiarach występująca w tych spoinach najczęściej, a także (ze względu na jej szybki rozwój) najgroźniejsza bo powodująca częste awarie.

Wykrywanie tego typu wad (rys. 3) jest trudne, ale niezbędne.

Uwaga! Stosowanie metod które w niedostatecznym stopniu zapewniają wykrywalność wady (rys. 3) jest poważnym błędem technicznym. W szczególności nie należy stosować badań radiograficznych ponieważ przy ekspozycji przez dwie ścianki na „owal” prawdopodobieństwo wykrycia wady (rys. 3) jest znikome. Natomiast w badaniach ultradźwiękowych przy zastosowaniu specjalnych głowic i wymogów Instrukcji IBUS TD osiągnięto lepiej niż zadawalające rezultaty.

4, Błąd intuicji

W badaniach nieniszczących w tym w badaniach ultradźwiękowych przyjął się intuicyjny prosty pogląd, że celem tych badań jest określenie „jakości – dobroci” badanego elementu np. spoiny, co w konsekwencji prowadzi do następujących działań:

- przyjęcie kryterium jakości elementu (np. spoiny) na podstawie najczęściej normy,
- uznanie, że każdy zbiór elementów spełniający przyjęte kryterium jest zbiorem dobrym na zasadzie indukcji, że jeśli jeden element jest dobry, a inne są nie gorsze to cały zbiór jest dobry.

Jest to nieprawda dla każdego zbioru składającego się z dostatecznie wielu elementów, a wskazują na to liczne przykłady z historii techniki i jednoznaczne wyjaśnienia które podała teoria niezawodności.

W historii techniki błąd intuicji był popełniany prawie zawsze przy konstrukcjach nowych, urządzeń skokowo bardziej złożonych, wymagających zwiększenia ilości elementów. Można tu wymienić np. zespoły niemieckie i amerykańskie Wernera von Brauna, w budowie raket, początki budowy komputerów, a także budowę pierwszych polskich elektrowni blokowych. Z tym, że dzięki informatyce i początkowym trudnościom w budowie komputerów zawdzięcza się powstanie i rozwój teorii niezawodności. Błąd intuicji prowadzi do popularnej taktyki kolejnych przybliżeń tj. szukania „ścieżki krytycznej”, poprawienia w niej wykrytych błędów i zajęcia się następną „ścieżką krytyczną”. Teoria niezawodności zaleca znacznie skuteczniejszy sposób tj. działanie globalne i poprawę niezawodności wszystkich elementów w podziorach niezawodnościowo szeregowych oraz konstrukcje w układach mieszanych, szeregowo równoległych z ewentualnym rezerwowaniem.

5, Niezawodność spoin

W artykule [7.3] przytoczono wyniki eksploatacyjne od lat stosowanego systemu zapewnienia wysokiej niezawodności spoin w energetycznych kotłach blokowych. Pomimo upływu lat zasady będące podstawą tego systemu nie uległy zmianie, a nawet można mówić o ich narastającej aktualizacji w związku z pojawiającymi się ponownie awariami, a także z uporządkowaniami formalnymi po przejściu do Unii Europejskiej.

Niezawodność formułuje się jako prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy układu w założonym czasie pracy. Prawie zawsze spoiny rur pracują w szeregowym układzie niezawodności to znaczy że awaria jednej spoiny jest awarią całego układu. Niezawodność układu szeregowego to:

$$N = n^i < 1 \quad (1)$$

gdzie:

- N- niezawodność układu (kocioł, rurociąg);
- n - niezawodność jednego elementu (spoina),
- i- ilość elementów.

Występuje tu problem z określeniem a priori wartości **n** dla spoin, a wydaje się, że jedyny dostępny sposób określenia **n** to post factum badania statystyczne. Mogłyby one być zbierane w ustalonym trybie i pozwalało by to projektować niezawodność na podstawie zbadanych układów. Niestety, mimo propozycji chyba nikt takiego tematu nie podjął. Przykłady z analizy prostych obliczeń przeprowadzonych na założonych wartościach **n** okazały się wystarczające do ilustracji jakościowo-ilościowych zagadnienia.

Paradoksy niezawodności. Wykładnicza funkcja **N** szybko maleje w miarę wzrostu ilości spoin, a układ (kocioł) szybko traci swoją niezawodność nawet, jeśli jakość wykonania spoin nie ulega obniżeniu (przykład 1).

Ponadto **N** także szybko maleje w przypadku nawet tylko kilku spoin niepewnych (przykład 2) w dużym zbiorze spoin dobrych, a likwidowanie kolejnych awarii i rzetelna naprawa spoin tylko nieznacznie wpływa na podwyższenie niezawodności układu (przykłady 3).

Przykład 1. Jeśli przyjmiemy dla spoiny **n = 0.999**, to może wydawać się że jest to dobra spoina bo szansa jej awarii w założonym czasie jest mniejsza od 0,001, Jednak dla stu spoin maleje do **N= 0,9** (0,1), a dla tysiąca **N = 0,36** (0,64). Oznacza to, że szansa awarii w przypadku stu spoin wynosi ok. **10 %**, a dla tysiąca spoin wynosi aż **64%**. Jeśli 10% może być dyskusyjne to niewątpliwie 64% jest wartością wykluczającą poprawną pracę układu, Można temu zaradzić jak w przykładzie 4.

Przykład 2. Dzieląc zbiór **N** na dwa podzbiory na przykład

$$N = N_1 \cdot N_2 = n_1^i \cdot n_2^j < 1 \quad (2)$$

To znaczy zakłada się że zbiór elementów jest nierówny, a między elementami są gorsze o niższej niezawodności i lepsze. Jeśli cały zbiór liczący **i + j = 100** podzieli się na dwa podzbiory oraz założymy, że składa się on z elementów o niezawodności **n₁ = 0,999** jak w przykładzie (1) przy **i=94**, natomiast **n₂ = 0,9** przy ilości **j=6**, to z wzoru (2) niezawodność spada do **N=0,48** Tylko sześć spoin niepewnych, a obniża to niezawodność stu do poziomu poniżej 50%.

Przykład 3a Na pewno kiedyś miała miejsce i jeszcze pewnie się zdarza sytuacja że założony zbiór ($94+6=100$ $n_1=0,999$, $n_2=0,9$) spoin dopuszczono do eksploatacji. Ponadto jeśli jedna z tych sześciu gorszych spoin ulega awarii i zostaje poddana naprawie to nawet jeśli naprawa jej jest dobra (przywrócono jej $n=0,999$) to ogólna niezawodność rośnie nieznacznie tylko z poziomu $N_{a0}=0,48$ na poziom $N_{a1}=0,53$, a następne awarie to poprawa na $N_{a2}=0,59$; $N_{a3}=0,66...$

W przykładzie tym po trzech awariach można osiągnąć niezawodność większą niż $N_{a3}=0,66...$

Przykład 3b Załóżmy zbiór podobny do 3a ale trzy razy większy tj ($282+18=300$, $n_1=0,999$, $n_2=0,9$) to niezawodności odpowiednio wyniosą $N_{a0}=0,11$, $N_{a1}=0,12$, $N_{a2}=0,14$, $N_{a3}=0,15$, a po piętnastu awariach $N_{a15}=0,54$ W przykładzie operujemy niezawodnością na tragicznie niskim poziomie w którym dodatkowo kolejne awarie prawie nic nie pomagają, a selekcja spoin złych następuje bardzo wolno.

Podane przykłady dowodzą że z punktu widzenia niezawodności:

- mają sens tylko badania 100%,
- selekcja elementów niepewnych musi być bardzo rzetelna bo niewielki wzrost spoin niepewnych może ustawić niezawodność na tragicznie niskim poziomie
- sposób „kolejnych przybliżeń” lub „ścieżka krytyczna” lub jak mówiono nowy kociół musi się „wypsuć”, choć prowadzi do podwyższenia niezawodności to pozytywny efekt bywa nieznaczny, a generalnie jest to sposób powolny niewspółmiernie nieefektywny i bardzo drogi.

Przykład 4. W przykładzie 1 zwiększenie tylko ilości spoin ze 100 do 1000 obniżyło niezawodność ich zbioru z $N=0,9$ do $N=0,36$ i osiągnęło wartość nieakceptowaną. Przywrócenie niezawodności do wartości $N=0,9$ wymaga podwyższenia niezawodność każdej spoiny do $n=0,9999$ to jest dziesięciokrotnie w stosunku do wartości 0,999 z przykładu 1.

Jednak abstrahując od relacji przekładowo przyjętych cyfr znaczną poprawę i to wystarczającą osiągnięto przez wprowadzenie kontroli już na etapie wykonawstwa i jest to celem Procedury IBUS-Nz .

6,Procedura IBUS-Nz

Powyżej podany przykład 3 wskazuje na konieczność kontroli spoin już na etapie ich wykonawstwa. Wykorzystanie selekcji spoin do ocen np. pracy spawaczy czy stanu przygotowań do spawania bywa stosowane ale w różnym zakresie i dość różnie zależnie od warunków miejscowych. Celem procedury IBUS-Nz jest ujednoczenie takich ocen i wykorzystanie ich do sterowania jakością wykonania. Zastosowanie współcześnie dostępnych narzędzi jak silnik MySQL do bazy danych czy zespołu mikroprocesora Gumsteex i Bluetooth do komunikacji defektoskopu z komputerem pozwala na wysoki stopień automatyzacji pozwalający na natychmiastowe przekształcanie, selekcję i wydruki danych.

Korzystanie z Procedury IBUS-Nz jest proste w użyciu i polega na tym że należy wypełnić w komputerze wstępnie rubryki o danych ogólnych, a po każdej zbadanej spoinie kilkakrotnie kliknąć klawisz defektoskopu „wyślij”. Defektoskop wysyła radiowo do komputera na odległość do 100 m następujące dane związane z każdą spoiną:

- Numer spoiny
- Spawacz (numer)
- Kontroler przygotowania do spawania (ewentualnie)
- Operator badań (numer)
- Wynik badania dobry/zły

Zbadanie ostatniej spoiny kończy badanie ich całej partii bez jakiegokolwiek potrzeby dalszych zbiorczych opracowań takich jak wydruki raportów opracowań statystycznych itp.

Napływające do komputera dane z badań spoin samoczynnie w bazie danych uzupełniają/tworzą rekord każdej spoiny. Są one dostępne w sieci lokalnej lub Internecie dla upoważnionych (hasło) natychmiast lub w dowolnym czasie później.

Równocześnie dostęp do danych może mieć dowolna ilość upoważnionych którzy mogą z bazy pobierać dane proste i zbiorcze jak np.:

- Kto i kiedy spawał spoinę nr 123
- Kto i kiedy badał spoinę nr 123
- Które spoiny zbadano do chwili mm.hh.dd.mm.rr
- Które spoiny dobre do chwili mm.hh.dd.mm.rr
- Które spoiny złe do chwili mm.hh.dd.mm.rr
- Do chwili mm.hh.dd.mm.rr które poprawiono / które do poprawy
- Ilu i kto spawał całą partię spoin
- Ilu i kto badał całą partię spoin
- Ile spoin zbadano do chwili mm.hh.dd.mm.rr – zaawansowanie remontu
- Współczynnik „jakości” spawaczy – dla każdego spawacza ile złych/ do wykonanych
- Współczynniki „jakości” badacza J. Kowalskiego, T. Malinowskiego, E. Drabika, S. Hupałę, J. Ślepotę – na podstawie porównania wykonanych badań tej samej partii spoin kolejno przez wszystkich .
- Które spoiny nieakceptowane nie naprawiono – dlaczego, na czyje zezwolenie
- Ogólny wynik zbadanej partii spoin
- Zbiorczy raport wykonania i zbadania partii spoin. Zakres tego raportu z możliwością w szerokich granicach modyfikowania w zależności od żądań inwestora.

Podana lista może być w szerokich granica modyfikowana i dopasowywana do warunków miejscowych .

7,Literatura i Normy

- 7.1 U. Shlegermann, Badania ultradźwiękowe połączeń spawanych o małej grubości, Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów- Zakopane 12-13.03.1998
- a.2 Władysław Michnowski, Jarosław Mierzwa, Ultradźwiękowe badania spoin o grubości poniżej 6 mm - badania spoin rur kotłowych Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów- Zakopane 03.2002
- a.3 mgr inż. Janusz Barczyk, mgr inż. Franciszek Leszkowicz (Elektrownia Turów) mgr inż. Władysław Michnowski Zakład ULTRA- System zapewnienia wysokiej niezawodności spoin rur w energetycznych kotłach blokowych..- Dozór Techniczny 4/1992.
- 7.4 PN-89/M-70055/02
- 7.5 PN-EN-1712; PN-EN-1714
- 7.6 ASME Section V Article5
- 7.7 PN-85/M-69775
- 7.8 PN-EN ISO/IEC 17025
- 7.9 (www.ultrasonic.home.pl/?doc=badania/&lang=pl)