

## NIEZAWODNOŚĆ SPOIN GWARANCJĄ JAKOŚCI URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH

P. ADAMIEC<sup>1</sup>, J. ADAMIEC<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Śląska, Wydział Transportu, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8

<sup>2</sup>Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, 40-019 Katowice,  
ul. Krasińskiego 8

### STRESZCZENIE

Przeprowadzono analizę jakości zespołów kotła przemysłowego jako konstrukcji spawanej w oparciu o elementy niezawodności i analizę ryzyka FEMA. Opracowano wytyczne do oceny liczby ryzyka w przypadku wykonawstwa wymienników jako krytycznych ogniw łańcuch niezawodności.

*Key words: quality, reability, FEMA, power plant*

### 1. WPROWADZENIE

Energoinstal S.A. jest producentem urządzeń dla energetyki przemysłowej, znanym w kraju i zagranicą. Wykonuje głównie kotły przemysłowe jako kotły odzysknicowe, często pracujące w zakresie parametrów nadkrytycznych.

Kotły przemysłowe należą do grupy konstrukcji spawanych z przewagą elementów rurowych, o jakości których decyduje jakość połączeń spawanych, a głównie spoin. Do badania złączy spawanych w Energoinstalu wykorzystuje się prawie wszystkie metody badań nieniszczących i niszczących, a w szczególności:

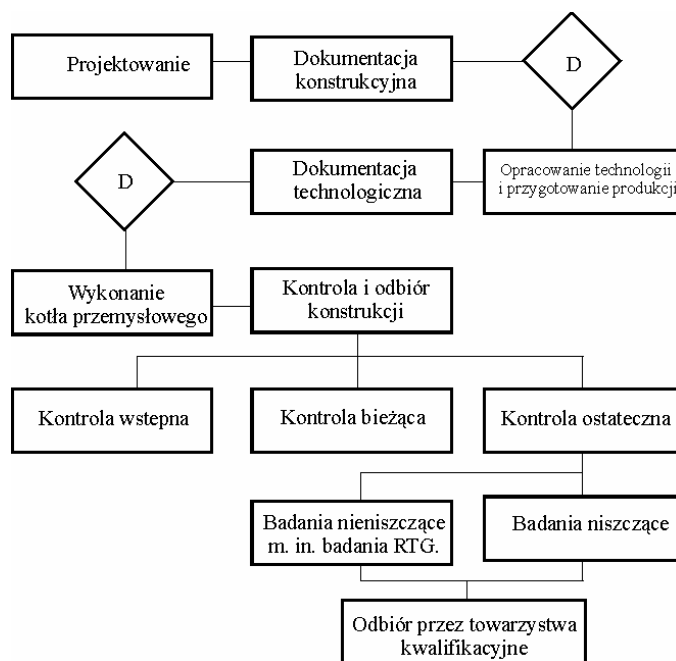
- jako badania nieniszczące: wizualne penetracyjne, elektromagnetyczne, radiograficzne i ultradźwiękowe i szczelności,
- jako badania niszczące metalograficzne i mechaniczne.

Zakres badań zwykle jest określony w dokumentacji konstrukcyjnej oraz w warunkach odbioru konstrukcji przez towarzystwa kwalifikacyjne. Analiza częstości przeprowadzanych badań w Energoinstalu wskazuje, że obok kontroli wizualnej,

najczęściej wykonywane SA badania RTG. Wynika to z uniwersalności tej metody przy ocenie niezgodności spawalniczych.

W Energoinstalu do badań RTG wykorzystuje się aparaty rentgenowskie firmy Baltoscop, Andrex, Gilardini, które obsługiwane są przez przeszkolony zgodnie z PN-EN 473 personel do badań nieniszczących posiadający uprawnienia II stopnia. Badania te umożliwiają wykrywanie niezgodności w większości spawanych elementów i ich ocenę przydatności w końcowym wyrobie.

Badania nieniszczące w tym przede wszystkim badania RTG stanowią element algorytmu wykonania konstrukcji kotła przemysłowego (rys. 1). Wykonano według wyżej wymienionego schematu konstrukcja spełnia wymagania Dyrektywy Unii Europejskiej 97/23 WE dotyczącej urządzeń ciśnieniowych.



Rys. 1. Uproszczony schemat produkcji konstrukcji spawanych dla energetyki.

Fig. 1. Simplified scheme of the production of weld construction for power plant industry.

## 2. UWAGI DOTYCZĄCE NIEZAWODNOŚCI KOTŁA

Kocioł przemysłowy jako obiekt energetyczny musi się cechować gotowością eksploatacyjną oraz odpowiednią trwałością. Cechy te decydują o jego niezawodności rozumianej w uproszczeniu jako prawdopodobieństwo gotowości eksploatacyjnej w czasie określonym przez konstruktora jako trwałość obiektu.

W praktyce inżynierskiej kocioł przemysłowy można traktować jako obiekt składający się z szeregu elementów stanowiących strukturę niezawodnościową mieszane, w których wyróżnić można układy szeregowe i równoległe. Niezawodność takiego obiektu może być opisana zależnością [1]:

$$R_k = \sum_{i=1}^{i=k} (-1)^{i-k} \left( \frac{i-1}{i-k} \right) \phi(R_1 \dots R_n) \quad (1)$$

gdzie:  $R_1 \dots R_n$  – niezawodności elementów obiektu,  $\Phi(R_1 \dots R_n)$  – suma iloczynów o czynnikach stanowiących kombinację z  $R_1 \dots R_n$  po  $i$ .

Do analizy warsztatowej niezawodności kotła znaczenie posiada głównie niezawodność układów szeregowych, np. wymienników, które jest równe:

$$R_n = \prod_{i=1}^{i=n} R_i \quad (2)$$

oznaczenia jak wyżej

Wzór ten wskazuje na istotny wpływ elementów spawanych np. wymienników, bardzo często spełniających założenia układu szeregowego decydującego o niezawodności całego kotła.

Zatem wyniki badań RTG i badań penetracyjnych w przypadku wymienników posiadających odpowiednio spoiny doczołowe i kątowe, posiadają istotne znaczenia dla oceny jakościowej i niezawodnościowej całego kotła przemysłowego.

W praktyce o niezawodności obiektu energetycznego decydują wymienniki ciepła które stanowią słabe ogniwo w łańcuchu niezawodnościowym, pracują coraz częściej przy nadkrytycznych parametrach eksploatacyjnych.

Wymienniki ciepła w kotle stanowią praktycznie spawaną konstrukcję elementów rurowych, w której występuje ok. 1000 spoin doczołowych oraz 200 spoin pachwinowych. Jakość tych spoin decyduje o strukturze niezawodnościowej kotła i jego jakości.

Występujące w węzownicach doczołowe złącza spawane, są w 100% rentgenowane i wynik na poziomie klasy B wg PN-EN 5817 jest warunkiem odbioru płyta węzownicy, zarówno wewnętrznego przez dział jakości jak i zewnętrznego przez TUV i klienta.

Uzyskane wyniki można wykorzystać do analizy rodzajów i skutków możliwych błędów w technologii i wykonawstwie spawania.

### 3. PRZYKŁAD OCENY RYZYKA METODĄ FEMA

Do oceny ryzyka niezgodności i wad spawalniczych w wymienniku można wykorzystać analizę przyczyn i skutków potencjalnych błędów FEMA (Failure Mode and Effects Analysis), która pozwala określić w sposób ilościowy, w postaci liczbowej ryzyko błędów. W analizie tej do oceny ryzyka obecności wad spawalniczych można wykorzystać ocenę znaczenia wady dla użytkownika (LPZ) [2]. W Energoinstalu S.A. do oceny przyjęto tzw. liczby priorytetowe w skali do 1 do 10, będące miarą możliwości ww. czynników decydujących o liczbie ryzyka obecności wady (LPR). Przykładowe kryteria oszacowania wadliwości połączeń spawanych wymiennika podano w tablicach 1-3.

Tabela 1. Przykład oceny liczby priorytetowej powstania wady, LPW

Table 1. Example of the assessment of LPW

Możliwość powstania wady spawalniczej	Prawdopodobieństwo obecności wady	Liczba LPW
Bardzo mało prawdopodobna	0,05 - 0,10	1
Mało prawdopodobna	0,10 - 0,20	2-3
Umiarkowanie prawdopodobna	0,20 - 0,30	4-6
Prawdopodobna	0,30 - 0,50	7-8
Wielce prawdopodobna	> 0,50	9-10

Prawdopodobieństwo występowania wad spawalniczych wzrasta wraz z obniżeniem zakresu kontroli występowania spoin pachwinowych i spoin w miejscach trudnodostępnych. Na wielkość prawdopodobieństwa może posiadać również wpływ technologia wytwarzania, np. stosowanie spawania elektrodami otulonymi względnie spawania gazowego.

Tabela 2. Przykład oceny liczby priorytetowej wykrycia wady, LPO

Table 2. Example of the assessment of LPO

Możliwość wykrycia wady spawalniczej	Prawdopodobieństwo obecności wady	Liczba LPW
Bardzo prawdopodobna	0,95 - 0,90	1
Prawdopodobna	0,90 - 0,80	2-3
Umiarkowanie prawdopodobna	0,80 - 0,70	4-6
Mało prawdopodobna	0,70 - 0,50	7-8
Bardzo mało prawdopodobna	> 0,50	9-10

Prawdopodobieństwo wykrywania wad spawalniczych w procesie kontroli połączeń spawanych zależy od zakresu i metody badawczej. Jest bardzo wysoce prawdopodobne przy 100%-wym zakresie badania rentgenograficznego, ale prawdopodobieństwo wykrycia zmniejsza się wraz zmniejszaniem się zakresu i stosowanie innych metod

defektoskopowych. Na możliwość wykrycia wad może mieć wpływ również grubość badanych elementów, rodzaj materiału względnie rodzaj połączeń spawanych.

Tabela 3. Przykład oceny liczby priorytetowej znaczenia eksploatacyjnego wad LPZ dla użytkownika

Table 3. Example of the assessment of LPZ for user

Znaczenie eksploatacyjne wad dla użytkownika	Liczba LPZ
Bardzo małe istotne	1
Mało istotne	2-3
Umiarkowanie istotne	4-6
Istotne	7-8
Bardzo istotne	9-10

Iloczyn liczb priorytetowych z tablic 1-3 daje tzw. liczbę ryzyka LPR:

$$LPR = (LPW) \cdot (LPO) \cdot (LPZ) \quad (3)$$

Która może się zawierać między wielkościami od 1 do 1000. Liczba ryzyka pozwala na uszeregowanie znaczenia eksploatacyjnego wad spawalniczych i może być wykorzystane do optymalizacji konstrukcji wymiennika jak konstrukcji spawanej.

Występujące w tablicach 1-3 prawdopodobieństwa i wielkości przyjęto na podstawie długoletnich doświadczeń spawalników pracujących w energetyce. Przy ocenie ryzyka wad spawalniczych przy wykonawstwie wymienników w kotle (rys. 2.) przyjęto [3]:

- możliwość powstania wady jako mało prawdopodobną tzn. średnia liczba poprawek wynosi ok. 10%, a tej wielkości odpowiada liczba LPW równa 2,
- możliwość wykrycia wady jako prawdopodobna ze względu na łatwy dostęp aparatu RTG. Liczbę LPO przyjęto również jako 2,
- znaczenie eksploatacyjne wady dla użytkowników przyjęto jako istotne, a liczbę LPZ równą 8.

Z powyższych założeń wynika liczba priorytetowa ryzyka LPR równa 32.

W Energoinstalu S.A. trwają prace pozwalające na ocenę znaczenia liczby oceny ryzyka LPR. Wstępnie można przyjąć, że wielkość LPR poniżej 50 wskazuje na poprawną jakość wykonanych spoin w przypadku wymienników ciepła

#### 4. UWAGI KOŃCOWE

Rozważania ww. wskazują, że niezawodność urządzeń energetycznych jest uwarunkowana jakością eksploatacyjną poszczególnych elementów składowych, które w uproszczeniu stanowią pewien system szeregowy, w którym jako słabe ogniwa należy m.in. wymienić wymienniki. Jakość wymienników jako typowych konstrukcji spawanych jest funkcją przede wszystkim jakości spoin, co oznacza, że badania nieniszczące spoin są gwarantem jakości urządzeń dla energetyki.

Istotny wpływ obecności stwierdzonych wad na własności eksploatacyjne konstrukcji spawanych prowadzi do działań towarzystw kwalifikacyjnych, które przez swoje przepisy i wymagania stanowią m.in. o tym, że:

- spawanie konstrukcji podlegających odbiorowi może być wykonywane poprzez uprawniony zakład i uprawnione osoby,
- uprawniony zakład musi się wykazać środkami technicznymi i posiadaniem opanowanej technologii spawania (PQS, WPS),
- posiada zorganizowane służby umożliwiające kontrolę przed, w czasie i po spawaniu oraz odpowiednie urządzenia do sprawdzania jakości wykonywanych połączeń,
- zatrudnia spawaczy posiadających kwalifikacje zweryfikowane odpowiednimi uprawnieniami.

Eliminacja wad spawalniczych a zarazem wzrost jakości konstrukcji spawanych jest celem tworzenia i wdrażania w zakładach produkcyjnych systemów zapewnienia jakości (np. PN-EN 9000), w których uwzględnia się wymagania normy PN-EN 729. Normy pro jakościowe wymagają od przedsiębiorstw działań doskonalących przykładem których może być prowadzona w Energoinstalu S.A. analiza FEMA.

Analiza FEMA jako metoda doskonalenia technologii spawania pozwala poprzez kolejne iteracje na zmniejszenie liczby priorytetowej ryzyka LPR, a zarazem na optymalną poprawę jakości konstrukcji spawanych i wzrost niezawodności obiektów energetycznych. Należy oczekiwać, że w najbliższym czasie producenci konstrukcji spawanych wprowadzą do procedur systemów jakości metody optymalizacji za pomocą analizy FEMA, jak to ma miejsce w przemyśle samochodowym. Obecnie w zakładach produkcyjnych jakość obiektów energetycznych jest zapewniana przez nadzór towarzystw kwalifikacyjnych i służb administracyjnych. Umożliwia to uzyskanie zdolności eksploatacyjnej kotła przemysłowego, rozumiane wg PN-EN 12592 jako prawidłowe działanie przez cały okres gwarantowanej żywotności.

#### **LITERATURA**

- [1] Inżynieria niezawodności. Poradnik. ZETOM, Warszawa 1992.
- [2] Leist R.: Praktyczne zarządzanie jakością. Alfa-Weka, Warszawa 1997.
- [3] Adamiec P. Jakość złączy spawanych jako miara niezawodności urządzeń energetycznych, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa 2001, nr 5, s. 20.

#### **WELLS REABILITY AS A GUARANTY OF THE POWER PLANT QUALITY**

##### **SUMMARY**

Quality of plants boiler were researched focused on reability elements and FEMA risk assessment. The recommendation of risk assessment parameters for heat-exchanger as the critic part reability chain were described.

Recenzował: prof. Józef Śleziona.