

Autor artykułu jest pracownikiem Transportowego Dozoru Technicznego a wcześniej Specjalistycznego Dozoru Technicznego Żegluga Morskiej w Urzędzie Morskim w Gdyni.

PIŚMIENNICTWO

- [1] „Design and Construction Specification for Marine Loading Arms” Third Edition – 1999, OCIMF.
- [2] Hickmann K., Kern A., Schriever U., Stumpfe J. „Production and properties of high-strength Nickel-alloy steel plater for low temperature applications”
- [3] Karty Charakterystyk Substancji Niebezpiecznych, CIOP, Warszawa 1993 r.
- [4] Rozporządzenia Ministra Transportu z dnia 20 września 2006 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać

- urządzenia do napełniania i opróżniania zbiorników transportowych” (Dz. U. Nr 181 p. 1335).
- [5] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 16 lipca 2002 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu. (Dz. U. Nr 120, poz. 1021 z późn. zmianami).
- [6] Swędrak S. „Planowane terminale gazu LNG w portach polskich – rola Transportowego Dozoru Technicznego w eksploatacji morskich terminali gazowych.” Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej Nr 3 (166) 2006 r.
- [7] Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorze technicznym (Dz. U. Nr 122, poz. 1321 z późn. zmianami).
- [8] Wiewiórka A., Wesolek Z., Puchalski J. „Ropa naftowa w transporcie morskim” wyd. TRADEMAR 1999 r.
- [9] Zasoby internetowe

EWA ZBROIŃSKA-SZCZUCHURA
Pro Novum Katowice

Typowe uszkodzenia kotłowych walczków

Streszczenie

Prezentowano w sposób skrótowy wyniki zebranych doświadczeń dotyczących rodzajów uszkodzeń walczków oraz sposobów ich usuwania i naprawy. Technologie napraw oraz modernizacji sprawdziły się w czasie wieloletniej eksploatacji walczków oraz potwierdzone zostały rezultatami badań nieniszczących oraz parametrami pracy kotłów.

Walczak należy do elementów krytycznych kotła parowego. Podczas prac kotła w ściance walczaka zostaje nagromadzona energia potencjalna (energia sprężysta metalu obciążonego wysokim ciśnieniem) oraz energia wody i pary w temperaturze nasycenia.

Uszkodzenia w walczaku można podzielić na 2 grupy:

- uszkodzenia (wady) technologiczne/konstrukcyjne,
- uszkodzenia eksploatacyjne.

Konstrukcyjne (wadliwe rozwiązanie węzłów konstrukcyjnych) i technologiczne uszkodzenia są związane z procesami hutniczymi i spawalniczymi. Przyczynami uszkodzeń (pęknięć) eksploatacyjnych są warunki pracy tj. działające na metal naprężenia zmienne (cieplne) i stałe (ciśnienie). Do tego dochodzi agresywne (korozyjne) oddziaływanie środowiska (woda / para).

Uszkodzenia technologiczno-konstrukcyjne

Rozwarstwienie metalu ścianki (rys. 1)

Wady występują w walczakach, których materiał wyjściowy – blachy nie był sprawdzany ultradźwiękiem na obecność „rozwarstwień”, w metalu pozostały liczne wady technologiczne, przede wszystkim wtrącenia niemetaliczne różnej wielkości i rodzaju oraz znaczna pasemkowość struktury. Wady te w miejscach owierceń, wychodzą czasami na ścianki otworów (1/3 i 2/3 grubości ścianki) mają charakter rozwartych równoległych nieciągłości wypełnionych niemetalicznymi wtrąceniami lub produktami korozji.

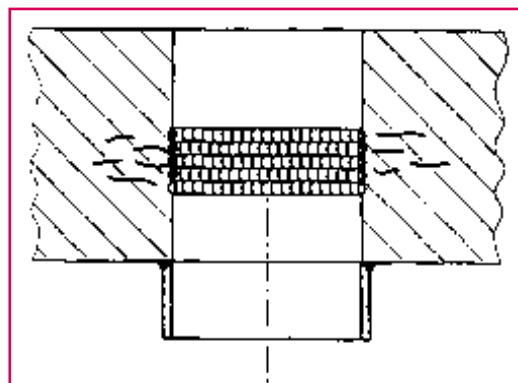
W walczakach nowej generacji produkcji krajowej i zagranicznej obecności tego typu rozwarstwień nie stwierdzono, co wynika z ulepszonej technologii produkcji stali oraz eliminacji wadliwych odkuwek i blach poprzez zastosowanie 100% badań ultradźwiękowych. Walczaki z rozwarstwieniami mogą nadal bezpiecznie pracować, jeżeli rozwarstwienie nie wychodzi na ściankę otworów lub w przypadku, gdy rozwarstwienia wychodzą na tworzące otwory zostaną zaślepione przez spawanie lub tulejowanie (rys. 2 i 3).



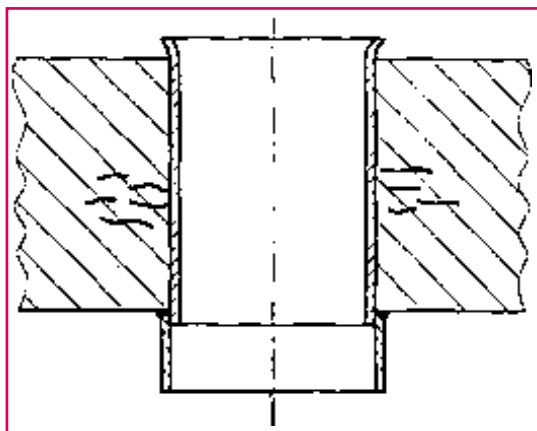
Rys. 1. Rozwarstwienie blachy

Pęknięcia połączeń spawanych króćców centralnych rur opadowych (c.r.o) – rys. 4

Pęknięcia obwodowe (rzadziej poprzeczne) stwierdzono w przejściach spoiny łączącej króciec z płaszczem od strony wewnętrznej przy nadmiernie występującym króćcu ponad powierzchnię dolną walczaka, np. niektóre rozwiązania króćców centralnych rur opadowych.

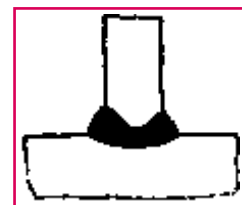


Rys. 2. Sposób uszczelnienia pęknięć przez spawanie



Rys. 3. Sposób uszczelnienia pęknięć przez tulejowanie

- ♦ występ króćca do wnętrza walczaka nieodkształca się pod wpływem ciśnienia w przeciwieństwie do płaszczu walczaka,
- ♦ nieodpowiedni kształt spoiny typu K dających pęknięcie wewnętrzne rozprzestrzeniające się po granicy wtopienia.



Rys. 5. Sposób łączenia wspornika separacji ze ścianką walczaka

Obniżona odporność na działanie naprężeń zmiennych jest spowodowana niewłaściwym kształtem lica spoiny na powierzchni wewnętrznej i brakiem połączenia występującej części c.r.o z płaszczem, króciec typu B ma odporność na zmęczenie kilkukrotnie większe niż typ C i D stosowane w walczakach krajowych (rys. 4). W tym przypadku zapobieganie uszkodzeniom polega na modernizacji węzła umożliwiającej zmianę kształtu spoiny, która powoduje zmniejszenie koncentracji naprężeń i zwiększenie ponad dwukrotnie odporności na zmęczenie oraz przeniesienie karbu (przejścia spoiny w materiał rodzimy) poza strefę wpływu ciepła spoiny.

Pęknięcia przy spoinach kątowych łączących wspornik z płaszczem

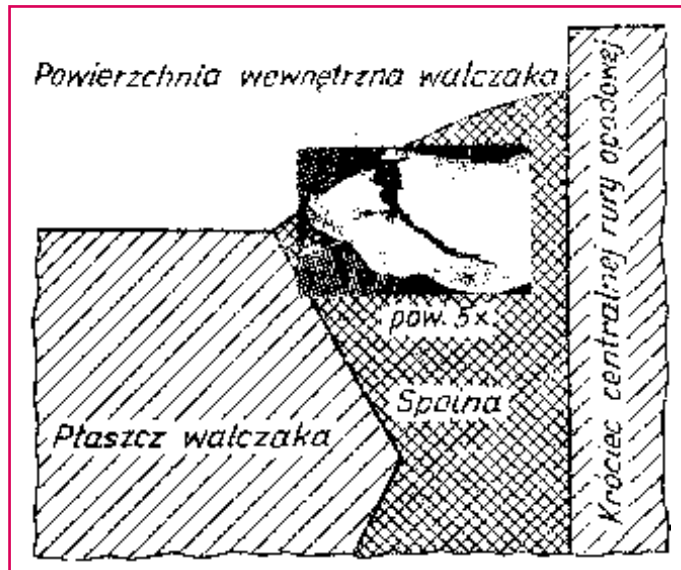
Pęknięcia podłużne wykrywane w badaniach diagnostycznych po stronie spoina/płaszcz i spoina/płaskownik. Powstają na skutek dodatkowych naprężeń zmiennych wywołanych odkształceniem się walczaka pod wpływem ciśnienia. Pęknięcia tego typu często biorą początek na wadach technologicznych lub konstrukcyjnych. Występują we wszystkich tego typu mocowaniach spawanych.

Bez zmiany konstrukcji (np. zamocowania rozprężne) podlegają naprawie przez szlifowanie do zaniku, przy ubytku grubości ścianki walczaka w granicach dopuszczalnych lub/i pozostawienie bez naprawy po stronie spoina/wspornik). W przypadku nadmiernej liczby uszkodzeń po stronie wsporników, mogących mieć wpływ na trwałość separacji, wsporniki należy wymienić, a połączenie wspornika z płaszczem powinno mieć kształt spoiny dwustronnej z przetopem na całej grubości walczaka (rys. 5).

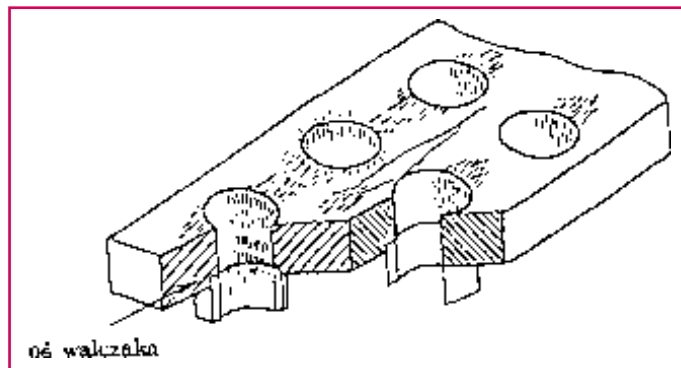
Uszkodzenia spoin króćców centralnych rur opadowych reguły są pęknięciami obwodowymi w przejściu spoiny w płaszcz walczaka (rys. 6).

Przyczyną powstania pęknięć jest nieodpowiednie rozwiązanie konstrukcyjne:

Uszkodzenia eksploatacyjne



Rys. 6. Uszkodzenie spoiny centralnej rury opadowej

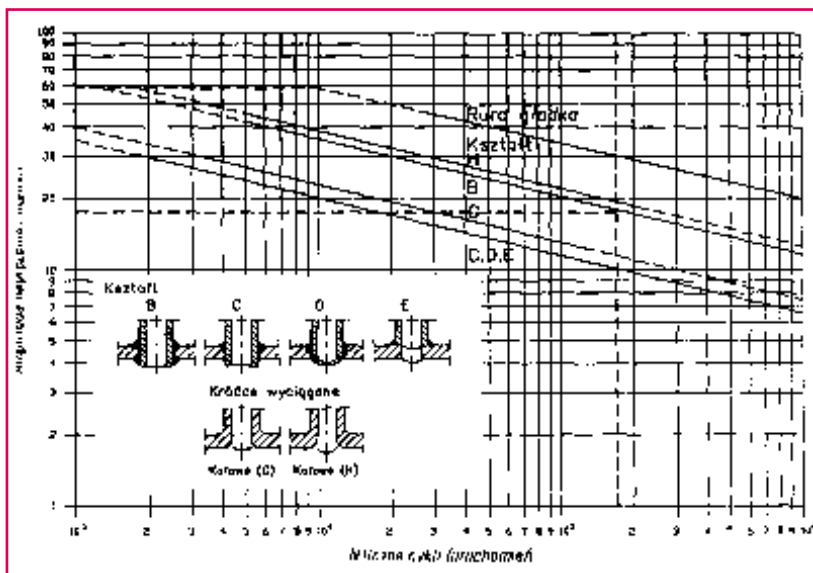


Rys. 7. Pęknięcia otworów rur opadowych

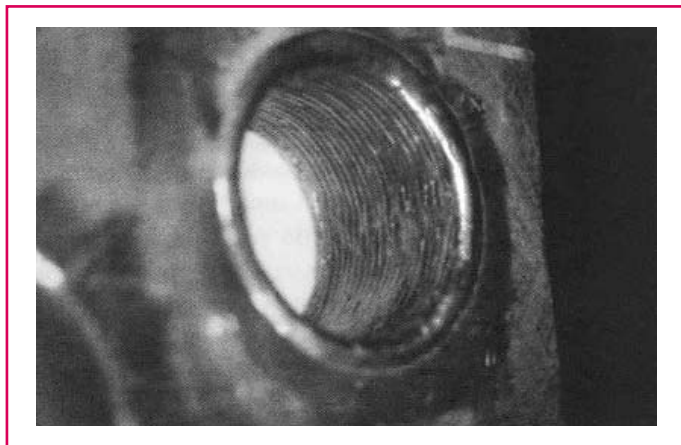
Uszkodzenia otworów rur opadowych (rys. 7)

Badania diagnostyczne wykazują, że tego rodzaju pęknięcia porażają walczaki mające króćce spawane. W przypadku kotłów dwuwalczakowych (np. pauker) pęknięcia występują jedynie w walczakach głównych. Uszkodzenia te wiążą się z wahaniami temperatury ścianki walczaka w warunkach:

- ◀ awaryjnych odstawiach z gwałtownym rozprężeniem kotła (nieszczelności rur ekranowych/rur podgrzewaczy wody),
- ◀ pulsacji temperatury wody zasilającej (na wlocie do walczaka) zwłaszcza w stanie nieustalonym,
- ◀ niedogrzanie wody zasilającej na wlocie do kotła (wyłączona regeneracja),
- ◀ niewłaściwie rozmieszczony rozpyły wody zasilającej w walczaku.



Rys. 4. Odporność różnego rodzaju króćców na działanie naprężeń zmiennych wg VGB



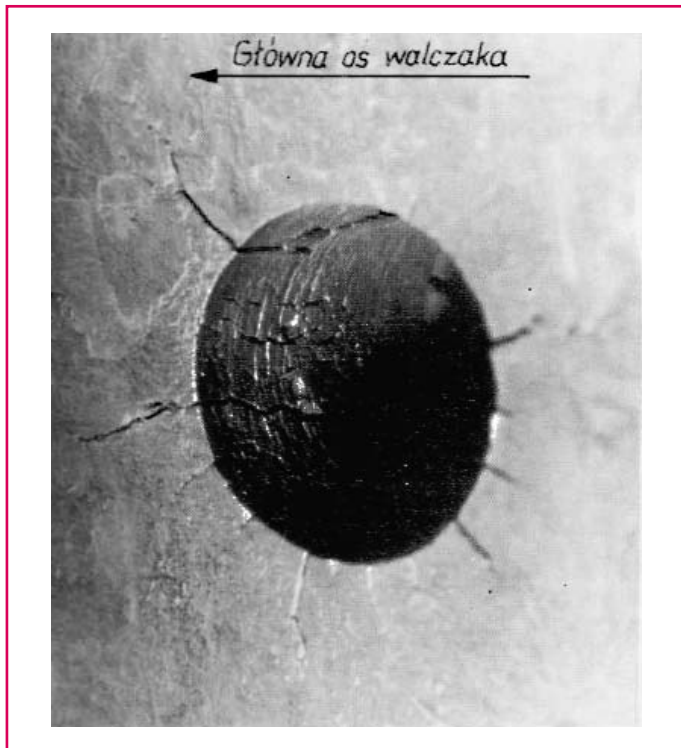
Rys. 8. Sposób naprawy pęknięć otworów rur opadowych

Pęknięcia otworów rur opadowych nie występują w przypadku walczków z zawalcowanymi króćcami, które spełnią funkcję koszulek – osłon termoszokowych.

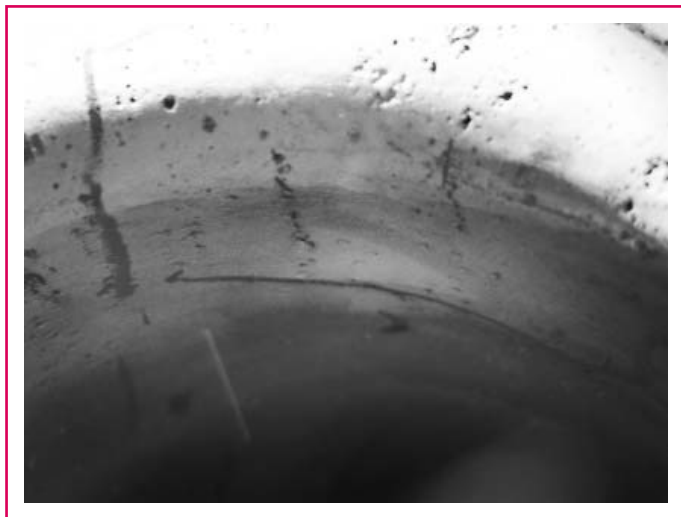
Naprawa uszkodzeń przez szlifowanie i pozostawienie ubytków osłabiających grubość ścianki w granicach dopuszczalnych nie jest rozwiązaniem właściwym. W miejscach ubytków wzrastają naprężenia i zostaje usunięta warstwa ochronna metalu. Właściwym rozwiązaniem jest usunięcie wyczerpanej warstwy metalu ze ścianek otworów i równomierne nałożenie spoiny (rys. 8).

Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że im wyższe naprężenia dopuszczalne uwzględnione w obliczeniach grubości ścianki walczków, tym krótszy czas do powstawania tego rodzaju pęknięć. Celem obniżenia prawdopodobieństwa wystąpienia tego rodzaju uszkodzeń produkuje się walczaki grubościenne (grubość optymalna).

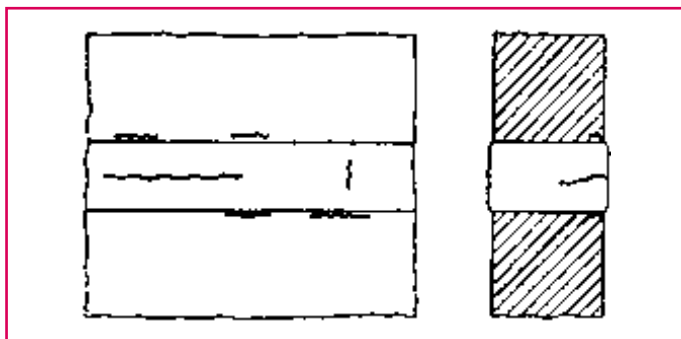
W USA i Japonii eksploatowane są walczaki o grubości ścianek przekraczających 140 mm. W kraju eksploatowane były 2 walczaki o grubości 140 mm (obliczone wg ASME Code9, na których w czasie całego czasu eksploatacji (250 tys. h) nie stwierdzono pęknięć. Walczaki były poddawane systematycznym badaniom diagnostycznym.



Rys. 9. Słoneczkowe pęknięcia (termoszokowe) otworów armaturowych



Rys. 10.

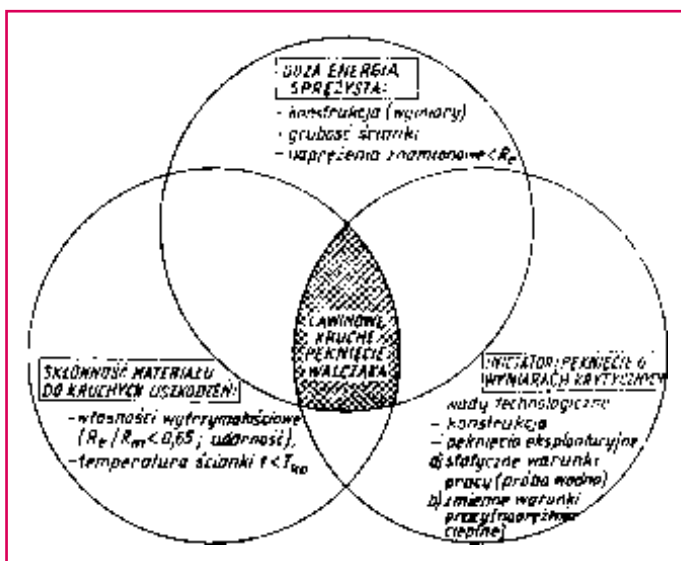


Rys. 11. Umiejscowienie pęknięć w spoinach głównych

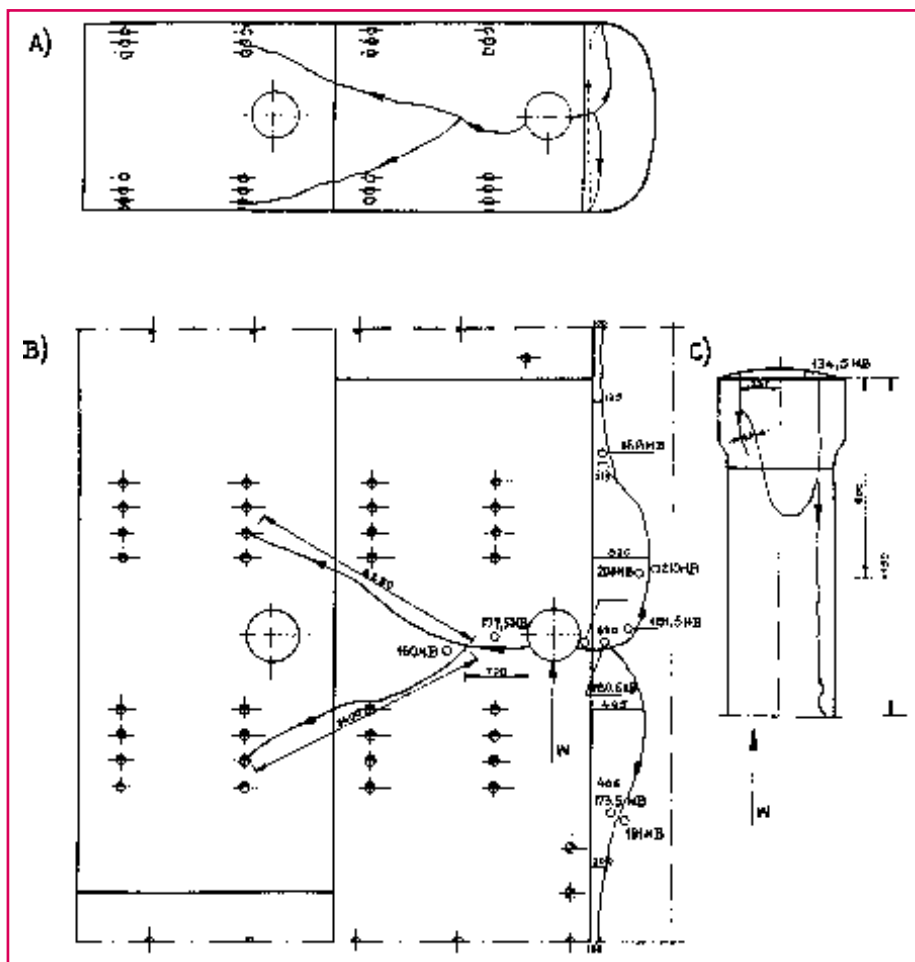
Pęknięcia termoszokowe pod króćce armatury

Pęknięcia o charakterze „słoneczek” wykrywane na krawędziach otworów pod króćce armatury (odwodnienia, odpowietrzenia, wodowskazy, odsalania, dozowania fosforanów, zrzutów awaryjnych, pomiarów ciśnienia itp.) – rys. 9.

Bezpośrednią przyczyną tego rodzaju uszkodzeń jest zmęczenie korozyjne wywołane jednoczesnym działaniem znacznych naprężeń zmiennych i czynnika korozyjnego (udarem cieplnym), kiedy to czynnik o temperaturze niższej od temperatury nasycenia wpływa z otworu powodując powstanie naprężeń zmiennych przekraczających wielokrotnie R_e materiału.



Rys. 12. Schemat powiązania warunków koniecznych do powstania kruchego pęknięcia



Rys. 13. Kierunki przebiegu pęknięcia: A – na cylindrycznej części walczaka, B – na rozwiniętym płaszczu, C – na króćcu czołowym oraz miejsca pomiaru twardości

nania spoiny ręcznie i łukiem krytym (spoiny zawierały dość dużo defektów koncentrujących naprężenia) – karbów technologicznych (rys. 11).

Po usunięciu tych wad i dokonaniu ewentualnej naprawy przez spawanie w większości wypadków nie występowały one ponownie. Ponadto nie stwierdzono zależności między rozmieszczeniem pęknięć w spoinach międzywalczanych a stopniem zowalizowania przekroju walczaka.

Całkowite zniszczenia walczków kotłów parowych (pęknięcia kruche)

Uszkodzenia występują podczas prób ciśnieniowych prowadzonych w temperaturze otoczenia (niżej od 20°C) a uszkodzeniem ulegają walczaki wykonane ze stali o podwyższonej wytrzymałości tj. gdy $R_f/R_m > 0,65$. Uszkodzenia są zazwyczaj inicjowane na karbach konstrukcyjnych i technologicznych.

Poniżej pokazano schemat warunków koniecznych do powstania kruchego pęknięcia prowadzącego do całkowitego zniszczenia walczaka (rys. 12).

Prawdopodobieństwo wystąpienia tego rodzaju uszkodzenia może zmniejszyć się przez wyeliminowanie czynników warunkujących

Usuwanie objawów przez szlifowanie i naprawa przez spawanie wykrytych uszkodzeń nie zapobiega ponownemu pojawianiu się pęknięć. Jedynym skutecznym środkiem jest stosowanie króćców o odpowiedniej konstrukcji z koszulką ochronną, chroniącą ściankę walczaka przed efektem „termosoku”.

Pęknięcia korozyjno-zmęczeniowe

Pęknięcia krawędzi i ścianek otworów rur opadowych i wznoszących. Pęknięciom tym towarzyszą często wżery korozyjne na ściankach walczaka w przestrzeni wodnej i łączą się w całość (rys. 10). Przyczyną ich powstawania są naprężenia zmienne (cieplne) występujące w obecności agresywnego środowiska, w tym przypadku wody kotłowej, gdy zawiera tlen, chlorki a pH jest mniejsze od 9.

Obniżenie własności mechanicznych podczas eksploatacji

W zależności od stanu wyjściowego i składu chemicznego stali, technologii wytwarzania oraz warunków pracy (temperatura) zachodzą w materiale procesy degradacji struktury prowadzące do spadku własności plastycznych – zdolności do odkształcania.

Jeżeli na ściankach walczaka wykryto pęknięcia wymagające dokonania naprawy przez spawanie, to przed naprawą wskazanym jest pobranie próbek materiału celem sprawdzenia struktury i udarności stali oraz ustalenia właściwej regeneracyjnej obróbki cieplnej.

Próbki powinny być pobrane z dzwona o najgorszych własnościach (analiza + atesty, badania metalograficzne – repliki, w najgorszym przypadku próbki łódkowe pobrane z każdego dzwona). Pobranie wycinka (krążka) ma również na celu określenie optymalnych warunków spawania i obróbki cieplnej przeprowadzonej naprawy połączonej z rewalizacją.

Uszkodzenia złączy spawanych wzdłużnych i obwodowych

Uszkodzenia spoin głównych walczaka występują zarówno po stronie zewnętrznej jak i wewnętrznej i wynikają z technologii wyko-

powstawanie pęknięcia kruchego tj.:

- ♦ odpowiedni sposób wykonywania wodnych prób ciśnieniowych przy ciśnieniu $0,8p_0$ i temperaturze ścianki min 50 °C (rozporządzenie UDT),
- ♦ kontroli diagnostycznej walczaka wykrywającej wady powierzchniowe o wymiarach mniejszych od wady krytycznej a_k – ustalonej w oparciu o obliczenia wykorzystujących mechanikę pękania.

Na rys. 13 podano przykład uszkodzenia z całkowitym zniszczeniem walczaka, jakie miało miejsce w energetyce krajowej. Uszkodzenie zostało zapoczątkowane przez pęknięcie o rozmiarach krytycznych w obszarze spoiny centralnej rury opadowej, a w warunkach ciśnieniowej wodnej próby zaistniały warunki do jego lawinowego rozwoju.

Wnioski

- Uszkodzenia walczaka powstające wskutek wad technologicznych, konstrukcyjnych oraz eksploatacyjnych (cykliczne zmienne naprężenia mechaniczne i termiczne) zachodzą w niewielkiej jego objętości i mają charakter lokalny.
- Właściwie wykonana naprawa połączona z usunięciem przyczyn (zmiana warunków eksploatacji i/lub przekonstruowanie danego węzła oraz odpowiednia obróbka cieplna) przywraca pierwotny stan techniczny walczaka.
- Walczak kotła parowego jest elementem naprawialnym i wykrycie uszkodzeń (pęknięć) nie stanowi o jego dyskwalifikacji.
- Naprawy i zabiegi mające na celu usuwanie przyczyn uszkodzeń mają również ważny aspekt ekonomiczny, a doświadczenia energetyki zagranicznej i krajowej jednoznacznie wskazują, że właściwie wykonana naprawa połączona z usunięciem przyczyn uszkodzenia przywraca walczakowi niezawodność w sposób jednoznaczny, a praktyka eksploatacyjna dowodzi, że walczaki można przy właściwie prowadzonej eksploatacji i diagnostyce (badania, pomiary) eksploatować bezpiecznie przez czas dłuższy niż 300 000 godzin.

Dotychczas Pro Novum wykonało ocenę stanu technicznego i naprawę kilkudziesięciu walczaków produkcji krajowej i zagranicznej

PIŚMIENNICTWO

- [1] Ewa Zbroińska-Szczechura – Przyczyny uszkodzeń otworów rur opadowych walczaków w niektórych typach kotłów. Energetyka 3/98 str. 127÷129.
 [2] Ewa Zbroińska-Szczechura – Rozwarstwienie metalu ścianek niektórych walczaków kotłów parowych. Energetyka 10/98 str. 434÷435.
 [3] Ewa Zbroińska-Szczechura, Ewald Grzesiczek – Wytoczne modernizacji króćców centralnych rur opadowych oraz tulei włączonych walczaków. Energetyka 3/2000 str. 118÷120.
 [4] Jerzy Dobosiewicz, Ewa Zbroińska-Szczechura – Zmiany własności mechanicznych metalu podczas eksploatacji niektórych walczaków. Energetyka 5/2002 str. 289÷291.

- [5] M. Szczepański, W. Rzepka – Naprawa przez spawanie otworów rur opadowych walczaków. Energetyka 5/2001 str. 267÷268.
 [6] Ewa Zbroińska-Szczechura – Uszkodzenia wsporników urządzeń separacji walczaków. Energetyka 3/1997 str. 137÷138.
 [7] Ewa Zbroińska-Szczechura – Pęknięcia termosokowe niektórych otworów walczaków kotłów wysokoprężnych. Energetyka 9/97 str. 408÷409.
 [8] Jerzy Dobosiewicz, Ewa Zbroińska-Szczechura – Zmiany własności mechanicznych metalu podczas eksploatacji niektórych walczaków. Energetyka 5/2002 str. 289÷291.
 [9] Ewa Zbroińska-Szczechura, Jerzy Trzeszczyński – Uszkodzenia walczaków kotłów parowych. Energetyka 8/93 str. 104÷108.
 [10] Ewa Zbroińska-Szczechura, Jerzy Dobosiewicz – Całkowite zniszczenia walczaków kotłów parowych. Energetyka 4/91 str. 118÷120.

FILIP KLEPACKI
Pro Novum

Porównanie stosowanych hipotez wytrzymałościowych oraz różnych konstrukcji króćców w odniesieniu do obliczeń wytrzymałościowych walczaka (Artykuł dyskusyjny)

Wprowadzenie

Artykuł wnosi nowy pogląd na metody obliczeniowe ciśnieniowych elementów cylindrycznych. Uważam, że ze względu na poruszony problem artykuł, mimo że ma charakter dyskusyjny, jest wart opublikowania w celu zainteresowania użytkowników i konstruktorów ciekawym poglądem na dotychczas stosowane metody obliczeniowe.

Jerzy Dobosiewicz
Pro Novum

Walczaki są to elementy ciśnieniowe o kluczowym znaczeniu dla pracy kotła, przez co i dla całego bloku energetycznego. Ewentualna awaria może doprowadzić do postoju kotła i strat w produkcji energii elektrycznej. W związku z powyższym niezawodność tego elementu ma duży wpływ na niezawodność produkcji energii elektrycznej, a tym samym na wiarygodność podmiotu sprzedającego ten produkt. Z tego powodu oraz wzrastającej konkurencji na rynku produkcji energii elektrycznej wynika, że stan techniczny walczaków ma istotny wpływ na awaryjność bloków.

Największy wpływ na niezawodność pracy walczaków mają ich projektanci natomiast w przypadku już pracujących urządzeń możliwości te są znacznie ograniczone.

W Polsce walczaki tak jak inne urządzenia ciśnieniowe projektuje się w oparciu o przepisy UDT WUDT-UC-WO-O/19: 2003, w których wykorzystuje się hipotezę odkształcenia postaciowego (M.T. Huber). Zakłada się stałość obciążeń, którym podlega walczak, pomija spięzzenie naprężeń na otworach oraz w ogóle nie uwzględnia się naprężeń cieplnych. Celem artykułu będzie określenie, jaki wpływ przy projektowaniu walczaków mają powyżej wymienione uproszczenia obliczeniowe oraz przedstawienie pewnych rozwiązań obliczeniowych.

1. Hipotezy wytrzymałościowe

Celem każdej hipotezy wytrzymałościowej jest zamiana przestrzennego układu naprężeń na jednoosiowy, w którym naprężenie będzie powo-

dowało podobne wyciążenie materiału, co przy przestrzennym układzie. Naprężenie te nazywamy naprężeniem zredukowanym. Do najpopularniejszych hipotez należą:

- hipoteza energii odkształcenia postaciowego (M.T. Huber)

$$\sigma_{red} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_t - \sigma_a)^2 + (\sigma_a - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_t)^2} \quad (1)$$

- hipoteza największych naprężeń stycznych (Tresca i Saint-Venant)

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (2)$$

Hipotezy te zakładają, że niebezpieczny stan zostaje osiągnięty po przekroczeniu (przez naprężenia zredukowane) granicy plastyczności. Natomiast przy obliczeniach MES, w przypadku hipotezy Tresci, wyznaczono maksymalne naprężenia styczne, które są dwa razy mniejsze od naprężeń zredukowanych $\tau_{max} = \frac{\sigma_{red}}{2}$. Z powyższego, wyniki maksymalnych naprężeń stycznych liczonych MES należy mnożyć przez dwa $\sigma_{red} = 2 \cdot \tau_{max}$.

dla ciśnienia odpowiednie składowe wynoszą:

$$\diamond \text{ naprężenia obwodowe } \sigma_{i(p)} = p \cdot \left(\frac{\left(\frac{d_z}{d_x}\right)^2 + 1}{\left(\frac{d_z}{d_w}\right)^2 - 1} \right) \quad (3)$$

Tablica 1

Hipoteza	Obliczenia analityczne		Obliczenia MES [MPa]
	Naprężenia maksymalne wg wzorów (8 i 9) [MPa]	Naprężenia średnie wg wzorów (13 i 15) [MPa]	
Hubera	111,65	100,98	111,37
Tresci	128,92	116,61	128,52