

nie zmian szybkości korozji, bez konieczności pobierania rurek do badań niszczących. Również wyniki pomiarów potencjału korozyjnego (stacjonarnego) dają informację o odporności korozyjnej rurek mosiężnych zastosowanych w danym skraplaczu, dla danych warunków wodnych.

Pomiar oporu polaryzacji jest czynnością, którą można wykonać podczas krótkiego postoju turbiny, zatrzymywanej np. w celu usuwania usterek na bloku i w związku z powyższym powinna być okresowo stosowana do oceny stanu rurek skraplaczy.

LITERATURA

- [1] Uhling N. M.: Korozja i jej zapobieganie. WTN, Warszawa 1976
- [2] Stern N. A.: Method of determining corrosion rates polarization data. *NACE*, 14 (1957)
- [3] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 80.854/98 (nie publ.)
- [4] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 72.958/99 (nie publ.)
- [5] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 96.1217/01 (nie publ.)
- [6] Stubbe J, Briquet J.: *VGB Kraftwerkstechnik*, Vol. 69,7 (1989)



Sławomir Rajca, Ewald Grzesiczek

Stan materiału kadłuba turbiny parowej po naprawie przez spawanie

Po długotrwałej eksploatacji (ponad 100 000 godz.) turbin parowych napotyka się uszkodzenia kadłubów w postaci pęknięć i deformacji. Pęknięcia najczęściej występują w strefach kadłuba pracujących powyżej temperatury 400°C, a ich liczba wzrasta ze wzrostem temperatury pracy metalu. Istnieją dwa rodzaje pęknięć:

- technologiczne — występujące w obszarze spoin naprawczych, karbów konstrukcyjnych i technologicznych,
- eksploatacyjne — (zmęczeniowe, termosokowe) w obszarach wlotu pary, w sąsiedztwie karbów konstrukcyjnych i odwodnień.

Najczęściej spotyka się pęknięcia o charakterze technologiczno-eksploatacyjnym. W zależności od głębokości i lokalizacji pęknięć jest kilka możliwości postępowania:

- pozostawienie pęknięć bez ich usuwania (krótkie, płytkie pęknięcia poza strefami koncentracji naprężeń, towarzyszące podpowierzchniowym wadom odlewniczym),
- mechaniczne usuwanie pęknięć wraz „ze złagodzeniem” powstałych karbów,
- naprawa ubytków przez spawanie:
 - „na zimno” z zastosowaniem elektrod wysokoniklowych,
 - z obróbką cieplną po spawaniu elektrodami o składzie chemicznym stopiwa zbliżonym do składu materiału odlewu.

Niezależnie od wyboru któregośkolwiek z wariantów naprawy należy mieć świadomość, że remont kadłuba nie został wykonany kompletnie. Po długotrwałej eksploatacji i doraźnych naprawach (lokalne napawanie ubytków po usuniętych pęknięciach, skrobanie płaszczyzn podziałowych) oraz towarzyszących eksploatacji sytuacjach awaryjnych (podanie „zimnej” pary, zła praca odwodnień, etc) kadłub na ogół jest w różnym stopniu zdeformowany, często utrudniającym normalny demontaż i montaż. Jeśli uwzględnić dodatkowo naprężenia wewnętrzne (poeksploatacyjne i spawalnicze), to można przyjąć, że począwszy od pewnego okresu eksploatacji (na ogół po 120 000—150 000 go-

dzinach) kolejne remonty kadłuba w większym stopniu odsuwają problem jego naprawy niż go rozwiązują. Rozsądną alternatywą dla „klasycznych” napraw kadłuba jest rewitalizacja, niezbędna przede wszystkim wtedy, gdy oczekuje się eksploatacji turbiny w czasie dłuższym niż 250 000 godzin przy zapewnieniu nominalnej sprawności i wysokiej dyspozycyjności połączonej z redukcją kosztów remontowych.

Rewitalizacja [1—3] to zespół zabiegów polegających na:

- kompleksowej ocenie stanu technicznego kadłuba na podstawie:
 - badań defektoskopowych (100% powierzchni wewnętrznych i zewnętrznych) po piaskowaniu lub śrutowaniu,
 - niszczących badań materiałowych (mikrostruktura, twardość udarność etc),
 - pomiarów geometrii,
 - obliczeń stopnia wyczerpania trwałości,
- usunięciu pęknięć powierzchniowych i napawaniu ubytków z zastosowaniem stopiwa o składzie zbliżonym do materiału odlewu,
- obróbce cieplnej kadłuba w piecu w celu:
 - usunięcia naprężeń spawalniczych,
 - usunięcia naprężeń eksploatacyjnych,
 - skorygowania geometrii,
 - zregenerowania struktury w stopniu pozwalającym na poprawę własności plastycznych,
- obróbce mechanicznej wszystkich płaszczyzn i wytoczeń wymagających legalizacji,
- regeneracji gwintów.

Co najmniej dwie ważne cechy odróżniają rewitalizację od klasycznej naprawy:

- możliwość poprawy własności plastycznych kadłuba (wzrost udarność, obniżenie temperatury przejścia w stan kruchy),
- legalizacja płaszczyzn i wytoczeń korpusu wyprostowanego i odprężonego [3].

Prawidłowo wykonana naprawa powinna przywrócić zdolność eksploatacyjną elementu i zapewnić mu wymaganą żywotność. Złącze spawane poza brakiem pęknięć i innych wad powinno charakteryzować się dobrymi własnościami mechanicznymi, znaczną plastycznością oraz wytrzymałością na pełzanie. Warunki te można spełnić poprzez dobór odpowiedniego stopiwa oraz zastosowanie odpowiedniej obróbki cieplnej po spawaniu [4]. W praktyce stosuje się następujące metody naprawy przez spawanie odlewanych części turbin:

- a) spawanie bez podgrzewania wstępnego i obróbki cieplnej po spawaniu przy użyciu elektrod stopowych chromowo-niklowych (18/8) lub stopowych wysokoniklowych,
- b) spawanie elektrodami wysokoniklowymi bez podgrzewania wstępnego z obróbką cieplną ($\sim 680^{\circ}\text{C}$);
- c) spawanie z podgrzewaniem wstępnym bez końcowej obróbki cieplnej lub zamiast niej z wyżarzaniem międzysciegowym przy użyciu elektrod, których stopiwo ma skład chemiczny zbliżony do składu chemicznego materiału rodzimego, przy prawidłowym spawaniu z wyżarzaniem międzysciegowym twardość SWC jest zbliżona do twardości złącza spawanego [5, 6];
- d) spawanie z podgrzewaniem wstępnym przy użyciu elektrod, których stopiwo ma skład chemiczny zbliżony do składu chemicznego materiału rodzimego; podgrzewanie wstępne miejsca spawania ma na celu zmniejszenie szybkości chłodzenia w procesie spawania, a w konsekwencji do ograniczenia wzrostu twardości oraz pojawienia się pęknięć; temperatura i sposób podgrzewania przed spawaniem zależą od gatunku staliwa, grubości elementów spawanych oraz kształtu odlewu; po spawaniu wykonuje się objętościową obróbkę cieplną (w piecu).

Badania własne

Geneza problemu

Trudnym do rozwiązania zagadnieniem podczas naprawy „na zimno”, niezależnie od materiału stopiwa, jest powstawanie karbów strukturalnych [7, 8] charakteryzujących się znacznym, dochodzącym nawet do 100% zróżnicowaniem twardości (także plastyczności), strefy SWC i materiału rodzimego oraz dodatkowo nadmiernym zróżnicowaniem w obszarze spoina/materiał rodzimy:

- współczynników rozszerzalności cieplnej (wzrost naprężeń cieplnych w złączu),
- potencjałów elektrochemicznych (przyspieszona korozja elektrochemiczna złącza).

Dwa ostatnie efekty występują ze szczególnym nasileniem w obszarze spoin austenitycznych. W praktyce, w takich przypadkach obserwuje się często pęknięcia w miejscu wykonanej naprawy już po roku od jej przeprowadzenia [9].

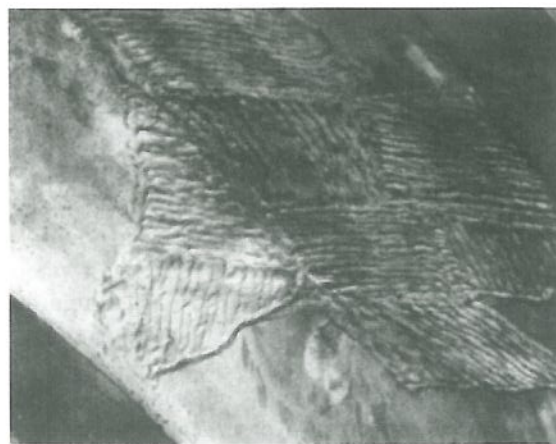
Cel i przedmiot badań

Celem badań było określenie własności złącza spawanego w miejscu naprawy po usunięciu pęknięcia powierzchniowym kadłuba turbiny TK-200 wykonanego ze staliwa L17HMF. Naprawę wykonano przy użyciu elektrody o składzie chemicznym zbliżonym do materiału rodzimego. Spawanie przeprowadzono z podgrzewem wstępnym.

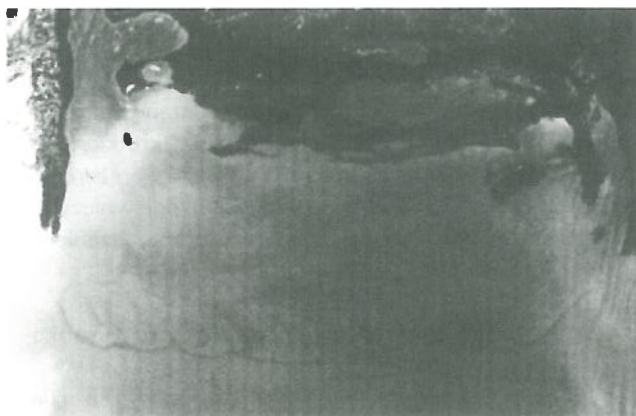
Po spawaniu kadłub obrobiono cieplnie w piecu korygując jednocześnie jego geometrię na drodze termicznej.

Spoinę naprawczą przedstawiono na rysunku 1, strukturę materiału oraz własności odpowiednio na rysunku 2 i w tabeli 1.

a)



b)



Rys. 1. Miejsce naprawy rozległego ubytku po usunięciu pęknięcia powierzchniowym (a) oraz makrostruktura fragmentu wycinka przeznaczzonego do badań (b)

Tabela 1

Własności kadłuba w stanie poeksploatacyjnym

Własności materiału	Wynik badania
Mikrostruktura	ferrytyczno-bainityczna
Wielkość ziarna	3/6 wg PN-84/H-04507
Udarność	1,5 daJ/cm ²
Twardość	145 – 152 HV ₃₀



Rys. 2. Struktura materiału kadłuba w stanie poeksploatacyjnym w sąsiedztwie strefy naprawionej przez spawanie (rys. 1a), trawiono nitałem, pow. 200x

Zakres i wyniki badań

Po obróbce kadłuba w piecu pobrano wycinek z miejsca naprawy przez spawanie (rys. 1 i 2). Badania makrostruktury (rys. 1b) pozwoliły ujawnić obszary staliwa, SWC i materiał spoiny, co stworzyło możliwość określenia ich własności i jednocześnie porównanie ich z własnościami staliwa w stanie poeksploatacyjnym. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 3 w tabeli 2.

Tabela 2

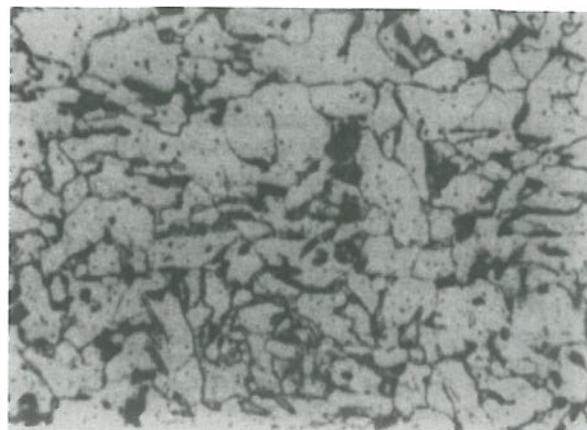
Własności naprawionego przez spawanie kadłuba turbiny TK-200 po rewitalizacji

Miejsce badań	Własności materiału	Wynik badania
SPOINA	mikrostruktura wielkość ziarna* udarność twardość	ferrytyczno-bainityczna 5/7 8,7–14,0 daJ/cm ² 136–158 HV ₃₀
SWC	mikrostruktura wielkość ziarna* udarność twardość	ferrytyczno-bainityczna 5/8 6,0–7,6 daJ/cm ² 134–142 HV ₃₀
MATERIAŁ RODZIMY	mikrostruktura wielkość ziarna* udarność twardość	ferrytyczno-perlityczno-bainityczna 6/8 4,4–5,8 daJ/cm ² 145–154 HV ₃₀

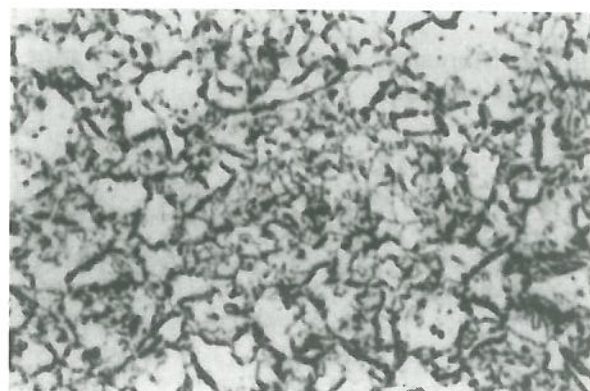
* wg PN-84/H-04507



SPOINA



SWC



MATERIAŁ RODZIMY

Rys. 3. Struktura kadłuba w miejscu przeprowadzonej naprawy po obróbce cieplnej w piecu, trawiono nitałem, pow. 250x

Podsumowanie i wnioski

Wyniki badań materiału kadłuba w stanie poeksploatacyjnym oraz strefy naprawionej przez spawanie i odpowiednio obrobionej cieplnie wskazują, że:

- materiał kadłuba po rewitalizacji ma znacznie wyższą plastyczność od wartości wymaganej (3,5 daJ/cm²), zarówno w obszarze spoiny naprawczej, SWC, jak i materiału rodzimego,
- nie występuje, towarzyszący naprawom przy użyciu stopów o wysokiej zawartości niklu i chromu, karb strukturalny będący często źródłem pęknięć w krótkim czasie po wykonaniu naprawy.

Wyniki badań wskazują, że będąca elementem rewitalizacji, odpowiednia technologia naprawy przez spawanie oraz obróbki cieplnej prowadzi ewidentnie do wydłużenia żywotności kadłuba turbiny [3, 10], co potwierdzają wyniki aktualnie wykonywanych badań kadłubów turbin i komór zaworowych, rewitalizowanych jeszcze w połowie lat dziewięćdziesiątych.

LITERATURA

- [1] Dobosiewicz J.: Zasady naprawy kadłubów turbin parowych. *Energetyka* 1985, nr 6
- [2] Dobosiewicz J.: Wpływ eksploatacji na zmiany własności mechanicznych metalu kadłubów turbin parowych. *Energetyka* 1992, nr 1
- [3] Stachura S., Dobosiewicz J., Trzeczyski J., Grzesiczek E.: Dotychczasowe doświadczenia związane z rewitalizacją korpusów turbin parowych. *Biuletyn Pro Novum* nr 1/1996
- [4] Butnicki S.: Spawalność i kruchość stali. WNT, Warszawa 1979
- [5] Pasierb R.: Spawanie żarowytrzymałych stali chromowo-molibdenowo-wanadowych. WNT, Warszawa 1982
- [6] Pasierb R.: Spawanie pękniętych stalowych części turbin. *Przegląd Spawalnictwa* 1988, nr 11
- [7] Gałka W., Romanowski Z.: Wpływ sposobu naprawy na własności materiału walcza kotła OP-230. *Energetyka* 2000, nr 6
- [8] Trzeczyski J.: O niektórych nowych sposobach naprawy elementów grubościennych kotłów i turbin — polemika. *Energetyka* 2000, nr 10
- [9] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 31.1152/2001. Wykonanie kompleksowych badań diagnostycznych komór zaworów regulacyjnych D_n125-2 szt turbozespołu 13P100
- [10] Trzeczyski J.: Żywotność urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych po ich modernizacji. *Energetyka* 2000, nr 12

□

Mgr inż. Stanisław Pawlik-Dobrowolski, mgr inż. Andrzej Winnicki
Elektrownia Halemba

Ocena drgań rurek skraplacza na przykładzie skraplacza turbiny TK-50

Częstotliwość drgań rurek przy wirowaniu sprężystej cieczy

Connors (1970 r.) [1] podał wyliczenie szybkości krytycznej u_{co} powyżej której wystąpią drgania od wirowania sprężystej cieczy.

$$u_{co} = \beta \cdot f_{ns} \cdot d_o \sqrt{\frac{w \cdot \delta_o}{g_x \cdot d_o^2}} \quad [\text{m/s}]$$

gdzie:

- β — wielkość niestateczna (tablica nr 1);
- δ_o — logarytmiczny dekrement tłumienia drgań wiązek rurek, (wyjaśnienie w dalszym tekście);
- g_x — gęstość medium w płaszczu wymiennika (poz. 11. Tablica 1) [10]; kg/m³;
- f_{ns} — częstotliwość drgań własnych rurek z uwzględnieniem sił wzdłużnych (tablica 2A i 2B [9]); Hz;
- w — ciężar 1 mb rurki z wodą (str. 135) [6]; kg/m.

Tablica 1

Wielkość niestateczna β

Podziałka kątowa	Stosunek podziałki rurek do średnicy		
	1,25	1,33	1,50
30°	4,6	5,2	6,8
60°	3,8	4,0	4,1
90°	3,9	3,9	4,1
45°	3,9	4,5	5,7

Jeżeli szybkość medium w płaszczu u , [10] jest mniejsza od u_{co} , to nie występują drgania od wirowania sprężystej cieczy.

δ_o jest to logarytmiczny stosunek kolejnych maksymalnych amplitud drgań wiązki rurek tłumionych w ośrodku spokojnego powietrza. Jest on miarą charakterystycznego tłumienia drgań, a zależy od materiału rurki, geometrii wiązki i lepkości medium w wymienniku.

Do obliczeń stosuje się:

- δ_o — 0,03 dla gazów,
- δ_o — 0,1 dla cieczy.

Dla rozpatrywanych skraplaczy jest $u < u_{co}$, czyli nie występują drgania od wirowania sprężystej cieczy. Wyjątkiem jest skrajne przęsło ($f_{nsk} = 1,93$ Hz) skraplacza o czterech przegrodach, rurkach $24 \times 1,5$ MC70 w lecie — patrz tablica 2A [9] gdzie $u > u_{co}$.

Drgania akustyczne

Są one podobne do fali głosowej w gwizdku. Występująca intensywność głośności może towarzyszyć spadkowi ciśnienia w wymienniku. Nie zdarzyły się jednak poważne uszkodzenia mechaniczne w wyniku drgań akustycznych. Szybkość głosu w cieczach jest za wysoka, by wywołać problemy akustyczne.

Częstotliwość akustyczna jest związana z liczbą tonacji (n), a najmniejsza wartość tonu jest wydobywana gdy $n = 1$, tj. ton podstawowy.