

Wpływ pełzania na uszkodzenia złącza spawanego rurociągu pary świeżej

The effect of creep on the welded joint of steam pipeline damage

Streszczenie

W artykule przedstawiono opis uszkodzenia głównego rurociągu parowego po przepracowaniu ponad 251 tyś. h powstałego wskutek wystąpienia pęknięcia połączenia spawanego w strefie wpływu ciepła (SWC) spowodowanego zjawiskiem pełzania.

Opisano również zabieg polegający na wymianie uszkodzonego odcinka rurociągu ze znacznym stopniem wyczerpania materiału oraz uszkodzonym połączeniem spawanym na odcinek o identycznych wymiarach i w tym samym gatunku materiału pobrany z bloku energetycznego wycofanego z eksploatacji kilka lat wcześniej o znacząco niższym stopniu wyczerpania.

Przedstawiono wyniki badań metalograficznych połączeń spawanych w zakresie oceny mikrostruktury w poszczególnych strefach, tj. w materiale rodzimym (MR), strefie wpływu ciepła (SWC) oraz spoinie (S) uszkodzonego rurociągu oraz po zabiegu wymiany.

Zwrócono uwagę na konieczność poszerzenia prowadzonych badań diagnostycznych elementów poddanych długotrwałej eksploatacji, a w szczególności elementów pracujących w warunkach pełzania o diagnostykę opartą na określaniu stopnia degradacji mikrostruktury połączeń spawanych tych elementów.

Słowa kluczowe: diagnostyka, rurociągi parowe, połączenia spawane, pełzanie

Abstract

The paper describes damage to a main steam pipeline which has been in operation for 251 thousand hours and which occurred as a result of a crack in a welded joint in the heat affected zone (HAZ) caused by the creep effect.

This article describes the replacement of the damaged sector of the pipeline with a high factor of material depletion and with a damaged welded joint in a sector with identical dimensions with the same grade of material taken from a phased-out power unit several years earlier with a significantly lower degree of material depletion.

The findings present the results of the welded joint metallographical tests in the range of microstructural assessment, in particular such areas as the parent material (PM), the heat affected zone (HAZ), the damaged welded joint (W) and the pipeline after replacement.

Attention was drawn to the necessity to widen diagnostic tests of elements used in long-time operation, especially creep effected elements, by introducing diagnostic tests based on defining the level of microstructure degradation of welded joints of such elements.

Keywords: diagnostic testing, steam pipelines, welding joints, creep

Mgr inż. Paweł Urbańczyk – Urząd Dozoru Technicznego; **dr hab. inż. Jacek Słania, prof. IS** – Instytut Spawalnictwa, Gliwice; **dr hab. inż. Grzegorz Golański** – Politechnika Częstochowska; **mgr inż. Miroslaw Matusik** – Zakłady Remontowe Energetyki Katowice.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: jacek.slania@is.gliwice.pl

Wstęp

Stale stosowane w budowie instalacji energetycznych to głównie stale żarowytrzymałe cechujące się odpornością na korozję, działanie wysokiej temperatury i wysoką odpornością na pełzanie [1].

Powszechnie w energetyce, szczególnie do wytwarzania rurociągów pary świeżej i wtórnie przegrzanej stosuje się stale chromowo-molibdenowo-wanadowe. Są to na ogół stale niskostopowe, nisko- lub średniowęglowe o strukturze ferrytyczno-bainitycznej, bainitycznej oraz ferrytyczno-bainityczno-perlitycznej [2, 3-5].

Długotrwała eksploatacja tych stali w warunkach pełzania prowadzi do degradacji ich mikrostruktury w wyniku procesów wydzieleniowych i generowania porów, pustek, mikro- i makropęknięć, co może powodować uszkodzenia czy zniszczenie urządzeń lub ich elementów [2, 6]. Powstające uszkodzenia struktury są nienaprawialne [2].

Stabilność mikrostruktury stali Cr-Mo-V zależy w dużej mierze od składu chemicznego stali i zabiegów cieplnych, jakim poddawany jest materiał podczas wytwarzania, co ma bezpośredni wpływ na otrzymaną mikrostrukturę w stanie dostawy.

Metody oceny trwałości elementów w warunkach pełzania

Istnieje wiele teorii i opracowań, w których metody wyznaczania trwałości resztkowej oparte są na ocenie mikrostruktury, w myśl stwierdzenia, że w mikrostrukturze materiału zakodowane są wszystkie informacje o dotychczasowej eksploatacji urządzenia bądź elementu [2, 3, 6, 7]. Dlatego kluczową staje się ocena mikrostruktury materiału i oszacowanie na tej podstawie czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji takiego elementu. Przy prezentowanym podejściu wszelkie informacje dotyczące eksploatacji nie są aż tak istotne, nabierają za to znaczenia takie czynniki jak właściwy dobór narzędzi i metod badawczych, które doprowadzą do ujawnienia cech badanego materiału [2, 8].

W [6] wyróżniono dwie grupy metod oceny stanu i prognozowania dalszej bezpiecznej eksploatacji materiałów elementów ciśnieniowych pracujących w warunkach pełzania, a mianowicie:

- metody oparte na przeprowadzeniu prób i badań materiałowych, które wymagają bezpośredniego dostępu do elementu, wykonywania pomiarów i badań oraz pobrania próbek;
- metody oparte na prowadzeniu obliczeń, w których uwzględnia się parametry obliczeniowe i rzeczywiste elementu bądź urządzenia.

Obecnie stosowane programy obliczeniowe oparte na metodzie elementów skończonych (MES) są powszechnie stosowane w diagnostyce w celu np. okre-

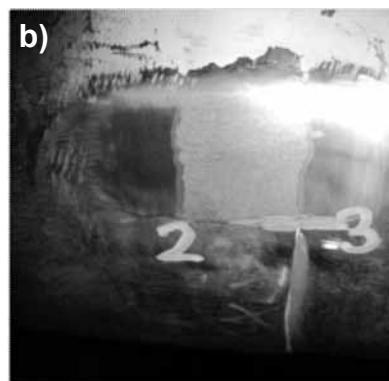
ślenia miejsc o zwiększonej koncentracji naprężeń. Ma to szczególne znaczenie podczas wyboru miejsc do pobierania próbek czy wykonania pomiarów i badań diagnostycznych. Należy zwrócić uwagę, że w wielu przypadkach stan naprężeń np. instalacji rurociągowej może być daleki od projektowego, m.in. z powodu błędów montażowych, konserwacyjno-remontowych, modernizacyjnych, jak również eksploatacyjnych samego rurociągu, a także jego podpór, zawieszzeń, elementów kompensacyjnych itp.

Uszkodzenia mikrostruktury złącza spawanego na przykładzie rurociągu pary świeżej

Opis badań

Podczas prowadzenia badań diagnostycznych, związanych z przypadającą rewizją główną rurociągu pary świeżej, stwierdzono wystąpienie uszkodzenia o charakterze pęknięcia obwodowego w strefie wpływu ciepła (SWC) złącza doczołowego łączącego łuki gięte na odcinku od głównej zasuwy parowej (GZP) do trójnika rozdzielającego parę przed wejściem na turbinę (rys. 1). Rurociąg o wymiarach $\varnothing 323 \times 32$ mm był wykonany ze stali 12HMF. Czas eksploatacji rurociągu wynosił 251 124 h, ciśnienie pracy 13,0 MPa, a temperatura pary 540°C.

W związku z przebiegiem pęknięcia brano pod uwagę uszkodzenie o charakterze pełzaniowym, a ze względu na lokalizację wykonanego złącza zakładano możliwość wystąpienia w miejscu uszkodzenia zwiększonej koncentracji naprężeń spowodowanych brakiem samokompensacji lub jej ograniczonym zakresem na zniszczonym odcinku rurociągu.



Rys. 1 Rurociąg pary świeżej: a) miejsce wystąpienia uszkodzenia rurociągu, b) określenie rozmiaru połączenia spawanego przed wykonaniem badań metalograficznych – replikowych.

Fig. 1. Steam pipeline: a) place of damage to a steam pipeline; b) scale of welded joint before metallographical examination – replica

Przed przystąpieniem do naprawy uszkodzenia zalecono wykonanie badań NDT w zakresie 100% UT oraz 100% MT, w celu określenia wielkości zalegania niezgodności i badań metalograficznych połączenia spawanego. Zastosowano metodę replik matrycowych obejmującą materiał rodzimy (MR), strefę wpływu ciepła (SWC) po obu stronach uszkodzonego połączenia spawanego i spoinę (S). Badania miały na celu wykluczenie możliwości zastosowania podczas montażu nieodpowiedniego materiału dodatkowego lub o niższych właściwościach wytrzymałości na pełzanie w porównaniu z zakładanym w projekcie.

Tablica I. Wyniki badań metalograficznych materiału złącza spawanego w miejscu uszkodzenia: MR – materiał rodzimy, SWC – strefa wpływu ciepła, S – spoina, GZP – główna zasuwka parowa
Table I. Results of metallographical examinations of welded joint in place of damage: (MR) the parent material, (SWC) the heat affected zone, (S) the welded joint, (GZP) the main steam shut-off valve

Miejsce badania	Opis struktury	Stan materiału – stopień wyczerpania	Twardość HV10
MR od strony GZP (rys. 3)	ferrytyczno-bainityczna, liczne drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu; w bainicie węgliki częściowo skoagulowane; na granicach ziaren liczne wydzielenia tworzące „łańcuszki”	zmiany struktury bainitu – klasa I procesy wydzieleniowe – klasa a procesy uszkodzenia – klasa 0 główna klasa struktury – klasa 2 stopień wyczerpania materiału – $03 \pm 0,4$ (t/t ₂)	127
SWC od strony GZP (rys. 4)	ferrytyczno-bainityczna, liczne drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu; w bainicie węgliki częściowo skoagulowane; na granicach ziaren liczne wydzielenia tworzące „łańcuszki”; początki zachodzenia procesów uszkodzeń wewnętrznych o charakterze pojedynczych pustek na granicach ziaren	zmiany struktury bainitu – klasa I/II procesy wydzieleniowe – klasa a/b procesy uszkodzenia – klasa A/1 główna klasa struktury – klasa 2/3 stopień wyczerpania materiału – $05 \pm 0,6$ (t/t ₂)	148
S od strony GZP (rys. 5)	drobnoziarnista mikrostruktura ferrytyczno-bainityczna; w bainicie węgliki częściowo skoagulowane; liczne drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu, na granicach ziaren liczne wydzielenia tworzące „łańcuszki”	zmiany struktury bainitu – klasa I/II procesy wydzieleniowe – klasa a/b procesy uszkodzenia – klasa 0 główna klasa struktury – klasa 2 stopień wyczerpania materiału – $03 \pm 0,4$ (t/t ₂)	163
SWC od strony turbiny (rys. 6) – miejsce wystąpienia uszkodzenia	ferrytyczno-bainityczna, liczne drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu; w bainicie węgliki częściowo skoagulowane; na granicach ziaren liczne wydzielenia tworzące „łańcuszki”; oraz liczne ukierunkowane pustki również tworzące „łańcuszki”	zmiany struktury bainitu – klasa I/II procesy wydzieleniowe – klasa a/b procesy uszkodzenia – klasa B/2 główna klasa struktury – klasa 3/4 stopień wyczerpania materiału – $0,6$ (t/t ₂)	121
SWC od strony turbiny (rys. 7) – miejsce wystąpienia uszkodzenia	ferrytyczno-bainityczna, liczne drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu; w bainicie węgliki częściowo skoagulowane; na granicach ziaren liczne wydzielenia tworzące „łańcuszki” oraz koalescencja pustek	zmiany struktury bainitu – klasa I/II procesy wydzieleniowe – klasa a/b procesy uszkodzenia – klasa B/3 główna klasa struktury – klasa 4/5 stopień wyczerpania materiału – $0,7 \pm 0,8$ (t/t ₂)	121
MR od strony turbiny (rys. 8)	ferrytyczno-bainityczna, liczne drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu; na granicach ziaren ferrytu liczne wydzielenia tworzące „łańcuszki” oraz nieregularnie rozmieszczone pojedyncze pustki	zmiany struktury bainitu – klasa I/II procesy wydzieleniowe – klasa a/b procesy uszkodzenia – klasa A/1 główna klasa struktury – klasa 2/3 stopień wyczerpania materiału – $05 \pm 0,6$ (t/t ₂)	126

Metodyka i wyniki badań

Powierzchnię elementu do badań metalograficznych zszlifowano i polerowano, a następnie trawiono roztworami właściwymi dla danego materiału. Wstępną ocenę mikrostruktury przeprowadzono przy użyciu przenośnego mikroskopu metalograficznego przy powiększeniach 100x i 500x (tabl. I, rys. 3-8).

Badania metalograficzne wykonano metodą replik z zastosowaniem folii triafolowej zmiękczonej acetonem. Repliki po napyleniu węglem poddano badaniu za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego Philips XL-30.

Klasyfikacji mikrostruktury badanych elementów dokonano wg diagramu przedstawionego na rysunku 2.

KLASY PROCESÓW DEGRADACJI STRUKTURY		
PROCESY USZKODZENIA	ZMIANY STRUKTURY PERLITU/BAINITU	PROCESY WYDZIELENIOWE

GLÓWNA KLASA STRUKTURY

STOPIEŃ WYCZERPANIA
t/t_z

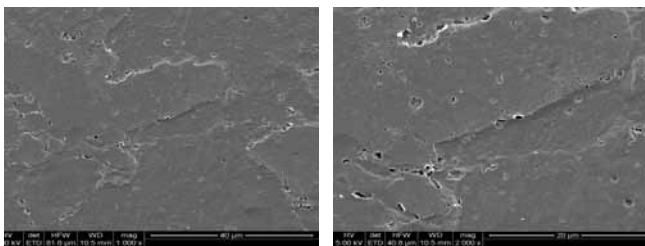
Klasyfikacja mikrostruktury badanego elementu i stopień wyczerpania materiału

0	0	0	0
A	I	0	1
	II	a	2
B		II	a
	b		4
C	II	b	5
D			6
			7

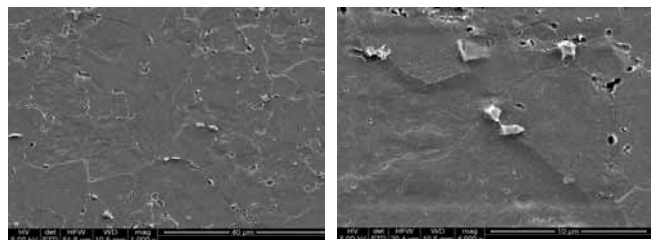
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

0 - bez zmian, jak w materiale rodzimym
 A - pojedyncze pory
 B - pory zorientowane
 C - mikropęknięcia
 D - makropęknięcia
Zmiany strukturalne:
 0 - bez zmian, jak w materiale rodzimym
 I - częściowy rozpad obszarów perlit/bainit
 II - rozkład bainitu/perlitu, ferryt + węgliki
Wydzielenia:
 0 - bez zmian, jak w materiale rodzimym
 a - koagulacja, rozrost węglików w bainicie, węgliki na granicach ziaren
 b - rozkład i sferoidyzacja węglików, siatka węglików
 t_z - maksymalny czas pracy
 t - rzeczywisty czas eksploatacji

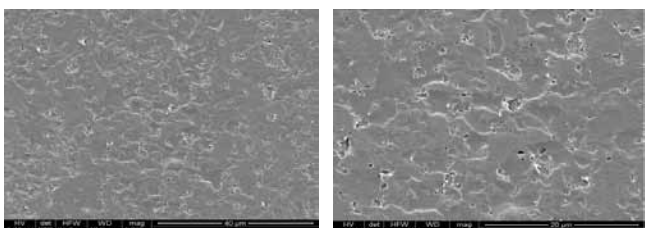
Rys. 2. Diagram klasyfikacji mikrostruktury i stopnia wyczerpania materiału [8, 11]
 Fig. 2. Microstructural classification and degree of material depletion diagram [8, 11]



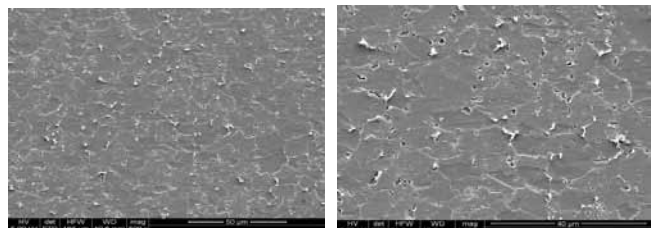
Rys. 3. Mikrostruktura MR połączenia spawanego od strony GZP – cieniowana replika triafolowa SEM
 Fig. 3. Microstructure of PM of welded joint on the the main steam shut-off valve (GZP) side – shadowed replica SEM



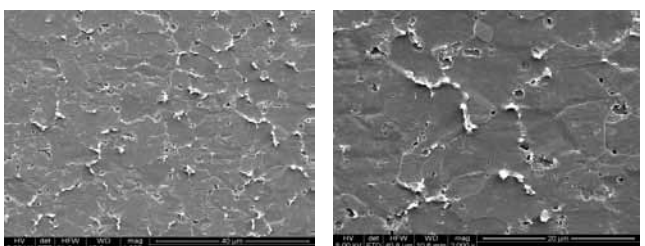
Rys. 4. Mikrostruktura SWC połączenia spawanego od strony GZP – cieniowana replika triafolowa SEM
 Fig. 4. Microstructure of HAZ of welded joint on the the main steam shut-off valve (GZP) side – shadowed replica SEM



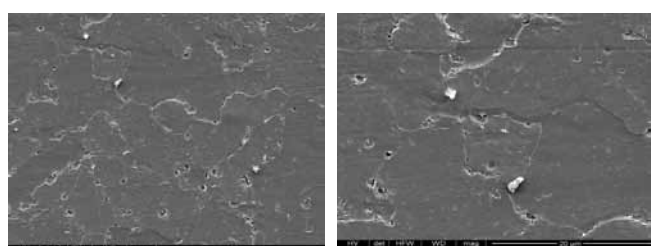
Rys. 5. Mikrostruktura S połączenia spawanego – cieniowana replika triafolowa SEM
 Fig. 5. Microstructure of weld (W) of welded joint – shadowed replica SEM



Rys. 6. Mikrostruktura SWC połączenia spawanego od strony turbiny (miejsce wystąpienia uszkodzenia) – cieniowana replika triafolowa SEM
 Fig. 6. Microstructure of HAZ of welded joint on the turbine side (in place of damage) – shadowed replica SEM



Rys. 7. Mikrostruktura SWC od strony turbiny (miejsce wystąpienia uszkodzenia – replika nr 2) – cieniowana replika triafolowa SEM
 Fig. 7. Microstructure of HAZ of welded joint on the turbine side (in place of damage – replica no. 2) – shadowed replica SEM



Rys. 8. Mikrostruktura MR od strony turbiny – cieniowana replika triafolowa SEM
 Fig. 8. Microstructure of PM of welded joint on the turbine side (in place of damage) – shadowed replica SEM

Sposób oceny badanej stali oraz kwalifikowania jej do dalszej eksploatacji przeprowadzono dodatkowo zgodnie z „Zasadami diagnostyki i oceny trwałości eksploatacyjnej elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania” wydanymi przez Urząd Dozoru Technicznego [6]. Pomiar twardości wykonano metodą Vickersa przy obciążeniu węgelnika 10 kG (98,7 N) za pomocą przenośnego twardościomierza Krautkramer MIC 10.

Mikrostruktury materiału złącza spawanego w miejscu wystąpienia uszkodzenia przedstawiono na rysunkach 3+8, stosując następujące oznaczenia: MR – materiał rodzimy, SWC – strefa wpływu ciepła, S – spoina, GZP – główna zasuwa parowa.

Analiza wyników

Wyniki badań metalograficznych wykazały niebezpieczne wyczerpanie materiału SWC połączenia spawanego i znaczny stopień wyczerpania materiału łuku giętego (od strony turbiny). Podjęto więc decyzję o wymianie odcinkowej elementu ciśnieniowego rurociągu wraz z usunięciem SWC po obu stronach łączonych elementów. Powstał wówczas problem dopasowania elementów w istniejącej konfiguracji.

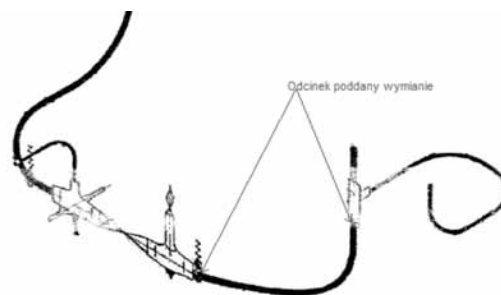
Ze względu na ograniczenia czasowe związane z pozyskaniem materiału odpowiedniego gatunku

i o odpowiednich wymiarach oraz wytworzeniem nowego elementu rurociągu podjęto decyzję o warunkowym dopuszczeniu wymiany elementu ciśnieniowego.

Zabieg ten polegał na wycięciu z bloku wycofanego z eksploatacji elementów rurociągu z tego samego materiału oraz o identycznych wymiarach i kształcie (rys. 9). Czas eksploatacji pozyskanych elementów rurociągu był znacząco krótszy od usuniętych.

W celu określenia stanu mikrostruktury pobranego materiału poddano go pełnym badaniom diagnostycznym z określeniem stopnia wyczerpania materiału, a także na podstawie badań metalograficznych określono prognozę dalszej bezpiecznej eksploatacji.

Wyniki badań metalograficznych pobranego elementu zestawiono w tablicy II oraz na rysunkach 10 i 11.



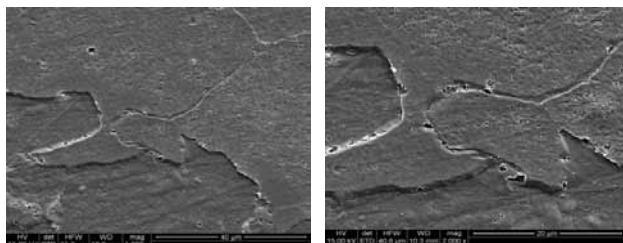
Rys. 9. Obszar badań oraz zakres wymiany elementów ciśnieniowych rurociągu pary świeżej

Fig. 9. Examination area and scope of replacement pressure elements of main steam pipe

Tablica II. Wyniki badań metalograficznych materiału elementu pobranego z bloku wycofanego z eksploatacji: MR – materiał rodzimy, SWC – strefa wpływu ciepła, S – spoina, GZP – główna zasuwa parowa

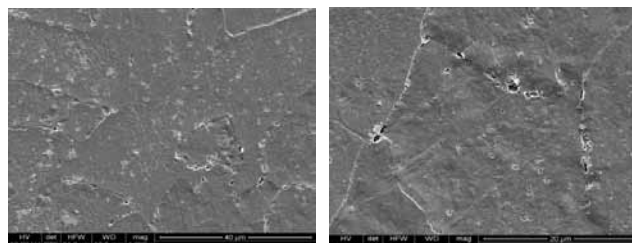
Table II. Results of metallographical examinations pressure elements taken from a phased-out power unit: (MR) the parent material, (SWC) the heat affected zone, (S) the welded joint, (GZP) the main steam shut-off valve.

Miejsce badania	Opis struktury	Stan materiału – stopień wyczerpania	Twardość HV10
MR od strony GZP (rys. 10)	ferytyczno-bainityczna, liczne drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu; w bainicie węgliki częściowo skoagulowane; na granicach ziaren nieliczne wydzielenia	zmiany struktury bainitu – klasa I procesy wydzieleniowe – klasa 0/a procesy uszkodzenia – klasa 0 główna klasa struktury – klasa 1/2 stopień wyczerpania materiału – $03 \pm 0,4 (t/t_2)$	132
MR od strony turbiny (rys. 11)	ferytyczno-bainityczna, liczne drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu; w bainicie węgliki częściowo skoagulowane; na granicach ziaren nieliczne wydzielenia	zmiany struktury bainitu – klasa I/II procesy wydzieleniowe – klasa a/b procesy uszkodzenia – klasa 0 główna klasa struktury – klasa 2/3 stopień wyczerpania materiału – $03 \pm 0,4 (t/t_2)$	134



Rys. 10. Mikrostruktura MR elementu wbudowanego w eksploatawany rurociąg pary świeżej w miejsce elementu podlegającego wymianie od strony GZP – cieniowana replika triafolowa SEM

Fig. 10. Microstructure of PM of pressure element taken from a phased-out power unit on the (GZP) the main steam shut-off valve side – shadowed replica SEM



Rys. 11. Mikrostruktura MR elementu wbudowanego w eksploatawany rurociąg pary świeżej w miejsce elementu podlegającego wymianie od strony turbiny – cieniowana replika triafolowa SEM

Fig. 11. Microstructure of PM of pressure element taken from a phased-out power unit on the turbine side – shadowed replica SEM

Po dokonaniu naprawy i obróbce cieplnej (wyżarzaniu odprężającym) wykonanych złączy poddano je powtórny badaniom metalograficznym z oceną wpływu zabiegów cieplnych na właściwości struktury wraz z określeniem stopnia wyczerpania materiału w miejscu wykonanych połączeń spawanych.

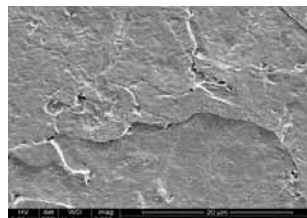
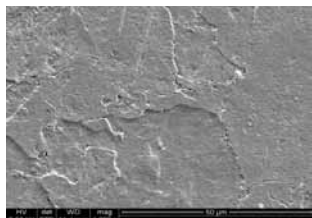
Przeprowadzone badania metalograficzne nie wykazały postępujących zmian w degradacji struktury, co pozwoliło na stwierdzenie, że właściwości elementu przed poddaniem go operacji technologicznej spawania i obróbki cieplnej zostały zachowane.

Wyniki badań metalograficznych połączeń spawanych zestawiono w tablicy III i na rysunkach 12÷15.

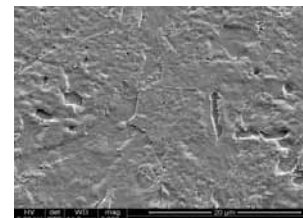
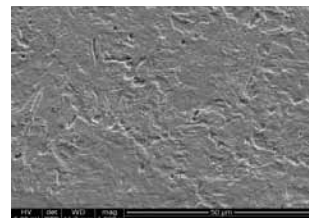
Tablica III. Wyniki badań metalograficznych połączeń spawanych wykonanych podczas łączenia wymienianych elementów ciśnieniowych: MR – materiał rodzimy, SWC – strefa wpływu ciepła, S – spoina, GZP – główna zasuwka parowa

Table III. Results of metallographical examinations of welded joints after replacement the pressure element: (MR) the parent material, (SWC) the heat affected zone, (S) the welded joint, (GZP) the main steam shut-off valve

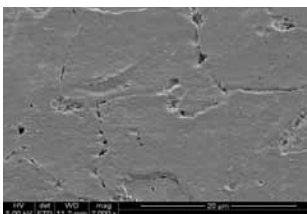
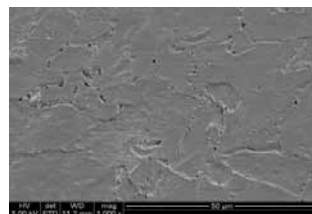
Miejsce badania	Opis struktury	Stan materiału – stopień wyczerpania	Twardość HV10
MR od strony GZP (rys. 12) (po wymianie)	ferytyczno-bainityczna, pojedyncze drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu; w bainicie węgliki częściowo skoagulowane; na granicach ziaren nieliczne wydzielenia	zmiany struktury bainitu – klasa I procesy wydzieleniowe – klasa 0/a procesy uszkodzenia – klasa 0 główna klasa struktury – klasa 1/2 stopień wyczerpania materiału – 0,3÷0,4 (t/t ₂)	130
SWC od strony GZP (rys. 13) (po wymianie)	ferytyczno-bainityczna, pojedyncze drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu; w bainicie węgliki częściowo skoagulowane; na granicach ziaren nieliczne wydzielenia	zmiany struktury bainitu – klasa I procesy wydzieleniowe – klasa 0/a procesy uszkodzenia – klasa 0 główna klasa struktury – klasa 1/2 stopień wyczerpania materiału – 0,3÷0,4 (t/t ₂)	176
MR od strony turbiny (rys. 14) (po wymianie)	ferytyczno-bainityczna, pojedyncze drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu; w bainicie węgliki częściowo skoagulowane; na granicach ziaren liczne wydzielenia tworzące „łańcuszki”	zmiany struktury bainitu – klasa I/II procesy wydzieleniowe – klasa a/b procesy uszkodzenia – klasa 0 główna klasa struktury – klasa 2/3 stopień wyczerpania materiału – 0,3÷0,4 (t/t ₂)	150
SWC od strony turbiny (rys. 15) (po wymianie)	ferytyczno-bainityczna, pojedyncze drobne wydzielenia wewnątrz ziaren ferrytu; w bainicie węgliki częściowo skoagulowane; na granicach ziaren liczne wydzielenia tworzące „łańcuszki”	procesy degradacji struktury bainitu – klasa I/II procesy wydzieleniowe – klasa a/b procesy uszkodzenia – klasa 0 stan materiału – klasa 2/3 stopień wyczerpania materiału – 0,4 (t/t ₂)	brak danych



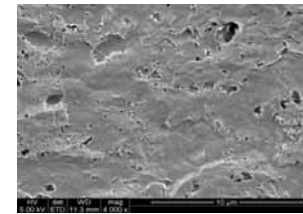
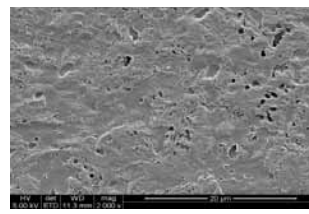
Rys. 12. Mikrostruktura MR po dokonanej wymianie i wykonaniu połączenia spawanego elementu wbudowanego w eksploatowany rurociąg pary świeżej od strony GZP – cieniowana replika triafolowa SEM
Fig. 12. Microstructure of PM of welded joints after welding the replacement pressure element in operated steam pipeline on the (GZP) the main steam shut-off valve side – shadowed replica SEM



Rys. 13. Mikrostruktura SWC po dokonanej wymianie i wykonaniu połączenia spawanego elementu wbudowanego w eksploatowany rurociąg pary świeżej od strony GZP – cieniowana replika triafolowa SEM
Fig. 13. Microstructure of HAZ of welded joints after welding the replacement pressure element in operated steam pipeline on the (GZP) the main steam shut-off valve side – shadowed replica SEM



Rys. 14. Mikrostruktura MR po dokonanej wymianie i wykonaniu połączenia spawanego elementu wbudowanego w eksploatowany rurociąg pary świeżej od strony turbiny – cieniowana replika triafolowa SEM
Fig. 14. Microstructure of PM of welded joints after welding the replacement pressure element in operated steam pipeline on the (GZP) the main steam shut-off valve side – shadowed replica SEM



Rys. 15. Mikrostruktura SWC po dokonanej wymianie i wykonaniu połączenia spawanego elementu wbudowanego w eksploatowany rurociąg pary świeżej od strony turbiny – cieniowana replika triafolowa SEM
Fig. 15. Microstructure of HAZ of welded joints after welding the replacement pressure element in operated steam pipeline on the (GZP) the main steam shut-off valve side – shadowed replica SEM

Podsumowanie

Ze względu na obecny stan wiedzy z zakresu procesów strukturalnych zachodzących w materiałach po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania, należy w prowadzeniu badań diagnostycznych elementów ciśnieniowych urządzeń i instalacji energetycznych w sposób szczególny traktować połączenia spawane.

Obecnie połączenia spawane elementów ciśnieniowych poddawane są w czasie badań okresowych badaniom nieniszczącym, takim jak m.in. VT, MT oraz UT, jednak przedstawiony w niniejszym opracowaniu przypadek sugeruje korektę podejścia diagnostycznego, tj. rozszerzenie go o badania metalograficzne.

Metody badań nieniszczących mają ograniczoną „czułość” wykrywania niezgodności powodujących uszkodzenie, które mierzone są w milimetrach. Dla metod badań opartych na defektoskopii ultradźwiękowej, których podstawową zasadą jest wykorzystywanie zjawiska odbicia fal ultradźwiękowych od powstałej nieciągłości materiału, wykrywalność powstałych niezgodności w stalach wynosi ok. 0,5 mm [10]. Oznacza to, że dla procesów degradacji zachodzących w strukturze materiału wykrywalność wad jest ograniczona do wielkości uszkodzeń makroskopowych, tj. występowania makropęknięć powstających wskutek mechanizmów pełzania.

Pojawienie się makropęknięć związane jest z końcem trzeciego okresu pełzania, tzw. pełzania przyspieszonego i oznacza wycofanie elementu z eksploatacji, a niewykrycie ich w odpowiednim czasie może prowadzić do rozszczelnienia lub poważnego uszkodzenia rurociągu.

Dodatkowo należy wziąć pod uwagę stan wiedzy oraz świadomość dotrzymywania warunków prowadzenia procesu spawania na instalacjach energetycznych w latach 60-, 70- i 80-tych. W latach, kiedy były budowane bloki energetyczne, będące obecnie w eksploatacji, również sprzęt spawalniczy, tj. jego dokładność w pomiarze parametrów prowadzonego procesu spawania, jak również przyrządy do prowadzenia procesu obróbki cieplnej po spawaniu i wyposażenie pomiarowo-badawcze były mniej dokładne, co mogło mieć istotny wpływ na jakość wykonanych połączeń spawanych.

Obecnie laboratoria wykonujące szacunkowe określanie trwałości urządzeń oraz instalacji pracujących w warunkach podwyższonej temperatury, a w szczególności pełzania opierają swoje prognozy dotyczące wyznaczenia czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji na badaniach spadku właściwości oraz stopnia wyczerpania mikrostruktury materiału podstawowych elementów wchodzących w skład takich urządzeń lub instalacji, tj. kolan trójników, odcinków prostych, komór, kolektorów itp.

Ze względu na to, że połączenie spawane jest poddawane degradującym działaniom zachodzącego procesu pełzania, a które może okazać się najłagodniejszym ogniwem pracującego urządzenia bądź instalacji, należy rozważyć konieczność prowadzenia badań i oceny mikrostruktury takiego połączenia spawanego podczas wykonywania zabiegów diagnostycznych, mających na celu wyznaczenie czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji. Szczególnie strefa wpływu ciepła, jako strefa przejściowa pomiędzy spoiną a materiałem rodzimym, może wykazywać wyższy stopień wyczerpania mikrostruktury oraz spadek właściwości wytrzymałościowych i plastycznych w porównaniu z materiałem rodzimym.

Należy również zwrócić uwagę na to, że urządzenia będące w eksploatacji, a poddawane ocenie, mogą zawierać połączenia spawane wykonane przy użyciu stopiwa o niższych właściwościach wytrzymałościowych np. na pełzanie niż łączone elementy (błąd technologiczny).

Poza tym proces spawania prowadzony jest w pewnym zakresie temperatury, przez co w złączu występują strefy o zróżnicowanej wielkości ziarna i typie struktury, co jest związane z procesami przemian zarówno fazowych, jak i wydzieleniowych zachodzących w obrębie połączenia spawanego [9]. Również zakres temperatury przeprowadzonej obróbki cieplnej może mieć wpływ na właściwości połączenia spawanego.

W związku z powyższym sugeruje się rozszerzenie badań diagnostycznych prowadzonych na elementach ciśnieniowych urządzeń czy instalacji energetycznych pracujących w warunkach pełzania, o określanie stopnia trwałości i wyznaczania możliwego czasu bezpiecznej eksploatacji, z uwzględnieniem badania połączeń spawanych.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy sformułowano następujące wnioski:

1. Podczas prowadzenia badań diagnostycznych elementów ciśnieniowych pracujących w warunkach pełzania należy poszerzyć prowadzenie oceny stopnia wyczerpania struktury o połączenia spawane, a w szczególności o badania strefy wpływu ciepła (SWC).
2. Przy prowadzeniu prac związanych z naprawą pęknięć należy dokonać analizy mechanizmu powstania uszkodzenia przez np. badania, w tym badania metalograficzne w miejscu lub w pobliżu występującego uszkodzenia.
3. Po przeprowadzeniu naprawy czy też wymiany spoiny lub części rurociągu po długim okresie eksploatacji należy wykonać ponowne kontrolne badania określające stopień degradacji struktury. Badania te mają na celu stwierdzenie bądź wykluczenie wystąpienia ewentualnych negatywnych skutków prowadzenia procesu spawania oraz obróbki cieplnej (wpływ wprowadzonego ciepła na właściwości struktury materiałów łączonych).
4. Podczas wykonywania prac związanych z zabiegami remontowo-modernizacyjnymi długo eksploatowanych urządzeń pracujących w warunkach pełzania, których wzajemne połączenia

powstały w procesie spawania, należy brać pod uwagę powyższe zalecenia. Sytuację taką trzeba rozpatrzeć w szczególności dla elementów, które przekroczyły wartość trwałości projektowej.

5. Podczas prowadzenia napraw polegających na ingerencji w połączenie spawane sugeruje się usunięcie całej strefy wpływu ciepła z połączenia spawanego, jeśli tylko warunki techniczne na to pozwalają. Najlepszą metodą określenia zakresu wymiany połączenia spawanego, a w szczególności SWC, wydaje się przeprowadzenie trawienia, analogicznego jak w procesie badań metalograficznych metodą replik matrycowych, całego bądź tylko części połączenia spawanego na obiekcie.
6. Podczas prowadzenia obróbki cieplnej należy zwracać szczególną uwagę na temperaturę odpuszczania (dla stali niskostopowych), stosowaną podczas procesu produkcyjnego materiału rodzimego, z którego wytworzony został element ciśnieniowy. Podczas prowadzenia obróbki cieplnej nie należy przekraczać tej temperatury ze względu na możliwość pojawienia się w strukturze austenitu, który po schłodzeniu może tworzyć nieodpuszczony martenzyt powodujący kruchość połączenia spawanego.

Literatura

- [1] Dobrzański L.A.: Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
- [2] Dobrzański J.: Metaloznawcza interpretacja trwałości stali dla energetyki. Open Access Library. Published since 1998 as Studies of the Institute of Engineering Materials and Biomaterials, Vol. 3, 2011.
- [3] Schwarz M., Schubert J., Loog D., Maile K., Seliger P., Körner P., Lüdenbach G.: Microstructure Rating Charts for Evaluating the Microstructure Steels for High-Pressure Piping and Boiler Components. VGB – TW 507e. VGB Technischen Vereinigung der Grosskraftwerksbetreiber E.V., Essen 2005.
- [4] Staub F.: Metaloznawstwo. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
- [5] Maciejny A.: Przemiany strukturalne stali Cr-Mo-V i ich wpływ na mechanizm pęknięcia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 229. Gliwice 1968.
- [6] Opracowanie Urzędu Dozoru Technicznego, Zasady diagnostyki i oceny trwałości eksploatacyjnej elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania, Warszawa 2013.
- [7] ECCC Recommendations – Vol. 6 [Issue 1] Residual Life Assessment and Microstructure. Edited by S. Concari. Pieczenza 2005.
- [8] Hernas A., Dobrzański J.: Trwałość i niszczenie elementów kotłów i turbin parowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- [9] Dobosiewicz J., Zbroińska-Szczechura E.: Trwałość spoin rurociągów wykonanych ze stali martenzytycznych. Biuletyn Pronovum 2010, 1, 825.
- [10] Mackiewicz S., Szelażek J., Gutkiewicz P.: Badania ultradźwiękowe procesu degradacji stali eksploatowanych w energetyce. Energetyka 2013, 10, 738.