



# Stale nierdzewne w energetyce – problemy i doświadczenia

**Adrian Sobczyszyn**

Pro Novum Sp. z o.o.

**Kamil Staszałek**

Pro Novum Sp. z o.o.

**Krzysztof Brunné**

Pro Novum Sp. z o.o.

**Stanisław Noworyta**

TAURON Wytwarzanie S.A.

**Dariusz Gała**

TAURON Wytwarzanie SA, oddział Elektrownia Łaziska

**Tomasz Damm**

ENEA Elektrownia Połaniec S.A.

## Streszczenie

W obszarze elementów ciśnieniowych kotła jednym z najbardziej powszechnych, a zarazem jednym z najbardziej niebezpiecznych mechanizmów niszczących jest korozja. O korozji myśli się już na etapie projektowania, kiedy dobiera się np. nadatki grubości ścianek, ale przede wszystkim odpowiedni dla danych warunków pracy gatunek stali. Tutaj swoje zastosowanie znajdują stale odporne na korozję, które dzięki swoim właściwościom są w stanie zapewnić elementom ciśnieniowym odporność na korozję. Nie ma jednak stali idealnej i również stale odporne na korozję, poza wieloma korzyściami, mogą być dla użytkownika źródłem problemów. W niniejszym artykule przedstawiamy wieloletnie doświadczenie związane z eksploatacją elementów wykonanych ze stali odpornej na korozję. Poszczególne przykłady uszkodzeń to rzeczywiste awarie lub problemy zgłoszone przez naszych klientów.

**Słowa kluczowe:** elementy ciśnieniowe, korozja, stale odporne na korozję

## Wprowadzenie

Energetyka jaką znamy z „własnego podwórka” opiera się głównie, w przypadku elementów krytycznych kotła (tj. komór i węzownic pracujących w warunkach pełzania), na sprawdzonych na przestrzeni lat gatunkach stali stopowych typu Cr-Mo. Stale, takie jak 13CrMo4-5 (15HM) i 10CrMo9-10 (10H2M), są z powodzeniem stosowane od lat, jednak zmiany w warunkach pracy kotłów oraz modyfikacje stosowanego paliwa wymuszają zastosowanie stali o lepszych parametrach mechanicznych w podwyższonych temperaturach (martenzytyczne typu 9÷12% Cr) czy wyższej odporności na korozję (stale ferrytyczne o zawartości chromu 13÷26%, austenityczne, które oprócz podobnego udziału chromu zawierają dodatek niklu w granicach 9÷22%).

## Co zapewnia odporność na korozję?

W Polsce powszechnie przyjęło się określać stale chromowe mianem stali nierdzewnych, a stale chromowo-niklowe stalami kwasoodpornymi. Poszczególne grupy dzielone są dalej na gatunki, różniące się zawartością węgla oraz rodzajem i zawartością dodatków stopowych. Ma to wpływ na własności antykorozyjne stali. Szczególne znaczenie ma zmiana potencjału elektrochemicznego stali z ujemnego na dodatni w przypadku udziału chromu min. 13%, który dla tej wartości zachodzi skokowo. Oznacza to, że stopy zawierające mniej niż 13% ulegają korozji właściwie w taki sam sposób jak czyste żelazo. Stale o zawartości przekraczającej 13% zachowują się jak metale szlachetne tzn. mają dodatni potencjał, nie rdzewieją i nie utleniają się w powietrzu, wodzie, niektórych kwasach, solach i zasadach. Ze względu na skład chemiczny i mikrostrukturę stale odporne na korozję możemy pogrupować na [1]:

- Niskostopowe stale odporne na korozję – tzw. trudnordzewiejące, zawierające najczęściej Cr, Cu, Al, Ni i P.
- Stale chromowe – o mikrostrukturze martenzytycznej, zawierające 12÷17% chromu oraz inne dodatki w udziale do 1,5%.

- Stale wysokochromowe – o mikrostrukturze ferrytycznej, zawierające 15÷30% chromu, niewielką ilość węgla i dodatki stopowe w postaci Mo, Nb i Ti.
- Stale chromowo-niklowe – o mikrostrukturze austenitycznej, zawierające 15÷30% chromu, 8÷20% niklu i dodatki stopowe w postaci Mo, Nb i Ti.

Z tych faktów wynikają główne cechy omawianych gatunków stali:

- wysoka odporność na korozję,
- zdolność tworzenia warstwy pasywnej,
- odporność na wysokie temperatury.

### Problemy w stalach odpornych na korozję

Stale odporne na korozję pomimo swojej nazwy mogą jej ulec. Gwarancję odporności na korozję daje m.in. reakcja tlenu z atomami chromu na powierzchni stali, tworząc warstwę pasywną  $Cr_2O_3$ . To zwarta cienka warstwa tlenków, która hamuje dalsze utlenianie stali i tworzy tym samym unikatową ochronę na powierzchni. W związku z tym ogniska korozji należy się spodziewać w momencie, gdy warstwa pasywna nie została wytworzona lub uległa choćby punktowemu uszkodzeniu. W takich „odkrytych” obszarach może zatem dojść do pojawienia się dobrze znanych typów korozji:

- korozja równomierna – pojawia się przy oddziaływaniu silnych kwasów lub ługów na całą powierzchnię materiału, szczególnie gdy warstwa pasywna jest niestabilna,
- korozja wżerowa – za pojawienie się tego typu korozji odpowiada lokalne uszkodzenie warstwy pasywnej z jednoczesnym brakiem możliwości jej regeneracji w tym obszarze,
- korozja międzykrystaliczna – występuje w przypadku nieprawidłowej obróbki cieplnej, procesu spawania lub długotrwałej eksploatacji w temperaturach 450-850°C dla stali austenitycznej oraz powyżej 900°C stopni dla stali ferrytycznych. Niszczenie metalu polega na tworzeniu się węglików chromu w obszarach przygranicznych, co skutkuje spadkiem zawartości chromu poniżej 12%,
- chlorkowa korozja naprężeniowa (SCC) – czynniki odpowiadające za pojawienie się tego typu korozji to podatność stali na rozwój korozji (stan powierzchni, skład chemiczny), praca w agresywnym środowisku (przy obecności chlorków) oraz naprężenia mechaniczne lub cieplne.

Poza wybranymi przykładami niszczenia, występującymi w stalach odpornych na korozję, istnieje rów-

nież w układzie Cr-Fe problem związany z pojawieniem się fazy sigma. Jest to twarda i bogata w chrom faza międzymetaliczna. Jej obecność w mikrostrukturze powoduje znaczny spadek udatności materiału. Faza sigma wydzieliła się m.in. podczas spawania lub pracy w zakresie temperatur (550–900°C). Spawanie stali austenitycznej zawierającej wydzielenia ferrytu  $\delta$  może prowadzić do powstawania fazy  $\sigma$  w obszarze linii wtopienia oraz w strefie wpływu ciepła. Generalnie, im wyższa zawartość chromu w stali, tym większe predyspozycje do wydzielenia się fazy sigma. Kolejnym problemem, choć niekorozyjnym są kwestie związane ze spawaniem stali odpornych na korozję ze stalami typu Cr-Mo 9÷12 Cr. Takie różnoimienne połączenia obciążone są wieloma problemami, które związane są najogólniej z mikrostrukturą, twardością, składem chemicznym w obrębie złącza oraz dotrzymaniem wysokiego reżimu spawalniczego.

### Doświadczenia eksploatacyjne

Wieloletnie doświadczenia firmy Pro Novum w zakresie diagnostyki na różnego typu konstrukcjach kotłów pokazują, że stale odporne na korozję (głównie o strukturze austenitycznej) są z powodzeniem wykorzystywane przy budowie lub modernizacji elementów krytycznych w szczególności w obrębie powierzchni ogrzewalnych. Niestety, każde nowoczesne rozwiązanie materiałowe, nawet z pozoru niezawodne, jest obciążone problemami eksploatacyjnymi, co pokazuje, że również stal odporna na korozję ma swoją „piętę achillesową”. Poniżej zaprezentowano najciekawsze przykłady awarii, które pokazują, że stale tego typu potrafią skorodować lub ulec całkowitemu zniszczeniu.

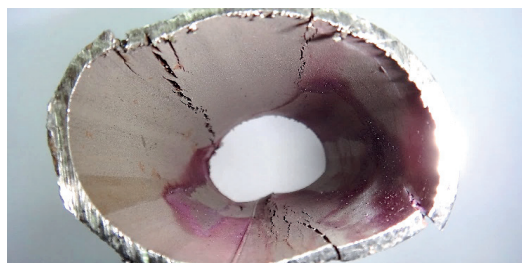
### Problemy korozyjne

Pierwszy przykład awarii dotyczy uszkodzenia o charakterze korozyjnym wężownicy podgrzewacza powietrza. Element, który uległ uszkodzeniu pracował w kotle CFB opalanym biomasą. Na rys. 1 przedstawiono przekazany do badań fragment rury. Poniżej zestawiono podstawowe informacje dotyczące badanego elementu:

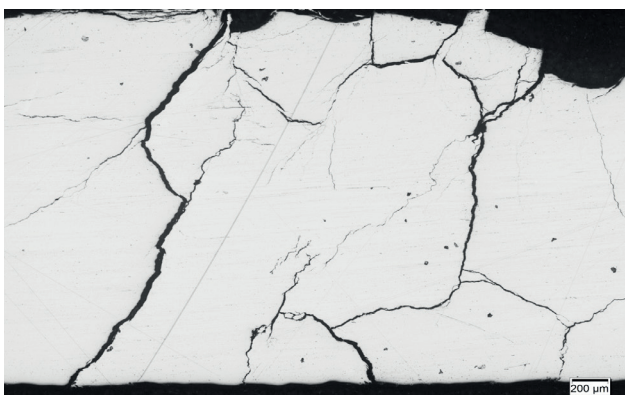
- Element: rura podgrzewacza powietrza
- Wymiary:  $\varnothing$  51,0 x 2,6 mm
- Gatunek materiału: X2CrNi18-9 (AISI 304L)
- Pierwiastki stopowe: Cr: 17,5÷19,5 %; Ni: 8÷10,5 %
- Parametry pracy:
  - temperatura powietrza: 30°C,
  - temperatura spalin: ~195°C



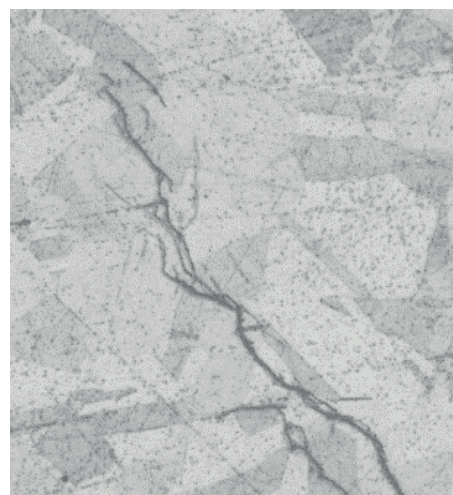
## Stale nierdzewne w energetyce – problemy i doświadczenia



Rys. 1. Oględziny – powierzchnia zewnętrzna oraz wewnętrzna



Rys. 2. Badania metalograficzne – na przekroju ścianki oraz przy wierzchołku jednego z pęknięć



- Czas pracy: ~35 000 godzin
- Paliwo spalane w kotle: biomasa.

Na powierzchni wycinka rury widoczne były liczne pęknięcia, miejscami przechodzące na wskroś ścianki. Na przekroju poprzecznym nie obserwowano pocienienia ścianki oraz odkształcenia. Widoczna na rys. 1. deformacja rury ma charakter wtórny i powstała w trakcie pobierania próbek do badań. Powierzchnię zewnętrzną pokrywał jasno-beżowy osad z produktami korozji.

Badania metalograficzne wykazały w mikrostrukturze austenitycznej liczne pęknięcia na wskroś ścianki rury, przechodzące zarówno granicami ziaren, jak i transkrystalicznie (rys. 2). Na powierzchni zewnętrznej stwierdzono brak warstwy pasywnej oraz obecność licznych płytkich wżerów, częściowo wypełnionych tlenkami. Mikroanaliza składu chemicznego osadów z powierzchni zewnętrznej EDS wykazała m.in. obecność siarki, chloru, potasu i sodu.

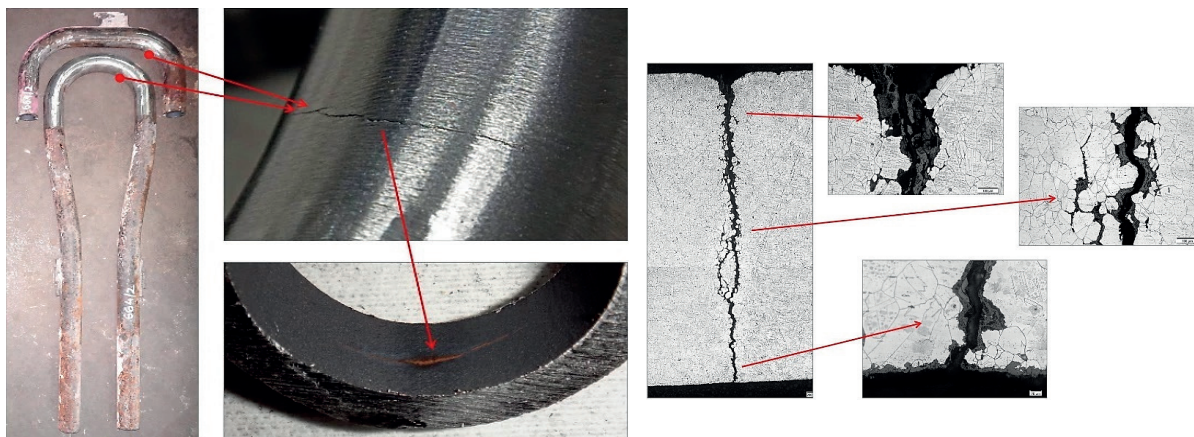
Oddziaływanie czynnika korozyjnego (chloru) oraz naprężeń wynikających z drgań elementu podczas eksploatacji oraz odstawiania i uruchamiania kotła. Chlor zawarty w spalinach stanowi duże zagrożenie dla stali austenitycznych pracujących w środowisku spalania biomasy ze względu na niszczenie pasywnej warstwy

ochronnej na powierzchni zewnętrznej. Obecność siarki dodatkowo intensyfikuje niszczące procesy wywołane chlorem. Drgania elementu podczas eksploatacji powodujące dodatkowe naprężenia podczas częstych odstawień i uruchomień kotła oraz chlor i siarka zawarta w produktach spalania biomasy przyczyniły się do niszczenia pasywnej warstwy ochronnej oraz niszczenia elementu mechanizmem chlorkowej korozji naprężeniowej.

**Mechanizm niszczący:** chlorkowa korozja naprężeniowa (SCC)

**Drugi przykład** awarii dotyczy uszkodzenia o charakterze korozyjnym węzownicy przegrzewacza pary III stopnia. Element, który uległ uszkodzeniu pracował w kotle BFB opalanym biomasa. Poniżej zestawiono podstawowe informacje dotyczące badanego elementu:

- Element: węzownica przegrzewacza pary III stopnia
- Wymiary:  $\varnothing$  44,5 x 5,0 mm
- Gatunek materiału: TP310HCBN,
- Pierwiastki stopowe: Cr: 24÷26 %; Ni: 19÷21 %
- Parametry pracy:
  - temperatura metalu węzownicy: ~570°C,
  - temperatura spalin: ~930°C
- Czas pracy: ~23 000 godzin
- Paliwo spalane w kotle: biomasa



Rys. 3. Oględziny i badania metalograficzne z obszaru nieszczelności

Na fragmentach węzownic zaobserwowano pęknięcia w strefie ściskanej kolan, przechodzące na wskroś ścianki. Na przekroju poprzecznym nie stwierdzono pocienienia oraz odkształcenia. Powierzchnia zewnętrzna pokryta była luźnymi osadami i produktami korozji. Badania metalograficzne wykazały w mikrostrukturze austenitycznej pęknięcie o charakterze międzykrystalicznym przechodzące na wskroś (rys. 3).

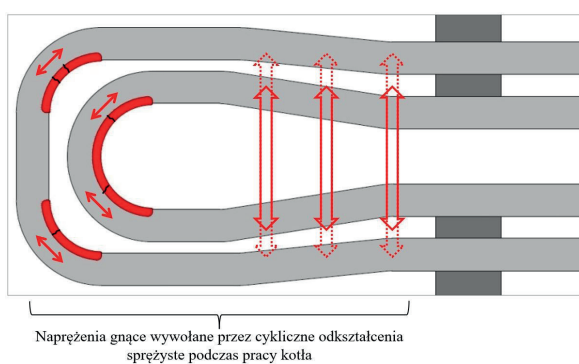
Na powierzchni zewnętrznej zaobserwowano obecność płytkich wżerów, częściowo wypełnionych tlenkiem. Warstwa pasywna była widoczna tylko od powierzchni wewnętrznej. mikroanaliza składu chemicznego osadów z powierzchni zewnętrznej EDS wykazała m.in. obecność siarki, chloru i potasu.

Praca w wysokich temperaturach tworzy idealne warunki do zaistnienia korozji międzykrystalicznej, szczególnie w stali o mikrostrukturze austenitycznej. Agresywne środowisko pracy (obecność siarki, chloru i potasu) oraz obecność dodatkowych naprężeń gnących (rys. 4) silnie wpłynęło z kolei na niszczenie i brak możliwości regeneracji warstwy pasywnej na powierzchni elementu.

**Mechanizm niszczący:** chlorkowa korozja naprężeniowa (SCC)

### Problemy spawalnicze

Pozostałe przykłady awarii stali odpornych na korozję związane są z problemami związanymi ze spawaniem coraz częściej występujących złączy różnoimiennych zarówno w obrębie powierzchni ogrzewalnych przegrzewaczy pary, jak i elementów szeregujących, przyspawanych do węzownic. Badane elementy, który uległy uszkodzeniu pracowały w kotle typu CFB opalanym biomasą. Poniżej zestawio-



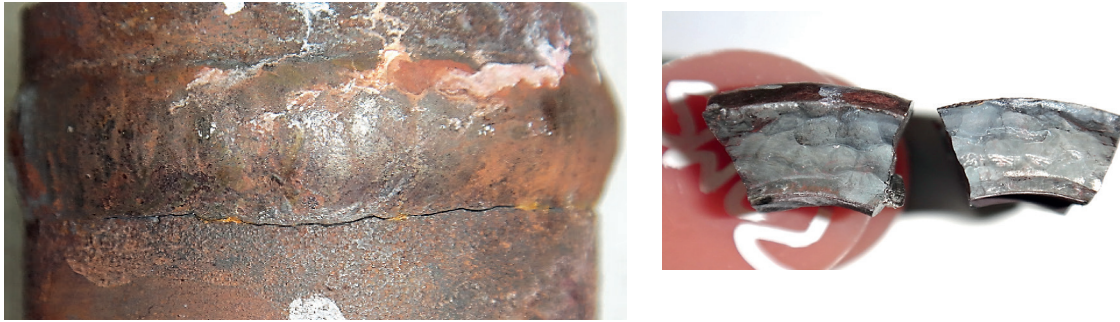
Rys. 4. Przykład cyklicznego zginania kolan węzownic podczas pracy

no podstawowe informacje dotyczące badanego elementu:

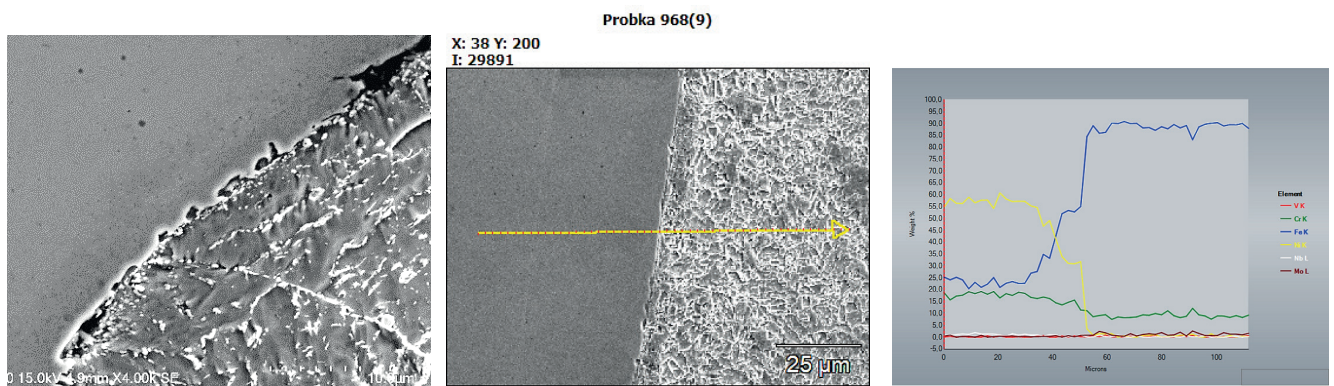
- Element: Przegrzewacz pary SH4/RH2
- Wymiary:  $\varnothing 51 \times 11$  mm;  $\varnothing 51 \times 7,1$  mm;
- Gatunek materiału:
  - P91 (X10CrMoVNb9-1) – króciec
  - TP347-HFG (X6CrNiNb18-10) – węzownica
  - LNT NiCro7019 – spoiwo
- Czas pracy: 35 000 ÷ 66 000 godzin.

Oględziny próbki węzownicy wykazały uszkodzenie o charakterze przyklejenia w złączy spawanym w obszarze SWC po stronie materiału P91. Nie zaobserwowano odkształcenia lub wydłużenia badanej próbki (rys. 5).

Badania metalograficzne wykazały typową mikrostrukturę złącza spawanego dla tego typu złącza o strukturze martenzytyczno-austenitycznej (P91-TP347HFG). W linii wtopienia po stronie P91 w obszarze poza uszkodzeniem widoczne cienkie pasmo wydzieleni węglkowych. Brak wymieszania metalu króćca ze spoiwem potwierdzono analizą



Rys. 5. Oględziny i badania metalograficzne z obszaru nieszczelności



Rys. 6. Badania metalograficzne i analiza EDS obszaru linii wtopienia po stronie P91

liniową EDS w linii wtopienia – gwałtowny spadek zawartości niklu (z 55% nawet do 0%) w SWC na odcinku spoina-P91 (rys. 6).

Spawanie materiałów różniamiennych, w szczególności połączeń materiałów o strukturze martenzytycznej i austenitycznej, może powodować problemy związane z niedostatecznym wymieszaniem się metalu materiału rodzimego i spoiwa co obserwujemy w omawianym przykładzie. Dodatkowy problem stanowi zróżnicowana dla obu gatunków materiału rozszerzalność ciepła, co wpływa na wzrost naprężeń podczas nagrzewania i studzenia elementu.

**Mechanizm niszczący:** niewłaściwa technologia lub źle przeprowadzony proces spawania -skutkujący brakiem wymieszania się na granicy spoiwo materiał rodzimy (P91) oraz wpływ dodatkowych naprężeń.

### Problemy konstrukcyjne

Przedstawione awarie dotyczą uszkodzeń elementów szeregujących wężownicę przegrzewaczy pary. Są to głównie obejmy lub płaskowniki przyspawane do wężownic przegrzewaczy pary,

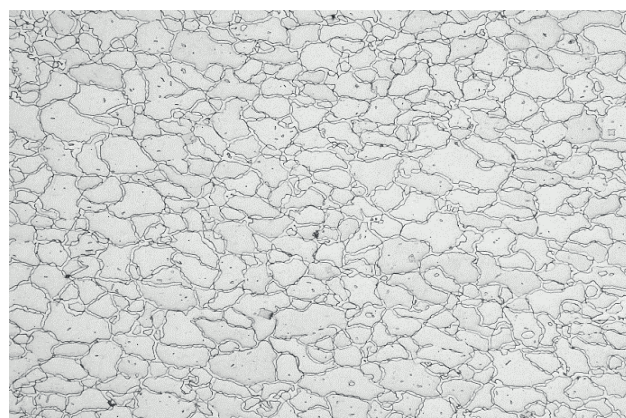
czyli elementy pracujące w spalinach i niechłodzone parą. Badane uszkodzone fragmenty konstrukcji zamocowań pracowały w kotłach OP-650 i OP-430 opalanych węglem kamiennym. Poniżej przedstawiono najciekawsze i najczęściej występujące typy awarii.

**Przykład nr 1** dotyczy elementu mocującego wężownicę przegrzewacza pary wtórnej I stopnia – przyspawany do wężownicy pręt  $\varnothing$  12 mm wykonany z materiału H25T (X8CrTi25) o zawartości chromu 24÷27%. Temperatura spalin w obszarze awarii wynosi ok.  $\sim$ 600°C. Zestawiono podstawowe informacje dotyczące badanego elementu:

Oględziny obejmę wykazały uszkodzenie w postaci pęknięć o kruchym charakterze na odcinkach prostych (rys. 7). Kruchość zaobserwowano również w wynikach statycznej próby rozciągania i próbach udarności (wydłużenie na poziomie  $\sim$ 14%, praca łamania KV= 2 J). W badanym elemencie nie zaobserwowano odkształceń lub wydłużenia próbki. W ferrytycznej mikrostrukturze stali, w obszarze nieuszkodzonym widoczne wydzielenia fazy sigma w postaci ciągłej siatki po granicach ziaren



Rys. 7. Obejmy – zdjęcie obiektowe oraz zdemontowana obejma po awarii



Rys. 8. Wyniki badań metalograficznych oraz przełomy próbek po badaniach

ferrytu. Twardość materiału wyniosła ~250–313 HV5. Obecność fazy sigma potwierdzono mikroanalizą EDS, gdzie wykazano udział chromu na poziomie ~36 %.

Rozrost fazy sigma w mikrostrukturze to proces wysoce niekorzystny. Cechuje go wzrost twardości i kruchości materiału. Szczególnie narażone są na to zjawisko stale ferrytyczne o dużej zawartości chromu. Praca w wysokich temperaturach w przypadku tego typu stali powoduje degradację mikrostruktury przez sukcesywny rozrost wydzielań do postaci, którą zaobserwowano w niniejszym przypadku, czyli gęsto ułożonej siatki wydzielań obejmujące niemal wszystkie ziarna ferrytu (rys. 8).

**Mechanizm niszczący:** Głównym mechanizmem niszczącym był proces wydzielenia fazy sigma.

**Przykład nr 2** to uszkodzenia elementów szeregujących/zamocowań wraz z węzownicami, które zakończyły się przymusową wymianą dużej liczby węzownic, a nawet części grodzi przegrzewaczy pary.

Omawiany przykład dotyczy awarii na dwóch różnych obiektach, występujących cyklicznie co kilka lat. Zestawiono podstawowe informacje dotyczące badanego elementu:

- Elementy: przegrzewacz pary świeżej II st. i wtórnej II st.
- Gatunek materiału węzownic: 16Mo3, X20CrMoV121 i 10CrMo9-10
- Gatunek materiału zamka: stal żaroodporna o udziale chromu 18% i 26%
- Czas pracy: ~140 000 godzin (we wszystkich przypadkach)

Oględziny wykazały w obu awariach zbliżone pęknięcia przechodzące na wskroś ścianki w obszarze strefy wpływu ciepła spoin łączących element zamocowania z węzownicą. Mikrostruktura węzownic zgodna z zastosowanym gatunkiem stali – ferrytyczno-perlityczna oraz martenzytyczna, natomiast w przypadku zamocowań – ferrytyczna z wydzieloną fazą sigma po granicach ziaren. W mikrostrukturze, w obszarach nieuszkodzonych, widoczne wydzielenie



## Stale nierdzewne w energetyce – problemy i doświadczenia



Rys. 9. Przejrzewacz pary świeżej II st. (stal X20) – pęknięcie w SWC w obszarze spoiny zamocowania



Rys. 10. Przejrzewacz pary świeżej II st. (stal 16Mo3) – pęknięcie w SWC w obszarze spoiny zamocowania

nia fazy sigma otaczające praktycznie wszystkie ziarna w obserwowanym obszarze. Istotną negatywną kwestią jest widoczny w miejscu przyspawanego płaskownika wymiar strefy wpływu ciepła obejmujący całą grubość ścianki. Twardość materiału w obszarze spoiny przekraczała wartość 300 HV5 (a nawet lokalnie 400 HV5) (rys. 9–11).

**Mechanizm niszczący:** karb strukturalny wynikający z różnic między gatunkami materiału wężownic, spoiny i płaskowników zamocowania oraz rozwiązania konstrukcyjne dotyczące szeregowania wężownic tj. spoina wzdłużna wykonana wzdłuż osi rury (SWC jest dokładnie na przekroju maksymalnych naprężeń w elemencie walcowym), niedotrzymanie reżimu spawalniczego (zbyt wysoka temperatura spawania).

### Podsumowanie

Sam Achilles mimo wielu zwycięstw odniósł porażkę mimo boskiego pochodzenia. Podobnie ze stalą odporną na korozję o wysokich własnościach mecha-



Rys. 11. Przejrzewacz pary wtórnej II st. (10CrMo9-10) – pęknięcie w SWC w obszarze spoiny zamocowania



niczno-strukturalnych – zawsze znajdzie się obiekt, którego warunki pracy odnajdą słaby punkt nawet w gatunku materiału z najwyższej półki. Pada zatem pytanie – co zrobić w przypadku, gdy nawet „najlepsze” jest niewystarczające? Rozwiązanie problemu, szczególnie w przypadkach elementów konstrukcyjnych, niechłodzonych jest trudne i skomplikowane, gdyż wymaga zastosowania gatunków stali, które charakteryzują się odpornością na pracę zarówno w wysokich temperaturach i środowisku korozyjnym jak i odpornych na obciążenia dynamiczne podczas pracy.

Ucieczka od wydzielenia fazy sigma w stali o mikrostrukturze ferrytycznej i dużym udziale chromu nie jest możliwa ze względu na zakres temperatur pracy elementów nośnych oraz podatność do tego typu uszkodzeń. Wybór materiału spełniającego wymagania konstrukcyjne i żaroodporne w porozumieniu z projektantem oraz częste inspekcje wydają się rozsądnym rozwiązaniem. W przypadku „zamek” szeregujących węzownice przegrzewaczy pary, mimo podobnego problemu z fazą sigma, bardzo ważną kwestią jest dotrzymanie wysokiej jakości reżimu spawalniczego oraz modyfikacja konstrukcji złącza

tj. ucieczka od wzdłużnego do osi węzownicy złącza spawanego.

Dotyczy to również spoin różnoimiennych, gdzie jakość wykonania połączenia odgrywa bardzo ważną rolę. Automatyzacja procesu spawania pozwoli na eliminację błędów ludzkiego, a dodatkowe zastosowanie wstawek wypośredkowujących skład chemiczny w obrębie złącza martenzyt-austenit zapewni lepsze wymieszanie materiałów.

Problemy związane z korozją, szczególnie w kotłach opalanych biomasą, wymagają użycia bardziej optymalnych materiałów do budowy elementów powierzchni ogrzewalnych oraz zastosowania, w najbardziej krytycznych obszarach, powłok antykorozyjnych.

## LITERATURA

- [1] Staub F.1994. Metaloznawstwo. Katowice: Śląskie Wydawnictwo Techniczne.  
 [2] Blicharski M. 2017. Inżynieria Materiałowa – Stal, Wydanie 2. Warszawa: Wydawnictwo WNT. r.

### Rok 2024 rokiem gen. inż. Józefa Bema w FSNT-NOT

Obradująca 5 lutego w Warszawskim Domu Technika NOT Rada Krajowa Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT ustanowiła, z okazji przypadającej w bieżącym roku 230 rocznicy urodzin, rok 2024 rokiem gen. inż. Józefa Zachariasza Bema.

Postać gen. inż. J. Bema, bohatera trzech narodów: Polski, Węgier i Turcji, uczestnika kampanii napoleońskiej, Powstania Listopadowego i Wiosny Ludów w Wiedniu i na Węgrzech, twórcy wojsk rakietowych w wojsku polskim jest szczególnie ważna dla ruchu stowarzyszeniowego techników i inżynierów. To od założonego przez niego w Paryżu, w 1835 r. Towarzystwa Politechnicznego Polskiego datuje się blisko 190-letnia historia i tradycja, których spadkobierczynią jest Naczelna Organizacja Techniczna i sfederowane w niej Stowarzyszenia Naukowo-Techniczne.

Obchody roku gen. inż. J. Bema rozpoczną się uroczystościami w Tarnowie, mieście jego urodzenia i spoczynku. FSNT-NOT zaprasza wszystkie organizacje i instytucje, którym bliska jest postać Generała i Inżyniera oraz noszące jego imię do udziału i organizowania wydarzeń Go upamiętniających.



**Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych  
Naczelna Organizacja Techniczna**

ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa  
Telefon: +48 22 250 22 10; Kom: +48 785 870 461; e-mail: sekretariat@not.org.pl