

Czystość wody kotłowej a uszkodzenia rur w rejonach przewężeń, na łukach oraz na odcinkach pochyłych

Wstęp

Wiele, bez wątpienia bardzo ważnych kwestii związanych z produkcją energii jest szeroko dyskutowane na forum publicznym. W ostatnich latach czołowe, niezagrożone miejsce, zajmowały tematy związane z szeroko pojętą kwestią ochrony środowiska i ograniczenia emisji zanieczyszczeń. Począwszy od zagadnień związanych z odsiarczaniem i odazotowaniem spalin do wzajemnego powiązania emisji dwutlenku węgla i zmian klimatycznych. Wsluchując się w te informacje można odnieść wrażenie, że jedyne problemy związane z produkcją energii to te wymienione powyżej. Tymczasem ciągłym, nierozwiązanym problemem jest możliwe bezusterkowa eksploatacja podstawowych urządzeń wytwórczych.

Wieloletnie doświadczenia oraz wiarygodne dane statystyczne pokazują, że uszkodzenia rur kotłowych są głównym problemem rzutującym na dyspozycyjność jednostek wytwórczych. Sytuacja taka jest właściwa tak dla starych i nowych konwencjonalnych kotłów parowych jak również dla relatywnie nowych i nowoczesnych kotłów odzysknicowych.

Biorąc pod uwagę, że żywotność rur kotłowych (wodnych) w normalnych warunkach pracy kotła powinna być praktycznie nieskończona to sytuacja taka może być mało zrozumiała.

Istnieje bardzo wiele przyczyn powstawania uszkodzeń rur kotłowych. Najbardziej rozpowszechnione to:

- słaby projekt początkowy
- niski poziom eksploatacji
- niewłaściwy poziom utrzymania
- wysoka agresywność środowiska po stronie ogniowej
- nieodpowiednie warunki chemiczne w obiegu wodno-parowym
- brak lub nieodpowiedni poziomu zarządzania wiedzą
- brak wsparcia na poziomie zarządzania

Jak wynika z powyższego zestawienia warunki chemiczne utrzymywane w obiegach wodno-parowych są tylko jednym z wielu czynników odpowiedzialnych za uszkodzenia rur kotłowych. Jednak realnie około 50% uszkodzeń rur w kotłach konwencjonalnych i 70% uszkodzeń na kotłach odzysknicowych jest związana ze „złą” chemią w obiegach wodno – parowych. Co gorsze, często z uwagi na brak odpowiedniej wiedzy pozwalającej na właściwą identyfikację mechanizmu uszkodzenia a co za tym idzie brak odpowiedniej reakcji, uszkodzenia rur mają charakter powtarzalny co do rodzaju i lokalizacji.

W tabeli zamieszczono wykaz najpopularniejszych mechanizmów niszczenia rur kotłowych w warunkach pracy kotłów (konwencjonalnych i odzysknicowych)

Lokalizacja uszkodzeń w schemacie kotła, powodowanych według określonego mechanizmu, jest zwykle charakterystyczna, związana z czynnikami termicznymi i hydraulicznymi. Typowo są to obszary:

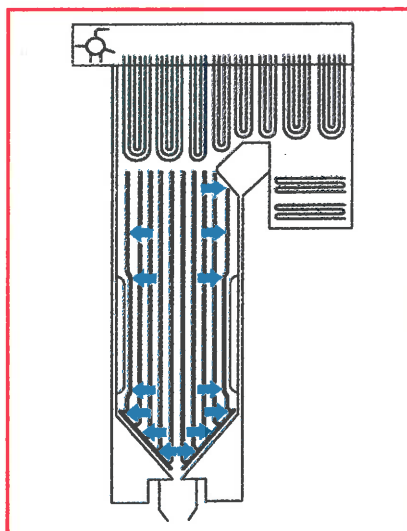
- największych obciążeń cieplnych komory paleniskowej;
- geometrycznej zmiany (zakłócenia) przepływu mieszanki wodno – parowej:
 - o przewężenia, w obszarach zgrzein lub spoin gdzie występują nadmierne wypływy materiału;
 - o odcinki pochyłe gdzie występuje rozdział fazowy mieszanki wodno-parowej.

TABELA

Mechanizm	Typ kotła	
	Konwencjonalny	Odzysknicowy
Zmęczenie korozyjne	X	X
Erozja popiołowa	X	-
Korozja wodorowa	X	X
Korozja gorącej wody	X	X
Korozja podosadowa	X	X
Kwaśna korozja fosforanowa	X	X
Korozja ługowa	X	X
Korozja od strony ogniowej	X	X
Zmęczenie cieplne	X	X
FAC	X	X
Korozja popiołowa	X	-
Erozja popiołowa	X	-
Przegrzanie krótkoterminowe	X	X
Zmęczenie	X	X
Uszkodzenia od spadającego żużla	X	-
Korozja kwaśnego punktu rosy	X	X

Mechanizm uszkodzenia rur kotłowych w ww. obszarach to w większości przypadków różnego rodzaju odmiany korozji podosadowej. Miejsca występowania uszkodzeń pokrywają się z obszarami, w których typowo następuje wydzielanie osadów z czynnika obiegowego. Obejmuje to nie tylko obszary, w których obciążenie cieplne komory jest największe (m.in. pasy palnikowe), ale również obszary zakłóconego przepływu czynnika (wadliwe spoiny, odgięcia przy palnikach i innych otworach technologicznych, odcinki pochyłe w rejonie chłodnego leja, przeważu i stropu).

Typowe miejsca występowania uszkodzeń rur kotłowych powodowanych korozją podosadową w jednostkach konwencjonalnych przedstawiono na rys. 1.

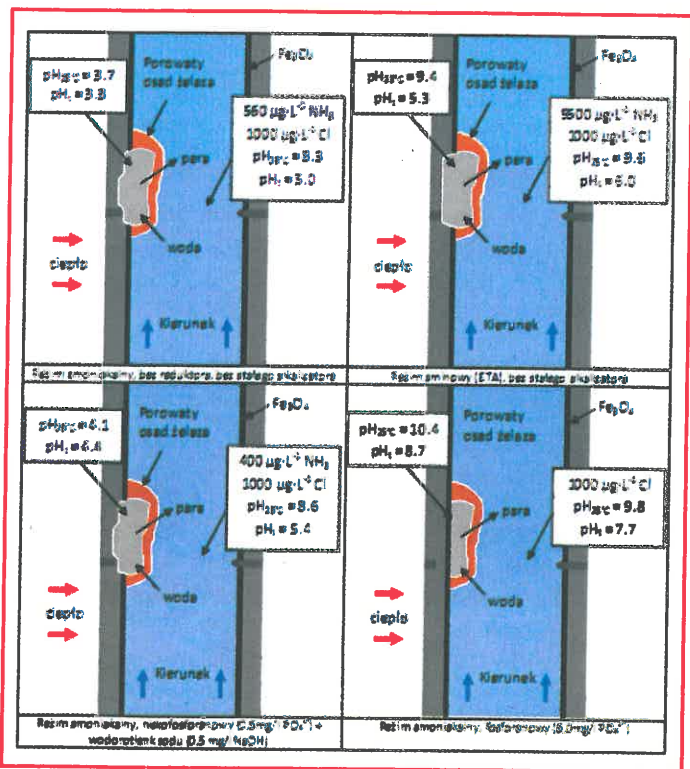


Rys. 1.

Bardzo często przyjmuje się, że stwierdzane uszkodzenia korozyjne rur kotłowych w tych miejscach są typowe i nie próbuje się ich kojarzyć z parametrami fizyko – chemicznymi oraz czystością wody kotłowej.

Badania poawaryjne, głównie metaloznawcze, pozwalają dość precyzyjnie określić rodzaj uszkodzenia (kruchość wodnoroowa, przegrzanie, korozja podosadowa itp.) natomiast często nie określają przyczyn tych uszkodzeń. Jeżeli przyczyna jest w jakimś stopniu określona to uszkodzenia rur kotłowych w rejonach przewężeń, na łukach i na odcinkach poziomych kojarzy się zwykle tylko z zakłóceniami cyrkulacji w tych miejscach nie uwzględniając negatywnej roli, jaką w tych procesach spełniają zanieczyszczenia obecne w wodzie kotłowej. Tymczasem głównym czynnikiem, od którego zależy fakt wystąpienia lub niewystąpienia uszkodzeń w tych obszarach są chemiczne warunki pracy metalu po stronie czynnika obiegowego i prawidłowość doboru korekcji chemicznej do warunków pracy danego kotła jak i pozostałych urządzeń w schemacie technologicznym bloku energetycznego. Odpowiednio dobrany rodzaj korekcji chemicznej czynnika obiegowego powinien z jednej strony do minimum ograniczać zjawiska korozyjne w układzie dokotłowym, skutkujące transportem zanieczyszczeń, tak jonowych jak i stałych do kotła, a z drugiej strony w możliwie maksymalnym stopniu zabezpieczać metal rur kotłowych przed procesami korozyjnymi zachodzącymi pod warstwą osadów, które prędzej czy później będą występowały w ilościach, które mogą być groźne dla trwałości materiału. Co istotne, skomplikowane zjawiska fizyko – chemiczne zachodzące pod warstwą osadów (zagęszczanie, termiczny rozpad, zmiana odczynu pH i in.) powodują, że istotne z punktu widzenia trwałości metalu parametry fizykochemiczne w warstwie podosadowej mogą być diametralnie różne, niestety zwykle na niekorzyść, od tych którymi w danym momencie charakteryzuje się woda kotłowa.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe zestawienie podstawowych korelacji parametrów fizyko-chemicznych wody kotłowej i wynikowych parametrów w warstwie podosadowej w zależności od rodzaju korekcji stosowanej w układzie wodno-parowym

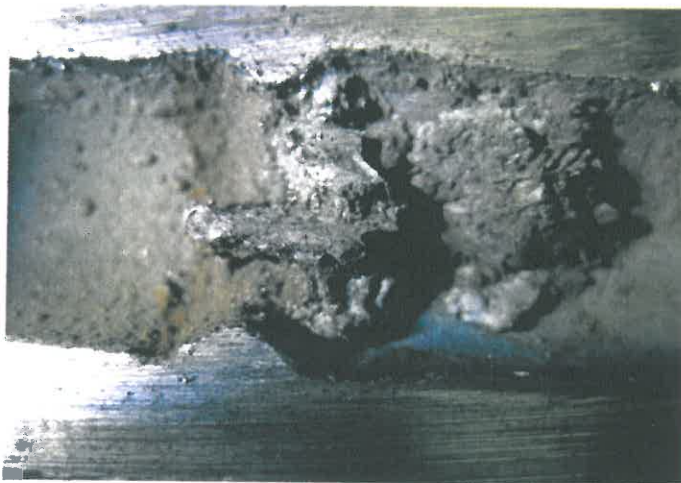


Rys. 2. (Parametry modelu: ciśnienie 10,4 MPa, odmulanie 0,5%, pH wody zasilającej 9,4, zawartość chlorków 5ppb)

Uszkodzenia korozyjne rur w rejonach przewężeń

Zdecydowana większość uszkodzeń korozyjnych rur zlokalizowana jest w obszarze spawów lub zgrzein rur ekranowych. Często w tych obszarach, jeszcze przed rozszczelnieniem obserwowane są wybrzuszenia rur od strony komory paleniskowej. Stan taki obrazuje końcowy etap uszkodzenia korozyjnego tuż przed perforacją rur. Podstawowy wpływ na szybkość procesu uszkodzenia ma wysokość wypłytki lub grani spoin tworzących karb geometryczny na powierzchni wewnętrznej rury.

Wysokość takiego karbu, a tym samym miejscowe zwięźnienie średnicy rury jest szczególnie niebezpieczne w rurach przegrzewaczy pary gdzie 2 + 3 mm karb plus osady gromadzące się w tym obszarze wyraźnie zmniejszają prześwit rurki ograniczając przepływ czynnika, co w konsekwencji prowadzi do jej przegrzania i uszkodzenia – fot. 1 – 2.



Fot. 1.



Fot. 2.

W przypadku rur ekranowych kwestia ograniczenia przepływu ma mniejsze znaczenie z uwagi na zdecydowanie większe średnice, choć bywają przypadki, kiedy lokalnie utworzone skupisko osadów skutecznie ograniczy przepływ mieszanki wodno – parowej – fot. 3 – 6.

W rurach wodnych największe znaczenie i wpływ na szybkość postępu uszkodzenia mają zjawiska fizyko-chemiczne zachodzące pod powierzchnią osadów, ściśle związane z warunkami termicznymi oraz fizyko-chemicznymi parametrami czynnika (wody kotłowej). Jeżeli jakość wody kotłowej nie spełnia wymagań stawianych (odczyn pH, chlorki, zawartość żelaza i miedzi i in.) i dodatkowo do kotła wprowadzane są zanieczyszczenia stałe (tlenki wędrujące z układu dokotłowego) to w miejscach przewężeń występuje duże nasilenie odkładania zanieczyszczeń i rozwoju uszkodzeń korozyjnych.

Mechanizm tych procesów jest w zasadzie znany i jest ściśle związany z wielkością karbu zgrzeiny lub spoiny w stosunku do średnicy rury oraz czystości wody kotłowej.

W miejscu występowania wypłytki zgrzeiny lub spoiny następuje zaburzenie w cyrkulacji mieszanki parowo – wodnej. Wrzenie pęcherzykowe przechodzi we wrzenie błonkowe pogarszając wymianę ciepła w tym obszarze. W strefie wrzenia błonkowego zachodzą znaczne wahania temperatury. Na powierzchni metalu powstaje warstwa pary, która po stosunkowo krótkim czasie ulega zmywaniu strumieniem wody przez co ścianka rury ulega znacznemu schłodzeniu. Naprężenia występujące przy takich szybkich i dużych zmianach temperatury powodując niszczenie warstwy ochronnej stwarzają warunki do zachodzenia korozji znanej w literaturze jako



Fot. 3.



Fot. 4.



Fot. 5.



Fot. 6.

korozji gorącej wody a agresywne składniki osadów, koncentrujące się w tym obszarze atakują dodatkowo powierzchnię metalu. Przyrost grubości warstwy osadów pogarsza warunki wymiany ciepła, co prowadzić może do miejscowych przegrzań metalu.

W układach technologicznych z wymiennikami z metali kolorowych, praktycznie regułą jest, że badania składu chemicznego osadów z wżerów wykazują w ich składzie obecność miedzi. Miedź w postaci metalicznej szczególnie często stwierdzana jest w osadach występujących we wżerach od strony ogniowej. Atomy miedzi mają mniejsze powinowactwo przejścia do roztworu w postaci jonowej niż atomy żelaza, dlatego żelazo ulega rozpuszczeniu anodowemu. Metaliczna miedź może również osadzać się we wżerach na skutek redukcji tlenków miedzi wodorem powstałym w procesach korozji żelaza. Jeżeli w osadach wytrąconych na powierzchni rury znajdują się znaczne ilości miedzi to powierzchnia ta staje dużą powierzchnią katodową w stosunku do małej powierzchni anodowej stanowiącej ognisko korozyjne przy zgrzeinie, co jest powodem szybkiego rozpuszczania metalu. Proces ten biegnie aż do momentu, kiedy wytrzymałość rury przekroczy wartość graniczną – fot. 7 – 10 (warstwa osadów z dużą ilością wtrąconej metalicznej miedzi).

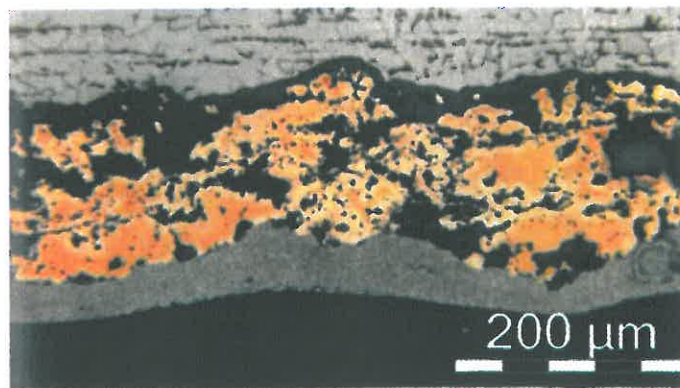
Na fot. 11 i 12 pokazano jeden z przykładów uszkodzenia korozyjnego rury w rejonie zgrzeiny.

W wyniku pomiarów grubości ścianki rury (w powyższym przykładzie) w miejscu występowania wżeru i poza wżerem (w miejscu bez perforacji) stwierdzono, że:

- grubość ścianki w miejscu wżeru wynosiła $1,8 \div 3,2$ mm
- grubość ścianki poza wżerem $5,0 \div 5,2$ mm

Wykonano również pomiary wielkości wypływek w miejscu zgrzein rury:

- wysokość wypłytki zgrzeiny $2,4 \div 2,7$ mm
- szerokość wypłytki zgrzeiny $5,2 \div 5,7$ mm



Fot. 7.



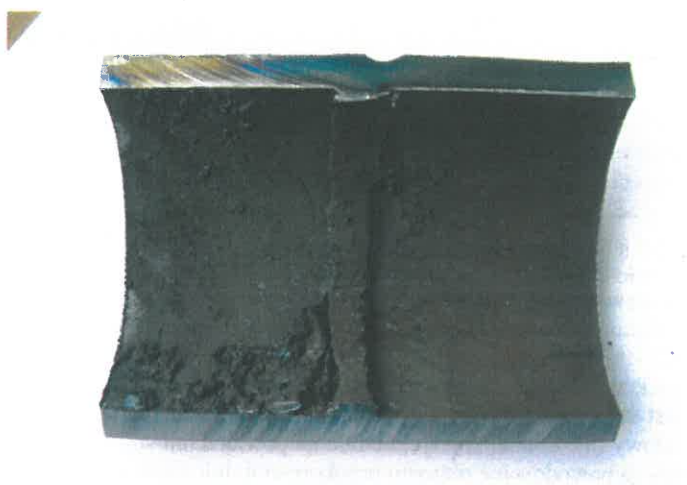
Fot. 8.



Fot. 11.



Fot. 9.



Fot. 12.



Fot. 10.

Według przedmiotowych norm dopuszczalna wysokość wypłytki w klasie wadliwości W-3 jest równa 30% lica spoiny. Uwzględniając wymagania dla rur w powyższym przykładzie wynika, że wysokość wypłytki zgrzeiny nie powinna przekraczać 1,7 mm, gdy faktyczna wysokość wypłytki mieściła się w granicach $2,4 \div 2,7$ mm.

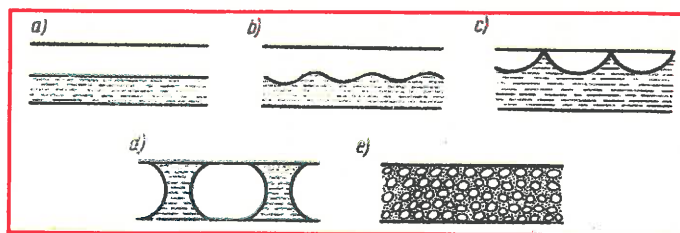
Należy tutaj zaznaczyć, że decydujący wpływ na występowanie procesów korozyjnych i ich intensywność w rejonach występowania karbu na wewnętrznej powierzchni rury ma czystość wody kotłowej, a szczególnie zanieczyszczenia zawierające w swym składzie miedź.

Uszkodzenia korozyjne rur kotłowych na łukach i odcinkach pochyłych

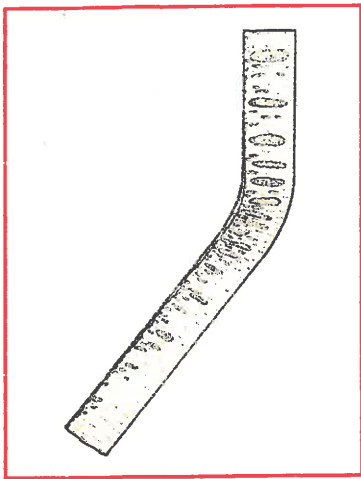
Uszkodzenia tego typu najczęściej lokalizują się w miejscach, w których może dochodzić do zaburzeń przepływu i rozdziału fazowego mieszanki wodno – parowej.

Miejscami takimi są kolana chłodnego leja, przewału, kolana o małym promieniu gięcia przy wziernikach, palnikach i zdmuchiwiaczach. Uszkodzenia te mają charakter zmęczeniowo – korozyjny. Procesy korozyjne zachodzące w rurach kotłowych zależą również od kąta ich nachylenia. Ze zmniejszeniem kąta nachylenia zwiększa się skłonność do fazowego rozdziału mieszanki wodno – parowej. W rurach ustawionych pod kątem w czasie przepływu mieszanki wodno – parowej mogą zachodzić różne zjawiska. Zależą one od stosunku udziału pary w ogólnej objętości czynnika oraz od prędkości objętościowej mieszaniny.

Na rysunku 3 przedstawiono różne fazy przepływu mieszanki wodno – parowej w rurach pochyłych.

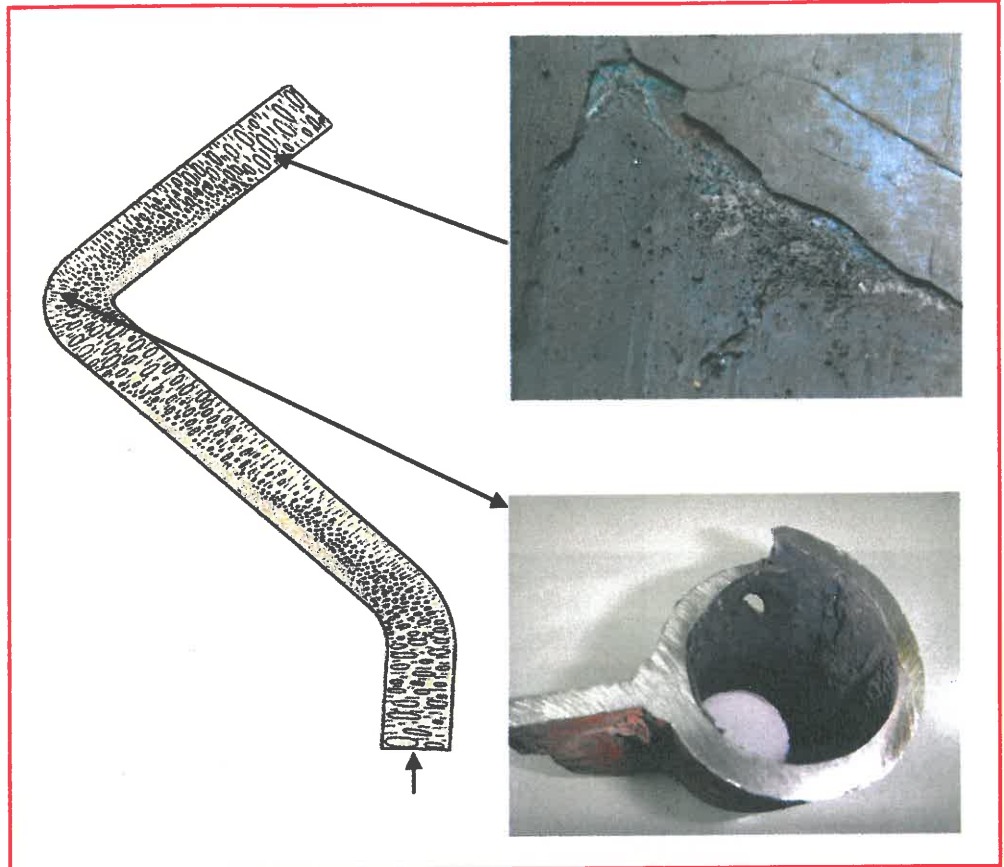


Rys. 3. Przypadki przepływu dwufazowego



Rys. 4. Fazowy rozdział mieszanki wodno – parowej w rurze z wrzącą wodą w chłodnym leju

Rys. 5. Fazowy rozdział mieszanki wodno parowej w rurze z wrzącą wodą w okolicy przewалу.



Przy małych prędkościach mieszanki linia rozdziału zbliżona jest do poziomu (a), przy większych prędkościach występuje ruch falowy (b). Charakterystyczne fale na powierzchni strumienia cieczy są powodowane różnymi prędkościami liniowymi pary i wody. Przy umiarkowanej prędkości czynnika i niewielkim udziale pary np. w nachylonych rurach ekranowych chłodnego leja żużlowego występuje tzw. ruch pęcherzykowy (c). Wskutek dalszego zwiększenia prędkości przepływu zachodzi tzw. ruch rzutowy, przy którym ciecz okresowo zwilża powierzchnię rury (d). Wreszcie dalsze zwiększanie prędkości powoduje ruch z równoczesnym występowaniem piany, przy czym para płynie w postaci pęcherzyków lub piany w strumieniu cieczy (e).

Skłonność do fazowego rozdziału mieszanki wodno – parowej zwiększa się w miarę zmniejszania się prędkości przepływu wody w rurach. Zachodzi to zwłaszcza przy niskich wydajnościach kotła.

Pochyłości rur kotłowych przy uwzględnieniu zmiennej prędkości czynnika (mieszanki wodno-parowej) w poszczególnych konturach komory paleniskowej mogą sprzyjać powstaniu warunków niekorzystnego fazowego rozdziału mieszanki wodno – parowej. Stwarza to sprzyjające warunki dla przebiegu procesów korozyjnych. Błonkowy proces odparowania wody powoduje miejscowe znaczne wzrosty temperatury pracy metalu, ponieważ powstająca warstewka pary jest czynnikiem pogarszającym proces wymiany ciepła (rys. 4).

Na krzywiznach rur w okolicy przewалу (rys. 5) uszkodzenia występują pozornie wbrew powyższym zasadom rozdziału. Wynika to przypuszczalnie z różnych gęstości obydwóch faz. Woda jako czynnik o większej gęstości wykazuje tendencję utrzymywania kierunku przepływu omywając górną część rur, natomiast para w tych warunkach jako lżejsza gromadzi się od strony ogniowej.

Wszystkie wyżej opisane procesy wywołujące procesy korozyjne rur kotłowych potęgują się, jeżeli nie spełniane są wymagane parametry jakościowe wody kotłowej. Zanieczyszczenia osadowe znajdujące się w wodzie kotłowej wydzielają się na wewnętrznych powierzchniach rur od strony ogniowej (w miejscach fazy parowej) dodatkowo pogarszając wymianę ciepła. Ta znacznie gorsza wymiana ciepła w połączeniu z solami agresywnymi znajdującymi

się w wodzie kotłowej jest czynnikiem znacznie przyspieszającym procesy korozyjne rur kotłowych.

Wnioski

Podstawowymi czynnikami wpływającymi na trwałości rur kotłowych w warunkach eksploatacji są:

- właściwe rozwiązania konstrukcyjne kotła
- właściwy montaż kotła (zgrzeiny, spawy)
- właściwe rozwiązania zagięć rur w komorze paleniskowej przy zachowaniu możliwie dużego promienia
- utrzymywanie właściwych parametrów jakościowych wody zasilającej i kotłowej
- eksploatacja kotła bez zaniżania wydajności poniżej bezpiecznego poziomu
- niedopuszczanie do gwałtownych zmian wydajności i ciśnienia w kotle, które mogą być przyczyną zakłóceń w cyrkulacji,
- niedopuszczanie do przekroczenia bezpiecznego dla danego typu kotłów poziomu ilości osadów przypadających na jednostkę wewnętrznej powierzchni rur parownika – chemiczne oczyszczanie kotłów.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Alfred Śliwa, Paweł Gawron „Wpływ czystości wody kotłowej na uszkodzenia rur w rejonach przewężeń, na łukach oraz na odcinkach pochyłych”; XI Konferencja Naukowo-Techniczna Udział chemii energetycznej we wzroście efektywności urządzeń. Szczyrk, 24-26 maja 2006
- [2] PN-85/M-69775 Spawalnictwo. Wadliwość złączy spawanych. Oznaczanie klasy wadliwości na podstawie oględzin zewnętrznych.
- [3] PN-EN 25817, PN-ISO 5817 Złącza stalowe spawane łukowo. Wytyczne do określania poziomu jakości według niezgodności spawalniczych.
- [4] Adam Jakubik, „Uszkodzenia niemechaniczne urządzeń ciepłych elektrowni”. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1974.
- [5] Sprawozdanie Pro Novum nr 22.1696/2005
- [6] Sprawozdanie Pro Novum nr 122.1796/2005