

Szanowni Państwo

W diagnostyce, podobnie jak w innych dziedzinach techniki, dokonuje się stały rozwój, zwłaszcza metod pomiarowych i obliczeniowych.

Postępowi temu nie towarzyszy jednak dezawuowanie wiedzy i metod zweryfikowanych w praktyce, wręcz przeciwnie – przydatność ich wydaje się być jeszcze bardziej oczywista, zarówno podczas diagnozowania nowych urządzeń energetycznych, jak i długo eksploatowanych.

Jerzy Dobosiewicz & Jerzy Trzeszczyński

Wojciech Brunné

Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.

Potencjalne i rzeczywiste miejsca występowania uszkodzeń rurociągów o charakterze pełzaniowym

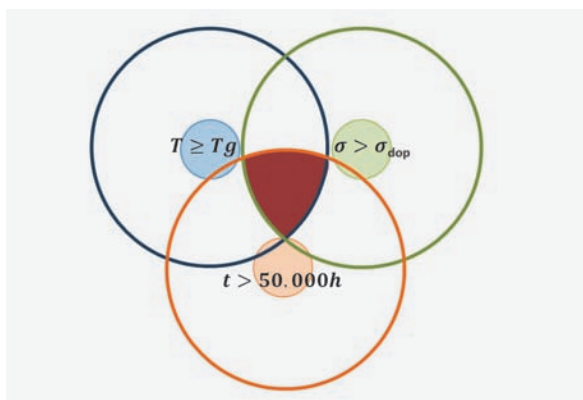
Potential and real places of pipeline creep damages

Proces pełzania a projektowanie rurociągów

Uszkodzenia materiału elementów konstrukcyjnych pracujących powyżej temperatury granicznej są znane od bardzo dawna, a procesy pełzania odpowiedzialne za te uszkodzenia były przedmiotem wielu prac i posiadają bogatą literaturę. Niemniej dla lepszej ilustracji problemu przypominamy podstawowe fakty.

Procesy pełzania w metalach zachodzić mogą wtedy i tylko wtedy, gdy spełniło się równocześnie trzy warunki (rys. 1):

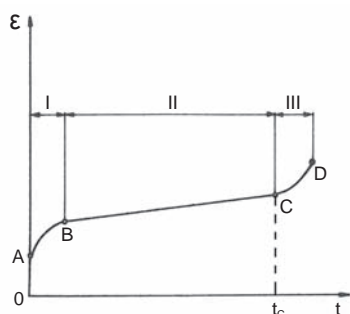
- temperatura pracy jest wyższa od temperatury granicznej dla rozpatrywanego gatunku materiału,
- poziom naprężeń jest wyższy od naprężeń dopuszczalnych (spiętrzenia naprężeń w węzłach konstrukcyjnych),
- czas pracy (sumaryczny) jest dostatecznie długi (min. 50 000 godzin).



Rys. 1

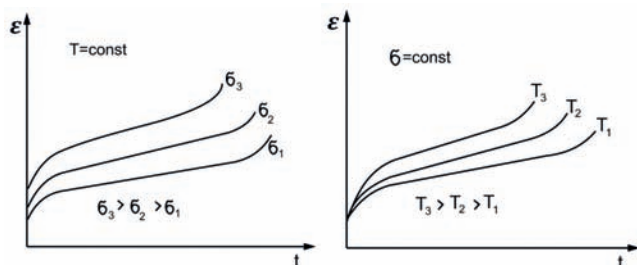
Zadanie projektanta polega zatem na tym, aby przynajmniej jeden z powyższych warunków nie był spełniony, bo wówczas projektowana konstrukcja nie będzie narażona na uszkodzenia wywołane procesami pełzania.

Dobierając materiał do pracy w konkretnym zastosowaniu (węzle konstrukcyjnym) projektanci mają do dyspozycji czas, jaki dla wybranego materiału upłynie do końca drugiego okresu pełzania t_c (rys. 2) [1], co oznacza, że ресурс projektowy powinien być krótszy od czasu t_c .



Rys. 2

Jak wiadomo na intensywność procesów pełzania mają wpływ dwa pierwsze warunki, a ściślej wielkość przekroczeń temperatury granicznej (rys. 3a) i/lub naprężeń dopuszczalnych (rys. 3b) [1].



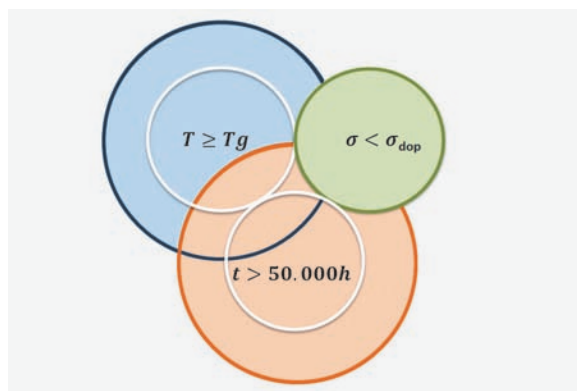
Rys. 3a. Wpływ naprężeń na przebieg krzywych pełzania

Rys. 3b. Wpływ temperatury na przebieg krzywych pełzania

Z uwagi na parametry procesu technologicznego związanego z wytworzeniem pary przegrzanej projektant może jedynie dążyć do tego, aby temperatura graniczna wybranego przez

niego materiału była możliwie niewiele niższa od temperatury pracy. Znacznie większe możliwości ma projektant, aby spełnić drugi z warunków, czyli żeby naprężenia panujące w węzle były mniejsze od naprężeń dopuszczalnych. Dla rurociągów jedynym poważnym ograniczeniem dla spełnienia tego warunku może być brak miejsca na prawidłową kompensację wydłużeń cieplnych.

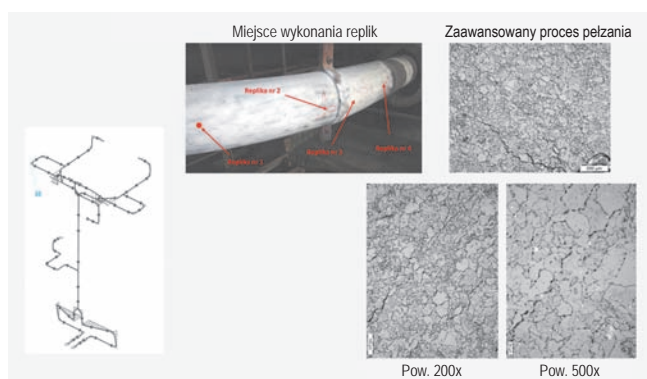
Czas t_c (rys. 2) jest umowną granicą trwałości projektowej (resurs) i dla bardzo dużej grupy eksploatowanych obecnie bloków energetycznych granica ta została już przekroczona. Obecnie, przy spełnieniu wcześniejszych postulatów o tym, czy element pracujący w warunkach pełzania narażony jest na uszkodzenia z tego powodu, decydujący wpływ ma poziom naprężeń (rys. 4).



Rys. 4

Przykład pełzaniowego uszkodzenia elementów krytycznych rurociągów – obszary potencjalne („tradycyjne”)

Przyjęto się, że najbardziej wyczerpanymi elementami rurociągów wysokoprężnych i wysokotemperaturowych są strefy rozciągania kolan i obszary zmian kształtu („siodła”) kształtek. W naszej wieloletniej praktyce rzadko znajdujemy uszkodzenia o charakterze pełzaniowym w strefach rozciąganych kolan, co bardzo dobrze świadczy o projektantach rurociągów, niemniej takie przypadki mają miejsce, czego dowodem jest stwierdzenie pustek pełzaniowych w strefie rozciąganej kolana nr 23 na rurociągu pary świeżej do zaworu bezpieczeństwa (rys. 5) [2].



Rys. 5

Przykłady rzeczywistych miejsc uszkodzeń pełzaniowych elementów krytycznych rurociągów

Nieporównywalnie częściej znajdowane są uszkodzenia pełzaniowe rurociągów w obszarach, gdzie trudno byłoby się ich spodziewać analizując tylko dokumentację.

Bardzo ważną czynnością dla określenia rzeczywistych obszarów narażonych na intensyfikację procesów pełzania jest analiza trasy rurociągu poprzedzona dokładnymi oględzinami.

Jednym z powodów, których projektant nie uwzględnił, a przed którymi często przestrzegał, są blokady zamocowań.

Na rysunkach 6 i 7 pokazano blokady zamocowań sprężynowych, które sądząc po identycznym stopniu skorodowania zamocowań, jak i samych blokad są blokadami montażowymi [3].

Natomiast na rysunkach 8, 9 i 10 pokazano blokady na czas prób ciśnieniowych (wodnych), które to blokady zapomniano zdemontować przed uruchomieniem [4, 5].



Rys. 6. Wyniki oględzin rurociągów pary świeżej



Rys. 7. Wyniki oględzin rurociągów pary świeżej



Rys. 8. Wyniki oględzin rurociągów pary świeżej



Rys. 9. Wyniki oględzin rurociągów pary świeżej



Rys. 10. Wyniki oględzin rurociągów pary świeżej

Blokady zamocowań prowadzą do ograniczenia przemieszczeń cieplnych rurociągów, co wiąże się najczęściej ze spiętrzeniem naprężeń i „wprowadzeniem” momentów gnących i/lub ścierających. W sprzyjających, ale trudnych do zdefiniowania okolicznościach dodatkowe naprężenia wywołane przez zablokowane zamocowania mogą zrelaksować. Niemniej często są powodem intensyfikacji procesów pełzania do uszkodzeń elementów z tego powodu włącznie. Uszkodzenia i blokady całego systemu zamocowań jednego z rurociągów pary świeżej (rys. 11) [6] spowodowały, że praktycznie na całej jego trasie mamy do czynienia z przekroczeniem naprężeń dopuszczalnych (rys. 12). Planowane w najbliższym czasie badania diagnostyczne wykażą, na ile taka sytuacja wpłynęła na stan materiału rurociągu.

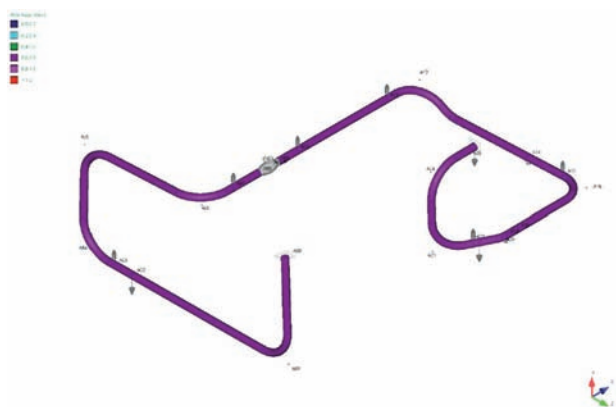
Wspominana w pierwszej części artykułu możliwość i zarazem konieczność obniżenia naprężeń rzeczywistych może być dla projektanta „pułapką” związaną z nadmiernym pogrubieniem elementów. O ile dla samych prostek i kolan zabieg taki głównie wpływa na ich masę, to w przypadku kształtek i armatury w istotny sposób wpływa na sztywność elementu i wprowadza dodatkowe momenty gnące w połączeniach z relatywnie bardziej elastycznym rurociągiem. Spiętrzenie naprężeń w rejonie połączeń rurociąg – kształtka są na tyle duże, że intensyfikują procesy pełzania (mikropęknięcia czy wręcz pęknięcia).



Z3

Z4

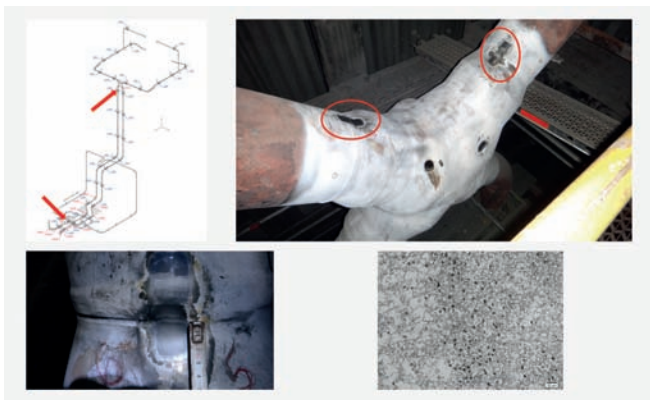
Rys. 11. Przykłady stanu zamocowań



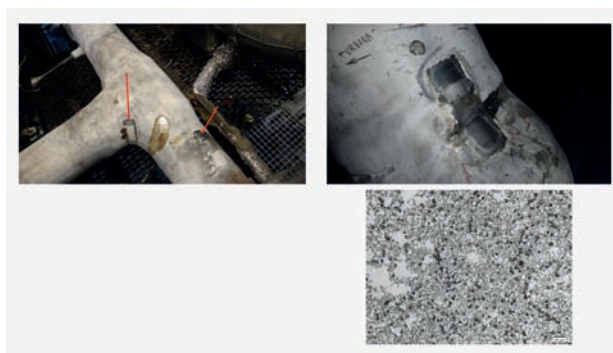
Rys. 12. Rurociąg pary świeżej do turbosprężarki – rozkład wskaźnika $\left(\frac{\sigma_{sz}}{\sigma_{dop}}\right)$ naprężeń z uwzględnieniem stanu zamocowań

Na rysunkach 13 i 14 pokazano uszkodzenia pęzaniowe połączeń spawanych zbyt pogrubionych kształtek (lany czwórnik i trójnik) z rurociągiem pary świeżej. W obszarach „tradycyjnych” i na trójniku, i na czwórniku nie zaobserwowano pęstek pęzaniowych [7].

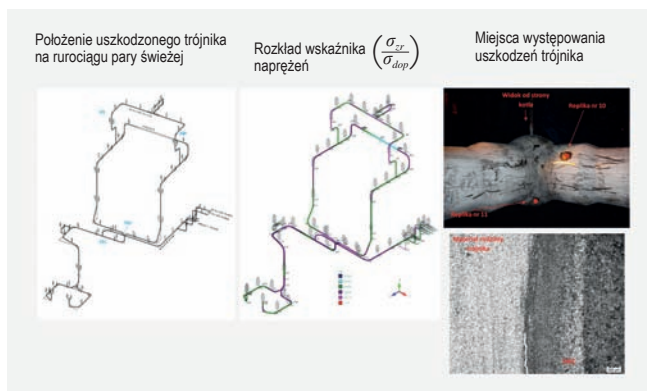
Przykład braku kompensacji wydłużeń cieplnych pokazano na rysunku 15.



Rys. 13. Rzeczywiste miejsca występowania uszkodzeń o charakterze pęzaniowym – położenie czwórnika na rurociągu pary świeżej



Rys. 14. Rzeczywiste miejsca występowania uszkodzeń o charakterze pęzaniowym – położenie trójnika na rurociągu pary świeżej



Rys. 15. Rzeczywiste miejsca występowania uszkodzeń o charakterze pęzaniowym

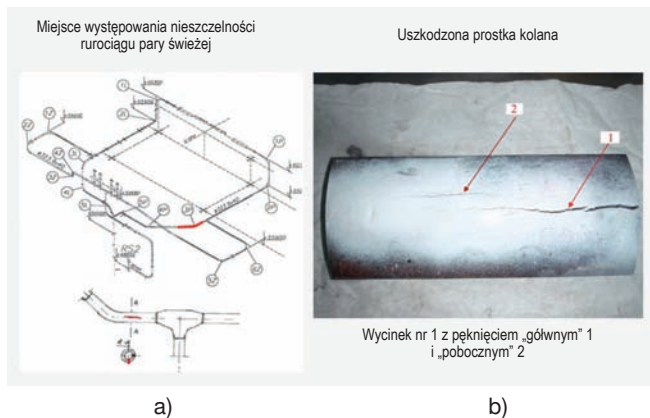
Zbyt bliskie położenie obu trójników i nieoptymalny dobór zamocowań spowodowało uszkodzenie pęzaniowe spoiny „szyjka-prostka” trójnika spawanego (rys. 16). Inne umiejscowienie uszkodzonego trójnika (po naprawie warsztatowej) i korekta układu zamocowań w istotny sposób zmniejszyło śpiętrzenie naprężeń w omawianym węzle [8].



Rys. 16. Rzeczywiste miejsca występowania uszkodzeń o charakterze pęzaniowym

Innym niespodziewanym obszarem rozszczelnienia się rurociągu w wyniku pęzaniowej degradacji materiału jest brak grzania rurociągu do zaworów bezpieczeństwa (rys. 17a). Relatywnie długi poziomy rurociąg pracował pod ciśnieniem, ale bez

przepływu czynnika, co powodowało w konsekwencji skraplanie się pary i napływ relatywnie zimnego kondensatu. Schładzana kondensatem dolna tworząca prostki kolana nagrzewała się znacznie wolniej od nieschładzanej górnej tworzącej, co wywołało duży moment skręcający – spiętrzenie naprężeń i sukcesywny rozwój procesów pełzania do rozszczelnienia rurociągu włącznie (rys. 17b i 18) [9].

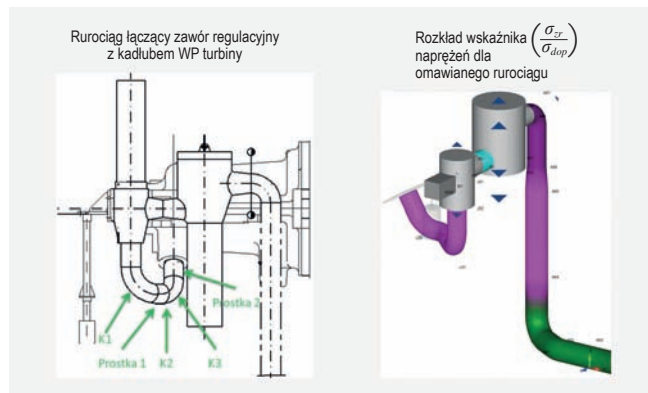


Rys. 17

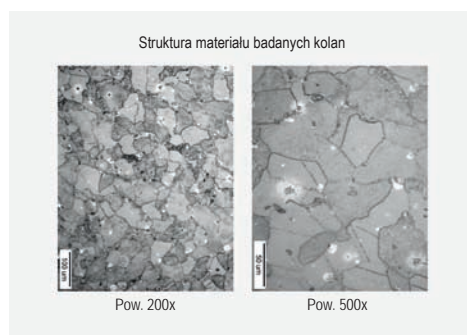


Rys. 18. Rzeczywiste miejsca występowania uszkodzeń o charakterze pełzaniowym

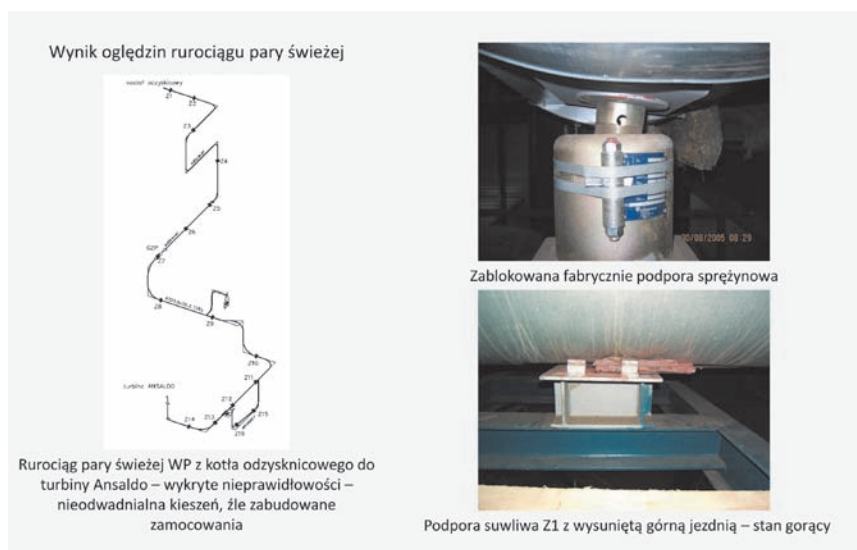
Przykładem znacznego przekroczenia naprężeń dopuszczalnych na skutek braku kompensacji wydłużeń jest rurociąg z zaworu regulacyjnego do kadłuba zewnętrznego WP jednej z turbin (rys. 19). Intensyfikacja procesów pełzania była w tym przypadku na tyle duża, że już po 48 000 godzin pracy stwierdzone na tym rurociągu pustki pełzaniowe (rys. 20) [10].



Rys. 19



Rys. 20. Struktura ferrytyczna z bardzo niewielką ilością bainitu/perlitu rozmieszczonego głównie po granicach ziaren ferrytu. Ferryt poligonalny i quasi-poligonalny. Wielkość ziarna ferrytu 5,0, wg PN-EN ISO 643:2005. Występują liczne roztrawienia wokół węglików/siarczków oraz pojedyncze mikropory pełzaniowe



Rys. 21

Zamocowania Z1 i Z3 po modernizacji



Podpora kulowa Z1



Zamocowanie Z3 dwukolumnowe, poziome zawieszenie sprężynowe

Rys. 22

W przypadku w porę wykrytych błędów czy to montażowych, czy projektowych można, a nawet należy podjąć kroki zaradcze.

Przykładem nie najlepiej dobranych i źle zmontowanych zamocowań jest rurociąg pokazany na rysunku 21. Działania zaradcze polegały na tym, że dla zamocowań Z1 i Z2 zastosowano stoły kulowe, które skutecznie przeciwdziałają blokowaniu się stóp jezdnych na skutek tarcia. Dla zamocowania Z3 zwiększono możliwość przemieszczeń w płaszczyźnie poziomej (rys. 22). Ponieważ badania stanu materiału przed modernizacją zamocowań nie wykazały negatywnych efektów spiętrzenia naprężeń można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że podjęte działania zaradcze będą skuteczne ze względu na procesy pełzania [11].

Obecnie przewidywane warunki pracy rurociągów

Przytłaczająca większość obecnie eksploatowanych bloków energetycznych projektowana była jako jednostki podstawowe do stabilnej pracy przy maksymalnym obciążeniu. Obecnie większość bloków opalanych węglem kamiennym pracuje okresowo, a praca charakteryzuje się dużą zmiennością obciążenia. W licznych ośrodkach trwają prace nad określeniem wpływu zmiany warunków eksploatacji na procesy degradacji materiału. W niedalekiej przyszłości bloki węglowe pracować będą jako szczytowe w głębokiej regulacji. Takie warunki pracy spowodują, że zmęczenie materiałów, a nie pełzanie stanie się dominującym powodem uszkodzeń elementów krytycznych kotłów, a co za tym idzie i rurociągów. Brak w tej chwili przesłanek do ilościowego oszacowania obu procesów destrukcyjnych, ale należy je brać pod uwagę przy planowaniu dalszej eksploatacji.

Podsumowanie

1. W końcowym okresie eksploatacji bloków energetycznych ($250\,000 < T \leq 350\,000$ h) procesy pełzaniowe będą coraz częstszym, a może nawet dominującym obok zmęczenia powodem uszkodzeń grubościennych elementów krytycznych kotłów pracujących powyżej temperatury granicznej.
2. Pełzaniowa degradacja struktury coraz częściej pojawia się w obszarach dotychczas traktowanych jako bezpieczne, czyli w obszarach spiętrzenia naprężeń nie przewidzianych przez projektanta.
3. Programy badań diagnostycznych powinny być opracowane na podstawie bardzo drobiazgowej (o ile to możliwe) retrospekcji lub obejmować swym zakresem znacznie szerszy niż tradycyjny obszar badań.
4. Weryfikacja programu badań powinna nastąpić po gruntownej i wielostronnej analizie wyników oględzin przedmiotu badań.

LITERATURA

- [1] Chmielniak T., Kosman G., Rusin A.: Pełzanie elementów turbin ciepłych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990.
- [2-11] Sprawozdania: „Pro Novum” sp. z o.o. – prace niepublikowane.

Pomiar grubości warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej wężownic metodą ultradźwiękową i optyczną w diagnostyce przegrzewaczy pary

Measurement of oxide layer thickness on inner surfaces of superheater tubes using ultrasonic and optical methods in superheater diagnostics

Przegrzewacze pary zazwyczaj pracują przy temperaturach przekraczających temperaturę graniczną dla danej stali, co oznacza, że projektowane są i liczone na wytrzymałość czasową R_c . W teorii oznacza to, że ich czas pracy jest limitowany (między innymi) przez procesy pełzaniowe, lecz w praktyce mogą one często pracować znacznie dłużej niż to wcześniej założono. Doświadczenie pokazuje, że odpowiednio planowana i prowadzona diagnostyka tych elementów, a co za tym idzie, systematyczna weryfikacja oceny ich stanu, pozwala na bezpieczne wydłużenie czasu ich eksploatacji.

W przypadku wężownic przegrzewacza pary pracującego powyżej temperatury granicznej, poza pełzaniem, spotkać możemy się z korozją wysokotemperaturową, korozją parową oraz erozją. Procesy te prowadzą do wyczerpania trwałości metalu w wyniku działania wysokiej temperatury oraz wzrostu naprężeń spowodowanych ubytkiem grubości ścianki. Aby wyznaczyć rzeczywisty, dopuszczalny czas pracy, należy uwzględnić nie tylko przepracowaną liczbę godzin, ale także wpływ wyżej wymienionych procesów – niezbędna jest więc znajomość grubości ścianek wężownic oraz rzeczywistej temperatury pracy.

Grubość ścianki rury, która w czasie eksploatacji maleje w wyniku działania korozji i erozji, sprawdza się przy wykorzystaniu ultradźwiękowych pomiarów grubości. Rzeczywista temperatura pracy może być wyznaczona natomiast na podstawie ultradźwiękowego pomiaru grubości warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej wężownicy¹⁾.

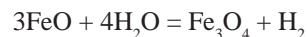
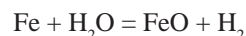
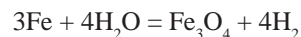
Proces tworzenia się warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej wężownic

Zgodnie z teorią utleniania się żelaza i jego stopów [2], skład warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej, powstałej

¹⁾ Rzeczywista temperatura określana tą metodą jest średnią temperaturą w całkowitym okresie pracy elementu. Szczegóły w rozdziale „Rzeczywista temperatura ścianki wężownicy” w dalszej części artykułu.

w wyniku działania wysokiej temperatury, może być bardzo złożony i uzależniony jest nie tylko od temperatury, ale także od gatunku stali.

Ogólnie, wyżej wspomniane tlenki powstają w wyniku utleniania stali w podwyższonej temperaturze, zgodnie z następującą sumaryczną reakcją:

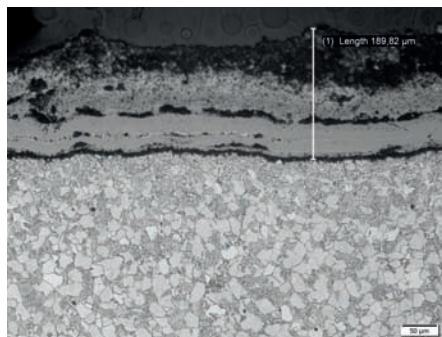
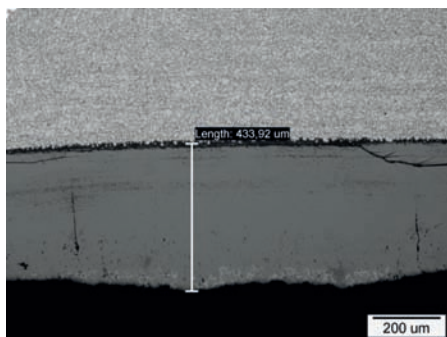


Jak wynika z wykresu równowag fazowych [2], w warstwie zgorzeliny mogą się jednocześnie znajdować wszystkie związki żelaza z tlenem, tj. FeO, Fe₃O₄ oraz Fe₂O₃. Poszczególne tlenki układają się warstwowo zgodnie z zasadą, że bezpośrednio do powierzchni metalu przylega tlenek o najniższym stopniu utlenienia żelaza. I tak, do metalu jako pierwszy przylega tlenek żelaza (II) FeO, który powstaje w temperaturach przekraczających 570°C i ma najmniejszą grubość w porównaniu z pozostałymi warstwami. Następnie mamy warstwę tlenku Fe₃O₄ (magnetyt), który tworzy się już przy 230°C i w całym zakresie temperatur jest trwały. Ostatnią, zewnętrzną warstwą złożonej struktury tlenków jest tzw. tlenek żelaza (III) Fe₂O₃ (hematyt).

Powstała, w wyniku przytoczonych reakcji i w określonych warunkach, warstwa tlenków ma dwojaki wpływ na metal rury:

- pozytywny – ochrona przed nadmiernym utlenianiem się,
- negatywny – ograniczenie wymiany ciepła.

Skutkiem izolacji cieplnej i stałego przyrostu grubości warstwy tlenków jest pogorszenie chłodzenia metalu wężownicy, a co za tym idzie, wzrost temperatury pracy. Ponadto przyrost grubości warstwy tlenków odbywa się kosztem grubości ścianki wężownicy, co prowadzi do wzrostu naprężeń. Jak więc widać, grubość warstwy tlenków jest ściśle związana z czasem i rzeczywistą temperaturą pracy.



Rys. 1. Przykładowa warstwa tlenków na powierzchni wewnętrznej węzownicy wraz z optycznym pomiarem grubości; po lewej jednolita warstwa tlenków, po prawej rozwarstwiona

Rzeczywista temperatura ścianki węzownicy

Warstwa tlenków tworzy się na węzownicy ze zróżnicowaną intensywnością (zależną od gatunku metalu, temperatury i czasu pracy), dlatego też rzeczywista temperatura pracy, wyznaczana na podstawie ich grubości, jest średnią temperaturą, w której pracował dany element w całym okresie eksploatacji. Oznacza to, że do wyznaczenia rzeczywistej temperatury pracy węzownicy wymagane są:

- jej czas pracy,
- grubość warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej węzownicy,

Jako że przyrost grubości warstwy tlenków odbywa się kosztem ubytku grubości ścianki węzownicy, rzeczywistą temperaturę pracy można uzyskać z następującej zależności [1]:

$$d_D^2 = K_D^{(T)} \cdot t$$

gdzie:

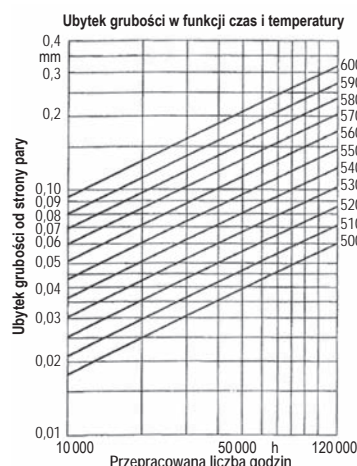
d – ubytek grubości ścianki, mm,

K_D – stała wynikająca z prawa Tammana: $\log K_d = \frac{9856}{T} - 5,2222$

T – temperatura, K,

t – czas pracy, h.

Na podstawie wyżej wymienionych zależności tworzone są wykresy (rys. 2). Znając grubość warstwy tlenków (która jest proporcjonalnie związana z ubytkiem grubości ścianki rury) oraz dotychczasowy czas pracy możemy odczytać z wykresu rzeczywistą średnią temperaturę pracy danej węzownicy.



Rys. 2. Przykładowy wykres przedstawiający zależność pomiędzy ubytkiem grubości ścianki a czasem i temperaturą pracy (dla stali chromo-molibdenowych) [3]

Grubość warstwy tlenków (przy danej średniej temperaturze) jak i prędkość jej przyrostu jest uzależniona również, jak wspomniano wcześniej, od gatunku stali. Przykładowo, grubość warstwy tlenków dla stali martenzytycznej oraz prędkość jej przyrostu jest znacznie mniejsza w porównaniu ze stalami chromo-molibdenowymi.

Sposób pomiaru grubości warstwy tlenków

Do pomiaru grubości warstwy tlenków wykorzystuje się defektoskopy ultradźwiękowe oferujące dużą rozdzielczość w szerokim paśmie, wyposażone w czujniki, które wytwarzają falę o wysokiej częstotliwości.

Czujniki, ze względu na rodzaj wykorzystywanej fali ultradźwiękowej, podzielić można na:

- podłużne, które wykorzystują falę podłużną o dużej prędkości rozprzestrzeniania się oraz dużej amplitudzie echa; ich atutem jest łatwe sprzężenie akustyczne wymagane w czasie pomiaru; minusem jest minimalna mierzalna grubość ($g = 200 \mu\text{m}$, poniżej tej wartości pomiar jest obarczony dużym błędem i jest niewiarygodny), jednak nie ma to znaczącego wpływu na oszacowanie rzeczywistej temperatury pracy (patrz kolejny rozdział artykułu),
- poprzeczne, które wykorzystują falę poprzeczną; dzięki niższej o połowę (niż fale podłużne) prędkości rozprzestrzeniania się (3200 m/s) oferuje dokładniejszy pomiar, nawet do $g = 130 \mu\text{m}$; niedogodnością, w przypadku użycia tego typu czujnika, jest konieczność stosowania drogich cieczy sprzęgających.

Ogólna zasada pomiaru polega na oddzieleniu echa od grubości metalu od echa warstwy tlenków. Sam pomiar jak i kalibracja urządzenia przed pomiarem wymagają dużej wprawy oraz doświadczenia. Szczegóły techniczne, związane z kalibracją, przygotowaniem powierzchni i samym pomiarem, można znaleźć w literaturze poświęconej temu zagadnieniu oraz w [1].

Pomiar grubości warstwy tlenków na węzownicach metodą ultradźwiękową oraz optyczną

Pomiary ultradźwiękowe wykonywane były zarówno na obiektach (węzownice A i B) jak i w warunkach laboratoryjnych,

Dane konstrukcyjne oraz czas pracy wybranych do badań powierzchni ogrzewalnych

Element	Powierzchnia ogrzewalna	Wymiary, mm	Materiał	Dotychczasowy czas pracy, h
Wężownica A	przegrzewacz pary wtórnej I ^o	ø 50 x 4 mm	12HMF	~ 175 000
Wężownica B	przegrzewacz pary pierwotnej III ^o	ø 38 x 6 mm	X10CrMoVNb9-1 (P91)	~ 65 000
Wężownica C	przegrzewacz pary pierwotnej V ^o (rura przegrzana)	ø 31,8 x 7,1 mm	10CrMo9-10 (10H2M)	~ 8 600
Wężownica D	przegrzewacz pary pierwotnej V ^o			

na wcześniej wyciętych próbkach (wężownice C i D). Wszystkie pomiary metodą optyczną były już natomiast wykonywane przy użyciu mikroskopu w warunkach laboratoryjnych.

W tabeli 1 zaprezentowano podstawowe dane konstrukcyjne oraz czas pracy wybranych do badań powierzchni ogrzewalnych.

Wężownice A i B, po pomiarach ultradźwiękowych, zostały pobrane z kotłów do badań niszczących. Miejsce poboru wybrano tak, aby było jak najbliżej miejsca, w którym wykonano pomiar ultradźwiękowy. Pomiar metodą optyczną na wężownicach C i D wykonany był dokładnie w miejscu pomiaru ultradźwiękowego.

Porównanie wyników pomiarów

Wyniki pomiarów ultradźwiękowych wykonanych za pomocą głowic podłużnych zestawiono z wynikami pomiarów metodą optyczną w tabeli 2.

Tabela 2

Wyniki uzyskane dwoma metodami pomiarowymi

Element	Grubość warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej zmierzona metodą ultradźwiękową, µm	Grubość warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej zmierzona metodą optyczną, µm
Wężownica A	< 200	59
Wężownica B	< 200	196
Wężownica C	550	510
Wężownica D	370	320

W każdym przypadku, przedstawionym w tabeli powyżej, wyniki pomiarów metodą optyczną są zbliżone lub mieszczą się w zakresie określonym przez pomiary wykonane metodą ultradźwiękową. Wątpliwości mogą budzić te wyniki pomiarów, w przypadku których dokładne określenie grubości warstwy tlenków metodą ultradźwiękową ograniczone jest przez charakterystykę użytej głowicy pomiarowej (minimalna, wiarygodna mierzalna wartość – 200 µm).

Jednak doświadczenia pokazują, że warstwa tlenków o grubości ok. 200 µm ma nikły wpływ na zaburzenie przewodzenia ciepła a ubytek grubości ścianki jest nieznaczny. W związku z tym uzyskanie większej dokładności nie jest uzasadnione ani pod względem inżynierskim ani pod względem ekonomicznym (zastosowanie głowicy poprzecznej, która umożliwia dokładniejszy pomiar, wymaga zastosowania drogich cieczy sprężających).

Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki pomiarów ultradźwiękowych ukazują szeroki zakres możliwości tej metody i zostały potwierdzone wynikami badań niszczących. Znajduje ona zastosowanie zarówno dla stali od lat obecnych w polskiej energetyce (12HMF, 10H2M oraz inne) jak i dla nowoczesnych stali martenzytycznych (P91).

Wyniki pomiarów grubości warstwy tlenków same w sobie niewiele nam mówią o badanym elemencie, dlatego też istotą tych badań jest uzyskanie informacji, które pozwolą oszacować równoważną, średnią temperaturę pracy. Odpowiednio planując siatkę pomiarową na przegrzewaczu możemy uzyskać mapę temperatur (pracy metalu) na interesujących nas powierzchniach ogrzewalnych, w różnych przekrojach, na całej ich wysokości. Doświadczenia pokazują, że zmiany w procesie spalania (zastosowanie palników niskoemisyjnych, współspalanie biomasy, itd.) wpływają znacząco na rozkład temperatur zarówno w samej komorze paleniskowej jak i w okolicach przegrzewaczy. Często są przypadki, kiedy ze względu na brak odpowiednich pomiarów temperatur metalu użytkownik dowiadywał się o niekorzystnych przekroczeniach temperatur na przegrzewaczach właśnie na podstawie pomiarów grubości warstwy tlenków na powierzchniach wewnętrznych wężownic.

Wyznaczenie średniej temperatury pracy metalu umożliwia więc identyfikację warunków, w jakich eksploatowany jest przegrzewacz. Praca w wyższej niż zakładana przez konstruktora temperaturze doprowadza do fizycznych zmian w mikrostrukturze metalu, co ostatecznie może skutkować kosztowną awarią.

Opisane w artykule pomiary są z powodzeniem wykorzystywane w diagnostyce powierzchni ogrzewalnych i stanowią jeden z istotnych elementów przy ocenie stanu technicznego i określeniu żywotności wężownic przegrzewaczy pary.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Dobosiewicz J., Brunné K.: Ultradźwiękowy pomiar grubości warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej. *Energetyka* 2007, nr 6-7.
- [2] Tomaszow N.D.: Teoria korozji i ochrony metali. PWN, Warszawa 1962.
- [3] Zbroińska-Szczuchura E., Dobosiewicz J.: Ocena stopnia wyczerpania trwałości wężownic przegrzewaczy kotłów parowych. Prace IMiUE Politechniki Śląskiej 1998, tom 3.