

Jerzy Dobosiewicz

Andrzej Rauszer

Wspólnota Energetyki i Węgla Brunatnego

BADANIA DIAGNOSTYCZNE NIEKTORYCH ELEMENTÓW CIŚNIENIOWYCH KOTŁÓW PAROWYCH

Streszczenie. Przedłużenie bezpiecznego czasu eksploatacji kotłów energetycznych, jak również przedłużenie okresu międzyremontowego jest możliwe tylko dzięki technologicznej ocenie stanu poszczególnych elementów danego urządzenia. Wieloletnie doświadczenia wynikające z prowadzenia badań diagnostycznych i powaryjnych pozwoliły na ustalenie, które elementy kotła mają decydujące znaczenie dla jego dyspozycyjności i jakie metody badań należy zastosować, by ocena techniczna spełniła wymagane zadania.

1. WSTĘP

Uzasadnione przedłużanie okresów międzyremontowych bloków energetycznych powinno w sposób istotny wpłynąć na obniżanie kosztów remontów i podniesienie stopnia wykorzystania mocy urządzenia.

Podstawowym celem właściwego remontowania bloków jest wzrost niezawodności, sprawności i przedłużenie trwałości przy zminimalizowanych kosztach. Można to osiągnąć przez prowadzenie remontów zapobiegawczych wg określonego czasu pracy, lub wg stanu technicznego urządzenia. W kraju stosowany jest system wg określonego czasu pracy z 4-ro letnim okresem międzyremontowym i szacunkowym sposobem oceny stanu elementów. W ramach tych remontów dokonuje się przeglądów oraz napraw i wymiany uszkodzonych elementów.

Remonty prowadzone wg oceny stanu technicznego są oparte na ciągłym lub okresowym sprawdzaniu przydatności urządzenia. Różnica między remontami wykonanymi metodą tradycyjną i wg stanu technicznego jest istotna. Dominującą obecnie w krajowej energetyce metodą tradycyjną jest przestarała ze względu na :

- obniżenie niezawodności urządzenia w przypadku ujemnych odchyłek od danych szacunkowych,
- ponoszenie zbędnych nakładów przy dodatnich odchyłkach od danych szacunkowych.

Niedoskonałość tej metody przejawia się w nadmiernej koncentracji sił

i-środków oraz w znacznych zmianach zakresów remontów, które dezorganizują ich przebieg i wydłużają czas realizacji.

Korzyści ze stosowania polityki remontowej wg stanu technicznego wynikają ze zwiększonej niezawodności i przedłużenia czasu eksploatacji poszczególnych elementów i tym samym ze zmniejszenia kosztów utrzymania.

Przed przystąpieniem do remontu prowadzonego tą metodą należy w sposób jednoznaczny ustalić elementy krytyczne urządzenia, kryteria oceny, oraz metody ich sprawdzania.

Techniczna ocena stanu elementów kotła polega na skojarzonej działalności diagnostycznej składającej się z następujących czynności :

- gromadzenie danych ruchowych i eksploatacyjnych,
- wykonanie obliczeń wytrzymałościowych,
- ocena stopnia wyczerpania materiału,
- badania nieniszczące.

Wykonanie obliczeń wytrzymałościowych

Obliczenie czasu dalszej pracy elementów wykonuje się w oparciu o dane ruchowe, uwzględniając rzeczywiste warunki pracy i stopień wyczerpania materiału. Do obliczeń stosuje się zwykle metodą elementów skończonych. Należy zaznaczyć, że obliczenia te mają charakter orientacyjny. Otrzymane wyniki służą zasadniczo do określenia czasu pracy, po przekroczeniu którego należy zwiększać stale częstotliwość badań diagnostycznych.

Ocena stopnia wyczerpania

Ocenę tę wykonuje się zasadniczo po przekroczeniu trwałości projektowanej. Na próbkach pobranych z ocenianych elementów. Najczęściej są to badania na pełzanie, zmęczenie cieplne, zmęczenie małocykliczne.

Badania nieniszczące

Najczęściej stosuje się następujące rodzaje badań i pomiarów :

- oględziny,
- badania penetracyjne, magnetyczne, endoskopowe oraz inne do wykrywania pęknięć powierzchniowych,
- badania ultradźwiękowe,
- badania struktury metalograficznej metodą replik,
- pomiary deformacji,
- pomiary twardości.

W oparciu o analizę uzyskanych danych, przy współpracy z dostawcą urządzenia, ustala się dalszy sposób postępowania z ocenianymi elementami, a szczególnie : zakres wymiany, rodzaj naprawy oraz ponowny termin i zakres badań. Wymianę zużytych elementów należy w miarę możliwości wykonać wraz z ewentualną modernizacją mającą na celu przedłużenie trwałości, podniesienie wydajności i niezawodności, oraz podniesienie sprawności.

Bardzo istotną, a często nie docenianą czynnością jest gromadzenie informacji na temat eksploatacji. Do danych tego rodzaju zalicza się wszystkie wykonane naprawy, wymiany, modernizacje, przeprowadzone badania

i pomiary, oraz zdarzające się uszkodzenia i przyczyny ich powstawania. Najwięcej kłopotów przysparza pracownikom eksploatacji ustalenie przyczyn uszkodzenia poszczególnych elementów kotła.

Metal tych elementów ulega uszkodzeniu, gdyż w czasie pracy w podwyższonej temperaturze i przy dużym wyciążeniu, zachodzą w nim niekorzystne procesy fizyczne, takie jak: pełzanie, zmęczenie, wzrost kruchości.

Przyczyny pośrednie, które przyspieszają fizyczne procesy niszczenia metalu urządzeń, można podzielić na dwie grupy :

A - zmiany własności metalu spowodowane przekroczeniem temperatury obliczeniowej i obliczeniowego czasu pracy,

B - przyrost naprężeń na skutek zmiany przekroju nośnego, dodatkowych naprężeń stałych i zmiennych, zarówno cieplnych, jak i mechanicznych, a wynikających z licznych odstawień, zmian obciążeń, prób wodnych.

Zmiany własności, jak już wspomniano, mają wpływ na trwałość elementów kotła i na konieczność ich wymiany. Istnieje jednak hierarchia ważności tych elementów rozumiana jako stopień zagrożenia i ponoszonych kosztów w przypadku wystąpienia awarii. Są to elementy krytyczne i elementy wpływające na niezawodność.

Elementy krytyczne:

- walczak,
- komory parowe, wodne, komory schładzaczy,
- rurociągi komunikacyjne,
- rury opadowe.

Elementy wpływające na niezawodność:

- węzownice podgrzewaczy, przegrzewaczy, ekranów,
- rurociągi odwadniające i odpowietrzające.

Poniżej omówiono warunki pracy, przyczyny uszkodzeń i stosowane metody oceny materiałów elementów krytycznych oraz tych, które mają wpływ na niezawodność kotłów energetycznych.

2. WALCZAKI

Pracują w warunkach zmęczenia małocyklicznego i zmęczenia korozyjnego.

Należy podkreślić, że podczas pracy materiał ścianki walczaka oprócz naprężeń statycznych, przenosi również naprężenia dynamiczne. Główną przyczyną powstawania naprężeń dynamicznych są uruchomienia i odstawienia kotłów, a szczególnie wahania temperatury ścianki rzędu plus-minus 20°C powodowane niedokładnym mieszaniem się wody kotłowej i zasilającej. Doświadczenia zebrane na kilkudziesięciu walczakach jednoznacznie wskazują, że zmęczenie małocykliczne wywołane zmianą naprężeń podczas odstawiania i uruchamiania kotła nie ma istotnego wpływu na powstawanie i rozprzestrzenianie się pęknięć. Przy średnim naprężeniu w ściance 110 MPa , amplituda naprężeń $\Delta t \pm 20^{\circ}\text{C}$ / wynosi plus-minus 50 MPa , a takich cykli

może wystąpić kilka podczas ustalonej pracy kotła.

Największa liczba uszkodzeń w postaci pęknięć jest spowodowana względami zmęczeniowymi, lub zmęczeniowo korozyjnymi na powierzchni wewnętrznej, a szczególnie w okolicy otworów, gdzie występują pęknięcia promieniowe i wżery korozyjne. Pęknięcia równoległe do głównej osi walczaka są z reguły dłuższe i głębsze od pęknięć do niej prostopadłych. Ponadto często występują uszkodzenia głównych spoin i spoin pachwinowych, a za przyczynę ich powstawania uważa się koncentrację naprężeń na nieciągłościach technologicznych.

Ze względu na wymiary, masę walczaka i nagromadzenie się energii sprężystej zdarzają się totalne kruche uszkodzenia /rozerwania/ podczas wykonywania prób wodnych. Tego typu uszkodzenia mogą zdarzyć się w przypadku, gdy :

- istnieje inicjator o wymiarach krytycznych,
- inicjator jest skierowany prostopadle do naprężeń głównych,
- naprężenia w ściance walczaka nie przekraczają granicy plastyczności,
- temperatura ścianki walczaka jest niższa od temperatury progu kruchości dla danego materiału.

Walczaki poddaje się najczęściej następującym badaniom diagnostycznym :

- oględziny,
- pomiary odkształcenia średnic,
- badania ultradźwiękowe i radiograficzne spoin głównych,
- badania magnetyczne spoin głównych i pomocniczych na obu powierzchniach, w tym spoin pachwinowych króćców, badania krawędzi otworów i mostków.

3. PRZEGRZEWACZE PARY

Wężownice

Pracują w warunkach pełzania, korozji od strony pary, od zawilgoconego popiołu, korozji zmęczeniowej na powierzchni wewnętrznej.

Największa liczba uszkodzeń spowodowana jest przegrzaniem materiału /praca w temperaturze przekraczającej temperaturę dopuszczalną/. Przegrzanie może nastąpić w wyniku długotrwałego niskiego, lub krótkotrwałego, lecz wysokiego przekroczenia temperatury. Uszkodzeniom od przegrzania często towarzyszą ubytki grubości ścianki na skutek korozji i utleniania od strony spalin, oraz utleniania od strony pary.

Korozja od zawilgoconego popiołu występuje wszędzie tam, gdzie wężownice stykają się z popiołem, który przy myciu, a przed wysuszeniem kotła, działa agresywnie na metal wężownic. Ma to miejsce w przestrzeni międzystropowej, przy zabudowanych na ścianach kotła komorach itp.

Korozja zmęczeniowa występuje często na kolanach przegrzewaczy niskich stopni, w których przepływa wilgotna para. Uszkodzenia zlokalizowane są na wewnętrznych powierzchniach kolan w strefie obojętnej gięcia.

Wężownice przegrzewaczy poddaje się najczęściej następującym badaniom diagnostycznym :

- oględziny,
- pomiary grubości warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej w celu ustalenia temperatury pracy,
- pomiar twardości na przekroju poprzecznym,
- badania ultradźwiękowe na obecność pęknięć na powierzchni wewnętrznej kolan,
- badania penetracyjne w okolicy zamocowań, elementów ustalających.

Komory

Pracują w warunkach pełzania i zmęczenia cieplnego.

Ulegają często uszkodzeniom w okolicach otworów króćców wężownic, odwodnień i odpowietrzeń, tj. w miejscach, w których powstają termoszoki w wyniku powrotu kondensatu /odpowietrzenia i odwodnienia/, lub w dolnych partiach komór na skutek wydmuchiwania korków wodnych z wężownic podczas uruchamiania kotła, szczególnie po krótkich postojach /dotyczy to głównie komór wlotowych/.

Procesy pełzaniowe i zmęczeniowe nie zawsze występują w tych samych miejscach. Wyczerpanie trwałości materiału komór w wyniku pełzania zdarza się bardzo rzadko, jeżeli temperatura pracy ścianki komory nie przekracza wartości obliczeniowej. Uszkodzenia związane z pełzaniem najszybciej pojawiają się przy wszelkiego rodzaju otworach na powierzchni wewnętrznej komór w postaci okształceń obwodowych aż do pęknięć włącznie. Pęknięcia są usytuowane równoległe do głównej osi komory.

Uszkodzenia zmęczeniowe od termoszoków mogą mieć miejsce nawet po krótkim czasie pracy komory. Występują one w postaci pęknięć promieniowych na krawędziach otworów na powierzchni wewnętrznej, lub w przypadku niewłaściwego rozmieszczenia otworów w postaci pęknięć mostków z skierowaniem obwodowym.

Podobne warunki pracy i uszkodzenia mają komory schładzaczy wtryskowych, w których ponadto mogą wystąpić pęknięcia na powierzchniach w przypadku niesprawnych dysz lub popękanych koszulek ochronnych.

Komory przegrzewaczy poddaje się najczęściej następującym badaniom :

- oględziny,
- badania endoskopowe,
- badania magnetyczne spoin głównych i spoin pachwinowych króćców wężownic i ruruciągów komunikacyjnych,
- pomiar deformacji płaszcza, denek i ugięcia komór,|
- badania ultradźwiękowe spoin,
- badania struktury metalograficznej na wyciętych próbkach specjalnych /łódki/,
- pomiary grubości ścianki.

Króćce komór.

Pracują w warunkach podobnych jak komory i węzownice oraz dodatkowo po wpływem okresowego działania sił zewnętrznych w postaci momentów zginających.

Na króćcach występują trzy rodzaje uszkodzeń :

- pęknięcia obwodowe w okolicy spoin pachwinowych występujące pod wpływem naprężeń dodatkowych,
- pęknięcia powierzchniowe na powierzchni wewnętrznej jako wynik działania korozji zmęczeniowej,
- pocienienie grubości ścianki od strony zewnętrznej związane z agresywnym działaniem wilgotnego popiołu.

Typowymi badaniami króćców są :

- badania magnetyczne,
- pomiar grubości ścianki,
- badania introskopowe.

4. PODGRZEWACZE WODY

Węzownice

Pracują w warunkach erozji, korozji, korozji zmęczeniowej.

Węzownice podgrzewaczy ulegają uszkodzeniom na skutek wzrostu naprężeń spowodowanych obniżeniem grubości ścianki przez erozję, rzadziej przez korozję. Erozja popiołem występuje przeważnie na kolankach i odcinkach prostych, znajdujących się przy ścianach kotła, zwłaszcza tam, gdzie spaliny osiągają większe prędkości przepływu. Korozji zmęczeniowej natomiast, ulegają kolanka o dużej owalizacji przekroju powstałej w wyniku gięcia. Pęknięcia są wtedy zlokalizowane na powierzchni wewnętrznej w obojętnej strefie gięcia.

Węzownice podgrzewaczy wody poddaje się najczęściej następującym badaniam :

- oględziny,
- pomiar grubości ścianki odcinków prostych i kolanek,
- badania ultradźwiękowe kolanek,
- badania penetracyjne w okolicy elementów ustalających.

Komory

Pracują w warunkach zmęczenia cieplnego.

Komory ulegają często uszkodzeniom właśnie od zmęczenia. Uszkodzenia występują na powierzchni wewnętrznej, na krawędziach otworów króćców węzownic w postaci pęknięć promieniowych /słoneczka/. Przyczyną tych uszkodzeń są termoszoki wywołane różnicą temperatur między ścianką komory a wodą zasilającą podczas uruchamiania ze stanu gorącego, szczególnie w okresie, gdy nie pracują podgrzewacze regeneracyjne. Dotyczy to komór wlo-

towych. W przypadku gdy komory stykają się okresowo z zawilgoconym popiołem, może nastąpić korozyjne pocienienie ścianek zarówno komór, jak i króćców.

Komory podgrzewaczy wody poddaje się następującym badaniom diagnostycznym :

- badania endoskopowe otworów,
- pomiary grubości ścianki.

5. EKRANY

Pracują w warunkach korozji, zmęczenia korozyjnego i erozji.

Rury ekranowe ulegają najczęściej uszkodzeniom na skutek korozji i erozji. Większość uszkodzeń jest spowodowana ubytkami materiału na powierzchni wewnętrznej w części obwodu od strony ogniowej. Ubytkom materiału o różnej wielkości i głębokości towarzyszy bardzo często kruchość materiału, objawiająca się początkowo siatką pęknięć, a kończąca się wypadaniem dużych powierzchni rury w postaci tzw. "okienek". Przyczyną tego rodzaju niszczenia jest wolny wodór in statu nascendi, wydzielający się w czasie procesów korozyjnych zachodzących na wewnętrznej ścianie. Uszkodzenia tego typu najczęściej lokalizują się w strefach maksymalnych obciążeń cieplnych komory paleniskowej /nieco powyżej palników w środkowych częściach ścian/ oraz w miejscach, gdzie istnieją możliwości zaburzenia przepływu mieszan-ki parowo-wodnej, np. kolana chłodnego leja i przewodu.

Na kolanach o bardzo małym promieniu gięcia np. przy wziernikach, palnikach czy zdmuchiwaczach, występują pęknięcia zmęczeniowo-korozyjne na powierzchniach wewnętrznych tych kolan.

W kotłach o dużej wydajności odstawianych na krótki czas, podczas uruchamiania ze stanu gorącego, w środkowych częściach ekranów, mogą powstać pęknięcia zmęczeniowe wywołane termoszokami. Podczas krótkiego postoju kotła, w dolnych partiach rur ekranowych znajduje się chłodna woda, która w czasie rozruchu przedostaje się do bardziej nagranych, górnych partii, powodując ich nagłe schłodzenie.

Po dłuższej eksploatacji kotła, rury dolnej części ekranów w tzw. chłodnym leju, ulegają erozji, której przyczyną jest żużel przemieszczający się po pochyłych odcinkach komory paleniskowej do odzūżlacza.

Rury ekranowe poddaje się najczęściej następującym badaniom diagnostycznym :

- oględziny,
- pomiar grubości ścianki, dla wykrycia wżerów korozyjnych,
- pomiar grubości osadów na powierzchni wewnętrznej,
- badania ultradźwiękowe kolan celem wykrycia pęknięć na powierzchni wewnętrznej,

- badania ultradźwiękowe w strefie maksymalnego obciążenia cieplnego w celu wykrycia ubytków korozyjnych,
- badania magnetyczne spoin pachwinowych króćców komór ekranowych.

6. RUROCIĄGI KOMUNIKACYJNE

Pracują w warunkach pełzania i zmęczenia oraz korozji zmęczeniowej.

Największa liczba uszkodzeń spowodowana jest pęknięciami spoin dzięki działaniu naprężeń dodatkowych zarówno stałych (niewłaściwa praca zamocowań), jak i zmiennych (brak odpowiedniej kompensacji rozszerzalności cieplnej).

Ponadto występuje przedwczesne wyczerpanie trwałości kolan /pełzanie/ na skutek dodatkowych naprężeń spowodowanych owalizacją powstałą w czasie gięcia, oraz korozyjno zmęczeniowe niszczenie tych elementów, przez które może okresowo przepływać wilgotna para.

Rurociągi komunikacyjne poddaje się najczęściej następującym badaniom diagnostycznym :

- oględziny /szczególnie elementów zamocowań/,
- pomiary grubości ścianek kolan na łukach zewnętrznych,
- pomiary odkształceń średnic,
- badania ultradźwiękowe na obecność pęknięć na powierzchni wewnętrznej kolan w obojętnej strefie gięcia,
- badania magnetyczne spoin i zewnętrznych łuków kolan,
- badania struktury metalograficznej przy pomocy replik na zewnętrznych łukach kolan.

7. RUROCIĄGI ODWADNIAJĄCE I ODPOWIETRZAJĄCE

Pracują w warunkach korozji zmęczeniowej i erozji parowo-wodnej.

Uszkodzenia występują głównie na kolanach, gdzie może zachodzić pękanie w strefie obojętnej gięcia, oraz z powodu erozyjnego pocienienia ścianki od strony wewnętrznej. Pierwszy przypadek spowodowany jest korozją zmęczeniową powierzchni wewnętrznej kolan o zowalizowanym przekroju, drugi dużymi prędkościami przepływu pary lub skroplin.

Dla rurociągów odwadniających i odpowietrzających przeprowadza się następujące badania :

- badania ultradźwiękowe kolan,
- pomiary grubości ścianki kolan na zewnętrznych łukach.

Przeprowadzanie wyżej wymienionych badań diagnostycznych jest konieczne dla prawidłowej eksploatacji kotłów energetycznych. Obowiązek wykonania

tych badań spada bezpośrednio na elektrownie, lub za pośrednictwem elektrowni na jednostki specjalistyczne. Wyniki tych badań powinny być podstawą polityki remontowej elektrowni, oraz po odpowiednim opracowaniu powinny służyć całej energetyce w postaci informacji, wytycznych, czy instrukcji. Dlatego też niezbędne jest istnienie ośrodka diagnostycznego, pełniącego rolę centrum diagnostyki w energetyce.

Zadaniem centrum byłoby gromadzenie i opracowywanie danych z poszczególnych elektrowni i wymiana informacji. Jednocześnie centrum określałoby stan urządzeń całego systemu i podejmowałoby odpowiednie decyzje.

Przykładem tego rodzaju ośrodków o charakterze centralnym może być amerykański EPRI, francuski EDF, czy zachodniemiecki VGB.

W Polsce natomiast, kolejne reorganizacje energetyki ciągle nie mogą doprowadzić do utworzenia ośrodka diagnostycznego. Wręcz przeciwnie, podczas kolejnych zmian rozproszeniu ulega potencjał diagnostyczny. Przykładem może być Służba Diagnostyczna w Delegaturze Zarządu PFiWB, która została rozwiązana. Nie wykorzystane pozostały doświadczenia a pracownicy i środki uległy rozproszeniu. Pozostały materiały z napisem Centrum Diagnostyki Energetycznej, ale to już będzie tematem dla tych, którzy kiedyś zajmą się historią CDF.

8. WNIOSKI

1. Jedynie badania diagnostyczne umożliwiają dokonanie właściwej oceny stanu urządzeń energetycznych.
2. Znajomość stanu urządzeń pozwala na zaplanowanie właściwego terminu i zakresu remontu, renowacji i modernizacji.
3. Szukanie oszczędności w skracaniu remontów jest nieporozumieniem, natomiast dążenie do wydłużenia okresu międzyremontowego jest drogą wartą zachodu. Można to osiągnąć właśnie przez dokładną znajomość stanu urządzenia.
4. Inwestowanie w diagnostykę, oraz organizacja sieci diagnostycznej w oparciu o centrum diagnostyki, przynosi wymierne efekty w postaci znacznych oszczędności.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Gerard KOSMAN

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НЕКОТОРЫХ ДЕТАЛЕЙ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Резюме

Увеличение безопасного времени работы энергетических котлов, а также увеличение междуремонтного периода возможно только благодаря технологической оценке состояния отдельных деталей данного оборудования. Многолетний опыт производственных диагностических и послеаварийных испытаний дал возможность определения, какие детали котла имеют решающее значение для его постоянной готовности к работе и какие методы испытаний следует применять чтобы техническая оценка соответствовала требуемым задачам.

DIAGNOSTICAL STUDY OF SOME PRESSURIZED ELEMENTS OF STEAM BOILERS

Summary

The extension of safe operating time of power boilers as well as the extension of the time-interval between the over hauls is only possible on the basis of the technological assessment of the working condition of the component elements of the given installation. Many - year experience resulting from the preventive and post-failure inspections made it possible to establish the elements of the boiler which are of critical importance for its availability and inspection methods to be used to ensure that the technical assessment has satisfied the required objectives.