ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1986
Seria: ENERGETYKA z. 94 Nr kol. 880

Jerzy DOBOSIEWICZ
Zbigniew KRZYWDA

Południowy Okręg Energetyczny
Katowice

OCENA STANU ELEMENTÓW CIŚNIENIOWYCH KOTŁÓW

Streszczenie. Opisano dotychczasowe doświadczenia eksploatacji elementów ciśnieniowych pracujących w warunkach pełzania. Podano przyczyny uszkodzeń w/wym. elementów. Przeprowadzono analizę obecnie stosowanych metod oceny komór i rurociągów kotłów w Kraju i za granicą. Przedstawiono propozycje wytycznych oceny stanu urządzeń ciśnieniowych liczonych na wytrzymałość czasową po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy.

1. Wstęp

Zgodnie z obowiązującymi przepisami Urzędu Dozoru Technicznego, obliczenia grubości ścianek komór parowych pracujących w temperaturach ponad granicznych są oparte na wytrzymałości czasowej.
Grubość ścianki komory jest ustalana wg wartości ciśnienia. Wpływ innych naprężeń, jak: reakcja podpór, naprężenie cieplne, owalizacja przekroju oceniane są przez konstruktora. Uszkodzenie komory jest najbardziej prawdopodobne w strefach naruszenia ciągłości geometrycznej, gdzie zwykle występują koncetracje naprężeń powłokowych lub w miejscach, gdzie pojawić się mogą naprężenia cieplne / termoszoki /.

Podstawowymi przyczynami uszkodzeń [1] komór są:

- zmęczenie cieplne - wskutek nagłego schłodzenia materiału kondensatem w czasie uruchamiania kotła lub podczas normalnej pracy. Uszkodzenia tego typu najczęściej występują w okolicy otworów odwodnień i odpowietrzeń, rzadziej otworów wężownic,
- pełzanie - wskutek przekroczenia obliczonej temperatury pracy. Uszkodzenia tego typu występują najczęściej na mostkach, w okolicach wężownic, rurociągów komunikacyjnych itp.

Ponieważ ww. uszkodzenia zależne są od eksploatacji, możliwość ich wystąpienia nie ma żadnego związku z czasem pracy. Z doświadczeń eksploatacyjnych wiadomo, że przekroczenie przez komorę obliczeniowego czasu pracy wcale nie jest jednoznaczne z nagłym obniżeniem dalszej jej przydatności. W energetyce obecnie pracuje znaczna liczba elementów liczonych w oparciu o wytrzymałość czasową, których czas pracy znacznie przekroczył wartości obliczeniowe. Dotyczy to szczególnie rurociągów parowych

komunikacyjnych i głównych. Użytkowanie tych urządzeń w zasadzie jest nieformalne, a dopuszczenie ich do dalszej pracy odbywa się na podstawie bardzo zróżnicowanych metod oceny przydatności [2].
Ponieważ wszystkie dotychczas znane metody oceny dalszej przydatności komór i rurociągów kotłów dają w ostateczności wyniki przybliżone, do najczęściej stosowanych należy metoda obliczeniowo-nieniszcząca oparta na wykorzystaniu zawartych w normach wytrzymałości na pełzanie oraz znajomości rzeczywistych naprężeń i wielkości odkształceń trwałych ocenianych elementów.
Metoda ta stosowana jest z powodzeniem w niektórych krajach i ujęta została w odpowiednie wytyczne / ASTM, TRD /.
Zastosowanie tej metody jest możliwe tylko wtedy, kiedy będą spełnione następujące warunki:

- zawarte w normach wartości wytrzymałości na pełzanie /Rz 100 000; Rz 200 000/ są wartościami wiarygodnymi ekstrapolowanymi z realnych wyników długotrwałych prób, w których okres czasu trwania pojedynczych prób przekroczył co najmniej 1/3 okresu obliczeniowego,
- dane do obliczeń parametry pracy ocenianych elementów są wartościami rzeczywistymi i sprawdzonymi; - dotyczy to temperatury, naprężeń, częstotliwości i czasu trwania ich zmian oraz wielkości odkształcania.

Warto podkreślić, że metoda ta stosowana w latach 1964-65 w oparciu o porozumienie między WKV, VDEn, VGB i VdTUV [3] w miarę zdobywania doświadczeń stała się osnową do opracowania wytycznych TRD 508 obowiązujących od roku 1978 w RFN.

2. Sposób ustalania przydatności elementów ciśnieniowych

Wykorzystując doświadczenia z rurociągami o wieloletnim czasie pracy / do 350 000 godzin / oraz wytyczne TRD 508, na terenie Południowego Okręgu Energetycznego opracowano "Instrukcję ustalania przydatności elementów ciśnieniowych pracujących w warunkach pełzania po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy [4] .
Instrukcja obejmuje rurociągi główne, komunikacyjne i komory kotłowe a zastosowana w niej metoda oceny przydatności polega na:

- ustaleniach wstępnych na podstawie obliczeń ścianki danego elementu z zastosowaniem wytrzymałości na 200 000 godzin lub obliczeń rzeczywistego czasu pracy tego elementu,
- sprawdzaniu warunków pracy ocenianych elementów,
- badaniach profilaktycznych.

2.1. Ustalenia wstępne

Sprawdzenie grubości ścianki gz istniejącego elementu z zastosowaniem wytrzymałości na 200000 godz. wg wzoru:

$$gz = \frac{p \cdot Dz}{/2k - p/z+2p},$$

gdzie:

p - ciśnienie rzeczywiste w elemencie / MPa /,
Dz - średnica zewnętrzna / mm /,
k - naprężenie dopuszczalne / MPa /.

$$k = \frac{0.8\ Rz/200\ 000/t\ max}{1}$$

Rz - średnia gwarantowana czasowa wytrzymałość materiału na pełzanie przy temperaturze tmax/MPa/.

z - obliczeniowy współczynnik wytrzymałościowy,
tmax = tr + 15°C dla komór i rurociągów komunikacyjnych,
tmax = tr + 5°C dla rurociągów głównych,
tr - temperatura rzeczywista / °C /.

W przypadku gdy otrzymana z obliczenia grubość ścianki gz jest mniejsza od grubości rzeczywistej gr zmierzonej metodą ultradźwiękową / gz < gr / przydatność ocenianego elementu może być przedłużona do 200 000 godzin.

Dane wytrzymałościowe do tego rodzaju obliczeń należy brać z odpowiednich norm /DIN, OSN, GOST/ w zależności od pochodzenia materiału.
W przypadku materiału krajowego dane przytoczone w Polskiej Normie /PN/ należy obniżyć o 10 %. Powyższy sposób postępowania jest logiczną konsekwencją stosowania w ASTM, TRD a obecnie w OST obliczeniowych czasów pracy sięgających 200 000 godzin. W tym przypadku obliczenia wytrzymałościowe oparte są o naprężenia dopuszczalne ustalone przez ekstrapolację wyników wieloletnich / ponad 60000 godzin / prób pełzania.
Jako naprężenie dopuszczalne bierze się wartości średnie razy współczynnik "0,8", który jest dolną wartością rozrzutu. Rozrzut ten wynosi ± 20 % na wykresie Rz = f/τ/ t = const

W przypadku nie spełnienia warunków

$$gz < gr$$

przeprowadza się obliczenia rzeczywistego czasu pracy.
W tym celu należy znać naprężenia rzeczywiste

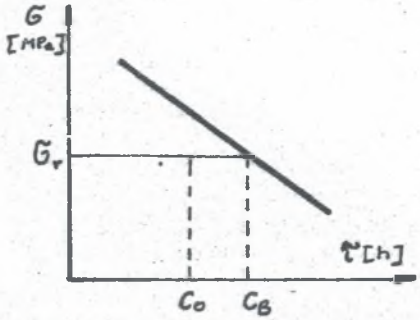
$$\sigma_r = p\ \frac{Dz - gr}{2z \cdot gr},$$

gdzie:

Dz - średnica zewnętrzna / mm /,
p - ciśnienie rzeczywiste / MPa /,
z - obliczeniowy współczynnik wytrzymałościowy.

Następnie należy sporządzić wykres logarytmiczny wg. podanego przykładu

/ rys. nr 1 /.



Rys. 1. Wykres zależności minimalnej wartości 0,8 Rz/tmax
Fig. 1. Diagram of minimum value relation 0,8 Rz/tmax

Uzyskany w ten sposób z wykresu czas C_B jest czasem trwałości na pełzanie odcinka prostego rury pracującego wyłącznie pod działaniem naprężenia powłokowego.
Ponieważ w rzeczywistości na elementy komory działają naprężenia dodatkowe od zginania, zmienne mechaniczne i cieplne oraz występuje ich koncentracja na otworach, uszkodzenia mogą pojawić się wcześniej w postaci nadmiernej deformacji aż do pęknięć włącznie. Dlatego elementy te należy poddać badaniom profilaktycznym na długo przed uzyskaniem czasu C_B.
Doświadczenia eksploatacyjne wskazują, że jest to czas Co = 0,6 C_B
Po uzyskaniu tego czasu pracy należy zwiększyć częstotliwość badań takich elementów, jak: ; otwory, mostki, denka, kolana.

Obliczenia powyższe /grubości ścianki i naprężenia rzeczywiste/ z reguły dają wartości "pesymistyczne".

W rzeczywistości czas eksploatacji może być znacznie dłuższy w przypadku, gdy Rz / 200 000 jest na górnej granicy. Wg [5] dla danego gatunku stali jest on większy od obliczeniowego czasu / 200 000 godz / o:

10CrMo 910 530°C 300 000 godz.

14CrMo V63 530°C 300 000 godz.

13CrMo 44 530°C 160 000 godz.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że podczas gdy w Kraju istnieją targi o przedłużenie ponad 100 000 godzin, to w energetyce światowej obliczeniowy czas pracy wynosi już 200 000 godz., a przecież wartości wytrzymałości czasowej uwzględniane obecnie w obliczeniach są obniżone w stosunku do tych, według których liczono urządzenia krajowe do lat siedemdziesiątych. Sprawdzając więc obliczenie wg obniżonych wartości wytrzymałości wpływa na korzyść niezawodności.

2.2. W a r u n k i p r a c y o c e n i a n y c h e l e m e n t ó w
a/ Istotny wpływ na trwałość poszczególnych elementów urządzeń wywiera ich

temperatura pracy [6]. Dlatego obserwacje temperatury pracy ścianek należy prowadzić w oparciu o pomiary w punktach, gdzie można przyjąć maksymalne wartości.
Temperaturę pary należy mierzyć na każdym wylocie z przegrzewacza w przypadku komór lub na wlocie do rurociągu.
Jak już wspomiano do obliczeń należy brać wartości maksymalne plus dodatki na bezpieczeństwo ze względu na niemożliwość wykonania w obecnej chwili pomiarów gwarantujących znajomość różnych wartości temperatur i czasu ich trwania, jak to jest wymagane w TRD 508
Stosowany sposób w PdOEn daje wartości "pesymistyczne", jednak napewno gwarantujące większą niezawodność. Rezultaty pomiarów temperatury powinny być sprawdzane co roku, gdyż one są podstawą do określenia naprężenia dopuszczalnego w materiale.

b/ Dla kontrolnego sprawdzenia działania naprężeń wywołanych ciśnieniem i temperaturą należy wykonać pomiary odkształceń / "e" /.
Na terenie PdOEn z powodzeniem stosuje się pomiary odkształceń na otworach 7 odwodnień, odpowietrzeń, obejść, wężownic

$$e = \frac{/dmax - dmin/}{dmax + dmin} \cdot 100\ \%,$$

gdzie:

dmax, dmin - odpowiednio maksymalne i minimalne zmierzone średnice otworu.

Dopuszczalne odkształcenia przyjmuje się 2 %, przy czym istotną rolę odgrywa szybkość odkształcenia, która nie może przekraczać 1 %/ 100 000 godz. Wartość 2 % została ustalona w oparciu o wieloletnie badania na terenie PdOEn wężownic przegrzewaczy, ponadto w zagranicznych przepisach obliczeń elementów na 200 000 godzin, / np. wytycznych TRD 508 / jest brane pod uwagę odkształcenie tej samej wartości.
Według ww. badań uszkodzenie elementu pracującego w warunkach pełzania zachodzi przy odkształcaniu 6 - 20 % w zależności od wielkości naprężenia, czasu pracy i temperatury.
Zbliżone a nawet bardziej optymistyczne wartości przytacza literatura [5].

Metoda ta ma następujące zalety:

- nie wymaga znajomości wymiarów wyjściowych,
- wartości deformacji uzyskuje się w miejscach, gdzie są maksymalne naprężenia obwodowe w pobliżu ścianki wewnętrznej oraz gdzie istnieje koncentracja naprężeń,
- przyrządy do pomiaru średnicy otworów są bardzo precyzyjne, można mierzyć średnice z dokładnością do 0,02 mm, co w przypadku otworów o średnicy 30 - 50 mm gwarantuje dokładność ca 0,01 %,

c/ Dodatkowo należy wykonać pomiary grubości ścianki szczególnie w okolicach, gdzie mogą występować koncentracje naprężeń np. na mostkach komór.

Uzyskane wartości pomiarów w tych miejscach gro powinny być porównywane z pomiarami w miejscach nieosłabionych gr i nie mogą być od nich mniejsze.

$$gro \geqslant gr$$

2.3. Badania profilaktyczne

Na podstawie doświadczeń wiadomo, że komory i rurociągi ulegają uszkodzeniom w wybranych miejscach, gdzie zwykle występują koncetracje naprężeń i oprócz powłokowego mogą wystąpić naprężenia dodatkowe. Należą do nich spoiny pachwinowe i obwodowe, kolana, mostki, które znacznie szybciej ulegają uszkodzeniom niż odcinki proste zachowujące ciągłość kształtu [7 , 8 , 9 , 10 , 11] . Dlatego po osiągnięciu przez element czasu Co miejsca te podlegają wzmożonej kontroli i w przypadku wykrycia pęknięć powinny być poddane naprawie lub wymianie w zależności od charakteru i przyczyny uszkodzenia oraz możliwości jej usunięcia.
Sposób postępowania z urządzeniami po przekroczeniu czasu pracy powinien być ustalany indywidualnie w zależności od warunków miejscowych. Jak już wielokrotnie wspominano szczególne znaczenie mają:

- pomiary grubości ścianki,
- badania w celu wykrycia pęknięć,
- pomiary odkształceń.

Tabl.1

Element badany		Badania i pomiary					
		Badania ultradźwięk.	Badania magnetyczne	Oględziny introskopowe	Pomiar odkształcenia	Pomiar grubości	Badania struktury
Komory, kolektory i schładzacze pary	spoiny pachwinowe i doczołowe		co 50 tys. h a po przekroczeniu „Co" co 20 tys. h				
	płaszcz			co 50 tys. h a po przekroczeniu „Co" co 20 tys. h		co 50 tys. h	
	króćce			j. w.			
	otwory wciskowe i rur komunikac.			j. w.	po 50 tys. h a następnie co 20 tys. h		po przekroczeniu „Co"
	otwory odwodnień, odpowietrzeń i wlotu			co 20 tys. h			
	denka	co 50 tys. h a po przekroczeniu „Co" co 20 tys. h		co 20 tys. h	co 20 tys. h		
Rurociągi parowe i komunikacyjne	spoiny pachwinowe i doczołowe		co 50 tys. h a po przekroczeniu „Co" co 20 tys. h				
	otwory pod króćce			co 20 tys. h	co 20 tys. h		po przekroczeniu „Co"
	kolana i łuki	I raz badanie po przekroczeniu „Co" a potem co 20 tys. h	I raz badanie po przekroczeniu „Co" a potem co 20 tys. h			co 50 tys. h	po przekroczeniu „Co"
	zawory zasuwy trójniki		po 50 tys. h a potem co 20 tys. h				
	odcinki rurociągów o zmiennym przepływie pary	co 20 tys. h				co 50 tys. h	

Badania tego rodzaju należy prowadzić systematycznie a szczególnie od momentu uzyskania odkształcenia 1 % lub przekroczenia dopuszczalnej szybkości odkształcenia 1 % / 100 000 godz. W tym przypadku, jak również po przekroczeniu czasu "Co" okresy czasu między badaniami należy zmniejszyć o połowę w porównaniu z normami przedstawionymi w tablicy nr 1.

Natomiast wymianę elementów należy stosować w następujących przypadkach:

- wykrycia pęknięć od pełzania lub innych szczególnie osłabiających ściankę,
- jeżeli odkształcenie osiągnie 2 %.

3. Wnioski

Jak już wielokrotnie podkreślano degradacja materiału zachodzi pod jednoczesnym działaniem temperatury i naprężenia oraz ich zmian. Stopień degradacji zależny jest więc od rodzaju materiału, warunków pracy, technologii wykonania, metody obliczeniowej, rozwiązań konstrukcyjno-projektowych. Zrozumiałe jest, że wytyczne oceny stanu nie mogą uwzględniać wpływu wszystkich ww. czynników, nie zawierają również tego wytyczne TRD, ASTM i inne.

W Kraju istnieje duże zaniedbanie w zakresie dokumentów normatywnych dotyczących projektowania, obliczania itp. komór i rurociągów. Instrukcja oceny nie może uzupełnić tej luki.

Pracownicy IDT i Energetyki powinni jednak dysponować jak najszybciej doraźną, tymczasową instrukcją obowiązującą do czasu opracowania wytycznych poprzedzonych opracowaniem bardziej postępowych obliczeń wytrzymałościowych elementów ciśnieniowych urządzeń energetycznych.

Wiek niektórych urządzeń oraz sytuacja gospodarcza zmuszają kierownictwo energetyki do podjęcia decyzji o sposobie przedłużenia czasu trwałości elektrowni. Jest to konieczność uzależniona ekonomicznie i technicznie, będąca w zgodzie ze współczesną wiedzą.

Doświadczenia eksploatacyjne oraz badania laboratoryjne, tak zagraniczne jak i krajowe, wskazują, że przy zastosowaniu pewnych środków / ponowne przeliczenie i wzmożona kontrola / można w sposób bezpieczny już w obecnej chwili przedłużyć eksploatację komór, rurociągów itp.

Instrukcja oceny opracowana na terenie PdOEn powinna ułatwić i usankcjonować podejmowanie decyzji w sprawie elementów pracujących po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy.

LITERATURA

[1] Dobosiewicz J.: Uszkodzenia komór parowych kotłów wysokoprężnych. Energetyka 1984, nr 3.

[2] Miliński P., Dobrzański J.: Własności mechaniczne stali typu Cr - Mo po długotrwałej eksploatacji. IV Ogólnokrajowa Konferencja Naukowo-Techniczna " Stale dla Energetyki ". Opole 85.

[3] Praca zbiorowa: Durchführung von Anweitmessungen an Heißdampfrohrleitungen. VGB 1965, nr 94.

[4] Dobosiewicz J., Krzywda Zb., Sanetra P.: Instrukcja ustalania przydatności elementów ciśnieniowych pracujących w warunkach pełzania po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy. ZEOPd Katowice 1984.

[5] Neubauer B.: Bestimmung der Restlebens - dauer Kriechbeauspruchter Kraftwerkskomponenten VGB 1983, nr 7.

[6] Dobosiewicz J.: Przydatność elementów kotłów parowych po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy. Energetyka 1983, nr 8.

[7] Dobosiewicz J.: Odkształcenie elementów kotłów pracujących w warunkach pełzania. IV Ogólnokrajowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Stale dla Energetyki". Opole 85.

[8] Kautz R.: Rohrleitungen im Zeitstandbereich. VGB 1984, nr 9.

[9] Jesper H.: Zeitstaudschaden an Rohrleitungen nach langer Betriebsdauer. VGB 1985, nr 2.

[10] Antikajn P.A.: Prodlenie sroka služby élementov kotlov i truboprovodov sverch 100 tys. č. Teploenérgetika 1985, nr 5.

[11] Dobosiewicz J.: Zasady przedłużenia trwałości elektrowni. Energetyka 1985, nr 7.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЛА

Р е з ю м е

Наиболее частыми причинами повреждений основных элементов котлов являются: ползучесть, усталость, эрозия, коррозия и ломкость сварных соединений и колен.

В настоящее время в польской энергетике наблюдается просрочка расчётного времени работы большого количества котлов. Казалось бы, что логическим выходом из этого положения является очень дорогая замена элементов, работающих в условиях ползучести.

Польский и заграничный опыт указывает на то, что такая замена является излишней, а время эксплуатации оборудования, без ущерба для него, можно продолжить при условии увеличения контроля его работы и предпринятия в широком объёме диагностических и профилактических мероприятий, основанных на методах диагностического анализа.

В Южном Энергетическом Округе уже давно с успехом применяются выше упомянутые методы. Разработана "Инструкция по установлению пригодности элементов, работающих под давлением в условиях ползучести, после просрочки рас-

чётного времени работы", которая является временной инструкцией, обязывающей в Польше до времени разработки данных для введения более совершенных расчётов прочности работающих под давлением элементов энергетического оборудования.

THE ASSESMENT OF THE BOILER PRESSURE COMPONENTS STATE

S u m m a r y

The most frequent causes of the main boiler components are as follows:

- creep
- fatigue
- erosion
- corrosion
- welds and bends brittle failures.

At the moment, the large number of the boilers installed in the home energy industry exceeded calculated operation time. The expensive replacement of the creep operated components could be considered as a logical step.

The home and foreign experiences show that such kind of replacement is needless, and the secure prolongation of components operation is possible under condition of intensified control and taking up complex diagnostic and preventing steps based on diagnostic analysis methods.

On the Southern Power Board area the above mentioned methods are employed successfully for a long period of time.

The "Instruction of establishing the creep operated pressure components serviceableness after exceeding their calculated operation time" has been worked out and it may serve as obligatory, temporary instruction in the home energy industry until the elaboration of new instructions.

These instructions should be preceded by the working out of more progressive strength calculations of the energetic devices pressure components.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Gerard Kosman

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1986 r.