

Trwałość poszczególnych elementów rurociągu nie jest jednakowa i wynosi od 150 000 do 300 000 godzin. Wynika to ze stosowania niewłaściwych obliczeń grubości ścianek, tj. odnoszących się jedynie do odcinków prostych, bez uwzględnienia współczynników koncentracji naprężeń w elementach typu trójniki, czwórniki, zwężki, kolana oraz w przyległych do nich spoinach.

Taki stan rzeczy stwarza trudny problem użytkownikowi rurociągu. Jest on zmuszony zdecydować się na częściową, bardzo skomplikowaną technologicznie, wymianę rurociągu bądź na jego całkowitą wymianę. W tym drugim przypadku wyrzuca na złom zupełnie jeszcze przydatne elementy rurociągu.

Projektanci powinni zatem tak konstruować poszczególne elementy rurociągów, aby ich rzeczywisty czas pracy był do siebie zbliżony.

LITERATURA

- [1] Dobosiewicz J., Prohaska N.: Niezawodność połączeń spawanych rurociągów parowych. *Energetyka* 1976, nr 3
- [2] Dobosiewicz J.: Obwodowe pęknięcia połączeń spawanych rurociągów energetycznych. *Energetyka* 1971, nr 12
- [3] Dobosiewicz J.: Pęknięcia spoin obwodowych wysokoprężnych rurociągów parowych. *Energetyka* 1988, nr 12
- [4] Dobosiewicz J., Wojczyk K.: Trwałość kolana rurociągów parowych. *Energetyka* 1988, nr 3
- [5] Dobosiewicz J.: Uszkodzenia kolana rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. *Energetyka* 1991, nr 4
- [6] Instrukcja oceny oraz kwalifikowania do wymiany komór, kolektorów, rurociągów kotłowych i głównych rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. Warszawa 1986
- [7] Instrukcja badań i pomiarów oraz oceny stanu technicznego głównych rurociągów parowych w elektrowniach i elektrociepłowniach. PRO NOVUM, Katowice 1993 (nie publ.)



Mgr inż. Jerzy Dobosiewicz

Pro Novum

UKD 621.31:621.165.004.07

Eksplatacyjna przydatność turbin małej mocy po przekroczeniu 200 000 godzin pracy

Czas eksploatacji wielu turbin małej mocy przekroczył już 200 000 godzin. Są to maszyny o mocy do 60 MW, których temperatura pracy jest nie większa niż 500°C. O stopniu wyczerpania ich trwałości decydują zmęczenie małosykliczne i zmęczenie cieplne, w odróżnieniu od turbin o wyższych parametrach, których dalsza przydatność eksploatacyjna zależy przede wszystkim od zjawiska pełzania.

Turbiny małej mocy mogą być eksploatowane dłużej, wymagają jednak nieco odmiennego podejścia do oceny ich stanu, polegającego na bezpośrednich przeglądach i badaniach, a nie tylko na obliczeniach opartych na katalogowych własnościach materiału.

Krytycznymi elementami tych turbin są — podobnie jak w maszynach większych — łopatki, wirniki, kadłuby oraz zawory.

Łopatki

Łopatki — wykonane zwykle ze stali nierdzewnej H13 — nie pracują w warunkach pełzania, toteż ocena stopnia ich wyczerpania powinna być oparta jedynie na określeniu mechanicznego (erozja) i korozyjnego zużycia materiału.

Uszkodzenia erozyjne są z reguły znikome, choć z czasem erozyjne ubytki materiału mogą stać się na tyle znaczne, że powodują wzrost naprężeń mogący doprowadzić do poważnych uszkodzeń. Główną przyczyną korozji jest niewłaściwa jakość pary, zwłaszcza zawartość w niej tlenu oraz innych agresywnych czynników, takich jak jony: Cl^- , SO_4^{2-} , SiO_4^{2-} .

Stan łopatek może być oceniony przez dokonanie przeglądu i rejestrowanie ubytków oraz dzięki badaniom nieniszczącym wykonywanym w celu wykrycia pęknięć na ich krawędziach, zwłaszcza w okolicy drutów usztywniających oraz bandaży w pobliżu nitów łopatek. Gdy ubytki materiału lub pęknięcia łopatek są większe od 20% ich szerokości — należy je wymienić. Stan łopatek, drutów i bandaży można poprawić przez spawanie.

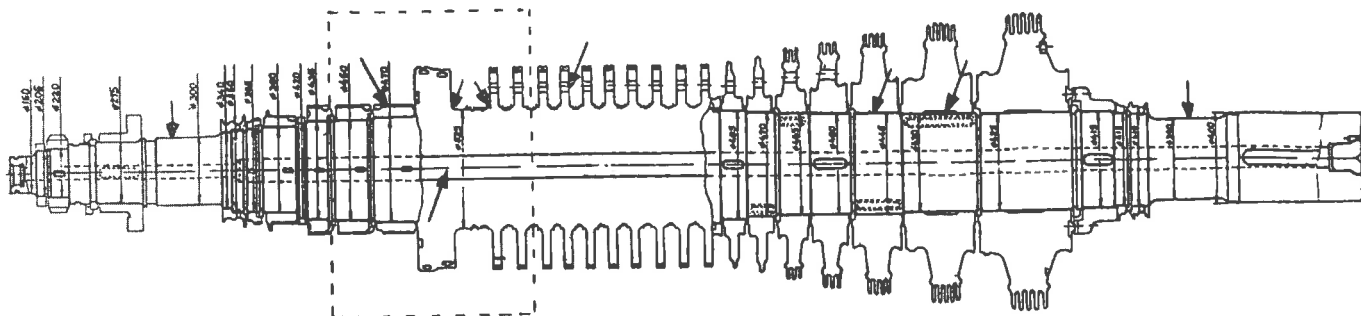
Innym problemem są osady odkładające się na łopatkach, które powodują nie tylko spadek sprawności, ale również wzrost naprężeń (od siły odśrodkowej). Osady grubsze niż 1 mm powinny być usuwane, najlepiej za pomocą silnego strumienia wody lub przez piaskowanie.

Ostatnie stopnie łopatek ulegają często korozji naprężeniowej, zwłaszcza pracujące w strefie Wilsona lub w jej pobliżu. Tego rodzaju pęknięcia pojawiają się nagle — zwłaszcza wtedy, gdy para jest zanieczyszczona — toteż są trudne do wykrycia badaniami nieniszczącymi podczas okresowych przeglądów. W przypadku ich wystąpienia należy możliwie jak najszybciej wymienić cały rząd łopatek.

Wirniki

Stopień wyczerpania materiału wirnika zależy ściśle od jego własności wyjściowych, miejscowych temperatur i naprężeń. Na trwałość wirnika wpływają:

- uszkodzenia kruche,
- zmęczenie,
- korozja.



Rys. 1. Miejsca występowania uszkodzeń na wirnikach

Najczęściej do budowy wałów wirników WP używa się stali CrMoV, a na wały wirników NP — stali NiCrMoV. Mechanizm kruche go pęknięcia nie jest jeszcze dobrze wyjaśniony. Wiadomo, że skłonność tych stali do tego rodzaju uszkodzeń zależy od ich podatności na plastyczne odkształcenia oraz od współczynnika intensywności naprężeń K_{IC} . W temperaturze 20°C współczynnik ten dla stali CrMoV może mieć minimalną wartość $40 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-1,5}$, a dla stali NiCrMoV — $150 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-1,5}$.

W starych wirnikach, ze względu na niskie naprężenia, wymiary krytyczne wad mogą być znaczne. Mimo to należy przestrzegać pewnych zaleceń eksploatacyjnych, tj.:
— nie wykonywać próby nadobrotów na zimnej maszynie,
— wykonywać synchronizację turbiny tylko wtedy, gdy temperatura wirnika jest odpowiednio wysoka.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że wirniki starych turbin nie były sprawdzane ultradźwiękowo na obecność wad technologicznych. W takich przypadkach jest wskazane jednorazowe wykonanie tych badań.

Zmęczenie wirnika turbiny może objawiać się dwojako, tj. w postaci:

- mikropełnięć wewnętrznych — nasilających się podczas uruchamiania i zatrzymywania maszyny (rzadko spotykane w starych maszynach),
- pęknięć na powierzchni — pochodzących raczej od zmęczenia cieplnego.

Propagacja pęknięć zależy od sposobu eksploatacji turbiny, a ich wykrywanie jest możliwe za pomocą badań ultradźwiękowych (mikropełnięcia) lub magnetycznych (na powierzchni).

Pęknięcia występują z reguły w miejscach nieciągłości geometrycznych materiału, takiej jak (rys. 1):

- zmiany średnicy,
- rowki ciepłe,
- rowki łopatkowe,
- otwory wyrównawcze.

Pęknięcia spowodowane zmęczeniem cieplnym mogą być usuwane przez wyotoczenie. Praca w wysokich temperaturach obniża wytrzymałość materiału (przede wszystkim plastyczność) wskutek wzrostu liczby wytrąceń w strukturze stali i ich gromadzenia się na granicach ziarna. Ocena stopnia wyczerpania jest stosunkowo łatwa za pomocą replik i pomiaru twardości w miejscach najwyższej i najniższej temperatury pracy wirnika. W przypadku wykrycia zmian w strukturze stali, jej własności mechaniczne powinny być sprawdzone na próbkach pobranych z odpowiednich miejsc.

Korozja naprężeniowa i zmęczeniowa są przyczynami uszkodzeń kół roboczych nasadzonych skurczowo na wał.

Najczęściej pęknięcia występują na narożach wpustu na klin. Rodzaj materiału, naprężenie, temperatura pracy i wilgotność pary mają wpływ na przebieg korozji. Stan kół powinien być badany okresowo po przekroczeniu 100 000 godzin pracy metodą ultradźwiękową, a w wątpliwych przypadkach metodami badań powierzchniowych na zdjętych kołach. Uszkodzone koła można naprawiać, o ile pęknięcia nie przekroczyły wymiarów dopuszczalnych. Gdy wirnik WP jest również składany, to koła nasadzone należy objąć badaniami strukturalnymi, podobnie jak w przypadku pełnokutego wirnika WP.

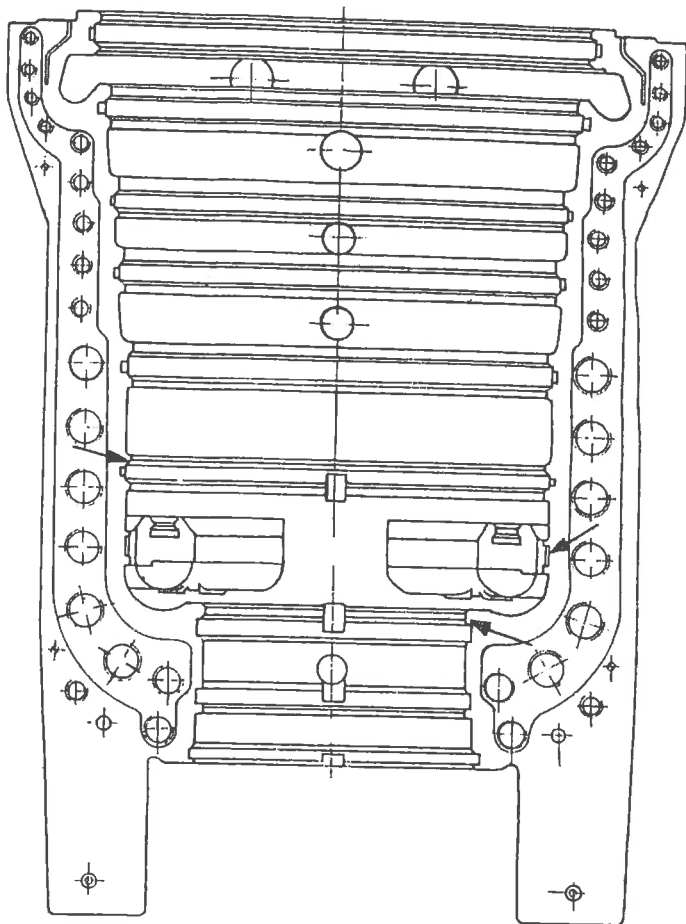
Częstym eksploatacyjnym uszkodzeniem wirnika jest jego skrzywienie w wyniku zatarcia spowodowanego zniszczeniem łożysk, uderzeniem wodnym lub niewłaściwym wycentrowaniem. Umiarkowane skrzywienie może być usunięte przez wyżarzanie odprężające. Jeżeli w miejscu zatarcia nie stwierdzi się wzrostu twardości, to wirnik można wyprostować przez przetoczenie.

Ogólnie można stwierdzić, że pełnokute wirniki pracujące w temperaturze poniżej 500°C mogą być eksploatowane nawet przez 300 000 godzin i dłużej. Wirniki składane pracują niezawodnie do 200 000 godzin. Po tym czasie wymagają częstej kontroli na obecność pęknięć w kołach osadzonych na skurcz.

Częstym uszkodzeniom ulegają również tuleje dławnicowe, zwłaszcza przednie stają się luźne w wyniku działania relaksacji. Tuleje, które przepracowały więcej niż 200 000 godzin powinny być zdjęte i poddane pomiarom średnic. W przypadku obniżenia skurczu tuleje należy wymienić na nowe.

Kadłuby

Kadłuby turbin przenoszą bardzo małe naprężenia stałe. Najczęściej ulegają uszkodzeniom wskutek odkształcenia i zmęczenia. Trwałe odkształcenia występują z reguły w rejonie płaszczyzny podziałowej. Ich przyczyną są wysokie naprężenia cieplne powstające w ściankach kadłuba w stanach nieustalonych (np. przy nadmiernych szybkościach nagrzewania lub częstym schładzaniu wodą) lub naprężenia stałe powstające w kołnierzach płaszczyzny podziałowej pod wpływem działania śrub. Deformacje, zwłaszcza te o dużych rozmiarach, mogą wpływać negatywnie na stan dynamiczny turbiny (zatarcie). Powinny być usuwane przez przetoczenie, napawanie lub termiczne prostowanie.



Rys. 2. Miejsca występowania pęknięć na kadłubach od strony wewnętrznej

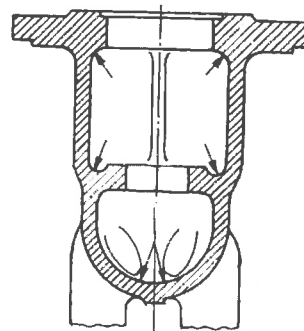
Pęknięcia zmęczeniowe występują na powierzchni zewnętrznej w miejscach nagłych zmian geometrii kadłuba oraz na powierzchni wewnętrznej w wyniku częstych uruchomień turbiny (rys. 2). Podczas okresowych przeglądów należy kadłuby poddawać badaniom nieniszczącym (magnetycznym) w celu wykrycia pęknięć. Gdy pęknięcia osiągną wymiary niedopuszczalne należy kadłub poddać na-

prawie przez spawanie. Metal kadłubów jest również objęty procesem starzenia, lecz nie stanowi to tak dużego problemu jak w przypadku wirników. W koniecznych przypadkach badania metalu można wykonać na próbkach pobranych z gorących i zimnych miejsc. W kadłubach NP często występują ubytki korozyjne i erozyjne. Mogą one być naprawiane przez spawanie, o ile kadłub nie jest wykonany z żeliwa. Trwałość kadłubów jest praktycznie nieograniczona. Stanowią one element odnawialny i łatwo naprawialny.

Kadłuby zaworów

Trwałość kadłubów zaworów jest przeważnie ograniczona pęknięciami zmęczeniowymi, które występują w miejscach podobnych jak w kadłubach turbin (rys. 3). Doświadczenia wskazują, że kadłuby zaworów — o ile nie są odlane razem z kadłubem turbiny — mogą pracować 200 000 godzin. W przypadku wystąpienia pęknięć można kadłuby naprawiać przez spawanie. Jeśli nie zostaną zmienione warunki eksploatacji, to po naprawie kadłuby mogą niezawodnie pracować jeszcze 50 000—100 000 godzin.

Zaleca się wykonywanie badań okresowych i specjalnych, których zakres i częstość przedstawiono w tabelach 1 i 2.



Rys. 3. Miejsca występowania pęknięć na kadłubach zaworów szybkozamykających

Rodzaje i częstość badań okresowych

Tabela 1

Element badany		Rodzaj badań:				
		penetracyjne	magnetyczne	ultradźwiękowe	endoskopowe	pomiar odkształceń
Wirnik	rowki zmiany średnic otwory	przy każdym wyjęciu wirnika	—	—	—	przy każdym wyjęciu wirnika
	otwór centralny	—	—	—	po 100 tys. godzin pracy	—
	wręby łopatkowe	—	—	po 100 tys. godzin pracy	—	—
	otwory wyrównawcze	po 100 tys. godzin pracy	—	—	—	—
Koła robocze nasadzone		po 100 tys. godzin pracy	—	—	—	—
Tarcze kierownicze		przy każdym otwarciu turbiny	—	—	—	po 100 tys. godzin pracy
Kadłuby turbin i zaworów		przy każdym otwarciu turbiny	—	—	—	po każdych 50 tys. godzin pracy
Skrzynki dyszowe		przy każdym otwarciu turbiny	—	—	—	—
Sprzęgła		przy każdym wyjęciu wirnika	—	—	—	—

Tabela 2

Specjalne badania nieniszczące

Elementy badane	Badania ultradźwiękowe	Wykonanie repliki	Pomiar twardości
Kadłuby	—	×	×
Tarcze kierownicze	—	×	—
Wirniki WP i SP	×	×	×
Koła robocze	×	×	—
Sprzęgia	×	—	—
Rurociągi	—	×	—

Wnioski

1. Turbiny, w których temperatura pary nie przekracza 510°C, mogą pracować znacznie dłużej niż 200 000 godzin.
2. Krytycznym elementem turbin są wirniki, zwłaszcza składane.
3. Najczęstszymi przyczynami uszkodzeń są pęknięcia zmęczeniowe i korozyjne, ubytki erozyjne itp.
4. Elementy turbin, które przepracowały ponad 150 000 godzin powinny być poddawane badaniom nieniszczącym i niszczącym. Ich zakres i częstość zależą od konstrukcji i sposobu eksploatacji turbiny.

LITERATURA

- [1] Dobosiewicz J.: Zmęczenie cieplne wirników turbin parowych. *Energetyka* 1977, nr 3
- [2] Dobosiewicz J.: Trwałość średnio- i wysokoprężnych wałów wirników turbin parowych. *Energetyka* 1985, nr 11
- [3] Dobosiewicz J.: Skrzywienia wirników turbin parowych. *Energetyka* 1980, nr 1
- [4] Dobosiewicz J.: Trwałość kadłubów turbin parowych. *Energetyka* 1981, nr 12
- [5] Dobosiewicz J.: Pęknięcia w kadłubach turbin parowych. *Energetyka* 1971, nr 9
- [6] Dobosiewicz J.: Wpływ eksploatacji na zmiany własności kadłubów turbin parowych. *Energetyka* 1992, nr 1
- [7] Dobosiewicz J.: Regeneracja kół roboczych składanych wirników turbin parowych. *Energetyka* 1987, nr 11
- [8] Łączkowski R.: Relaksacja wirujących elementów turbin parowych. *Energetyka* 1985, nr 5
- [9] Grzeszczek E.: Prostowanie kadłubów turbin parowych. *Energetyka* 1988, nr 1
- [10] Pasierb R.: Spawanie pęknięć stalowych części turbin. *Przebieg Spawalnictwa* 1988, nr 7
- [11] Macha H., Dobosiewicz J.: Zasady naprawy kadłubów turbin. *Energetyka* 1985, nr 6
- [12] Łączkowski R.: Regeneracja połączenia skurczowego tarczy wirnikowej z wałem turbiny parowej. *Energetyka* 1990, nr 6
- [13] Dobosiewicz J., Wojczyk K., Suchanek E.: Instrukcja badań nieniszczących krytycznych elementów turbiny. Opracowanie Pro Novum 1991 (nie publ.). Własność ZRE S.A. Katowice



OFERTA PRO NOVUM

Bardzo istotną, a często niedocenianą czynnością jest gromadzenie informacji na temat eksploatacji. Zalicza się do nich wszystkie dane charakteryzujące wykonane naprawy, wymiany, modernizacje i pomiary, uszkodzenia i przyczyny ich powstawania oraz rzeczywiste parametry pracy.

Najwięcej kłopotów przysparza pracownikom eksploatacji ustalenie przyczyn uszkodzeń elementów kotła. Metal tych elementów ulega uszkodzeniu, gdyż podczas pracy w podwyższonej temperaturze i przy dużym wyężeniu zachodzą w nim niekorzystne procesy fizyczne, tj. pełzanie, zmęczenie, wzrost kruchości.

Wychodząc naprzeciw temu zapotrzebowaniu *Pro Novum* oferuje opracowanie:

USZKODZENIA POWIERZCHNI OGRZEWAŁNYCH KOTŁÓW PAROWYCH

Opracowanie zawiera omówienie przyczyn i opis mechanizmu powstawania uszkodzeń elementów powierzchni ogrzewalnych (przegrzewacz, parownik, podgrzewacz wody) z uwzględnieniem:

- wad materiałowych i spawalniczych
- erozji i różnych typów korozji
- dodatkowych naprężeń od samokompensacji i owalizacji
- zjawisk związanych z przekroczeniem obliczeniowej temperatury i obliczeniowego czasu pracy
- zalecanych rodzajów i częstości badań elementów ciśnieniowych kotła.

Autor opracowania: mgr inż. JERZY DOBOSIEWICZ.

Opracowanie zawiera: 116 stron formatu A-4, 125 ilustracji, w tym unikatowe przykłady rzeczywistych uszkodzeń z elektrowni krajowych i zagranicznych.

Cena opracowania (2 egzemplarze) — 3,5 mln zł.