

Biuletyn

nr 1/1998

PRO NOVUM[®]
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES

Zespół redakcyjny: mgr inż. Jerzy Dobosiewicz, dr inż. Jerzy Trzeszczyński

Mgr inż. Jerzy Dobosiewicz

UKD 621.165:620.193

Pro Novum — Katowice

Korozja łopatek turbin parowych

Korozyjne uszkodzenia łopatek turbin parowych — przyczyniające się do występowania awaryjnych przypadków w ich pracy — zależą od trzech czynników:

- własności metalu,
- geometrii kształtu łopatki, z którą są związane naprężenia w materiale,
- własności środowiska (wodnego, parowego), w kontakcie z którym pracuje dany materiał.

Jednoczesne działanie tych czynników sprzyja powstawaniu wyjątkowo niebezpiecznych procesów korozyjnych. Wpływ środowiska na trwałość łopatek określa się obecnością w nim różnych agresywnych związków, które mogą przedostawać się do obiegu parowo-wodnego z zewnątrz (z wodą dodatkową, z przecieków w skraplaczu, z wymytych wymienników jonowych itd.) oraz powstawać i zagęszczać się w samym obiegu. Już przy pojawieniu się pierwszych kropli skondensowanej pary ze związkami agresywnymi (chlorkami, wodorotlenkiem sodu lub kwasem) mogą wystąpić niebezpieczne uszkodzenia spowodowane specyficznym procesem korozyjnym.

Konstrukcja oraz technologia wykonania turbin parowych są bardzo skomplikowane, co czyni je mało odpornymi na wszelkie zmiany warunków eksploatacji, między innymi również czystości pary. W ostatnich latach zanieczyszczenia pary stały się przyczyną licznych postojów turbin, wywołanych korozyjnymi uszkodzeniami łopatek (40% postojów).

Korozyjne uszkodzenia łopatek występują pod różnymi postaciami, przy czym do najbardziej niebezpiecznych należą:

- **korozja wżerowa** — charakteryzująca się małymi punktowymi wżerami porażającymi na całej długości obie strony łopatek roboczych i odwracających (rys. 1); na krawędziach wylotowych z uwagi na ich małą grubość wżery mogą przechodzić na wylot; tego rodzaju ubytki są koncentratorami naprężenia statycznego i dynamicznego, toteż znacznie obniżają (w zależności od głębokości i gęstości występowania) wytrzymałość łopatek na zmęczenie; uszkodzeniom wżerowym ulegają również stale nierdzewne;

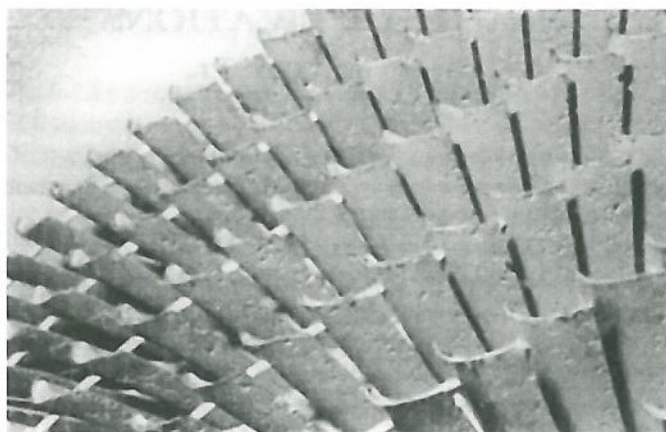
- **zmęczenie korozyjne** — charakteryzujące się złomami quasi-statycznymi, aż do zmęczeniowych włącznie; uszkodze-

nia powstają na skutek obniżania naprężenia (stałego lub zmiennego) potrzebnego do zniszczenia metalu; zmęczeniu korozijnemu ulegają wszystkie rodzaje stali stosowanych na łopatki robocze.

Obydwa rodzaje korozji są procesami elektrochemicznymi, a więc zachodzą w roztworach wodnych zawierających sole, tj. w elektrolicie.

Pod pojęciem korozji rozumie się niszczenie metali pod wpływem chemicznej lub elektrochemicznej reakcji z otaczającym środowiskiem. Elementy urządzeń energetycznych pracujących w środowiskach wodnych często ulegają niszczeniu korozijnemu na drodze reakcji elektrochemicznej. W reakcjach korozji elektrochemicznej biorą udział różnego rodzaju ogniwa; w praktyce najczęściej ogniwo stężeniowo-tlenowe, w którym elektrody różnią się potencjałem wynikającym z różnego stężenia tlenu. Mechanizm ten dotyczy tworzenia się ubytków pod warstwą rdzy lub na linii wodnej (granica faz woda-powietrze).

Stężeniowe ogniwa tlenowe są właśnie przyczyną tworzenia się wżerów na powierzchni stali nierdzewnych, narażonych na działanie roztworów wodnych zawierających chlorki.



Rys. 1. Łopatki wirnika turbiny reakcyjnej porażone wżerami korozji postojowej (po wypłukaniu)

Obecność w roztworze jonów chlorkowych, a w mniejszym stopniu także jonów innych chlorowców powoduje zanik własności pasywnych lub uniemożliwia tworzenie się warstw pasywnych (tlenkowych) na stali nierdzewnej. Z punktu widzenia teorii warstwy tlenkowej jony Cl^- mogą wnikać w warstwę tlenku przez pory lub defekty sieciowe i niszczyć ją łatwiej niż inne jony (np. SO_4^{2-}). Jony chlorkowe mogą też powodować dyspergowanie warstwy tlenkowej do stanu koloidalnego i wzrost jej przepuszczalności. Stale niskostopowe nie są odporne na korozję w atmosferze, wodzie i wielu innych środowiskach. Wprowadzając do stali niektóre pierwiastki można zwiększyć jej odporność na korozję i otrzymać stop prawie wcale nie ulegający korozji w danym środowisku. Dodatek do stali ok. 12% Cr nadaje jej odporność w atmosferze, wodzie i wielu innych środowiskach spotykanych w przemyśle.

Odporność korozyjna stali wysokochromowych zależy od zawartości węgla i pierwiastków o dużym powinowactwie do węgla (np. wanad) oraz od obróbki cieplnej, albowiem wymienione czynniki wpływają na udział chromu w węglkach i osnowie. Im więcej chromu w osnowie, tym bardziej stal jest odporna na korozję. Przy większej zawartości węgla większa ilość chromu może być związana w węglkach, ale nawet przy dużej zawartości węgla w obecności wanadu ilość chromu w węglkach może być nieznaczna. Po zahartowaniu wzrasta odporność korozyjna stali dzięki nasyceniu osnowy chromem. Odpuszczanie w temperaturze 650—700°C, a zwłaszcza w wyższej od 700°C powoduje powstawanie węglika typu $(\text{CrFe})_{23}\text{C}_6$, co wywołuje zubożenie osnowy w chrom.

Stale nierdzewne w zależności od zawartości węgla należą do klasy półferrytycznej (stal 0H13) oraz martenzytycznej (stale 2H13, 3H13 i 4H13). Stale charakteryzujące się zawartością chromu powyżej 12% są odporne na korozję dzięki powstającej na nich warstewce pasywnej.

Metal aktywny w szeregu napięciowym metali albo stop składający się z metali aktywnych jest uważany za pasywny, jeśli jego własności elektrochemiczne odpowiadają takim samym własnościom metali mniej aktywnych albo metali szlachetnych.

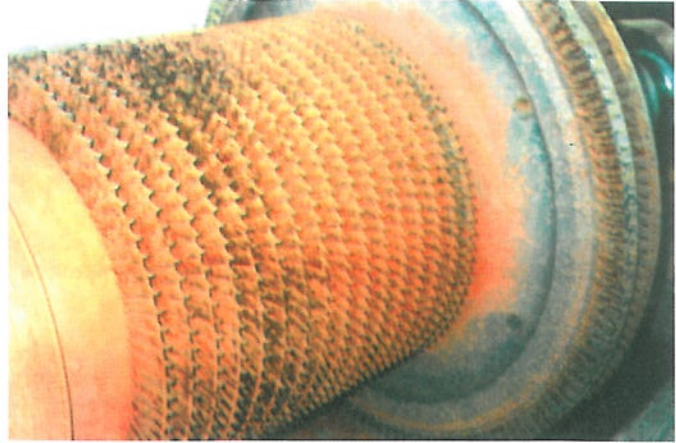
Według jednej z teorii zasadniczą rolę odgrywa warstwa pasywna na powierzchni metalu (np. tlenków metali lub innych związków), która stanowi barierę dla produktów reakcji dyfundujących w głąb roztworu; oddzielając metal od otaczającego środowiska powoduje zmniejszenie szybkości reakcji.

W warunkach eksploatacyjnych korozyjne uszkodzenia łopatek teoretycznie mogą porażać jedynie wieńce pracujące w strefie Wilsona (zmian faz pary). Jednak często w praktyce spotyka się uszkodzenia wieńcy łopatek pracujących w strefie pary przegrzanej.

Uszkodzenia korozyjne wżerowe bez względu na ich lokalizację w układzie przepływowym są wywołane korozją postojową — atmosferyczną. Strefa uszkodzenia może obejmować cały układ przepływowy lub tylko pewne jego części, w zależności od specyficznych warunków zaistniałych podczas postoju turbiny i jej sposobu odwadniania.

Rozwój intensywnej korozji atmosferycznej — postojowej łopatek wykonanych ze stali wysokochromowych podczas postoju jest możliwy tylko w obecności osadów zawierających chlorki i wilgoć. Osady tego rodzaju nie mogą tworzyć się podczas eksploatacji na stopniach pracujących w strefie pary suchej bez jej nawilżania. Dlatego główne źródła zanieczyszczenia łopatek powstają w czasie uruchamiania i zatrzymywania turbiny na parze niskiej jakości. Jednym ze źródeł wilgoci mogą

być połączenia z sąsiednim blokiem lub urządzeniami pomocniczymi, powodujące przeparowywanie turbiny w warunkach postojowych lub niewłaściwe jej odwodnienie. Należy podkreślić, że najbardziej intensywna korozja postojowa łopatek pracujących w strefie pary przegrzanej występuje na częściach położonych w okolicy upustów i odwodnień (łopatki, koła, tarcze, wały, obejmy itp. — rys. 2).



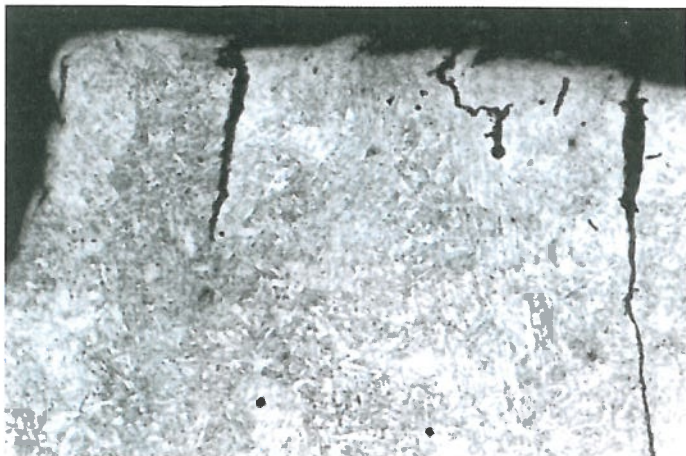
Rys. 2. Turbina porażona korozją postojową



Rys. 3. Charakterystyczny złom łopatki wywołany korozją zmęczeniową

Zmęczenie korozyjne łopatek najczęściej występuje w strefie fazowej przemiany pary, jednak przy nieodpowiedniej jej czystości uszkodzenia tego rodzaju mogą porażać łopatki robocze wszystkich stopni, w zależności od intensywności i rodzaju zanieczyszczenia pary. Warunkiem powstania korozji zmęczeniowej jest jednoczesne działanie procesu korozyjnego (środowisko agresywne, wilgoć — sole) oraz naprężeń zmiennych. Im większe są naprężenia, tym szybciej zachodzi proces niszczenia. W przypadku naprężeń bliskich granicy plastyczności w środowisku agresywnym proces niszczenia może zachodzić bardzo szybko, nawet w ciągu kilku dni. Złom spowodowany zniszczeniem korozyjnym nie różni się od zwykłego złomu zmęczeniowego (rys. 3). Jedynie na podstawie badań metalograficznych można wyjaśnić charakter uszkodzenia. Typowym objawem tego rodzaju uszkodzenia jest występowanie kilku pęknięć obok siebie mniej więcej w tym samym miejscu na różnych łopatkach tego samego wieńca (rys. 4). Ze względu na istotny wpływ naprężenia zmiennego sąsiednie wieńce mogą być porażone korozyjnymi ubytkami bez występowania pęknięć zmęczeniowo-korozyjnych (rys. 5).

Istotną przyczyną powstawania uszkodzeń korozyjnych są zanieczyszczenia pary odkładające się w postaci osadów na



Rys. 4. Szczegół z rysunku 3; w rejonie złomu widoczne liczne pęknięcia o charakterze śródziarnowym



Rys. 5. Znaczne ubytki korozyjne na wylotowych krawędziach łopatek (czas pracy do powstania uszkodzenia kilkanaście dni)

łopatkach w nieustalonych stanach pracy turbiny. Korozyjna agresywność osadów zależy od ich rozpuszczalności w wodzie i agresywności składników.

W przypadku nawilgocenia osadów (rozruchy, odstawienia, postoje) ich agresywność wzrasta. Dotyczy to zwłaszcza soli sodowych, a przede wszystkim chlorków i wodorotlenków. W miarę wzrostu stężenia chlorków korozja wżerowa obejmuje całą powierzchnię, a intensywność zmęczenia korozyjnego nasila się. Uważa się, że istnieje krytyczna zawartość chlorków w osadzie, po której przekroczeniu zachodzą procesy korozyjne. Jeżeli obecności wilgotnych agresywnych soli towarzyszą nadmierne naprężenia dynamiczne łopatek, to mogą zaistnieć warunki do wystąpienia uszkodzeń o charakterze zmęczenia korozyjnego. Zapobieganie tego rodzaju uszkodzeniom polega na:

- utrzymywaniu właściwej czystości pary,
- konserwacji turbiny w czasie postoju dłuższego niż 10 dni.

Mgr inż. Ewa Zbroińska-Szczuchura

Pro Novum — Katowice

LITERATURA

- [1] Zbroińska-Szczuchura E., Dobosiewicz J.: Korozja postojowa elementów ciśnieniowych bloków energetycznych. *Energetyka* 1996, nr 1
- [2] Effertz P. H., Forchhammer P.: Die Lochkorrosionsanfälligkeit des Vergütungsstabes X20Cr13 in Natriumchloridlösungen. *Der Maschinenschaden* 1997, nr 4
- [3] Leopold J.: Laufschaufelschaden an axialen Dampfturbinen. *Der Maschinenschaden* 1971, nr 3
- [4] Pirš I.: Ergebnisse werkstofftechnischer Untersuchungen an beschädigten Schaufeln einer Dampfturbine. *Alianz Report* 1994, nr 3
- [5] Effertz P. H., Hagn L.: Untersuchung des Schwingungsrisikoskorrosionsverhaltens von turbinenschaufelstählen im Bereich der beginnenden Dampfnahe. *Der Maschinenschaden* 1982, nr 2

proNovum

UKD 621.182:620.1

Przyczyny uszkodzeń otworów rur opadowych walczków w niektórych typach kotłów

Walczak kotła parowego jest jednym z najbardziej odpowiedzialnych jego elementów. Podczas pracy kotła w ściankach walczaka zostaje nagromadzona znaczna energia potencjalna w postaci energii sprężystej metalu obciążonego wysokim ciśnieniem oraz energia wody i pary w temperaturze nasycenia.

W walczakach kotłów występują wady, które można podzielić na dwie grupy:

- technologiczne
- eksploatacyjne.

Wady technologiczne są związane z procesami hutniczymi i spawalniczymi. Przyczynami wad eksploatacyjnych są warunki pracy metalu, tj. działające na metal naprężenia stałe i zmienne (cieplne) oraz agresywność środowiska.

Do często występujących wad powstałych w czasie pracy walczaka należą uszkodzenia otworów rur opadowych. Pęknięcia z reguły biorą początek na krawędzi otworów, rozprzestrzeniają się promieniście po ściance walczaka oraz w głąb otworu, aż do przyspawanych króćców włącznie (rys. 1 i 2). Wymiary pęknięć (długość, głębokość) narastają w miarę zbliżania się otworów do dolnej tworzącej walczaka. Pęknięcia mogą być różne ukierunkowane w stosunku do osi walczaka. Często otaczają strefę maksymalnych, rozciągających naprężeń od ciśnienia, a niekiedy układają się równomiernie na całym obwodzie lub porażają mostki. Wszystkie uszkodzenia są wypełnione tlenkami. Szerokość pęknięć zmienia się, a przyczyną ich powstania jest zmęczenie korozyjne (rys. 3). Pęknięciom, szczególnie często na ściankach otworów, towarzyszą wżery.