

ciężarem rurociągu a reakcją zamocowania oraz na rzeczywiste kierunki i wartości przemieszczeń. Doświadczenia wskazują, że wartości te z reguły różnią się od projektowych. Ponadto zamocowania stałościowe charakteryzują się tendencją do zwiększania odkształceń rurociągu przez wymuszenie warunków przeciążenia lub niedociążenia. Powszechnie stosowane rurociągi mają skłonności do zwisów, aż do pęknięć włącznie. Również doświadczenia wskazują, że zamocowania rurociągów bardzo często nie są przystosowane do przenoszenia obciążeń zmiennych (powodowanych uderzeniami wodnymi lub parowymi) oraz nadmiernych obciążeń stałych powstających przy próbie wodnej.

Rozwiązanie tego problemu nie jest wcale łatwe, wymaga bowiem znajomości zachowania się całego układu

(nie tylko zamocowań), a tym samym prowadzenia obserwacji i prób w bardzo szerokim zakresie.

System zamocowań starzeje się podczas eksploatacji. Doświadczenia wskazują, że wymaga on konserwacji i przeglądów, aby zapewnić niezawodną pracę rurociągu. Dlatego też zamocowania powinny być zaopatrzone w urządzenia wskazujące położenie rurociągu i zamocowań, które powinny być często sprawdzane w celu uzyskania informacji o stanie całego systemu. Przeglądy, konserwacja i pomiary powinny być wykonywane systematycznie.

panovum

Dr inż Jerzy Trzeszczyński

Pro Novum — Katowice

UKD 621.31.004.67

Możliwości oceny przydatności do dalszej eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni na podstawie badań metalograficznych

Celem diagnostyki materiałowej urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni jest — oparte na ocenie aktualnego stanu metalu — określenie przydatności elementu do dalszej eksploatacji oraz sformułowanie prognozy dotyczącej przewidywanego czasu jego bezpiecznej pracy.

Tak ogólnie sformułowanego celu nie można osiągnąć posługując się jedną metodą badań lub pomiarów czy też wyłącznie metodą obliczeń. Skomplikowane warunki pracy, różnorodność zastosowanych materiałów i technologii wykonania, duże wymagania odnośnie do bezpieczeństwa i niezawodności pracy sprawiają, że wymieniony cel można osiągnąć wykorzystując system wzajemnie zsynchronizowanych działań, tj. badań, pomiarów i obliczeń. Zestaw odpowiednio uporządkowanych procedur badawczo-pomiarowych i obliczeń można określić mianem systemu diagnostyki. W zależności od rodzaju badanego elementu i wymagań użytkownika wykorzystuje się poszczególne elementy tak rozumianego systemu w odpowiednim zakresie. Jednym z częściej wykorzystywanych elementów systemu są badania metalograficzne.

Miejsce badań metalograficznych w systemie diagnostyki

W systemie diagnostyki można wyróżnić następujące formy inspekcji stanu materiału:

- oględziny,
- badania nieniszczące,
- badania niszczące,
- pomiary deformacji.

Badania metalograficzne są częścią składową drugiej i trzeciej formy inspekcji stanu metalu podczas oceny stanu technicznego elementów kotła, głównych rurociągów parowych i turbiny. W obrębie badań nieniszczących badania metalograficzne są wykonywane metodą replik (plus pomiar twardości), natomiast jako fragment badań niszczących są przeprowadzane na zglądach wykonanych na pobranych z elementu próbkach. Pośrednim sposobem oceny stanu struktury bywa także pomiar tłumienia sygnału ultradźwiękowego przy wykorzystaniu wzorca wielkości tłumienia materiału w stanie wyjściowym lub wyniku poprzedniego badania.

W diagnostyce urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni wykorzystuje się wszystkie dostępne techniki metalograficzne, łącznie z mikroskopią elektronową i ilościową oceną składników struktury. Naczelną zasadą powinien być umiejętny dobór technik badawczych do określonego problemu.

Zakres wykorzystania metod metalograficznych w diagnostyce elementów kotła, rurociągów, turbiny i generatora

Badania metalograficzne wykorzystuje się najczęściej w celu:

- **określenia typu struktury** — wielkość ziarna, skład fazowy, obecność wtrąceń niemetalicznych, etc. to ważne informacje dotyczące własności wytrzymałościowych i plastycznych metalu;
- **wykrycia ewentualnych zmian pod wpływem warunków eksploatacji** — zaawansowanie procesów wydzieleniowych, stopień dyspersji i koagulacji wydzieleni pozwalają wnioskować o stopniu degradacji własności mechanicznych;
- **wykrycia mikropor pelzaniowych** — pozwala to bowiem wnioskować o stopniu zaawansowania degradacji własności metalu na skutek pelzania;
- **ujawnienia i określenia mechanizmu i kinetyki wzrostu mikro- i makropęknięć** — stwarza to możliwość określenia przyczyn i tempa propagacji uszkodzeń;
- **określenia optymalnej technologii naprawy i regeneracji uszkodzonych lub nadmiernie wyczerpanych elementów** — badania metalograficzne wspomagane zwykle badaniami udarności, twardości i analizy składu chemicznego umożliwiają właściwy dobór warunków do spawania i wyżarzania oraz kontrolę poprawności wykonanych zabiegów.

Zakres rutynowych badań metalograficznych krytycznych elementów kotła, rurociągów i turbozespołów przedstawiono w tabeli 1.

Ważną dziedziną zastosowania badań metalograficznych są także wszelkiego rodzaju ekspertyzy poawaryjne oraz prace związane z wdrożeniem nowych technologii wykonawstwa, wymiany i regeneracji.

Tabela 1

Zakres badań metalograficznych krytycznych elementów kotła, głównych rurociągów parowych oraz turbiny

Element	Miejsce badania	Rodzaj badań metalograficznych	Cel badania
KOCIOŁ			
Walczak	dzwona i dennice w części parowej i wodnej	R	stwierdzenie ewentualnych zmian w strukturze pod wpływem eksploatacji
	dzwono o najniższych własnościach wytrzymałościowych lub z pęknięciami wymagającymi naprawy przez spawanie	Z (na wyciętym „korcu” lub próbce „łódkowej”)	<ul style="list-style-type: none"> ● j.w. ● określenie morfologii pęknięć ● określenie optymalnej technologii naprawy
Komory przegrzewaczy pary *)	dowolne miejsce na powierzchni zewnętrznej	R	określenie typu struktury
Schładzacz *)	w dowolnym miejscu na odcinku przed wtryskiem	R	określenie typu struktury
Rurociągi komunikacyjne (łącznie)	najbardziej zowalżowane kolana w strefie rozciąganej i na odcinku prostym	R	<ul style="list-style-type: none"> ● określenie stopnia degradacji struktury ● wykrycie ewentualnych mikropor pełzaniowych
Wężownice przegrzewaczy pary	na wlocie i wylocie pary rur wyznaczonych podczas oględzin	Z	<ul style="list-style-type: none"> ● określenie stopnia degradacji struktury ● wykrycie ewentualnych mikropor pełzaniowych ● grubość warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej
GLÓWNE RUROCIĄGI PAROWE			
Rurociągi pary świeżej i wtórnie przegrzanej	wszystkie kolana w strefie rozciąganej i na odcinku prostym	R	<ul style="list-style-type: none"> ● określenie stopnia degradacji struktury ● wykrycie ewentualnych mikropor pełzaniowych
TURBINA			
Wirniki WP i SP	w dwóch miejscach na kole regulacyjnym (Curtisa) oraz na wale za ostatnim kołem roboczym	R	ujawnienie ewentualnych zmian w strukturze pod wpływem eksploatacji
Korpusy turbin części WP i SP	na wlocie i wylocie pary w części dolnej i górnej	Z	<ul style="list-style-type: none"> ● określenie typu struktury ● ujawnienie ewentualnych zmian w strukturze pod wpływem eksploatacji ● opracowanie optymalnej technologii naprawy i regeneracji
Korpusy turbin części NP (żeliwne w niektórych typach turbin)	w strefie wlotu i wylotu pary w części dolnej i górnej	R	ujawnienie ewentualnej degradacji struktury (grafityzacji)
Korpusy zaworów szybkoszamykających i regulacyjnych	w części wlotowej, w miejscu możliwym ze względów konstrukcyjnych	R lub Z	<ul style="list-style-type: none"> ● ujawnienie ewentualnych zmian w strukturze pod wpływem eksploatacji ● opracowanie optymalnej technologii naprawy
Tarcze nasadzone na wirnikach NP, SP i WP	poniżej wrębów łopatkowych	R	określenie typu struktury
	z płyty w przypadku jej uszkodzenia lub tulejowania	Z	określenie mechanizmu i kinetyki pęknięcia
GENERATOR			
Kołpaki wirnika	w miejscach narażonych na korozję naprężeniową	R	ujawnienie ewentualnej obecności korozji naprężeniowej
	cała powierzchnia obydwu kołpaków	T	
	wykruszone mechanicznie fragmenty materiału	Z	<ul style="list-style-type: none"> ● określenie stanu struktury ● określenie mechanizmu pęknięcia

*) — na życzenie użytkownika lub producenta

R — replika (twardość)

Z — zgląd (nieprawiony, prawiony + twardość)

T — pomiar tłumienia

Zalety i ograniczenia badań metalograficznych

Główna zaleta badań metalograficznych wynika z samej ich istoty, tj. analizy struktury metalu. Istnieje dobrze udowodniona teza, że własności materiału pozostają w bezpośrednim związku z typem struktury, tj. wielkością ziarna, składem fazowym, rodzajem i dyspersją wydzielen, budową dyslokacyjną, etc. Oznacza to, że wszelkie zmiany w obrazie struktury mogą być, przy spełnieniu dodatkowych warunków, interpretowane jako odpowiednie zmiany wybranych własności użytkowych materiału, wytrzymałościowych, plastycznych, etc. Coraz większe zrozumienie zależności między strukturą a własnościami pozwala w ostatnim czasie projektować nowe materiały o ściśle określonych cechach użytkowych.

Niestety, w obrębie zagadnień występujących w diagnostyce urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni występuje wiele naturalnych ograniczeń w zastosowaniu metod metalograficznych. Wybór najważniejszych z nich przedstawiono poniżej.

- Bardzo rzadko w praktyce można uzyskać informacje o strukturze materiału w stanie wyjściowym. Bez wiedzy o stanie początkowym trudno wnioskować o zmianach, chyba że, jak w przypadku wirników turbin, tzw. część zimna wału może być traktowana jako materiał w stanie wyjściowym.

- Ortodoksyjnie nastawieni zwolennicy metod metalograficznych głoszą, z czym w znacznej mierze należy się zgodzić, że strukturę można traktować jako miejsce „zapisu” informacji o kolejnych fazach eksploatacji. Problem tkwi „tylko” w tym, żeby te często subtelne (np. na poziomie dyslokacyjnym) informacje umieć właściwie zinterpretować oraz, co równie ważne, aby wiedzieć, gdzie w elemencie o wielkich gabarytach takiej informacji szukać i by w takim miejscu było możliwe wykonanie badań. Bardzo często spełnienie tych warunków jest niemożliwe lub bardzo istotnie utrudnione.

- Najlepsze możliwości oceny stanu materiału dają badania niszczące, na podstawie których można skorelować strukturę i własności mechaniczne. Trudność wykonania takich badań polega na tym że rzadko można pobrać próbkę z odpowiedniego miejsca elementu w taki sposób, aby nie spowodować jego trwałego uszkodzenia. Do celów poznawczych badanie takie ma pewną wartość, dla praktyki eksploatacyjnej — żadną.

- Bardzo często są demonizowane wartości poznawcze badań za pomocą replik, można bowiem spotkać metodyki wyjątkowo wyrafinowane i pracochłonne. Praktyczna korzyść z takich badań jest często niewspółmierna do wysiłku i kosztów. W tym przypadku liczba rzadko przechodzi w jakość, a prognozowanie na podstawie wyrafinowanych badań elektronooptycznych tylko pozornie zmniejsza błąd prognozy i wydłuża jej horyzont.

Proces eksploatacji jest ciągle kontrolowany niedostatecznie, pomiary temperatur metalu są często mało wiarygodne. Warunki brzegowe długoterminowej prognozy prawie nigdy w praktyce nie są zachowane.

Replika to relief struktury na powierzchni elementu, która bardzo często:

- ma technologicznie wytworzoną strukturę inną niż reszta metalu (zgniot i odwęglenie powierzchniowe),
- nie pracuje w sposób typowy dla danego rodzaju elementu; w komorach przegrzewaczy pary nigdy nie można wykonać replik w miejscach najbardziej narażonych na zniszczenie (mostki na powierzchni wewnętrznej).

Powszechnie akceptowany jest pogląd o dużej przydatności badań metalograficznych elementów pracujących w warunkach pełzania. Ze stanowiskiem takim należy się zgo-

dzić w przypadku wykorzystania wymienionej metody do badań stanu kolan rurociągów pary świeżej, wtórnie przegrzanej i rur komunikacyjnych (łączących). Badania wykonywane w najbardziej zowalizowanym miejscu części rozciąganej kolan umożliwiają poprawne określenie stopnia degradacji materiału od pełzania i długotrwałego oddziaływania wysokiej temperatury (przy interpretacji wyników badań należy tylko pamiętać o często w praktyce spotykanym technologicznym odwęgleniu powierzchni rury).

Z oceną, na podstawie badań struktury, pozostałych elementów pracujących w warunkach pełzania występują znaczne problemy. To, że element pracuje w warunkach pełzania nie znaczy wcale, że dominującym procesem niszczącym jest pełzanie. Praktyczne doświadczenia oceny stanu technicznego komór przegrzewaczy pary, schładzaczy, wirników WP i SP turbin, korpusów WP i SP turbin oraz korpusów zaworów regulacyjnych i szybkozamykających WP i SP ewidentnie dowodzą, że elementy te ulegają uszkodzeniom, są naprawiane lub wymieniane w związku z ich uszkodzeniami o charakterze zmęczeniowym. Termoszkodywany mechanizm inicjacji i wzrostu pęknięć dominuje zdecydowanie w wymienionych elementach grubościennych. W takich sytuacjach pożytek z badań strukturalnych bywa niewielki, niekiedy wręcz tracą one całkowicie swoją przydatność. Badania struktury komór przegrzewaczy pary na powierzchni zewnętrznej z wymienionych powodów nie mają większego sensu. Właściwym badaniem w tym przypadku jest inspekcja, za pomocą endoskopu, powierzchni wewnętrznej oraz pomiary odkształcenia otworów (zwłaszcza krawędzi otworów i mostków). Niekiedy w praktyce występują także przypadki ewidentnych błędów na poziomie preparatyki, np. interpretowanie (przy dużych powiększeniach $> 1000\times$) jamek trawiennych powstałych podczas wykonywania zglądu metodą elektrochemiczną jako pustek pełzaniowych.

Wnioski

Podsumowując można sformułować następujące wnioski.

1. Badania metalograficzne należy traktować jako jedną z metod systemu diagnostyki. Badania defektoskopowe i obliczenia zapasu żywotności powinny być zawsze logicznie powiązane z analizą struktury materiału.

2. Granicą stosowalności badań niszczących (metalograficznych i wytrzymałościowych) powinno być zachowanie dalszej przydatności elementu do eksploatacji. Poznawcza strona badań nie może dominować nad bezpośrednią przydatnością wyników dla praktyki eksploatacyjnej i remontowej.

3. Stosowanie każdej z metod diagnostycznych, w tym także metalografii, powinno być w logicznym związku ze spodziewanym, na podstawie statystyk uszkodzeń i znajomości warunków pracy metalu, typem i lokalizacją procesów niszczących. Trywializując można stwierdzić, że badań należy nie tam, gdzie jest najłatwiejszy dostęp, tylko tam, gdzie proces niszczenia może zachodzić z największą intensywnością. Im mniej wiadomo o warunkach pracy metalu konkretnego elementu, tym mniejsze jest prawdopodobieństwo poprawnego wykonania badań.

Związek struktury z własnościami materiału sprawia, że badania metalograficzne są często stosowaną metodą testowania aktualnego stanu materiału. Zmiany w obrazie struktury są podstawą do formułowania prognozy o dalszej przydatności elementu. Szeroki zakres stosowania metod metalograficznych w diagnostyce elementów kotła, głównie rurociągów parowych i turbin został zaprezentowany zgodnie z aktualnymi doświadczeniami firmy *Pro Novum*. Obok licznych zalet metalografii wskazano także na naturalne ograniczenia.