

Jerzy TRZESZCZYŃSKI
PRO NOVUM, Katowice

MOŻLIWOŚCI OCENY PRZYDATNOŚCI DO DALSZEJ EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ CIEPLNO-MECHANICZNYCH ELEKTROWNI NA PODSTAWIE BADAŃ METALOGRAFICZNYCH

Streszczenie. Przedstawiono ocenę przydatności badań metalograficznych w diagnostyce elementów kotła, turbiny i rurociągów parowych, w szczególności pracujących w warunkach pełzania. Na podstawie własnych doświadczeń wskazano także na liczne ograniczenia metody związane z wyborem miejsc badań, preparatyki i interpretacji wyników.

POSSIBLE UTILIZATION OF METALLOGRAPHIC EXAMINATION IN THE ASSESSMENT OF FURTHER SERVICE LIFE OF THERMAL-MECHANICAL EQUIPMENT IN POWER PLANTS

Summary. The usability of metallographic examination in the diagnostic of boiler turbine and pipeline elements was evaluated with particular attention being paid to those operating under creep conditions. Following our own experience numerous limitation of the examination was indicated connected with the selection of examination area, sample preparation and interpretation of results.

BEURTEILUNGSMÖGLICHKEIT DES WEITEREN BETRIEB DER WÄRME-MECHANISCHEN ANLAGEN EINES KRAFTWERKS AUF GRUND DER METALLOGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Zusammenfassung. Es wurde die Brauchbarkeit der metallographischen Untersuchungen in der Diagnostik der Kessel-, Turbinen- und Dampfleitungen- Elemente beurteilt, insbesondere deren, die in Kriechbedingungen arbeiten. Auf Grund eigener Erfahrungen, wurde auch an zahlreiche Beschränkungen, die mit Auswahl der Untersuchungsstelle, Preparatur- und Ergebnissauswertung verbunden sind, hingewiesen.

1. WPROWADZENIE

Celem diagnostyki materiałowej urządzeń cieplno–mechanicznych elektrowni jest określenie na podstawie oceny aktualnego stanu metalu 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 wyłącznie metodą obliczeń. Skomplikowane warunki pracy, różnorodność zastosowanych materiałów i technologii wykonania, duże wymagania odnośnie do bezpieczeństwa i niezawodności pracy sprawiają, że ww. cel osiągnąć można 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.

2. MIEJSCE BADAŃ METALOGRAFICZNYCH W SYSTEMIE DIAGNOSTYKI

W systemie diagnostyki wyróżnić można następujące formy inspekcji stanu materiału:

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

Badania metalograficzne występują jako część składowa drugiej i trzeciej formy inspekcji stanu metalu podczas oceny stanu technicznego elementów kotła, głównych rurociągów parowych i turbiny. W obrębie badań nieniszczących badania metalograficzne wykonywane są metodą replik (plus pomiar twardości), natomiast jako fragment badań niszczących wykonywane są 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 cieplno–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 danego problemu.

3. 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. są ważną informacją dotyczącą własności wytrzymałościowych i plastycznych metalu,
- **wykrycia ewentualnych zmian pod wpływem warunków eksploatacji** – zaawansowanie procesów wydzieleniowych, stopień dyspersji i koagulacji wydzielen pozwalają wnioskować o stopniu degradacji własności mechanicznych,
- **wykrycie mikropor pełzaniowych** – pozwala wnioskować o stopniu zaawansowania degradacji własności metalu na skutek pełzania,
- **ujawnienie i określenie mechanizmu i kinetyki wzrostu mikro- i makropęknięć** – stwarza możliwość określenia przyczyn i tempa propagacji uszkodzeń,
- **określenie optymalnej technologii naprawy i regeneracji uszkodzonych lub nadmiernie wyczerpanych elementów** – badania metalograficzne wspomagane zwykle badaniami udarności, twardości i analizy składu chemicznego pozwalają właściwie dobrać warunki spawania i wyżarzania oraz umożliwiają kontrolę poprawności wykonanych zabiegów.

Zakres rutynowych badań metalograficznych krytycznych elementów kotła, rurociągów i turbozespołu przedstawiono w tabelicy 1.

Tabela 1
Zakres badań metalograficznych krytycznych elementów kotła, głównych rurociągów parowych i 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 posiadające pęknięcia wymagające naprawy przez spawanie	Z (na wyciętym „korku” lub próbce „łódkowej”)	– j.w. – Określenie morfologii pęknięć – Określenie optymalnej technologii naprawy
Komory przegrzewaczy pary ^{*)}	Dowolne miejsce na powierzchni zewnętrznej	R	Określenie typu struktury

cd. tablicy 1

Element	Miejsce badania	Rodzaj badań metalograficznych	Cel badania
Schładzacze ^{*)}	W dowolnym miejscu na odcinku przed wtryskiem	R	Określenie typu struktury
Rurociągi komunikacyjne (łącznie)	Najbardziej zowalizowane kolana w strefie rozciąganej 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 pow. wewnętrznej
Główne 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 szybko-zamykających 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

cd. tablicy 1

Element	Miejsce badania	Rodzaj badań metalograficznych	Cel badania
Tarcze nasadzone na wirnikach NP, SP i WP	Poniżej wrębów łopatkowych	R	Określenie typu struktury
	Z piasty w przypadku jej uszkodzenia lub tulejowania	Z	Określenie mechanizmu i kinetyki pękania
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	– określenie stanu struktury – określenie mechanizmu pękania
*) – na życzenie użytkownika lub producenta R – replika (+ twardość) Z – zgląd (nietrawiony, trawiony + twardość) T – pomiar tłumienia			

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

4. ZALETY I OGRANICZENIA BADAŃ METALOGRAFICZNYCH

Główna zaleta badań metalograficznych związana jest z istotą samych badań, tj. analizą struktury metalu. Istnieje dobrze udowodniona teza, że własności materiału są 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 (wytrzymałościowych, plastycznych etc.) użytkowych materiału. Coraz większe zrozumienie zależności pomiędzy strukturą a własnościami pozwala w ostatnim czasie projektować nowe materiały o ściśle określonych cechach użytkowych.

Niestety, w obrębie zagadnień występujących w diagnostyce urządzeń ciepło-mechanicznych elektrowni występuje wiele naturalnych ograniczeń w za-

stosowaniu metod metalograficznych. Wybór najważniejszych z nich przedstawia się następująco:

- Bardzo rzadko w praktyce mamy informacje o strukturze w stanie wyjściowym materiału. 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 aby w takim miejscu możliwe było wykonanie badań. Bardzo często spełnienie ww. warunków jest niemożliwe lub bardzo 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 w taki sposób, aby nie spowodować jego trwałego uszkodzenia. Dla celów poznawczych badanie takie ma pewną wartość, dla praktyki eksploatacyjnej – żadnej.
- Bardzo często demonizowane są wartości poznawcze badań za pomocą replik, można spotkać z ich udziałem metodyki wyjątkowo wyrafinowane i pracochłonne. Praktyczna korzyść z takich badań jest często niewspółmierna do wysiłku i kosztów. Liczba rzadko, w tym przypadku, przechodzi w jakość, a prognozowanie na podstawie wyrafinowanych badań elektrooptycznych 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:

- technologicznie ma 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 ma możliwości wykonania replik w miejscach najbardziej narażonych na zniszczenie (mostki na powierzchni wewnętrznej).

Powszechnie akceptowanym poglądem jest duża przydatność badań metalograficznych elementów pracujących w warunkach pełzania. Ze stanowiskiem takim należy się zgodzić w przypadku wykorzystania ww. metody do badań stanu kolan rurociągów pary świeżej, wtórnie przegrzanej oraz rur komunikacyjnych (łączyjących). Badania wykonane w najbardziej zowalizowanym miejscu części rozciąganej kolan umożliwiają poprawne określenie stop-

nia degradacji materiału od pełzania i długotrwałego oddziaływania wysokiej temperatury (przy interpretacji wyników badań należy tylko pamiętać o często spotykanym w praktyce 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 związane z oceną 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. Termosokowy mechanizm inicjacji i wzrostu pęknięć dominuje zdecydowanie w ww. elementach grubościennych. W takich sytuacjach pożytek z badań strukturalnych mocno spada, niekiedy wręcz tracą one całkowicie swoją przydatność. Badania struktury komór przegrzewaczy pary na powierzchni zewnętrznej z przytoczonych powodów nie mają większego sensu. Właściwym badaniem w tym przypadku jest inspekcja (za pomocą endoskopu) powierzchni wewnętrznej (szczególnie krawędzi otworów i mostków). Niekiedy w praktyce spotkać można także przypadki ewidentnych błędów na poziomie preparatyki, np. interpretowanie (przy dużych powiększeniach > 1000x) jamek trawiennych powstałych podczas wykonywania zglądu metodą elektrochemiczną, jako pustek pełzaniowych.

5. WNIOSKI

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

Reasumując należy stwierdzić, że:

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 statystyki uszkodzeń i znajomości warunków pracy metalu, typem i lokalizacją procesów niszczących. Trywializując można stwierdzić, że badać 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.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Gerard KOSMAN

Wpłynęło do Redakcji 10.08. 1994 r.

Abstract

The hierarchy and importance of metallographic examination in the general diagnostic system for the pressure elements of boilers, turbines and steam pipelines was presented. Numerous advantages were indicated connected with the utilization of the interrelation of material structure and properties. Particular attention was attached to a good applicability of metallographic examination in evaluating materials operating in creep conditions.

A number of limitations of the method connected with the selection of zones to be examined, replicas taking and sample cutting out were presented as well as interpretation of the results was discussed.