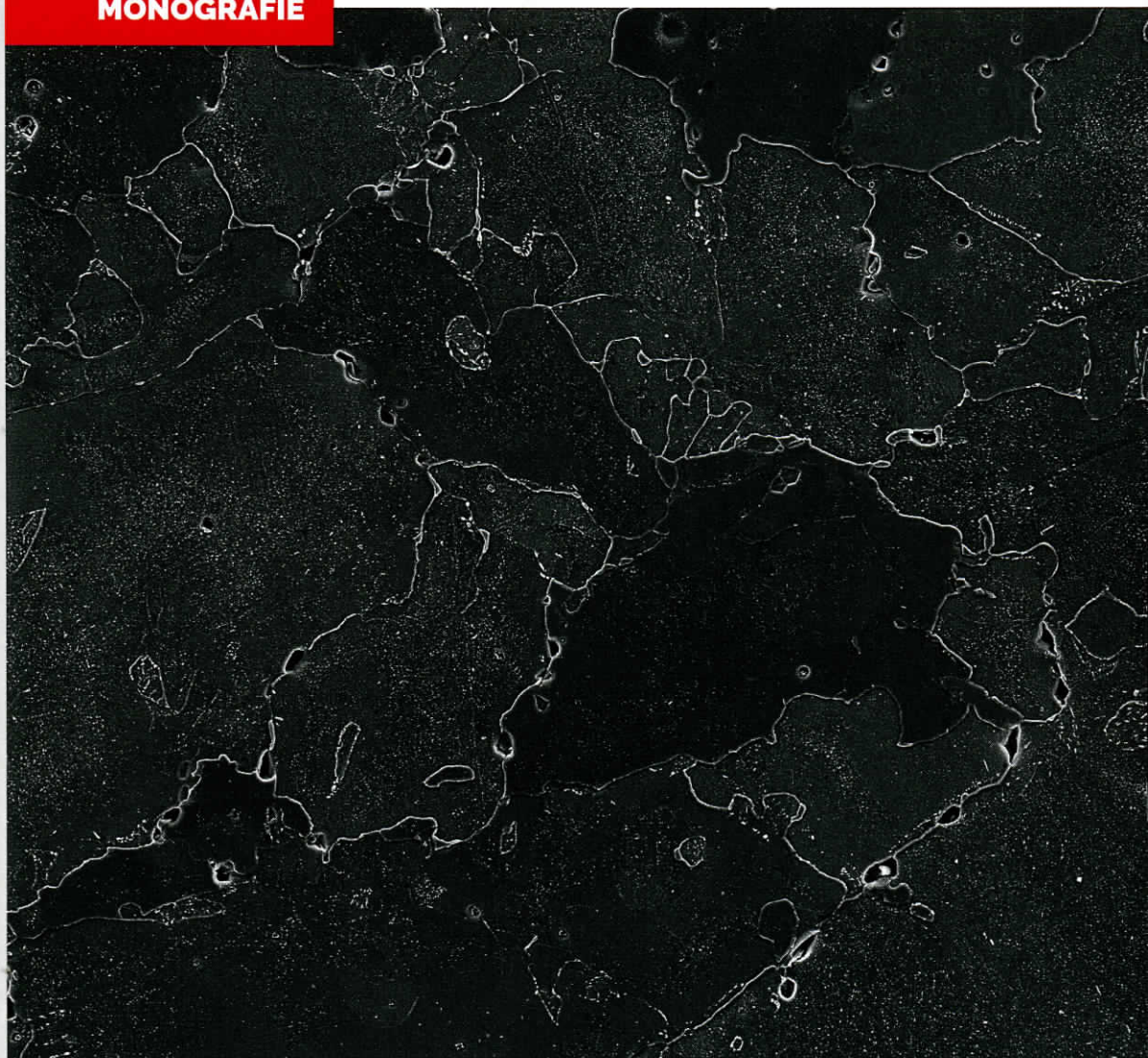


Janusz Dobrzański

**TRWAŁOŚĆ ELEMENTÓW CIŚNIENIOWYCH  
BLOKÓW ENERGETYCZNYCH**

**MONOGRAFIE**



Instytut  
Metalurgii  
Żelaza



#### **RECENZENCI**

Prof. dr hab. inż. Adam HERNAS

Prof. dr hab. inż. Jan TALER

#### **RADA NAUKOWA SERII MONOGRAFIE**

Prof. dr hab. inż. Leszek BLACHA

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz DERDA

Prof. dr hab. inż. Henryk DYJA, M. dr h.c.

Prof. dr hab. Roman KUZIAK

Prof. dr hab. inż. Andrzej ŁĘDZKI

Prof. dr hab. inż. Kazimierz MAMRO

**ISSN: 0137-9941**

**ISBN: 978-83-938130-3-2**

Wydawca: Instytut Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica  
ul. K. Miarki 12-14, 44-100 Gliwice

#### **ZESPÓŁ REDAKCYJNY**

redaktor naczelny – dr hab. inż. Adam ZIELIŃSKI, prof. IMŻ

zastępca redaktora naczelnego – prof. dr hab. Józef PADUCH

redaktorzy tematyczni – dr hab. inż. Janusz DOBRZAŃSKI, prof. IMŻ,

prof. dr hab. Roman KUZIAK, dr hab. inż. Marian NIESLER, prof. IMŻ,

dr hab. inż. Krzysztof RADWAŃSKI, prof. IMŻ, dr Grażyna STANKIEWICZ

redaktorzy językowi – mgr Maja KAMIŃSKA, mgr Anna STĘPIEŃ

redaktor techniczny – mgr inż. Danuta GRUSZCZYŃSKA

sekretarz redakcji – mgr Małgorzata SKALMIERSKA

Ark. wyd. 32

---

Skład i łamanie: IMŻ

Druk: D&D Sp. z o.o. – Gliwice, tel. 32 230 84 24

## Spis treści

Przedmowa . . . . .	7
1. WPROWADZENIE . . . . .	9
2. PODZIAŁ ELEMENTÓW CZĘŚCI CIŚNIENIOWEJ KOTŁA, RUROCIĄGÓW I TURBIN PAROWYCH. . . . .	12
3. PODSTAWOWE POJĘCIA I DEFINICJE . . . . .	17
4. PROCESY NISZCZENIA ELEMENTÓW KOTŁÓW, RUROCIĄGÓW I TURBIN PAROWYCH PRACUJĄCYCH W WARUNKACH PEŁZANIA. . . . .	26
4.1. Wybrane procesy niszczenia materiału elementów kotła ujawnione na przykładach . . . . .	36
5. METODOLOGIA OCENY STANU ELEMENTÓW PRACUJĄCYCH W WARUNKACH PEŁZANIA. . . . .	85
5.1. Wybór miejsc do badań. . . . .	85
5.2. Dobór metod badań. . . . .	89
5.3. Badania nieniszczące . . . . .	91
5.4. Badania niszczące. . . . .	97
5.4.1. Badania struktury . . . . .	99
5.4.2. Badania właściwości mechanicznych. . . . .	100
5.5. Badania procesów korozyjnych . . . . .	102
6. BADANIA PEŁZANIA I SPOSÓB POSTĘPOWANIA W WYZNACZANIU CZASU BEZPIECZNEJ EKSPLOATACJI . . . . .	106
6.1. Badania pełzania . . . . .	106
6.2. Sposób wyznaczania czasu bezpiecznej pracy materiału po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy. . . . .	113
6.3. Sposób wyznaczania minimalnej grubości ścianki elementu niezbędnej do przenoszenia rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych materiału po długotrwałej pracy w warunkach pełzania o znanej charakterystyce wytrzymałości na pełzanie . .	122

7. OBLICZENIOWE METODY OCENY STANU ELEMENTÓW PRACUJĄCYCH W WARUNKACH PEŁZANIA . . . . .	129
7.1. Ocena stanu elementu w oparciu o dane obliczeniowe . . . . .	129
7.2. Oszacowanie stopnia wyczerpania z reguły ułamków trwałości . . . . .	131
7.3. Ocena przydatności metod obliczeniowych w praktyce przemysłowej. . . . .	137
8. OCENA STANU MATERIAŁU ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH KOTŁA I RUROCIĄGÓW. . . . .	142
9. OCENA STANU MATERIAŁU ZŁĄCZY SPAWANYCH ELEMENTÓW PRACUJĄCYCH W WARUNKACH PEŁZANIA . . . . .	160
9.1. Ocena złączy spawanych elementów eksploatowanych po przekroczeniu czasu obliczeniowego . . . . .	161
9.2. Ocena naprawczych/modernizacyjnych złączy spawanych materiału po eksploatacji z materiałem nowym . . . . .	178
9.3. Zasady wykonywania naprawczych i modernizacyjnych złączy spawanych elementów pracujących w warunkach pełzania . . . . .	207
10. PRZYKŁADOWE PROCEDURY OCENY STANU MATERIAŁU WYBRANYCH ELEMENTÓW BLOKU ENERGETYCZNEGO . . . . .	210
10.1. Sposób postępowania w diagnostyce materiałowej elementów krytycznych części ciśnieniowej bloku energetycznego . . . . .	210
10.2. Ocena materiału wężownic przegrzewacza pary po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania . . . . .	223
10.3. Ocena materiału komór przegrzewacza pary po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania. . . . .	234
10.4. Ocena materiału rurociągów pary po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania . . . . .	246
10.5. Ocena materiału wału turbiny parowej po długotrwałej eksploatacji . . . . .	266
10.6. Ocena materiału korpusu turbiny parowej po długotrwałej eksploatacji . . . . .	286
10.7. Ocena materiału walczaka po długotrwałej eksploatacji . . . . .	327

11. ROLA BADAŃ W ROZWIĄZYWANIU INŻYNIERSKICH PROBLEMÓW ZWIĄZANYCH Z OCENĄ STANU ELEMENTÓW CIŚNIENIOWYCH KOTŁA. . . . .	349
11.1. Badania materiałowe w identyfikacji przyczyn nadmiernej utraty trwałości eksploatacyjnej elementów części ciśnieniowej kotłów . . . . .	349
11.2. Skutki nadmiernego wyężenia elementu konstrukcyjnego. . . . .	350
11.3. Wpływ niezgodności temperatury obliczeniowej i rzeczywistej przyczyną utraty trwałości eksploatacyjnej . . . . .	361
11.4. Cechy geometryczne wyrobu hutniczego przyczyną obniżonej trwałości eksploatacyjnej . . . . .	366
11.5. Uszkodzenia mechaniczne przyczyną utraty trwałości eksploatacyjnej . . . . .	371
11.6. Wpływ sumowania się skutków procesów niszczenia na utratę trwałości eksploatacyjnej . . . . .	374
12. WPŁYW NIESTABILNYCH WARUNKÓW EKSPLOATACJI BŁOKÓW ENERGETYCZNYCH NA SKRACANIE ICH TRWAŁOŚCI UŻYTKOWEJ . . . . .	378
12.1. Wpływ zmienionych warunków pracy na rzeczywistą trwałość eksploatacyjną materiału elementów pracujących w warunkach pełzania . . . . .	378
12.2. Ocena przydatności do eksploatacji w układzie regulacyjnym materiału podstawowego i złączy spawanych po długotrwałej pracy w warunkach pełzania na przykładach. . . . .	384
12.3. Wpływ temperaturowych warunków pracy na rzeczywistą trwałość eksploatacyjną materiału elementów pracujących w warunkach pełzania . . . . .	400
13. PODSUMOWANIE . . . . .	410
Literatura . . . . .	417
Streszczenie . . . . .	445
Abstract . . . . .	448

## PRZEDMOWA

Diagnostyka techniczna części ciśnieniowej bloków energetycznych jest niezbędna w ocenie stanu i stopnia wyczerpania oraz wyznaczaniu rzeczywistej trwałości eksploatacyjnej i czasu dalszej bezpiecznej pracy. Ma to szczególne znaczenie, gdy oczekuje się eksploatacji bloków energetycznych po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy.

Początki profesjonalnej diagnostyki technicznej tych urządzeń to lata siedemdziesiąte dwudziestego wieku kiedy pierwsze bloki energetyczne przekroczyły obliczeniowy czas pracy. To wtedy w ówczesnym Południowym Okręgu Energetycznym mgr inż. Jerzy Dobosiewicz stworzył pierwszą komórkę diagnostyczną. Należy uznać, że był on pionierem i prekursorem tej działalności w Polsce. Wówczas rozpoczęła się również współpraca tej komórki diagnostycznej z zespołem pracowników naukowych Instytutu Metalurgii Żelaza zajmujących się materiałami dla energetyki kierowanym przez dr. inż. Piotra Milińskiego z udziałem Autora. Również od tego czasu datuje się współpraca IMŻ w obszarze materiałów dla energetyki z Politechniką Śląską, a personalnie z prof. dr. hab. inż. Adolfem Maciejnym i prof. dr. hab. inż. Adamem Hernasem. Ścisła współpraca w obszarze materiałów dla energetyki z Profesorem Adamem Hernasem trwa do dzisiaj.

Pierwsze kompleksowe nieniszczące i niszczące badania diagnostyczne części ciśnieniowej kotłów energetycznych w IMŻ zostały wykonane przez Autora wspólnie ze współpracownikami w drugiej połowie lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Również w tym czasie na potrzeby ówczesnej Raciborskiej Fabryki Kotłów „Rafako” zostały zdefiniowane podstawowe pojęcia z diagnostyki materiałowej urządzeń ciśnieniowych, takie jak: trwałość, trwałość resztkowa, resztkowa trwałość rozporządzalna, stopień wyczerpania, degradacja struktury itd. w pracach zrealizowanych przez Autora wspólnie z dr. inż. Piotrem Milińskim i prof. dr. hab. inż. Leszkiem Dobrzańskim. Od lat osiemdziesiątych dwudziestego wieku prace badawcze z obszaru diagnostyki ciśnieniowych urządzeń energetycznych, szczególnie w obszarze diagnostyki materiałowej, były realizowane w ówczesnym Zakładzie Materiałoznawstwa kierowanym przez prof. dr. Tadeusza Bołda.

Wieloletnie konsekwentne zajmowanie się diagnostyką ciśnieniowych urządzeń energetycznych zaowocowało stworzeniem komplementarnego systemu diagnostyki, szczególnie materiałowej, stworzeniem i weryfikacją przemysłową wielu opracowanych w IMŻ metod badawczych, które od lat z powodzeniem stosowane są w praktyce przemysłowej.

Wykonywanie przez wiele lat, w funkcjonującym również obecnie, Zakładzie Badań Materiałów dla Energetyki IMŻ szeregu wyprzedzających prac badawczych z tego obszaru, badawczych projektów w zakresie badań stosowanych, jak również prac wykonywanych bezpośrednio dla przemysłu z udziałem pracowników naukowych młodszego pokolenia, pozwoliło na wychowanie

pracowników tego Zakładu o potwierdzonych wysokich kwalifikacjach i kompetencjach: dr. hab. inż. Adama Zielińskiego, prof. IMŻ, obecnego Dyrektora Instytutu, dr inż. Hanny Purzyńskiej i dr inż. Marii Dziuby-Kałuży.

Na uwagę zasługuje również wieloletnia współpraca pracowników naukowych Instytutu Metalurgii Żelaza i Politechniki Śląskiej z Urzędem Dozoru Technicznego. Dzięki tej współpracy, zaangażowaniu kierownictwa oraz działań inspektorów dozoru technicznego nadzorujących pracę ciśnieniowych urządzeń energetycznych udało się stworzyć i zrealizować szereg rozwiązań z obszaru diagnostyki urządzeń ciśnieniowych pracujących w podwyższonej temperaturze oraz zastosować je w praktyce przemysłowej. Ukoronowaniem tej współpracy były wydane przez UDT „Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego nr 1/2015. Zasady diagnostyki i oceny trwałości eksploatacyjnej elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania” stworzone w ścisłej współpracy z Instytutem.

## 1. WPROWADZENIE

Problematyka oceny trwałości długo eksploatowanych elementów ciśnieniowych bloków energetycznych i wydłużania czasu bezpiecznej ich eksploatacji ma niezwykle istotne znaczenie dla funkcjonowania gospodarki kraju. Większość bloków energetycznych pracujących w Polsce przekroczyła obliczeniowy czas pracy. Dotyczy to szczególnie bloków energetycznych: ok. 20 bloków o mocy 120 MW, 52 o mocy 200 MW, 16 o mocy 360 MW i 2 o mocy 500 MW, czyli łącznie ok. 90 jednostek stanowiących ponad 75% krajowej mocy.

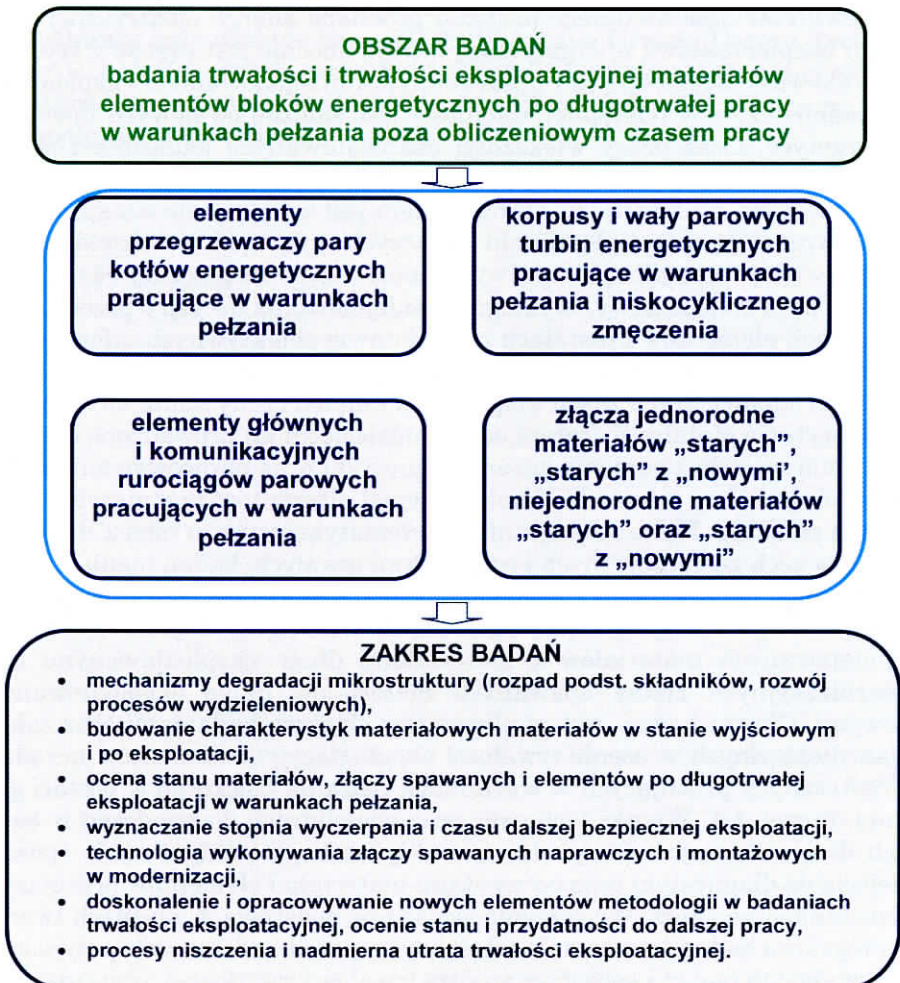
Zapewnienie odpowiedniego poziomu produkcji energii elektrycznej i tym samym bezpieczeństwa energetycznego kraju obecnie jest przede wszystkim uwarunkowane bezpiecznym i niezawodnym funkcjonowaniem eksploatowanych jednostek, a w następnej kolejności jest zależne od nowych inwestycji w energetyce. Czas pracy większości eksploatowanych jednostek znacznie przekroczył obliczeniowy, często ponad dwukrotnie. Jednostki te są poddawane procesowi modernizacji, którego celem jest zwiększenie ich sprawności i efektywności przy uwzględnieniu rosnących wymagań w zakresie ochrony środowiska naturalnego oraz wydłużenie czasu bezpiecznej eksploatacji znacznie poza obliczeniowy. Wymaga to podejmowania decyzji o przedłużeniu eksploatacji elementów i instalacji na podstawie obiektywnych informacji na temat stanu materiału i elementu. Podejście takie uwarunkowane jest zastosowaniem odpowiednich zasad diagnostyki i metod oceny stanu elementów.

W Instytucie Metalurgii Żelaza od kilkudziesięciu lat prowadzone są prace, które mają na celu tworzenie zasad diagnostyki oraz opracowywanie metod i metodologii oceny trwałości eksploatacyjnej elementów pracujących w warunkach pełzania. Prace te obejmują problematykę: wyboru miejsc do badań, pomiarów cech geometrycznych i odkształceń trwałych, badań nieniszczących i niszczących oraz sposobu i kryteriów oceny, a także dotyczą problematyki trwałości eksploatacyjnej złączy spawanych oraz złączy naprawczych długo eksploatowanych materiałów z materiałami długo eksploatowanymi oraz modernizacyjnych złączy spawanych materiałów długo eksploatowanych z nowymi. Obszar badań, rodzaj elementów objętych badaniami oraz zakres badań niezbędnych w ocenie trwałości eksploatacyjnej elementów urządzeń energetycznych pracujących w warunkach pełzania pokazano w postaci graficznej na rys. 1.1. Wyniki tych prac oraz wieloletnich doświadczeń w badaniach diagnostycznych Instytutu pozwoliły na usystematyzowanie sposobu podejścia do diagnostyki oraz oceny stanu materiału i elementów pracujących w warunkach pełzania. W szczególności są one podstawą w zasadach tworzenia programu badań, stosowania właściwych metod badawczych, przyjmowanej metodologii badań i sposobów analizy trwałości resztkowej, prowadzonych przez użytkowników bloków energetycznych i diagnostów. Efekty tych prac to również zwiększanie obiektywizmu wyników badań diagnostycznych i ich interpretacji zapewniających poprawność w podejmowaniu decyzji w ocenie



trwałości eksploatacyjnej i przydatności elementów części ciśnieniowej kotła, głównych rurociągów parowych i elementów turbin do przedłużonej bezpiecznej i niezawodnej eksploatacji [1–14].

Wyniki tych prac oraz wieloletnich doświadczeń obejmujących elementy ciśnieniowe kotła i głównych rurociągów parowych stały się istotnym wkładem IMŻ [15, 16] w opracowanie wytycznych Urzędu Dozoru Technicznego „Zasady diagnostyki i oceny trwałości eksploatacyjnej elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania” [17].



Rys. 1.1. Obszar badań, rodzaj elementów objętych badaniami oraz zakres badań niezbędnych w ocenie trwałości i trwałości eksploatacyjnej elementów urządzeń energetycznych pracujących w warunkach pełzania

Długotrwała eksploatacja elementów pracujących w warunkach pełzania nie jest prowadzona w sposób ciągły. Odstawianie kotła wynika z braku zapotrzebowania na energię elektryczną, konieczności przeprowadzania planowanych remontów, czy też z powodów występujących awarii. Kolejne uruchomienie kotła powoduje pojawienie się w materiale ponownie pierwszego okresu pełzania. Okres ten charakteryzuje się znacznym przyrostem trwałego odkształcenia w krótkim czasie.

Obecnie od pracujących bloków energetycznych jak i nowych, wprowadzanych oraz planowanych do wprowadzenia do eksploatacji w najbliższym czasie, wymaga się zdolności do pracy w układzie regulacyjnym. Praca w takim układzie wiąże się z dodatkową znaczną liczbą odstawień i uruchomień w krótkim czasie oraz pracą w stanach nieustalonych o różnym poziomie obciążeń cieplno-mechanicznych. Z jednej strony zwiększa to dynamikę niekorzystnych zmian w mikrostrukturze osłabiając dodatkowo zdolność materiału do przenoszenia rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych, a z drugiej skutkuje nałożeniem się na procesy niszczenia, wynikające z występującego pełzania, procesów niszczenia związanych z występowaniem zmęczenia cieplno-mechanicznego.

Praca w układzie regulacyjnym będzie skutkować niekorzystnymi dodatkowymi zmianami w materiale elementów ciśnieniowych i to zarówno pracujących w warunkach pełzania, jak i pracujących poniżej temperatury granicznej [18–20].

Decydujący wpływ na obniżanie się i utratę zdolności do przenoszenia wymaganych obciążeń, głównie wynikających z temperatury i ciśnienia (naprężenia), gdy temperatura eksploatacji jest wyższa od granicznej ( $T_e > T_g$ ), ma pełzanie powodujące trwałe zmiany w strukturze materiału skutkujące obniżaniem się właściwości użytkowych do wartości poniżej minimalnych wymaganych.

Proces pełzania jest jednak przyspieszany poprzez uruchamianie i odstawianie, powodujące każdorazowo występowanie pierwszego okresu pełzania, skutkując znacznym przyrostem trwałego odkształcenia w krótkim czasie oraz poprzez wystąpienie zmęczenia cieplno-mechanicznego (głównie wynikającego z nadmiernego gradientu temperatury), którego wpływ jest istotny przy zastosowaniu skróconego czasu, głównie uruchomień [21].

## TRWAŁOŚĆ ELEMENTÓW CIŚNIENIOWYCH BLOKÓW ENERGETYCZNYCH

### STRESZCZENIE

Opracowanie przedstawia stworzoną i zgromadzoną przez autora wiedzę z zakresu problematyki trwałości eksploatacyjnej części ciśnieniowej bloków energetycznych, szczególnie dotyczącą elementów pracujących w warunkach pełzania po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy. Ideą autora było zaprezentowanie zastosowania wiedzy materiałoznawczej w praktyce inżynierskiej w odniesieniu do warunków przemysłowych bloków energetycznych. W ogólności praca odnosi się do problematyki przedłużania czasu eksploatacji elementów konstrukcyjnych, które przekroczyły obliczeniowy czas pracy 100 i 200 tys. godz. Ma to fundamentalne znaczenie dla gospodarki i bezpieczeństwa energetycznego kraju.

Dla uporządkowania wiedzy przypomniano umowny podział elementów części ciśnieniowej kotła, rurociągów oraz turbin parowych. Przedstawiono stosowany podział elementów części ciśnieniowej kotła i rurociągów ze względu na niezawodność i w zależności od temperatury pracy (rozdział 2). Omówiono również podstawowe pojęcia i definicje niezbędne dla zrozumienia przedstawionej problematyki i zachodzących w wyniku eksploatacji zmian w materiale (rozdział 3).

Dokonano krótkiego omówienia zachodzących w czasie eksploatacji procesów niszczenia i wyspecyfikowano procesy niszczenia najczęściej występujące w poszczególnych grupach elementów. Typowe procesy niszczenia scharakteryzowano na przykładach zaczerpniętych z praktyki przemysłowej (rozdział 4).

W kolejnym rozdziale zaprezentowano opracowaną i stosowaną w praktyce przemysłowej metodologię oceny stanu materiału oraz przydatności do dalszej eksploatacji elementów części ciśnieniowej bloków energetycznych pracujących w warunkach pełzania. Szczególną uwagę skupiono na analizie stanu degradacji struktury obserwowanej w badaniach replik wykonanych bezpośrednio na obiekcie. Omówiono sposób oceny stanu elementów pracujących w warunkach pełzania, a w szczególności: wyboru miejsc do badań, doboru metod badań w zależności od czasu eksploatacji, rodzaju i charakteru pracy elementu, oceny elementu na podstawie wyników badań nieniszczących, wyników badań niszczących z uwzględnieniem jako podstawy oceny stanu materiału podstawowego i złączy spawanych (rozdział 5).

Podstawą w wyznaczaniu czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji, a zarazem metodą najbardziej obiektywną są wyniki badań pełzania materiału po

długotrwałej eksploatacji. Omówiono rodzaj prób pełzania i ich przydatność w ocenie stanu, prognozie dalszej bezpiecznej pracy, oraz sposób ich wykorzystania dla celów inżynierskich. Zaprezentowano autorski sposób wyznaczania czasu bezpiecznej eksploatacji poza obliczeniowy czas pracy na przykładzie z praktyki inżynierskiej, jak również sposób wyznaczania minimalnej grubości ścianki elementu niezbędnej do przenoszenia rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych (rozdział 6).

Omówiono rolę w diagnostyce obliczeniowych metod oceny stanu materiału elementów pracujących w warunkach pełzania dokonując analizy, której wyniki należy stosować wyłącznie we wstępnym prognozowaniu czasu dalszej eksploatacji. Jest to pomocne w analizie ekonomicznej umożliwiającej podejmowanie decyzji o przystąpieniu do badań diagnostycznych i pomiarów instalacji oraz jej elementów (rozdział 7).

Ponadto w pracy mocny akcent położono na zbudowanie obiektywnych zasad oceny elementów stanu materiału części ciśnieniowej kotła i rurociągów na podstawie wieloletnich obserwacji i badań zachodzących zmian w czasie eksploatacji skutkujących obniżaniem się właściwości użytkowych, których miarą jest stopień wyczerpania. Zdefiniowano sposób oceny stanu materiału i określenia bezpiecznego czasu dalszej eksploatacji na podstawie nieniszczących badań materiałowych dla wybranych grup elementów (rozdział 8).

Ważnym zagadnieniem w ocenie trwałości eksploatacyjnej jest ocena stanu materiału złączy spawanych elementów pracujących w warunkach pełzania. Zaprezentowane wyniki badań dowodzą, że trwałość resztkowa tych złączy jest znacznie mniejsza niż materiału rodzimego. Problemem jest również przesunięcie w kierunku temperatury dodatniej temperatury przejścia w stan kruchy. Oddzielnym problemem jest trwałość resztkowa spawanych złączy modernizacyjnych i naprawczych, która jest zależna od stopnia wyeksploatowania materiału po długotrwałej pracy poddanego spawaniu i najczęściej jest niższa od wyznaczonej dla złącza spawanego po eksploatacji (rozdział 9).

Długoletnie doświadczenie autora w badaniach diagnostycznych umożliwiło opracowanie sposobu postępowania w diagnostyce materiałowej dla najważniejszych grup elementów pracujących w warunkach pełzania. Dla każdej z grup podano sposób postępowania w wyznaczaniu czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji, zweryfikowany wielokrotnie w praktyce przemysłowej i omówiony na przykładach. Szczegółowy przykład takiego postępowania przedstawiono również dla walczaków, które są jednak elementami kotła pracującymi poniżej temperatury granicznej. Są one zaliczane do elementów krytycznych to znaczy pracujących w najtrudniejszych warunkach temperaturowo-naprężeniowych, a ich wymiana technicznie jest prawie niemożliwa. Ich stan ma jednak istotny wpływ na przydatność kotła do przedłużonej eksploatacji (rozdział 10).

Oddzielnym zagadnieniem opisanym w pracy jest ocena roli badań materiałowych w identyfikacji przyczyn nadmiernej utraty trwałości eksplo-

atacyjnej elementów części ciśnieniowej kotłów energetycznych. Ich sposób wykorzystania w analizie przyczynowo-skutkowej pokazano na przykładach z praktyki przemysłowej. Dokonano oceny skutków nadmiernego wyężenia elementów konstrukcyjnych, wpływu niezgodności temperatury obliczeniowej i rzeczywistej oraz innych uwarunkowań eksploatacyjnych, a także sumowania się skutków procesów niszczenia na utratę trwałości eksploatacyjnej (rozdział 11).

Trwałość elementów konstrukcyjnych bloku energetycznego w dużym stopniu zależy również od stabilności warunków eksploatacji. Omówiono wpływ zmiennych warunków pracy na rzeczywistą trwałość eksploatacyjną, dokonano oceny przydatności materiału podstawowego i złączy spawanych po długotrwałej pracy w warunkach pełzania do eksploatacji w układzie regulacyjnym, a także pokazano wpływ temperaturowych warunków pracy na rzeczywistą trwałość eksploatacyjną materiału na przykładach z praktyki inżynierskiej (rozdział 12).

W podsumowaniu wskazano na najistotniejsze czynniki mające decydujący wpływ na obiektywną ocenę stanu części ciśnieniowej bloków energetycznych i prognozę bezpiecznej eksploatacji poza obliczeniowy czas pracy.

Praca kierowana jest do kadry inżynierskiej branży energetycznej, inspektorów Urzędu Dozoru Technicznego, firm diagnostycznych, a także studentów i doktorantów oraz pracowników badawczych zajmujących się problematyką materiałów dla energetyki.

Słowa kluczowe: pełzanie, długotrwała eksploatacja, elementy ciśnieniowe pracujące w warunkach pełzania, diagnostyka materiałowa, nieniszczące i niszczące badania materiałowe, degradacja struktury i właściwości, obliczeniowe metody oceny trwałości resztkowej



**Janusz Dobrzański** jest pracownikiem Instytutu Metalurgii Żelaza od 45 lat. Jest dr. hab. zatrudnionym na stanowisku profesora IMŻ i Kierownika Zakładu Badań Materiałów dla Energetyki. W ramach działalności naukowej zajmuje się tematyką materiałów do pracy w podwyższonej i wysokiej temperaturze, w tym szczególnie pracujących w energetyce, chemii i petrochemii. Kierunki jego zainteresowań naukowych obejmują m.in.: opracowywanie nowych gatunków stali eksploatowanych poniżej i powyżej temperatury granicznej (rury, odkuwki i blachy na elementy ciśnieniowe kotła) w podkrytycznych warunkach pracy, opracowywanie nowych gatunków stali eksploatowanych w nadkrytycznych warunkach pracy, dla nowej generacji kotłów energetycznych wysokiej sprawności, badanie struktury i własności opracowanych stali, opracowywanie charakterystyk wyrobów hutniczych i wytwarzanych z nich

elementów, w tym giętych i spawanych, zmiany strukturalne, przemiany fazowe i procesy niszczenia stali długotrwale eksploatowanych poniżej i powyżej temperatury granicznej oraz w pod- i nadkrytycznych warunkach pracy, badania złączy spawanych eksploatowanych w warunkach pełzania oraz spawanych złączy naprawczych elementów uprzednio uszkodzonych w wyniku pełzania, metodykę badań pełzania stali, metodykę modelowania struktury i własności stali pracujących w warunkach pełzania oraz metodykę prognozowania czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji stali i wykonanych z nich elementów pracujących w warunkach pełzania.

Wśród jego osiągnięć naukowych przynoszących wymierne efekty dla gospodarki na szczególne wyróżnienie zasługują związane z tematyką trwałości eksploatacyjnej urządzeń wysokociśnieniowych pracujących w podwyższonej temperaturze. Jest autorem wielu metod badawczych i metodologii stosowanych w ocenie stanu i prognozie dalszej bezpiecznej pracy tych urządzeń oraz stworzonych niezbędnych baz materiałowych, głównie w oparciu o wieloletnie wyniki badań własnych. Opracowane metodyki diagnozowania uszkodzeń krytycznych elementów instalacji ciśnieniowych kotłów energetycznych, z wykorzystaniem badań materiałoznawczych, są praktycznie wykorzystywane w przemyśle również w ocenie przyczyn ich awarii.

W zakresie jego zainteresowań dotyczących trwałości elementów konstrukcyjnych instalacji energetycznych jest ponadto trwałość eksploatacyjna złączy spawanych, jak i wykonywanie naprawczych złączy spawanych materiałów po eksploatacji z materiałami w stanie wyjściowym lub z materiałami po eksploatacji, elementów wymagających naprawy lub dokonania zmian konstrukcyjnych w modernizacji instalacji po długotrwałej pracy, zarówno w zakresie zachowania się materiałów badanych złączy w warunkach odpowiadających warunkom eksploatacji oraz w zakresie technologii wykonywania naprawczych złączy spawanych.

Janusz Dobrzański w swoim dorobku naukowym posiada ponad 600 prac badawczych w tym ponad 500 (ponad 150 w ostatnich 10 latach) zrealizowanych bezpośrednio dla przemysłu i wykorzystanych w praktyce. Jest autorem lub współautorem 9 monografii (6 w ostatnich 10 latach), ponad 200 publikacji, w większości w renomowanych czasopiśmie o zasięgu co najmniej krajowym (ponad 100 w ostatnich 10 latach) oraz referatów zamawianych wygłaszanych dla kadry technicznej przemysłu. W okresie ostatnich dziesięciu lat kierował trzema projektami badawczymi oraz był głównym wykonawcą kolejnych czterech dużych projektów, w tym dwóch zrealizowanych w ramach współpracy międzynarodowej w ramach akcji COST.