

Adam Zieliński

**TRWAŁOŚĆ EKSPLOATACYJNA ŻAROWYTRZYMAŁYCH
STALI O OSNOWIE AUSTENITYCZNEJ**

MONOGRAFIE nr 16



Łukasiewicz
Instytut Metalurgii Żelaza

RECENZENCI

Prof. dr hab. inż. Adam HERNAS

Prof. dr hab. inż. Jarosław MIZERA

RADA NAUKOWA SERII MONOGRAFIE

Prof. dr hab. inż. Leszek BLACHA

Prof. dr hab. inż. Rafał DAŃKO

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz DERDA

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

Prof. dr hab. Roman KUZIĄK

Prof. dr hab. inż. Andrzej ŁĘDZKI

Prof. dr hab. inż. Tadeusz TELEJKO

ISBN: 978-83-958775-1-3

Wydawca: Sieć Badawcza Łukasiewicz –

Instytut Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica

ul. K. Miarki 12-14, 44-100 Gliwice

ZESPÓŁ REDAKCYJNY

redaktor naczelny – dr hab. inż. Adam ZIELIŃSKI

zastępca redaktora naczelnego – prof. dr hab. Józef PADUCH

redaktorzy tematyczni – prof. dr hab. inż. Bogdan GARBARZ, dr inż. Michał KUBECKI,

prof. dr hab. Roman KUZIĄK, dr hab. inż. Jarosław MARCISZ,

dr hab. inż. Marian NIESLER, dr inż. Łukasz POLOCZEK, dr inż. Hanna PURZYŃSKA,

dr hab. inż. Krzysztof RADWAŃSKI, dr hab. inż. Dariusz WOŹNIAK

redaktorzy językowi – mgr Anna STĘPIEŃ

redaktor techniczny – mgr inż. Danuta GRUSZCZYŃSKA

sekretarz redakcji – mgr Dominika JARANOWSKA

Ark. wyd. 12

Skład i łamanie: Łukasiewicz – IMŻ

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

Spis treści

Wybrane oznaczenia i skróty	5
1. WPROWADZENIE	6
2. STALE I STOPY STOSOWANE W ENERGETYCE CIEPLNEJ	13
2.1. Stale o osnowie ferrytycznej	13
2.2. Stale o osnowie austenitycznej	18
2.3. Nadstopy niklu	27
3. TRWAŁOŚĆ EKSPLOATACYJNA I METODY JEJ BADANIA	37
3.1. Nieniszczące metody badań	39
3.2. Niszczące metody badań	44
4. MIKROSTRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI STALI SUPER 304H I HR3C W STANIE DOSTAWY	51
4.1. Skład chemiczny	51
4.2. Właściwości mechaniczne	51
4.3. Mikrostruktura	54
4.4. Wytrzymałość na pełzanie	61
5. PROCESY DEGRADACJI MIKROSTRUKTURY STALI AUSTENITYCZNYCH PODCZAS DŁUGOTRWAŁEGO STARZENIA	65
5.1. Wydzielenia typu ϵ -Cu	80
5.2. Wydzielenia fazy Z	85
5.3. Wydzielenia typu MX (NbCN)	90
5.4. Wydzielenia $M_{23}C_6$	93
5.5. Wydzielenia fazy σ	102
5.6. Wydzielenia typu $M_6(C,N)$	109

6. WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE PO DŁUGOTRWAŁYM STARZENIU	116
7. WYTRZYMAŁOŚĆ NA PEŁZANIE PO DŁUGOTRWAŁYM STARZENIU	123
8. TRWAŁOŚĆ EKSPLOATACYJNA STALI SUPER 304H I HR3C.	130
9. UWAGI KOŃCOWE	152
LITERATURA	156
STRESZCZENIE	168
ABSTRACT	170

1. WPROWADZENIE

Stan energetyki wraz z systemem wytwarzania energii elektrycznej należy do fundamentalnych branż gospodarki każdego kraju. Polska energetyka na koniec 2020 roku posiadała około 52 GW zainstalowanej mocy elektrycznej, z czego prawie 24% stanowiła moc pochodząca z odnawialnych źródeł energii (OZE), a około 76% to produkcja energii elektrycznej z węgla kamiennego i brunatnego [1].

Konwencjonalna krajowa energetyka zawodowa oparta o paliwa stałe obejmuje aktualnie 20 bloków o mocy 120 MW, 54 bloki o mocy 200 MW, 16 bloków o mocy 360 MW, 2 bloki o mocy 500 MW oraz 7 nowoczesnych bloków na nadkrytyczne parametry pary o łącznej mocy ponad 7 GW. Część konwencjonalnych długo eksploatowanych bloków energetycznych w kraju o mocy 360 MW została zmodernizowana w ostatnim dziesięcioleciu, natomiast większość 200 MW bloków charakteryzuje względnie niska sprawność <36% i niespełnianie zaostrożonych wymagań konkluzji BAT, które zaczynają obowiązywać od 2021 roku.

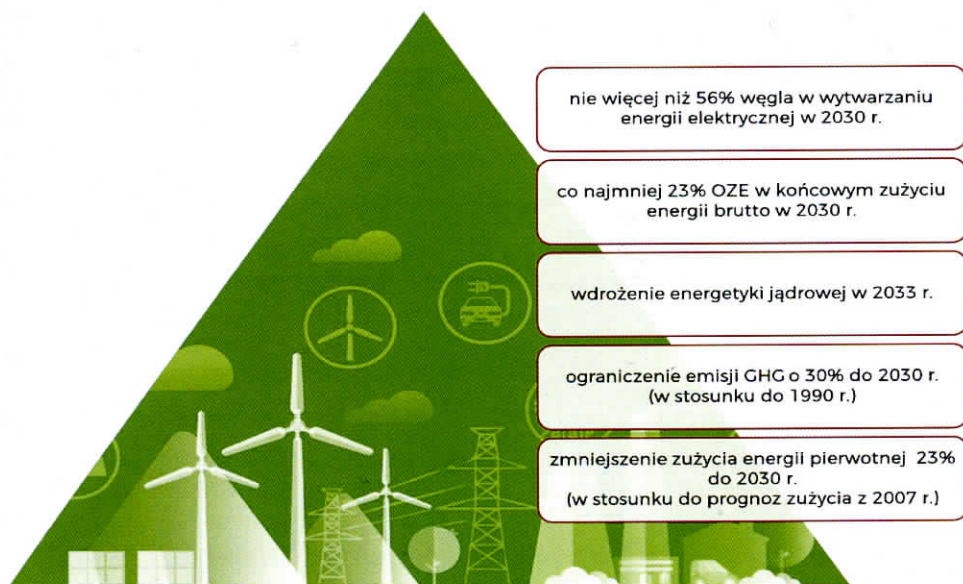
Polska gospodarka w chwili obecnej jest w stanie podejmowania strategicznych decyzji związanych z kierunkami rozwoju elektroenergetyki. Wśród kilku uwarunkowań dokonywania koniecznej transformacji krajowej energetyki dwa są fundamentalne, a mianowicie dbałość o bezpieczeństwo energetyczne kraju (definiowane jako iloraz mocy dyspozycyjnej do zapotrzebowania na energię elektryczną) oraz spełnianie ekologicznych wymagań Unii Europejskiej, której długoterminowa wizja zakłada neutralność klimatyczną od 2050 roku, co oznacza stan kiedy emisja gazów cieplarnianych wyniesie zero (ilość emisji ma być równoważona przez ilość pochłanianą). Osiągnięcie tak trudnego celu mają umożliwić wprowadzone mechanizmy stymulujące nowe niskoemisyjne i bezemisyjne technologie energetyczne oraz perspektywicznie potencjalne technologie magazynowania wytworzonej dużej ilości energii.

Aktualny i perspektywiczny stan polskiej energetyki jest i będzie oparty na tzw. miksie energetycznym, na który składa się głównie udział produkcji energii elektrycznej z bloków węglowych oraz OZE (energia słoneczna, wiatrowa, wodna), które w Unii Europejskiej są priorytetową strategią. Uwarunkowania geograficzne i klimatyczne Polski nie są w stanie znacząco podnieść (powyżej 23%) realnej produkcji energii z OZE i tym samym zapewnić bezpieczeństwo energetyczne. Ponadto okresowa efektywność tych źródeł, które często są bardzo niestabilne produkcyjnie, wymaga zabezpieczenia stabilizującego przez produkcję energii z konwencjonalnych bloków węglowych, narażając je na bardzo niekorzystne warunki eksploatacji w tzw. układzie regulacyjnym z bardzo częstymi odstawieniami i uruchomieniami. Dalszą perspektywą związaną z dbałością o bezpieczeństwo energetyczne kraju są plany budowy energetyki jądrowej wymagające znaczących nakładów finansowych.

Powyższe czynniki spowodowały, że w Polsce opracowano strategię rozwoju sektora paliwowo-energetycznego (Polityka Energetyczna Polski PEP2040), która wyznacza ramy transformacji energetycznej do 2040 r. Zakłada ona inicjowanie szerokich zmian modernizacyjnych całej gospodarki, gwarantujących przede wszystkim bezpieczeństwo energetyczne kraju i ochronę środowiska.

Energetyka krajowa, pomimo coraz bardziej zaostrzonych przez Unię Europejską kryteriów ekologicznych, na długie lata będzie jednak oparta na spalaniu węgla brunatnego i kamiennego ze stopniowym ograniczaniem ich udziału.

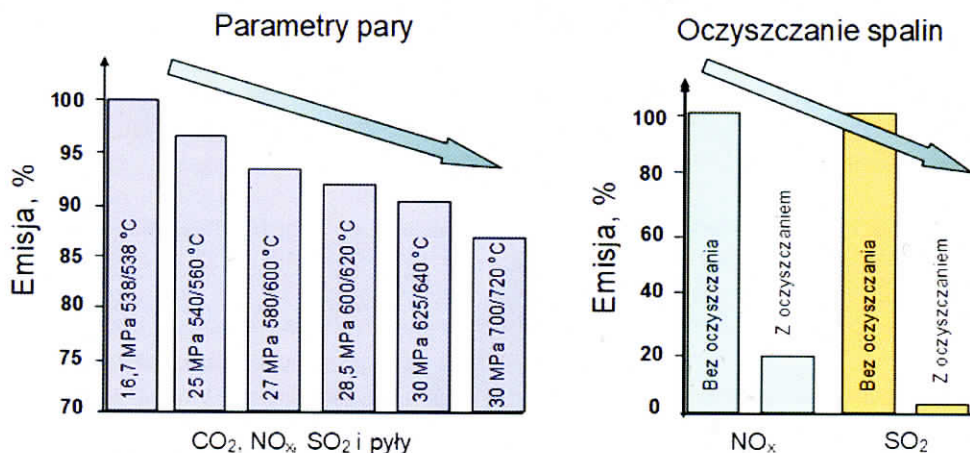
Globalną miarę realizacji celu PEP2040 pokazano na rys.1.1.



Rys. 1.1. Założenia w realizacji programu PEP2040 [1]

PEP2040 zakłada, że spadek produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem paliw kopalnych zmniejszy się z obecnych 76% do około 56% w roku 2030. Pokazuje to, że energetyka wysokotemperaturowa przez co najmniej kolejne 20 lat, pozostanie głównym źródłem energii w Polsce. Dlatego też, aby sprostać tym założeniom przy jednoczesnym obniżaniu emisji szkodliwych gazów do atmosfery, należy w najbliższych latach nie tylko zapewnić bezpieczną eksploatację wybudowanych w ostatnim czasie w Polsce siedmiu nowoczesnych bloków energetycznych na nadkrytyczne parametry pary o wysokiej sprawności i względnie niskiej emisji CO₂, ale także skutecznie reali-

zować program modernizacji starych jednostek energetycznych [2–5]. Pozwoli to na spełnianie przez nie zaostrzonych przez UE wymagań ekologicznych, a także podwyższenie ich sprawności do około 36% (Rys. 1.2) [6–10]. Podwyższenie parametrów eksploatacyjnych pary wpływa znacząco na obniżenie emisji szkodliwych składników i podwyższenie sprawności powyżej 40%.

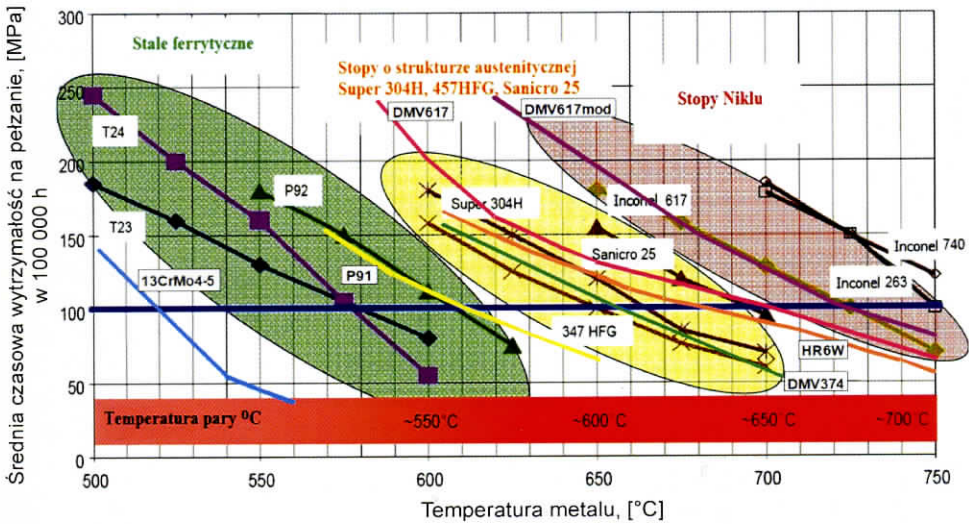


Rys. 1.2. Wpływ parametrów pracy kotła i oczyszczania spalin na poziom emisji zanieczyszczeń do atmosfery [10]

Stosowanie nadkrytycznych parametrów pary w blokach energetycznych wymaga zastosowania na instalacje energetyczne materiałów nowej generacji o wyższej od standardowych stali wytrzymałości na pełzanie i żaroodporności. Należą do nich między innymi nowe stale bainityczne, martenzytyczne i austenityczne oraz nadstopki niklu (Rys. 1.3) [10, 14, 15]. To z kolei wymaga znacznego postępu w obszarze rozwoju i badań materiałów dla energetyki. Stale o osnowie ferrytycznej mogą być długotrwale eksploatowane maksymalnie w temperaturze 620°C. Wyższa temperatura pracy w zakresie 620÷700°C, a nawet 750°C w przypadku bloków o sprawności około 50% wymaga, ze względu na zwiększoną odporność na korozję i wytrzymałość na pełzanie, zastosowania stali o osnowie austenitycznej i nadstopów niklu [10, 14, 15].

Nowoczesność kotła energetycznego, określaną głównie przez jego sprawność oraz emisję szkodliwych gazów, osiąga się przez podwyższenie parametrów pary – temperatury i ciśnienia. Te uwarunkowania zrealizowano w kotłach na nadkrytyczne parametry pary. W terminologii według danych literaturowych [2, 10] przyjęto określać kotły w zależności od parametrów ich pracy jako:

- kotły o parametrach nadkrytycznych – SC (ciśnienie pary ok. 25 MPa, temperatura pary ok. 565°C)



Rys. 1.3. Zakres stosowania materiałów nowej generacji w zależności od czasowej wytrzymałości na pełzanie oraz od warunków temperatury pary i metalu [10]

- kotły o parametrach ultranadkrytycznych – USC (ciśnienie pary powyżej 25 MPa, temperatura pary ok. 620°C)
- kotły o parametrach super ultranadkrytycznych – AUSC (ciśnienie pary powyżej 30 MPa, temperatura pary ok. 700°C).

Jednakże w ogólnym opisie nowych bloków energetycznych bardzo często stosowany jest termin „kotły nadkrytyczne” [10].

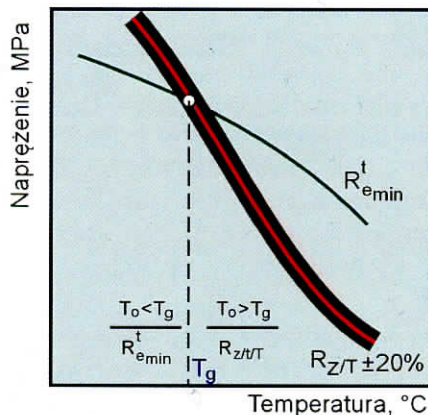
W eksploatowanych w kraju kotłach na nadkrytyczne parametry pary o temperaturze 600/620°C i ciśnieniu 25÷30 MPa (Tab. 1.1) udział stali austenitycznych zastosowanych na elementy krytyczne, w tym głównie na cienkościennie węzownice II i III° pary pierwotnej i wtórnej, wynosi około 20%.

Tabela 1.1. Bloki na parametry nadkrytyczne w Polsce (stan na 2021 rok)

	Moc [MW]	Max ciśnienie PS [bar] – SH/RH	Max temperatura pracy TS [°C] – SH/RH
El. Pątnów II	464	266/52	544/568
El. Łągisza CFB	460	275	560/580
El. Bełchatów II	860	284/72	569/607
El. Kozienice	1075	266/63	603/621
El. Opole	2 × 950	280/77	603/611
El. Jaworzno III	910	285/59	603/611
El. Turów	460	266/63	603/621
El. Ostrołęka (budowa wstrzymana w 2020 r.)	910	280/77	603/611

Stale austenityczne do pracy w podwyższonej temperaturze charakteryzują się większą żarowytrzymałością oraz żaroodpornością od stali o osnowie ferrytycznej i stosowane są na elementy kotła pracujące powyżej 565°C. Do najczęściej stosowanych gatunków stali austenitycznych używanych do budowy elementów konstrukcyjnych pracujących w najtrudniejszych warunkach temperaturowo-naprężeniowych w kotłach nadkrytycznych należą stale Super 304H (X10CrNiCuNb18-9-3) i HR3C (X6CrNiNbN25-20), które są obiektem przedmiotowej monografii.

Materiały stosowane do produkcji elementów kotłów energetycznych mogą pracować poniżej lub powyżej tzw. temperatury granicznej T_g , której wartość określa punkt przecięcia krzywej minimalnej lub umownej granicy plastyczności ($R_{e\min}^t, R_{p0,2}^t$) w temperaturze podwyższonej i krzywej wytrzymałości na pełzanie dla 100 000 godzin ($R_{Z/100000/T}$). W rzeczywistości jest to zakres temperatury, zależny od pasma rozrzutu granicy plastyczności i wytrzymałości na pełzanie (Rys. 1.4). Mianem żarowytrzymałych stali i stopów określa się te, które pracują powyżej temperatury granicznej.



Rys. 1.4. Sposób wyznaczania temperatury granicznej [2]

Żarowytrzymałe stale i stopy przeznaczone na elementy konstrukcyjne kotłów energetycznych powinny zapewniać wymaganą trwałość eksploatacyjną, która warunkowana jest:

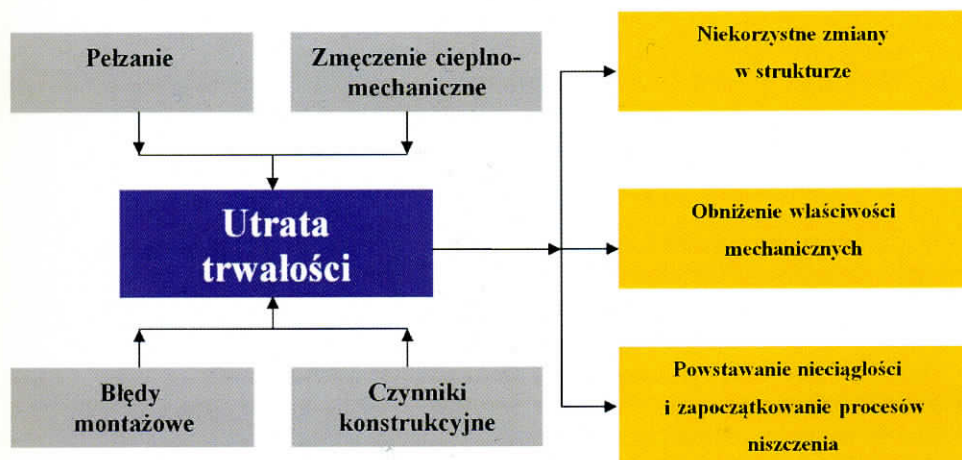
- stabilnymi właściwościami mechanicznymi w czasie długotrwałej eksploatacji ($R_m, R_{p0,2}, A$),
- odpowienio wysoką wytrzymałością na pełzanie,
- stabilną mikrostrukturą w czasie długotrwałej eksploatacji,
- żaroodpornością i odpornością na korozję w parze wodnej przez okres co najmniej 200 000 godzin.

Materiały poddane długotrwałemu oddziaływaniu podwyższonej temperatury i ciśnienia oraz agresywnego środowiska ulegają stopniowemu niszczeniu.

czeniu, degradacji. Konsekwencją tego może być nadmierna utrata trwałości eksploatacyjnej elementów ciśnieniowych [16–21]. Wpływają na to głównie cztery czynniki, tj.:

- przyspieszenie procesu pełzania na skutek okresowych przekroczeń obliczeniowej temperatury pracy,
- występowanie niskocyklowego zmęczenia ciepłno-mechanicznego podczas gwałtownych zmian temperatury materiału, w czasie odstawień i uruchomień kotła oraz związany z tym lokalny wzrost naprężeń,
- niedoskonałości konstrukcji,
- błędy montażowe,
- sposób nadzoru i kultura techniczna eksploatacji.

Łączne oddziaływanie powyższych czynników podczas eksploatacji powoduje znacznie szybszą degradację materiału elementu aniżeli w przypadku wystąpienia tylko procesu pełzania (Rys. 1.5).



Rys. 1.5. Czynniki wpływające na utratę trwałości eksploatacyjnej [14]

Zagadnienie to jest szczególnie istotne w sytuacjach, w których warunki pracy będą odbiegać i przekraczać założenia projektowe, w tym eksploatacji w systemie regulacyjnym związanym z eksploatacją technologii OZE. Obiektywna ocena potencjalnego zachowania się nowych wdrożonych materiałów podczas długotrwałej eksploatacji wymaga ciągłych badań i wzbogacania wiedzy. Dotyczy to szczególnie stali Super 304H i HR3C, dla których charakterystyki materiałowe są niepełne, a przyjęta w pracach projektowych długotrwała czasowa wytrzymałość na pełzanie jest wartością ekstrapolowaną z laboratoryjnych prób pełzania.

Jednym z podstawowych kryteriów, decydującym o przydatności danego materiału do zastosowania na elementy części ciśnieniowej kotła, jest dłu-

gotowała stabilność jego mikrostruktury i właściwości mechanicznych przy założonej temperaturze przewidywanej eksploatacji [14, 22, 23]. Stabilność ta jest możliwa do określenia przez zastosowanie długotrwałego starzenia/wyżarzania, symulującego parametry eksploatacji [24–30].

Dotychczas opublikowane wyniki badań stali Super 304H i HR3C nie wyczerpują poznawczej wiedzy związanej z ich trwałością eksploatacyjną, w tym zachowaniem się podczas długotrwałego oddziaływania podwyższonej temperatury. Najczęściej dotyczyły szeroko rozumianej odporności na korozję i utlenianie [2, 31–35] oraz z badań mikrostruktury i właściwości mechanicznych do maksimum 10 000 godzin starzenia [36–54]. W małym stopniu obejmowały również zagadnienia związane z wpływem rzeczywistej eksploatacji na mikrostrukturę i właściwości użytkowe. Problematyka stabilności mikrostruktury i procesów wydzieleniowych, a także właściwości mechanicznych zachodzących podczas długotrwałego starzenia i pełzania stali Super 304H i HR3C, poza Łukasiewicz – Instytutem Metalurgii Żelaza w Gliwicach nie była w kręgu zainteresowań ośrodków badawczych w kraju. Dorobek Autora jest treścią przedmiotowej monografii, w której zaprezentowane wyniki są efektem ponad 10-letniej działalności naukowo-badawczej realizowanej między innymi w projektach badawczych współfinansowanych przez NCN i NCBiR [55–57]. Wyniki badań były również publikowane w krajowych i zagranicznych czasopismach naukowych oraz prezentowane na licznych konferencjach branżowych [17, 58–77].

Przedmiotowe opracowanie uzupełnia dane literaturowe o wyniki badań i analizę mikrostruktury, właściwości mechanicznych oraz pełzania stali Super 304H i HR3C poddanych oddziaływaniu starzenia w temperaturze 650 i 700°C w czasie trwania do 50 000 godz.

Istotną częścią opracowania, mającą zarówno aspekt naukowy jak i praktyczny, jest wyznaczona trwałość eksploatacyjna dla różnych stanów degradacji mikrostruktury i właściwości mechanicznych. Pozwala to na wyznaczenie czasu bezpiecznej pracy elementów wykonanych ze stali Super 304H i HR3C eksploatowanych w warunkach pełzania, zarówno w obliczeniowym jak i poza obliczeniowym czasie pracy.

TRWAŁOŚĆ EKSPLOATACYJNA ŻAROWYTRZYMAŁYCH STALI O OSNOWIE AUSTENITYCZNEJ

STRESZCZENIE

Monografia przedstawia zgromadzoną i opracowaną przez Autora wiedzę z zakresu oceny trwałości eksploatacyjnej stali o osnowie austenitycznej stosowanych na elementy bloków energetycznych o dużej sprawności. Stale te w szczególności przeznaczone są do budowy kotłów o nadkrytycznych parametrach pracy oraz w modernizacji długo eksploatowanych kotłów o parametrach podkrytycznych. Dotyczy to szczególnie elementów pracujących w najtrudniejszych warunkach temperaturowo-naprężeniowych. Myślą przewodnią było wykorzystanie wieloletnich badań materiałowych oraz zdobytej wiedzy materiałoznawczej w praktyce inżynierskiej. Umożliwiło to opracowanie szeroko rozumianych charakterystyk materiałowych do zastosowań w ocenie trwałości eksploatacyjnej stali austenitycznych, zarówno w obliczeniowym jak i poza obliczeniowym czasem pracy.

Opracowanie składa się z dwóch zasadniczych części – przeglądu literaturowego zagadnienia oraz części zawierających wyniki i interpretację badań stali o osnowie austenitycznej będących w dużym stopniu wynikami autorскими. Praca zakończona jest zbiorczą informacją charakterystycznych cech materiałowych, które wykorzystywane są w ocenie trwałości eksploatacyjnej nowoczesnych stali dla wysokosprawnej energetyki.

W części wprowadzającej dokonano analizy aktualnego stanu wiedzy w zakresie rozwoju stali i stopów dla energetyki, przedstawiono charakterystykę ich podstawowych właściwości użytkowych oraz metod badawczych stosowanych w ocenie trwałości eksploatacyjnej. Uwidocznilo to, że pomimo szybko postępującego rozwoju nowych źródeł energii, w najbliższych dwudziestu latach konwencjonalna energetyka oparta o paliwa kopalne, dalej będzie głównym źródłem energii elektrycznej w Polsce. Dlatego, aby umożliwić tak długą trwałość eksploatowanych kotłów parowych oraz zapewnić bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej, należy dysponować dostateczną wiedzą w zakresie trwałości materiałów pracujących w warunkach pełzania. W oczywisty sposób narzuciło to przeprowadzenie badań nowo zastosowanych na rynku krajowym stali o osnowie austenitycznej w gatunku Super 304H i HR3C. To z kolei było podstawą opracowania wytycznych w ocenie ich trwałości eksploatacyjnej.

W części badawczej omówiono i zdefiniowano proces degradacji stali Super 304H i HR3C w warunkach długotrwałego oddziaływania temperatury. Wytypowane stale poddano długotrwałemu starzeniu w czasie do 50 000 godzin, w temperaturze zbliżonej do ich długotrwałej eksploatacji w warunkach

rzeczywistych (650°C) oraz w celu porównawczym, w temperaturze 700°C. Zastosowanie wyższej temperatury starzenia, miało na celu przyspieszenie dynamiki zachodzących zmian w materiale, bez znacznej ingerencji w charakter samego procesu.

Zakres przeprowadzonych badań obejmował badania mikrostruktury (SEM, TEM), identyfikację i analizę procesu wydzieleniowego, badania właściwości mechanicznych oraz próby pełzania.

W pracy w szczególności skoncentrowano się na analizie zmian zachodzących w mikrostrukturze badanych stali. Scharakteryzowano przy tym ilościowo i jakościowo procesy wydzieleniowe w zależności od temperatury i czasu starzenia. Wyniki te odniesiono do badań właściwości mechanicznych dla poszczególnych stanów materiału. Wykazano zależność pomiędzy procesem wydzieleniowym a zmianą wytrzymałości na rozciąganie, granicą plastyczności, udarnością i twardością badanych stali. W przeprowadzonych próbach pełzania badanych stali, o scharakteryzowanych poszczególnych stanach degradacji mikrostruktury i właściwości mechanicznych, wyznaczono ich trwałość eksploatacyjną.

Analiza porównawcza wyników badań, udokumentowana w postaci kompleksowych charakterystyk materiałowych stali Super 304H i HR3C, umożliwia wyznaczenie czasu bezpiecznej pracy elementów ciśnieniowych kotłów energetycznych bez znajomości parametrów wcześniejszej eksploatacji. Stanowi to praktyczną bazę danych materiałów odniesienia dla rzeczywistej utraty trwałości eksploatacyjnej stali o osnowie austenitycznej. Monografia wzbogaca charakterystyki materiałowe przedmiotowych stali i poszerza wiedzę z zakresu trwałości eksploatacyjnej.



Adam Zieliński jest absolwentem Politechniki Częstochowskiej. W roku 2008 uzyskał stopień doktora, a w 2017 roku stopień dr. hab. nauk technicznych na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej.

Z Instytutem Metalurgii Żelaza związany jest od ponad 20 lat przechodząc kolejne szczeble kariery naukowej i zawodowej we współpracy z prof. dr. hab. inż. Januszem Dobrzańskim oraz prof. dr. hab. inż. Adamem Hernasem. Od marca 2018 r. pełni funkcję Dyrektora Instytutu (od 2019 Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metalurgii Żelaza im. St. Staszica).

W ramach działalności naukowo-wdrożeniowej zajmuje się głównie problematyką żarowytrzymałości stali i stopów, metodami badań oraz zagadnieniami oceny trwałości eksploatacyjnej i niszczenia materiałów.

Współpracuje z przemysłem sektora wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, Urzędem Dozoru Technicznego, firmami produkującymi urządzenia ciśnieniowe oraz zakładami remontowymi i diagnostycznymi. Był kierownikiem oraz współwykonawcą licznych projektów badawczych, celowych i zamawianych.

W jego dorobku naukowym znajdują się dwie autorskie monografie z zakresu trwałości stali dla energetyki. Jest autorem lub współautorem ponad 150 publikacji w krajowych i zagranicznych czasopismach naukowo-technicznych oraz materiałach konferencyjnych, a także ponad 400 prac badawczych i ekspertyz zrealizowanych na bezpośrednie zlecenie przemysłu energetycznego i petrochemicznego, w tym głównie RAFAKO, SEFAKO, ENEA WYTWARZANIE, PGE ELEKTROWNIA OPOLE i BEŁCHATÓW, ENERGOPOMIAR, ZRE KATOWICE, CHEMAR.