

Częstochowa, 2026-01-06

dr hab. Marcin Nabiałek, prof. Politechniki Częstochowskiej
Politechnika Częstochowska
Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów
Katedra Fizyki

Recenzja
rozprawy doktorskiej
mgr inż. Tomasza Puszczało
„Trwałość eksploatacyjna złączy spawanych ze stali Super 304H”
Promotor rozprawy: Prof. dr hab. inż. Adam Zieliński

Recenzja została sporządzona na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej z dnia 28 października 2025 roku, podpisanej przez Przewodniczącą Rady, prof. dr. hab. inż. Adama Grajcara. Uchwała ta określiła skład recenzentów w postępowaniu o nadanie stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych mgr. Inż. Tomaszowi Puszczało.

1. Ocena wyboru tematu i jego aktualności

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy badań trwałości eksploatacyjnej złączy spawanych wykonanych z żaroodpornej austenitycznej stali Super 304H, przeznaczonej do pracy w warunkach podwyższonej temperatury i długotrwałego obciążenia pełzaniowego. Problematyka ta ma istotne znaczenie zarówno z punktu widzenia nauk o materiałach, jak i praktyki przemysłowej, w szczególności konwencjonalnych bloków energetycznych o nadkrytycznych

Biuro Dziekana

parametrach pary. Zagadnienie to ma istotne znaczenie naukowe oraz wyraźny wymiar praktyczny.

W kontekście transformacji energetycznej, rosnącego udziału odnawialnych źródeł energii oraz konieczności zapewnienia stabilnych mocy regulacyjnych, elektrownie konwencjonalne nadal będą odgrywać kluczową rolę w krajowym systemie elektroenergetycznym. Oznacza to konieczność dalszej eksploatacji oraz modernizacji istniejących jednostek wytwórczych, w tym elementów ciśnieniowych kotłów i rurociągów parowych. Jednym z kluczowych problemów eksploatacyjnych pozostaje ocena stanu technicznego tych elementów oraz prognozowanie ich dalszej trwałości.

Wybór stali Super 304H jako materiału badawczego jest w pełni uzasadniony. Materiał ten należy do grupy nowoczesnych stali austenitycznych o podwyższonej odporności na pełzanie, szeroko stosowanych w energetyce wysokotemperaturowej. Pomimo bogatego dorobku literaturowego dotyczącego materiału bazowego, zagadnienia związane z zachowaniem złączy spawanych w warunkach długotrwałego starzenia wysokotemperaturowego pozostają nadal niewystarczająco rozpoznane. Złącza te często determinują trwałość całych instalacji, a ich degradacja może prowadzić do poważnych awarii oraz utraty bezpieczeństwa ciągłości dostaw energii elektrycznej.

Podjęty temat badań należy zatem uznać za aktualny, ważny i dobrze osadzony w realnych potrzebach krajowej energetyki zawodowej, a także w polityce energetycznej Unii Europejskiej i Polski.

2. Cel pracy i hipotezy badawcze

Celem rozprawy doktorskiej było określenie wpływu długotrwałego starzenia wysokotemperaturowego na mikrostrukturę, właściwości mechaniczne oraz trwałość eksploatacyjną złączy spawanych wykonanych ze stali Super 304H. Autor dążył również do opracowania charakterystyk materiałowych umożliwiających prognozowanie dalszej eksploatacji elementów ciśnieniowych bez konieczności pełnej znajomości historii ich użytkowania.

Cel pracy został sformułowany jasno i konsekwentnie zrealizowany poprzez kompleksowy program badań eksperymentalnych. W pracy postawiono tezę, że długotrwałe oddziaływanie podwyższonej temperatury prowadzi do intensyfikacji procesów wydzieleniowych, które z kolei wpływają na obniżenie właściwości mechanicznych i odporności na pękanie złączy spawanych.

3. Ocena struktury i układu rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska napisana jest w języku polskim, liczy 136 strony, zawiera 80 rysunków i 37 tabel. W treści zawarte są podziękowania, spis rysunków, spis tabel, bibliografia oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Rozprawa posiada przejrzystą i logiczną strukturę. Składa się z części teoretycznej obejmującej wstęp oraz przegląd literatury, a także z części badawczej, podsumowania wyników i wniosków.

We wstępie Doktorant przedstawia szeroki kontekst energetyczny i gospodarczy, uzasadniając potrzebę prowadzenia badań nad trwałością

materiałów stosowanych w energetyce. Przegląd literatury obejmuje aktualny stan wiedzy w zakresie: struktury i właściwości stali austenitycznych, mechanizmów degradacji mikrostruktury w warunkach wysokotemperaturowych, problematyki trwałości eksploatacyjnej elementów ciśnieniowych oraz metod badania i prognozowania pełzania.

Część doświadczalna została opracowana w sposób szczegółowy i czytelny, co umożliwia odtworzenie przebiegu badań oraz ocenę ich poprawności metodycznej.

Bibliografia pracy mgr inż. Tomasz Puszczało obejmuje łącznie 117 pozycji, z czego zdecydowana większość to publikacje naukowe z ostatniej dekady, co podkreśla aktualność pracy. Wśród cytowanych źródeł znalazło się 9 publikacji, w których Doktorant jest współautorem, w tym 2 prace, gdzie pełnił rolę autora głównego. Odnośniki literaturowe są przytaczane w odpowiednich miejscach, w sposób adekwatny do omawianych zagadnień.

4. Metodyka badań

Autor zastosował szeroki zestaw metod badawczych, adekwatnych do postawionego celu pracy. Obejmują one:

- badania mikrostrukturalne z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej,
- analizę składu chemicznego wydzieleni metodą EDS,
- pomiary twardości w różnych strefach złącza spawanego,
- badania właściwości mechanicznych w próbach rozciągania,
- długotrwałe próby pełzania, zarówno z pomiarem wydłużenia, jak i bez jego pomiaru.

Badania starzeniowe zostały realizowane w temperaturach 700 °C i 750 °C w szerokim zakresie czasów do 10 000 godzin, co pozwoliło na analizę dynamiki procesów degradacyjnych.

5. Ocena wyników badań mikrostrukturalnych

Badania mikrostrukturalne wykazały brak istotnych wad spawalniczych w stanie wyjściowym, co świadczy o prawidłowo przeprowadzonym procesie spawania. Autor szczegółowo przeanalizował zmiany morfologii i rozmieszczenia wydzieleni faz wtórnych w poszczególnych strefach złącza spawanego, ze szczególnym uwzględnieniem strefy wpływu ciepła.

Wykazano, że wraz ze wzrostem temperatury i czasu starzenia następuje intensyfikacja procesów wydzieleniowych, prowadząca do koagulacji i wzrostu wydzieleni, co negatywnie wpływa na stabilność mikrostruktury. Szczególnie wyraźne zmiany zaobserwowano w próbkach starzonych w temperaturze 750 °C.

6. Ocena wyników badań właściwości mechanicznych

Wyniki badań twardości oraz prób rozciągania wykazały charakterystyczną tendencję wzrostu, a następnie spadku twardości wraz z wydłużeniem czasu starzenia. Zjawisko to zostało poprawnie zinterpretowane jako efekt konkurencji pomiędzy umocnieniem wydzieleniowym a procesami koagulacji wydzieleni.

Pomimo obserwowanego spadku właściwości mechanicznych, badane złącza spawane spełniały wymagania normowe stawiane materiałom przeznaczonym do pracy w energetyce wysokotemperaturowej, co ma istotne znaczenie aplikacyjne.

7. Ocena wyników prób pełzania i trwałości eksploatacyjnej

Próby pełzania dostarczyły kluczowych informacji dotyczących zachowania złączy spawanych w warunkach długotrwałych obciążeń cieplno-mechanicznych. Autor wykazał, że wzrost temperatury starzenia prowadzi do gwałtownego wzrostu prędkości pełzania i istotnej utraty trwałości eksploatacyjnej.

Zastosowana metoda ekstrapolacji wykreślnej pozwoliła na oszacowanie wytrzymałości na pełzanie dla długich czasów eksploatacji, choć autor słusznie podkreśla ograniczenia tego podejścia. Uzyskane wyniki wskazują, że badane złącza spawane wykazują wytrzymałość na pełzanie porównywalną z materiałem bazowym w stanie wyjściowym.

8. Uwagi dyskusyjne

Pomimo wysokiej wartości merytorycznej rozprawy, warto wskazać kilka kwestii, które mogłyby zostać rozwinięte. Poniższe uwagi nie wpływają na ogólną ocenę pracy.

1. Jakie fazy wtórne odgrywają kluczową rolę w degradacji mikrostruktury stali Super 304H?

2. W jaki sposób procesy wydzieleniowe wpływają na zmiany twardości i wytrzymałości na rozciąganie?

3. Czy wyniki badań pozwalają na bezpieczne przedłużanie eksploatacji elementów wykonanych ze stali Super 304H?

4. Jak obecność rzeczywistych warunków eksploatacyjnych (zmienne obciążenia, atmosfera korozyjna) mogłaby wpłynąć na uzyskane wyniki?

5. Jakie dodatkowe badania należałoby przeprowadzić, aby zwiększyć wiarygodność oceny trwałości eksploatacyjnej?

9. Wnioski końcowe i ocena ogólna

Na podstawie analizy rozprawy doktorskiej Pana Mgra inż. Tomasz Puszczało, pt. „Trwałość eksploatacyjna złączy spawanych ze stali Super 304H” stwierdzam, że tematyka pracy doktorskiej jest ważna i aktualna. Pomimo stwierdzonych drobnych błędów edytorskich, odbiór rozprawy jest pozytywny, czyta się ją bardzo dobrze i ze zrozumieniem.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Tomasza Puszczało stanowi wartościowe i oryginalne opracowanie naukowe, wpisujące się w aktualne potrzeby energetyki zawodowej i wnoszące istotny wkład naukowy w dziedzinę Inżynieria Materiałowa. Autor wykazał się dużą samodzielnością badawczą, umiejętnością analizy i interpretacji wyników oraz dobrą znajomością zagadnień z zakresu inżynierii materiałowej.

Uważam, że rozprawa spełnia w mojej opinii warunki stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa przez obowiązujące przepisy określone w Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia

20.07.2018 r. (j.t. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571) Art. 187. W związku z powyższym wnioskuję Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o dopuszczenie mgr. inż. Tomasza Puszczało do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Z poważaniem

Prof. Marcin Nabiałek

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)