

Katowice, dnia 24.03.2026 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **Pani mgr. inż. Agaty Tolarczyk**

p.t.: „**Procesy wydzieleniowe zachodzące w długotrwanie starzonym stopie na bazie niklu**”

wykonanej na Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów
Politechniki Częstochowskiej

pod kierunkiem: promotora - **prof. dr hab. inż. Grzegorza Golańskiego**,

promotor pomocniczy: **dr inż. Hanna Purzyńska**, Sieć Badawcza Łukasiewicz- GIT Gliwice

Podstawa prawna opracowania recenzji:

Recenzja została wykonana na podstawie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Częstochowskiej dr hab. inż. Rafała Prusaka, prof. PCz, zgodnie z art. 179 ust. 1 i 3 pkt 2 lit. b. z dnia 3 lipca 2018r., - Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2008 r. poz. 1669 i z 2009 r. poz. 39 i poz. 534) art. 20 ust. 5 ustawy z dnia 14 marca 2013 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tj. Dz.U. z 2007 r. poz. 1789) oraz rozprawy doktorskiej pt. „Procesy wydzieleniowe zachodzące w długotrwanie starzonym stopie na bazie niklu”.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Dobór materiałów do zastosowań w energetyce, mimo ogromnego rozwoju nowoczesnych technologii w XX i XXI wieku, stanowi wciąż wyzwanie badawcze dla współczesnej inżynierii materiałowej. Wynika to z faktu, że żarowytrzymałość i żaroodporność oraz poziom pozostałych właściwości fizycznych i chemicznych charakteryzujących materiały pracujące w energetyce na elementy instalacji energetycznych zależą od wielu czynników i umiejętne ich wykorzystanie w praktyce stanowi ogromne wyzwanie. Wyzwanie to dotyczy nie tylko gruntownej znajomości zagadnień chemii i fizyki, które opisują zjawiska towarzyszące procesom ich degradacji w warunkach silnych obciążeń mechanicznych i korozyjnych w wysokiej

temperaturze, ale przede wszystkim procesów zapewniających stabilność struktury i właściwości fizykochemicznych podczas eksploatacji.

Temat pracy doktorskiej Pani mgr. inż. Agaty Tolarczyk wpisuje się w główny nurt światowych badań nad nadstopami niklu na elementy instalacji energetycznych, dotyczących badań stabilności struktury polikrystalicznych nadstopów niklu w warunkach długotrwałej ekspozycji na działanie wysokiej temperatury. W szczególności dotyczy to zastosowania na elementy instalacji energetycznych nadstopu niklu 23Cr-45Ni-6W-Nb-Ti-B (HR6W). Badania te znakomicie wpisują się jednocześnie w krąg problematyki zaawansowanych badań struktury, składu chemicznego i fazowego nowych materiałów, rozwijanej od wielu lat z powodzeniem w na Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej, pod kierunkiem Pana prof. Grzegorza Golańskiego oraz w Sieci Badawczej Łukasiewicz- Górnośląski Instytut Technologiczny w Gliwicach. Rozprawę doktorską Pani Agaty Tolarczyk charakteryzuje walor aktualności i oryginalności nie tylko w zakresie wybranej tematyki badań, ale także w aspekcie zastosowania szerokiej gamy metod badawczych na najwyższym poziomie - struktury, składu chemicznego i fazowego oraz badań właściwości mechanicznych.

2. Charakterystyka szczegółowa rozprawy doktorskiej

Praca napisana jest jasno i wyraźnie rozdzielona na dwie części: przegląd piśmiennictwa (rozdziały 1-3, strony 7 - 51) obejmujący swym zakresem wprowadzenie, charakterystykę stopu na bazie niklu HR6W oraz opis degradacji mikrostruktury stopów o strukturze austenitycznej.

Cześć studialna pracy jest integralnie związana z jej tematem i została oparta na szerokim przeglądzie najnowszych pozycji literaturowych i monograficznych, dotyczących charakterystyki nadstopów niklu w warunkach ich zastosowania w energetyce w zakresie struktury, składu chemicznego i fazowego oraz właściwości mechanicznych. Szczególna uwaga Doktoranta została skierowana na właściwości i stabilność struktury i właściwości nadstopu niklu HR6W.

W tej części pracy, na uwagę zasługuje dobra, chociaż czasami zbyt ogólnikowa, charakterystyka struktury i właściwości nadstopów niklu z przeznaczeniem na elementy instalacji energetycznych. Interesujące i wartościowe są zestawienia właściwości i charakterystyki składników struktury tych stopów, szczególnie ze względu na szeroki i właściwy dobór źródeł literaturowych. W szczególności, jest to wartościowe kompendium wiedzy o nadstopie niklu HR6W.

Pani mgr inż. Agata Tolarczyk opisała szczegółowo właściwości i elementy struktury nadstopu niklu HR6W, dokonując wnikliwej ich analizy szczególnie z punktu widzenia stabilności struktury w wysokiej temperaturze. Autorka słusznie stwierdza, że procesy zmian struktury w nadstopach niklu podczas długotrwałej ekspozycji na działanie wysokiej temperatury nie są w pełni znane i tylko w bardzo

ograniczonym zakresie można uzyskać dane na ten temat. Analizując dostępne dane literaturowe oraz trudności związane z ich pozyskaniem na drodze doświadczalnej, Autorka wskazuje również na możliwości rozwiązania tego problemu poprzez własne badania doświadczalne.

Wynikiem krytycznej analizy literatury i jej podsumowania jest klarowne sformułowanie przez Panią mgr. inż. Agatę Tolarczyk tezy i celu pracy (rozdział II.1).

Teza rozprawy doktorskiej:

„Głównym mechanizmem degradacji mikrostruktury stopu na bazie niklu o osnowie austenitycznej HR6W są procesy wydzielania faz wtórnych na granicach i wewnątrz ziaren”

Tak postawioną tezę pracy uważam za poprawną pod względem naukowym, jasno sformułowaną i jednocześnie na tyle ogólną, że można oczekiwać różnych dróg jej udowodnienia. Pani mgr inż. Agata Tolarczyk postawione zadania analizy literaturowej i praktycznego podejścia do problemu rozwiązała w sposób poprawny, wykazała tym samym dobre przygotowanie do samodzielnego rozwiązywania zagadnień zarówno teoretycznych, jak też związanych z praktyczną realizacją eksperymentu.

Jako główny cel rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agata Tolarczyk przyjęła:

„Celem pracy doktorskiej była analiza procesów wydzieleniowych zachodzących w stopie na bazie niklu 23Cr-45Ni-6W-Nb-Ti-B (HR6W) po długotrwałym starzeniu w czasie do 20 000 godzin w temperaturze 700 i 800°C. Ponadto w ramach przeprowadzonego eksperymentu określono wpływ długotrwałego starzenia na właściwości mechaniczne analizowanego stopu i wielkość ziarna austenitu stopowego oraz licznosc bliźniaków.”

Ponadto, w pracy zostały określone cele szczegółowe:

„Celem poznawczym rozprawy doktorskiej była analiza i opis procesu degradacji mikrostruktury i właściwości mechanicznych stopu HR6W podczas długotrwałego starzenia w podwyższonej temperaturze.

Celem użytkowym pracy było określenie i zbudowanie sekwencji wydzieleni faz wtórnych oraz powiązanie ich ze zmianami we właściwościach mechanicznych analizowanego stopu.”

Zaproponowany przez Kandydatkę program badań (rozdział II.2), był ambitny i obejmował analizę procesów wydzieleniowych oraz zmiany w ich morfologii, a także badania właściwości mechanicznych zachodzących w stopie na bazie niklu HR6W po długotrwałym starzeniu w czasie do 20 000 godzin w temperaturach 700 i 800°C.

Materiał do badań (rozdział II.3) stanowiły próbki pobrane z wycinka rury o wymiarach $\varnothing 360 \times 75$ mm wykonanej ze stopu niklu 23Cr-45Ni-6W-Nb-Ti-B (HR6W). Realizacja szerokiego zakresu badań wynikająca z tezy pracy i postawionego celu badawczego była możliwa dzięki odpowiedniemu zastosowaniu

zaawansowanego spektrum tradycyjnych i zaawansowanych metod badawczych (rozdział II.4), od przygotowania próbek (zgłady), badania struktury (mikroskopia świetlna – LM, elektronowa mikroskopia skaningowa - SEM, elektronowa mikroskopia transmisyjna – TEM), analizy składu chemicznego (mikroanaliza rentgenowska przy użyciu spektrometru rentgenowskiego z dyspersją energii - EDS), analizy składu fazowego (dyfrakcja rentgenowska – XRD oraz dyfrakcja elektronowa) oraz badań właściwości mechanicznych (twardość HV, udurowienie, statyczna próba rozciągania).

Trzeba przyznać, że analiza postawionych zadań, jak również dobór materiału i wybór metod badawczych, pozwala na stwierdzenie, że Pani mgr inż. Agata Tolarczyk zdecydowała się postawione zadania rozwiązać w sposób kompleksowy, wykazując tym samym dobre przygotowanie do samodzielnego rozwiązywania zagadnień zarówno teoretycznych, jak też związanych z praktyczną realizacją eksperymentu.

Pierwsza część badań własnych (rozdział II.5) w prezentowanej rozprawie doktorskiej stanowią badania struktury stopu w stanie dostawy i po procesie starzenia w czasie do 100 godzin oraz 1000, 10 000 i 20 000 godzin w temperaturze 700 i 800°C. W szczególności na uwagę zasługuje w tej części pracy analiza procesów wydzieleniowych. Przedstawione wyniki badań stanowią wspaniałe kompendium wiedzy w zakresie charakterystyki procesów wydzieleniowych w nadstopie HR6W po długotrwałym wyżarzaniu do 20 000 godzin w temperaturze 700 i 800°C. Jest to znakomita charakterystyka tego materiału w zakresie oceny mikrostruktury (SEM, metalografia ilościowa, SEM+EDS) i substrukury (techniki TEM, dyfrakcja elektronowa, STEM HAADF). Rozdział ten jest zakończony interesującą dyskusją otrzymanych wyników.

Z punktu widzenia realizacji tezy i celu pracy najważniejszą jest część badawcza rozprawy doktorskiej.

W tej części pracy na szczególną uwagę zasługuje opis struktury przy użyciu zaawansowanych technik elektronowej mikroskopii skaningowej i transmisyjnej oraz technik im towarzyszących: SEM, TEM, STEM HAADF z poprawną identyfikacją faz (XRD, dyfrakcja elektronowa) oraz określeniem składu chemicznego (EDS) na powierzchni i w objętości. Chcę tu podkreślić, że są to znakomicie zrealizowane badania, z głęboką znajomością możliwości stosowanych metod badawczych i specyfiki analizowanego materiału. Analiza tych wyników badań dokonana przez Autorkę jest przemyślana, konsekwentna, jasna, znakomicie zilustrowana doбором właściwych obrazów i sporządzonych ilustracji graficznych omawianych zagadnień, ale jednocześnie jest to opis pełen świadomej oceny właściwości materiału w świetle stosowanych technik badawczych. Jest to rzadko spotykane w rozprawach doktorskich, a w tej pracy budzi mój szczerzy podziw i uznanie.

Istotną część badań w rozprawie doktorskiej Pani mgr inż. Agaty Tolarczyk z punktu widzenia całości pracy stanowią badania stereologiczne - metalograficzne. Pokazują w całej pełni podstawy warsztatu naukowego i rozważań teoretycznych w zakresie kinetyki udziału procentowanego zmian w strukturze w szczególności dotyczących bliźniaków.

Interesującym aspektem badań w pracy jest charakterystyka zmiany właściwości mechanicznych nadstopu HR6W w temperaturze 800 i 900°C w czasie do 20 000 godzin. Obiektem szczególnego zainteresowania Autorki stało się poszukiwanie zależności pomiędzy parametrami z badań mechanicznych (R_m , R_e , A , HV , energia łamania), a procesami wydzieleniowymi.

W „Podsumowaniu wyników badań”, przedstawionej rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agata Tolarczyk dokonała syntezy wszystkich otrzymanych wyników przedstawiając je ostatecznie w postaci modelowego ujęcia oraz 7 wniosków, dowodząc w całej pełni realizacji postawionego celu badań. Jest to znakomite podsumowanie wyników badań własnych. Autorka w pełni wykazała umiejętność syntetycznego i zarazem pogłębionego w stosunku do wcześniejszych opracowań, ujęcia teoretycznych i praktycznych aspektów badań własnych. Widać tu wyraźne starania Autorki o uogólnienia i usystematyzowanie współzależności oddziaływania i interakcji różnorodnych czynników w procesach obróbki cieplnej (ujednorodniania, starzenia) i utleniania izotermicznego w temperaturze 800 i 900°C w czasie do 20 000 godzin. Jest to bardzo pogładowa i komunikatywna forma przekazu analizy otrzymanych wyników.

Podsumowanie wyników oraz wnioski sformułowane na podstawie otrzymanych wyników badań są przedstawione w sposób jasny i wskazują jednoznacznie, że postawiona teza i zaproponowane cele szczegółowe w rozprawie doktorskiej przez Panią mgr inż. Agatę Tolarczyk zostały w pełni zrealizowane.

Praca kończy się spisem literatury, rysunków oraz tabel, zawiera także streszczenie po angielsku i po polsku. Ogólnie praca liczy 129 stron. Autorka powołuje się na 126 pozycji literaturowych. Wskazuje to na dobre rozeznanie w literaturze przedmiotu, w tym co jest godne również uwagi, w pracach autorów polskich. Klasyczny układ pracy pozwala jednoznacznie wyodrębnić osiągnięcia własne Pani mgr inż. Agaty Tolarczyk.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Za największe zalety pracy uważam:

1. Opis zjawisk fizykochemicznych i strukturalnych zachodzących podczas długotrwałego wygrzewania nadstopu niklu HR6W w temperaturze 800 i 900°C w czasie do 20 000 godzin i ich wpływ na jego właściwości.
2. Opis zjawisk strukturalnych zachodzących nadstopie niklu HR6W w warunkach oddziaływania wysokiej temperatury 800 i 900°C w czasie do 20 000 godzin - modelowy opis od zarodkowania i przemian wydzieleni.
3. Perfekcyjne wykorzystanie szerokiego spektrum metod badawczych w zakresie badań struktury, składu chemicznego i fazowego oraz metalografii, z uwzględnieniem ich możliwości i ograniczeń, w opisie zmian struktury.

Oceniając pozytywnie rozprawę doktorską, pozwolę sobie na kilka uwag do dyskusji, a w szczególności:

1. Uważam za mało wyczerpujące uzasadnienie sposobu doboru warunków obróbki cieplnej. Proszę o wyjaśnienie, czym kierowano się w doborze zaproponowanych warunków brzegowych tego procesu.
2. Przedstawiony zestaw badań mikrostruktury i właściwości nadstopu niklu HR6W został w pracy doktorskiej właściwie dobrany i znakomicie wykorzystany do oceny jego właściwości. Czy można go rozszerzyć o jeszcze inne badania - jakie i dlaczego?

W podsumowaniu recenzji stwierdzam, że pod względem edytorskim praca jest wykonana poprawnie, napisana jest prostym i jasnym językiem. Widać staranność i dokładność w edycyjnej stronie rysunków i tabel. Zauważone nieścisłości (np. drobne błędy stylistyczne) nie są warte szczegółowego opisu w recenzji.

4. Ocena końcowa rozprawy doktorskiej

W ogólnej ocenie stwierdzam, że Pani mgr inż. Agata Tolarczyk zrealizowała zadanie badawcze będące przedmiotem rozprawy doktorskiej. Zawarte w rozprawie wnioski są udokumentowane. Postawiony na początku części badań własnych cel rozprawy w pełni udowodniono w oparciu o przeprowadzone studium literaturowe oraz wykonane i prawidłowo zinterpretowane wyniki badań własnych. Sposób przedstawienia i opracowania wyników badań wskazuje, że Autorka rozprawy opanowała w stopniu doskonałym warsztat badawczy niezbędny do realizacji pracy i wykazała niezbędną wiedzę z zakresu inżynierii materiałowej, planowania badań i metod opracowania wyników. Doktoranta właściwie sformułowała wnioski o znaczeniu poznawczym i aplikacyjnym. Biorąc pod uwagę poznawcze i aplikacyjne znaczenie pracy, sposób realizacji programu badawczego, formę opracowania i przedstawienia wyników wykonanych badań, jak również zaprezentowane wnioski, mogę z przekonaniem stwierdzić, że rozprawa spełnia wymagania Ustawy stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie Pani mgr. inż. Agaty Tolarczyk do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Podsumowując moją opinię stwierdzam, że przedstawiona praca doktorska Pani mgr. inż. Agaty Tolarczyk p.t.: *pt. „Procesy wydzieleniowe zachodzące w długotrwałe starzonym stopie na bazie niklu”* spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, przewidziane odpowiednimi ustawami. Oceniam przedstawioną rozprawę doktorską bardzo pozytywnie i wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr. inż. Agaty Tolarczyk do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz wnioskuję o wyróżnienie rozprawy (jeśli spełnione są dodatkowe wymagania przewidziane regulaminem nadania stopnia doktora).

Katowice, 24 marca 2026 r.



prof. dr hab. inż.
Maria Sozańska