

Prof. dr hab. inż. Jarosław Mizera
Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechnika Warszawska

Warszawa, 29 grudnia 2024 r.

OCENA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Karol Sówka

„Analiza trwałości eksploatacyjnej złączy spawanych z żaroodpornej stali P92”

Uwagi ogólne

Opiniowana praca powstała pod opieką dr hab. inż. Marka Sroki, prof. Politechniki Śląskiej, na Wydziale Mechanicznym Technologicznym w Katedrze Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych gdzie prowadzone są m. in. badania podstawowe i aplikacyjne nad rozwiązaniami materiałowymi i technologiami na potrzeby przemysłu. Recenzowana praca wpisuje się doskonale w nurt prac badawczych tej Katedry.

Modernizacja urządzeń energetycznych i odchodzenie od spalania węgla kamiennego na rzecz uzyskiwania energii z odnawialnych źródeł energii jest niezbędnym działaniem w celu redukcji gazów cieplarnianych. Realizowane w Polsce w ostatnich latach inwestycje w postaci budowy nowoczesnych bloków energetycznych wpisują się w ten europejski i światowy trend. W tym kontekście istotny jest również problem modernizacji i unowocześniania istniejących jednostek energetycznych. Aby nadążyć za rozwojem nowoczesnych technologii energetycznych i stosowanych materiałów dla konstrukcji kotłowych konieczne jest prowadzenie badań elementów ciśnieniowych pod kątem poznania właściwości materiałów z których są wykonane. Wiedza ta jest niezwykle istotna w kontekście zapewnienia długoterminowej pracy elementom konstrukcji jednostek energetycznych pracujących w warunkach ekstremalnych tzn. wysokiego ciśnienia i wysokiej temperatury.

Jest to kluczowe z punktu widzenia predykcji żywotności konstrukcji i opracowania kryterium oceny niezawodności oraz bezpiecznej eksploatacji urządzeń ciśnieniowych. Zasadniczym kryterium oceny niezawodnej i bezpiecznej eksploatacji urządzeń ciśnieniowych jest wiedza pozwalająca na predykcję ich czasu pracy (trwałości eksploatacyjnej). Należy jednak podkreślić, że trwałość materiału określana w badaniach laboratoryjnych nie jest równoznaczna z trwałością elementu konstrukcyjnego w szczególności kiedy w jego skład wchodzi złącza spawane.

Doktorant w swojej dysertacji podjął się analizy trwałości eksploatacyjnej złączy spawanych wykonanych z wysokostopowej stali ferrytycznej X10CrWMoVNb9-2 (T/P92) przeznaczonej do wytwarzania na elementy ciśnieniowe (m. in. rurociągi pary, wężownice, kolektory podgrzewaczy). Za szczególnie istotne uznał badanie elementów wysokociśnieniowych takich jak rurociągi pary świeżej wraz z elementami kształtowymi m. in. trójniki lub armatura, które charakteryzują się pracą pod wysokim ciśnieniem i wysokiej temperaturze panującej wewnątrz rurociągu.

Mgr inż. Karol Sówka wyznaczył za cel pracy opracowanie charakterystyk materiałowych złącza spawanego stali P92, które posłużyć miały do prognozowania oraz planowania koniecznych przeglądów instalacji rurociągów wysokoprężnych. Spodziewane do uzyskania wyniki badań mają szczególne znaczenie w kontekście długoterminowej i bezpiecznej eksploatacji nowoczesnych jednostek energetycznych na parametry nadkrytyczne.

Doktorant zrealizował ambitny program badawczy obejmujący badania mikrostruktury, właściwości mechanicznych oraz próby pełzania jednoosiowego złącza ze stali P92 po długotrwałym wyżarzaniu. Otrzymane wyniki badań mają bardzo dużą wartość aplikacyjną. Opracowanie przez Doktoranta pięciu charakterystyk stanów materiału złącza może posłużyć do stworzenia procedur diagnostycznych dla zespołów zajmujących się oceną trwałości eksploatacyjnej rurowych złączy spawanych ze stali P92.

Recenzowana praca dotyczy, moim zdaniem, zagadnień o istotnej wartości poznawczej i przede wszystkim aplikacyjnej. Podjęto w niej ciągle aktualny wątek badawczy w inżynierii materiałowej – doskonalenie metod oceny trwałości eksploatacyjnej nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych.

Uwagi redakcyjne

Recenzowana praca ma klasyczny układ, jest kompletna i napisana w sposób komunikatywny. Autor rozprawy wyodrębnił w dysertacji kilka części. Na wstępie przedstawił analizę aktualnego stanu wiedzy w obrębie tematyki pracy. Należy podkreślić, że ta część pracy jest opracowana zwięźle (na 30 stronach) i nie zawiera zbędnych informacji. Wprowadza to bardzo dobrze Czytelnika w tematykę rozprawy i wyjaśnia motywację Doktoranta do podjęcia badań. Następnie Autor dysertacji sformułował cel i zakres pracy. Dalsze rozdziały opisują program i metodykę badań. Najobszerniejszy rozdział poświęcony jest szczegółowemu przedstawieniu wyników badań. Pracę kończy podsumowanie dotyczące oceny trwałości eksploatacyjnej badanej stali i wnioski wynikające z przeprowadzonych badań.

Dysertację czyta się z dużym zainteresowaniem tym bardziej, że jest ona napisana bardzo dobrym językiem i praktycznie nie zawiera błędów redakcyjnych. Na uwagę zasługują liczne, trafnie dobrane i aktualne powołania literaturowe.

Cel i zakres pracy

Z przeprowadzonej przez Doktoranta krytycznej analizy aktualnego stanu wiedzy związanego z tematem pracy wynika, że brak jest szczegółowych danych materiałowych pozwalających na precyzyjne i kompleksowe określenie trwałości eksploatacyjnej złączy spawanych elementów wykonanych z żarowytrzymałej stali P92. Stąd też wynika konieczność aktualizacji charakterystyk materiałowych z wykorzystaniem nowoczesnych metod badawczych charakteryzujących się większą dokładnością (w szczególności w obszarze opisu mikrostruktury w strefach: materiału rodzimego, wpływu ciepła i złącza).

Zdaniem Doktoranta uzyskane wyniki badań pozwolą wskazać kierunki dalszej modyfikacji technologii wytwarzania jednoimiennych złączy spawanych ze stali P92 oraz określić ich przydatność do długookresowej eksploatacji w rurociągach nowoczesnych jednostek energetycznych.

Fakt ten był bezpośrednią inspiracją Autora rozprawy do sformułowania celów pracy. Celem badawczym pracy było przeprowadzenie analizy „trwałości eksploatacyjnej złączy spawanych ze stali X10CrWMoVNb9-2, którą definiuje się jako zdolność materiału do zachowania wymaganych właściwości użytkowych do chwili osiągnięcia umownego stanu granicznego, w którym dalsza eksploatacja nie jest wskazana”.

Z kolei celem praktycznym prowadzonych badań było „poznanie mechanizmu zmian strukturalnych w obrębie strefy wpływu ciepła złącza spawanego po długotrwałym wyżarzaniu”.

Doktorant założył, że realizacja powyższych celów przyczyni się do wzbogacenia charakterystyki materiałowej stali P92 przydatnej przy planowaniu ekspertyz, przeglądów i diagnostyki krytycznych elementów kotła.

Doktorant skupił się więc na pozyskaniu nowej wiedzy przydatnej do oceny trwałości długo eksploatowanych elementów ciśnieniowych.

Autor pracy poprawnie dobierając techniki badawcze zrealizował ambitny program badań obejmujący:

- badania mikrostrukturalne i pomiary twardości,
- badania właściwości wytrzymałościowych w temperaturze pokojowej i podwyższonej,
- badania udarności (pracy łamania),
- długotrwałe próby pełzania z i bez pomiaru wydłużenia,
- przyspieszone próby pełzania.

Doktorant szczególną pieczę przyłożył do opisu dynamiki procesów wydzieleniowych zachodzących w złączu po długotrwałym wyżarzaniu oraz po pełzaniu, które odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu trwałości eksploatacyjnej.

Uważam, że przeprowadzone przez Doktoranta badania dostarczyły spójnych informacji, które pozwoliły na realizację celu pracy. Raz jeszcze chciałbym podkreślić duże znaczenie zarówno poznawcze jak i praktyczne uzyskanych wyników badań.

W podsumowaniu stwierdzam, że cel i zakres opiniowanej pracy w pełni spełniają wymagania stawiane badaniom będącym podstawą rozpraw doktorskich.

Ocena rozprawy doktorskiej

Niniejsza rozprawa ma walor zarówno poznawczy jak i duży potencjał wdrożeniowy uzyskanych wyników badań. Motywacją Doktoranta do podjęcia badań było uzupełnienie i pogłębienie wiedzy w obszarze długookresowej, bezpiecznej eksploatacji jednostek energetycznych pracujących w warunkach wysokiego ciśnienia i wysokiej temperatury.

Moim zdaniem bardzo ważne z punktu widzenia aplikacyjnego jest wykazanie przez Doktoranta, że dynamika procesów wydzieleniowych jest znacznie większa w przypadku złącza po długotrwałym wyżarzaniu w 650 °C. Potwierdziły to zarówno badania mechaniczne jak i mikrostrukturalne, w szczególności poprzez pomiar średniej średnicy wydzieleni w strefie wpływu ciepła.

Mgr inż. Karol Srok zrealizował kompleksowe badania mikrostrukturalne. Użycie technik elektrono-mikroskopowych pozwoliło Mu na bardzo precyzyjny opis mikrostruktury, w szczególności identyfikacji wydzieleni oraz analizy ich wielkości i rozmieszczenia w strukturze materiału.

Autor dysertacji wykazał, że spadek właściwości mechanicznych stali P92 (granica plastyczności, wytrzymałość na rozciąganie, twardość, praca łamania) obniżają się wraz ze wzrostem czasu i temperatury wyżarzania. Zjawisko to jest wynikiem koagulacji węglików $M_{23}C_6$ i faz Lavesa, co silnie obniża efekt umocnienia roztworowego i wydzieleniowego. Doktorant dowiódł również, że wraz ze wzrostem temperatury i czasu wyżarzania złącza wzrasta prędkość pełzania, w szczególności w temperaturze 650 °C co wskazuje na maksymalny poziom stosowania stali P92 w temperaturze 600 °C.

Cennym spostrzeżeniem poczynionym przez Autora dysertacji, na podstawie uzyskanych badań wytrzymałości na pełzanie, jest ustalenie utraty trwałości eksploatacyjnej badanych złączy. Obliczone wartości wykazały 2-krotnie większy spadek trwałości (34%) w przypadku wyżarzania złącza w temperaturze 650 °C przez 10 000 godzin w porównaniu do wyżarzania w tym samym czasie w temperaturze 600 °C.

Z kolei próby pełzania bez pomiaru wydłużenia pozwoliły ustalić, że złącze spawane w temperaturze 650 °C wykazało 70% wytrzymałości na pełzanie po 10 000 godzinach i 82% po 100 000 godzinach w stosunku do materiału bazowego.

Biorąc pod uwagę potencjał aplikacyjny otrzymanych wyników badań to niewątpliwym osiągnięciem Doktoranta jest opracowanie charakterystyk materiałowych dla pięciu stanów materiału złącza (realizacja celu wdrożeniowego pracy doktorskiej). Charakterystyki te są podstawą do opracowania procedur inspekcyjnych na potrzeby odpowiednich służb diagnostycznych, dla których konieczne jest poznanie mechanizmów degradacji mikrostruktury materiałów dla oceny zachowania się materiału w temperaturze eksploatacji i określenia jego trwałości eksploatacyjnej.

Podsumowując osiągnięcia badawcze Doktoranta zaprezentowane w recenzowanej dysertacji uważam, że Jego oryginalnym wkładem w rozwój wiedzy w obszarze opisu trwałości eksploatacyjnej złączy spawanych ze stali P92 jest uzyskanie wyników badań, które pozwalają na przygotowanie procedur technologicznych, które można by stosować w celu wypracowania zasad postępowania przy zdarzeniach i awariach zakłócających proces produkcji energii w elektrowni.

Z kolei opracowane przez Doktoranta karty charakterystyk materiałowych z pewnością będą pomocne przy szacowaniu utraty trwałości eksploatacyjnej złączy spawanych bez posiadania informacji odnośnie do rzeczywistych parametrów ich pracy w instalacji. Porównanie stanu mikrostruktury materiału złącza pracującego w instalacji z kartą materiałową może pomóc w prognozowaniu czasu jego dalszej, bezpiecznej eksploatacji.

Moim zdaniem rozprawa doktorska mgr inż. Karola Sówki stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego o charakterze poznawczym i przede wszystkim bardzo dużym potencjale aplikacyjnym w obszarze długookresowej i bezpiecznej eksploatacji elementów ciśnieniowych nowoczesnych bloków energetycznych. Recenzowana dysertacja jest bardzo dobrze osadzona w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

Należy również zauważyć dużą aktywność mgr inż. Karola Sówki w rozpowszechnianiu uzyskanych wyników badań w ramach realizacji pracy doktorskiej. Jest On współautorem 4 publikacji (w tym w 1 jest pierwszym autorem). Rezultaty badań prezentował również na 8 konferencjach naukowych.

Uwagi

- W rozdziale 3.1 „Cel pracy” Doktorant stwierdza, że „zdobyta wiedza i doświadczenie podczas przeprowadzonych badań mogą posłużyć do opracowania materiałów szkoleniowych dla kadry inżynieryjno-technicznej. Otrzymane wyniki badań będą stanowiły podstawę do stworzenia procedur jakościowo-technologicznych, które można wdrożyć w praktyce przemysłowej...”.
Czy Doktorant mógłby wskazać które elementy zdobytej przez Niego wiedzy i doświadczenia związane z oceną trwałości eksploatacyjnej złączy spawanych powinny być wykorzystane w materiałach szkoleniowych?
- W rozdziale 2.3 „Metody oceny trwałości eksploatacji materiału i elementów ciśnieniowych kotłów parowych” Doktorant deklaruje, że „celem dysertacji jest aktualizacja charakterystyk z wykorzystaniem coraz nowszych metod badawczych, wykazujących się większą dokładnością. Przedstawione badania złączy spawanych ze stali X10CrWMoVNb9-2 dostarczą wyników, które mogą wskazywać kierunki dalszej modyfikacji technologii wytwarzania tych złączy oraz zdefiniować ich przydatność do długotrwałej eksploatacji w rurociągach nowoczesnych jednostek energetycznych”.
Czy w porównaniu z dotychczas stosowanymi technikami badawczymi Doktorant użył jakąś nowszą, „wykazującą się większą dokładnością”?
Czy użycie wysokorozdzielczej mikroskopii elektronowej do opisy mikrostruktury badanego przez Doktoranta materiału wniosłoby dodatkową „praktyczną” wiedzę do analizy trwałości eksploatacyjnej badanych złączy?
Czy uzasadnione jest może, z praktycznego punktu widzenia, wykorzystanie innych technik badawczych do analizy zmian mikrostrukturalnych - np. EBSD?
- Czy na podstawie zdobytej wiedzy przy realizacji prac badawczych Doktorant może wskazać kierunek dalszego rozwoju stali (w aspekcie projektowania ich optymalnego składu chemicznego i struktury) przeznaczonych do pracy w ekstremalnych warunkach i ciśnienia przeznaczonych do budowy nowoczesnych bloków energetycznych na parametry nad i ultra-super-nadkrytyczne pod kątem wydłużenia ich trwałości eksploatacyjnej?
- Czy Doktorant może również wskazać ewentualne kierunki dalszej modyfikacji technologii wytwarzania jednoimiennych złączy spawanych ze stali P92?

Opinia końcowa

Bardzo dobrze oceniam pracę doktorską mgr inż. Karola Sówki. Autor pracy wybrał bardzo interesujący problem badawczy zarówno z punktu widzenia poznawczego jak i aplikacyjnego, umiejętnie sformułował cel i zakres pracy oraz wnikliwie przeprowadził analizę otrzymanych wyników badań. Należy podkreślić, że przeprowadzone przez Doktoranta badania stanowią podstawę do opracowania procedur jakościowo-technologicznych, które mogą być wdrożone w przemyśle w celu standaryzacji postępowania w przypadku awarii i/lub zdarzeń zakłócających bezpieczną eksploatację jednostek energetycznych.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska przedłożona przez Pana mgr inż. Karola Sówkę pt. „Analiza trwałości eksploatacyjnej złączy spawanych z żarowytrzymałej stali P62” spełnia warunki określone w Art. 187. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. (Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, Dz. U. 2022, poz. 574) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o dopuszczenie mgr inż. Karola Sówkę do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk Inżynieryjno-Technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

 **PODPIS ZAUFANY**
JAROSŁAW
MIZERA
29.12.2024 23:57:42 (GMT+2)
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym