

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. **Magdaleny Jacek-Burek** zatytułowanej:
„Analiza właściwości użytkowych napoin ze stali AISI 307 i AISI 316 wykonywanych na odlewach z żeliwa sferoidalnego”

1. Uwagi o wyborze tematyki i tezie rozprawy

Rozwój cywilizacyjny wymaga tworzenia nowej infrastruktury wspomagającej życie ludzi nie tylko w dużych aglomeracjach ale również w obszarach o mniejszym zaludnieniu. Jedną z najważniejszych części tej infrastruktury jest sieć wodociągowa. Dystrybucję wody w Polsce zapewnia ok. 8500 wodociągów zaopatrujących w wodę 36 mln ludzi, tj. 92% ludności. Nakłady na infrastrukturę wodociągową na poziomie ok 2 mld. zł rocznie pozwalają na wzrost wydajności ujęć wody o 25,0 tys. m³/d, wzrost wydajności stacji uzdatniania wody o 3,0 tys. m³/d oraz przyrost długości sieci wodociągowych o ok. 5,4 tys. km. Właściciel sieci wodociągowej ma obowiązek zapewnić zdolność urządzeń wodociągowych do realizacji dostaw wody w dostatecznej ilości, pod odpowiednim ciśnieniem i o wymaganej jakości. Ma także zapewnić ciągłość i niezawodność świadczonych usług. Wypełnienie tego obowiązku uwarunkowane jest utrzymaniem sieci i urządzeń wodociągowych w dobrym stanie technicznym, zapewnieniem stabilności pracy układu wodociągowego oraz sprawnym usuwaniem ewentualnych awarii. Sieci wodociągowe zapewniają stały dopływ wody, przy teoretycznie stałych parametrach przepływu i ciśnienia. Jednak w praktyce ze względu na niepożądane spadki lub wzrosty ciśnienia i przepływu wody w przewodach mogą powstawać wibracje sieci co w konsekwencji prowadzi do awarii i wycieków wody. Wg raportu z kontroli NIK z roku 2018 straty wody z powodu awarii były na poziomie 12%. Najczęstszą przyczyną awarii była korozja materiału przewodów wodociągowych i rozszczelnienie ich połączeń, a także uszkodzenie sieci w trakcie prowadzenia robót ziemnych przez osoby trzecie. Najwięcej awarii, 66,4%, wystąpiło wskutek uszkodzeń ścian i połączeń przewodów

wodociągowych, pozostałe awarie dotyczyły wodomierzy 11,5%, zasuw – 6,6%, hydrantów 5,3% i pozostałej armatury i urządzeń 10,2 %.

Mgr. inż. Magdalena Jacek-Burek po analizie stanu zagadnienia podjęła badania mające na celu ocenę struktury i właściwości napoin na elementach armatury wodociągowej. Stało się to podstawą rozprawy doktorskiej pt: „Analiza właściwości użytkowych napoin ze stali NISI 307 i AISI 316 wykonywanych na odlewach z żeliwa sferoidalnego”. Tematyka tej pracy jest aktualna i wpisuje się w kierunek badań związany z zapewnieniem niezawodności i dyspozycyjności sieci wodociągowych. Ocena wpływu warunków technologicznych napawania na strukturę napoiny i jej właściwości eksploatacyjne jest istotnym czynnikiem decydującym o trwałości całej instalacji.

Na podstawie studiów literaturowych oraz doświadczeń zdobytych w swojej karierze zawodowej Doktorantka słusznie założyła, że „Zastosowanie nowego rozwiązania konstrukcyjno-materiałowego węzła uszczelniająco-odwadniającego żeliwnego zaworu armatury wodociągowej z napawana bieżnią ze stali austenityczne, w miejsce dotychczas stosowanego pierścienia ze stopu miedzi, pozwoli na podniesienie jego trwałości eksploatacyjnej i właściwości użytkowych, a w szczególności na poprawę odporności na zarysowanie, odporności na erozję kawitacyjną oraz odporności na korozję”. Przedstawiona teza jest w pełni uzasadniona i wynika z przeglądu aktualnego stanu wiedzy głównie w obszarze stanu sieci wodociągowych, stosowanych materiałów oraz zjawisk i mechanizmów decydujących o trwałości armatury i możliwościach technologicznych jej regeneracji.

2. Charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska została podzielona na 7 numerowanych rozdziałów, obejmujących analizę literatury, badania własne dotyczące głównie metodyki, badań struktury warstw napawanych ze stali austenitycznych oraz właściwości użytkowych tych warstw. Całość została podsumowana wnioskami końcowymi. Praca zajmuje 150 stron tekstu, zamieszczono w niej 107 rysunków w postaci zdjęć, schematów, wykresów i mikrostruktur oraz 17 tabel.

Przedstawiony przez Doktorantkę przegląd literatury i ocena aktualnego stanu wiedzy zostały wykonane solidnie, w sposób jasny i przejrzysty, a wykazane obszary poszukiwań nowych rozwiązań technologicznych zapewniających zwiększoną trwałość armatury sieci wodociągowych w pełni uzasadniają przyjętą tezę badań. Analiza stanu wiedzy została przeprowadzona na podstawie 142 pozycji literaturowych, głównie z ostatnich 20 lat.

Cele naukowe pracy, zakładające określenie wpływu parametrów nadtapiania plazmowego na ilość ciepła wprowadzonego do podłoża z żeliwa sferoidalnego, zmiany mikrostruktury obszaru przetopień i strefy wpływu ciepła oraz skłonność materiału tworzenia pęknięć a także ocena odporności na kawitację oraz odporności na korozję napoin ze stali AISI 307 i AISI 316 są prawidłowe i w pełni uzasadnione. Również prawidłowo sformułowany jest cel użyteczny pracy zakładający opracowanie technologii napawania proszkami ze stali austenitycznych bieżni żeliwnego zaworu.

W celu potwierdzenia tezy mgr inż. Magdalena Jacek-Burek zrealizowała szeroki program badań, który obejmował m.in.:

- przygotowanie materiału do badań – wykonanie w warunkach produkcyjnych testowych odlewów płytek i testowych odlewów korpusów zaworów z żeliwa
- badania mikrostruktury żeliwa sferoidalnego o osnowie ferrytycznej,
- badania kalorymetryczne – pomiary ilości ciepła wprowadzonego do materiału podłoża z żeliwa sferoidalnego w procesie nadtapiania plazmowego,
- dobór i badania mikrostruktury oraz składu chemicznego proszków przeznaczonych do napawania plazmowego,
- badania mikrostruktury i analizę składu chemicznego napoin ze stali AISI 307 i AISI 316,
- badania odporności na zarysowanie,
- badania odporności na erozję kawitacyjną,
- badania odporności na korozję w wodzie pitnej i w wodzie przemysłowej, oraz
- ocenę skrawalności napoin ze stali AISI 307 i AISI 316.

Wyniki swoich badań Doktorantka komentowała w poszczególnych rozdziałach, co pozwoliło jej sformułować sześć wniosków. Należy zatem stwierdzić, że teza, cel i zakres rozprawy spełniają wymagania stawiane badaniom realizowanym w ramach pracy doktorskiej.

3. Uwagi formalne

Czytając tekst rozprawy należy stwierdzić, że została wykonana na bardzo wysokim poziomie edycyjnym. Stwierdzono nieliczne błędy literowe i stylistyczne, jednak nie obniżają one w żaden sposób wartości merytorycznej pracy. Informacje w tym zakresie przekazałem Doktorantce w nadziei, że jej kolejne prace będą również na tak wysokim poziomie edycyjnym a moje nieliczne uwagi uwzględni w dalszej swojej działalności zawodowej i naukowej.

Wydaje mi się, że w części analizy stanu wiedzy a w szczególności w podsumowaniu (rozdz. 5. Analiza stanu zagadnienia i teza pracy), dla lepszego zrozumienia podstaw sformułowania tezy i celów pracy można by wymienić w formie zestawienia główne czynniki, które zdecydowały o podjęciu tej tematyki rozprawy. Również, z powodu rozbudowanego zakresu pracy oraz zastosowanych metod badawczych bardzo pomocny byłby schemat badań. Taki schemat pomaga czytającemu zorientować się w zakresie i kolejności poszczególnych etapów badań.

Opisane wyniki badań w poszczególnych rozdziałach zostały skomentowane bez podania konkretnych wartości oraz bez podania kryteriów akceptacji, co utrudnia odniesienie się do uzyskanych wyników. W takim przypadku celowym uzupełnieniem rozprawy byłaby całościowa analiza wyników wraz z odwołaniami do rysunków i tabeli. Klasyczna forma pisania rozpraw doktorskich bardzo ułatwia sformułowanie prawidłowych wniosków potwierdzających tezę rozprawy, a czytającemu umożliwia odniesienie się do wyników badań, ich weryfikację i wykorzystanie w dalszych pracach badawczych.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

W części teoretycznej Doktorantka przedstawiła aktualny stan sieci wodociągowych w Polsce oraz materiały z jakich wykonuje się poszczególne elementy, takie jak rury, pompy, zawory, zasuwki czy hydranty. Jednoznacznie wskazała na problemy związane z korozją i erozją materiałów, głównie żeliwa. Stwierdziła, że „w przypadku wadliwie działającego węzła, średnia wartość przecieku w skali roku wynosi $8,7 \text{ m}^3$, skutkuje to niekontrolowanym wpływem wody na poziomie 435000 m^3 rocznie”. Tak duże straty wody w pełni uzasadniają podjęty temat rozprawy.

W kolejnych rozdziałach mgr inż. Magdalena Jacek-Burek opisała trwałość eksploatacyjną armatury wodociągowej i wykazała jakie zjawiska materiałowe ją ograniczają, tzn. wskazała głównie zjawisko korozji i kawitacji. Swoje rozważania uzupełniała wynikami badań pierścienia uszczelniającego ze stopu CuZn39PB2, który uległ uszkodzeniu w wyniku procesu kawitacji. W tych rozważaniach brak jest jednak informacji, co autorka rozumie pisząc o trwałości eksploatacyjnej sieci wodociągowej oraz jakie są kryteria jej oceny i poziomy akceptacji? Podanie tych informacji pozwoliłoby na zorientowanie się z jakim problemem mamy do czynienia podczas eksploatacji sieci wodociągowej.

Następnie zostało opisane żeliwo sferoidalne o osnowie ferrytycznej, ze szczególnym uwzględnieniem struktury, w tym wydzieleniu grafitu. Na stronie 19, w pierwszym akapicie Autorka podaje informacje nt. ultradźwiękowego diagnozowania mikrostruktury odlewów z żeliwa sferoidalnego, niestety nie przedstawiła w jakim celu umieściła te dane. Podobne

uwagi można sformułować do całego podrozdziału dotyczącego krystalizacji grafitu w żeliwie sferoidalnym (str. 25).

Bardzo ciekawy jest rozdział 4 dotyczący napawania odlewów. W tym rozdziale Doktorantka szczegółowo przedstawiła strukturalne aspekty napawania żeliwa różnymi technologiami. Uzupełnieniem tej części były również metody badania możliwości napawania żeliwa: w tym próba implant i próba kołkowa. Brakuje mi w tym rozdziale części technologicznej związanej z parametrami technologicznymi, cyklem cieplnym itp. a także wpływem konstrukcji odlewu na możliwości napawania. Te informacje są szczególnie ważne ze względu na podjętą przez Doktorantkę tematykę związaną z napawaniem bieżni zaworu z żeliwa sferoidalnego. Jednak zebrane informacje oraz analiza stanu wiedzy wykonana w rozdziale 5, szczególnie w zakresie zmian struktury żeliwa sferoidalnego w pełni uzasadnia sformułowaną tezę pracy.

Badania własne rozpoczyna rozdział, w którym Doktorantka sformułowała cele naukowe oraz cel użyteczny rozprawy. Dla potwierdzenia tezy pracy i zrealizowania celów został zaproponowany w tym rozdziale plan badawczy. Analiza planu badań wskazuje, na dużą dojrzałość badawczą autorki i znajomość różnorodnych metodyk badawczych. Zakres badań jest logiczny i ukierunkowany na potwierdzenie tezy. Na podkreślenie zasługuje szeroka gama wykorzystanych technik badawczych, zarówno do charakterystyki materiałów podstawowych, jak i opisu właściwości wytworzonych napoin oraz oceny ich właściwości eksploatacyjnych.

Wykonanie testowych odlewów żeliwnych w zakładzie Jafar S.A. potwierdza również znajomość branży przemysłowej i procesów technologicznych przez Autorkę rozprawy. Są to obecnie bardzo cenne kompetencje niezbędne w dalszej pracy zawodowej i badawczej. Znajomość wymagań i możliwości technologicznych oraz wykorzystanie tej wiedzy w pracach badawczych zapewnia ich użyteczność a w przypadku tej rozprawy doktorskiej potwierdza również zasadność zdefiniowania użytecznego celu pracy.

Pewne zastrzeżenia budzi opis materiału wykorzystanego w badaniach. Brak jest precyzyjnej metodyki w jaki sposób oceniano np. skład chemiczny wykonanych odlewów testowych oraz atestów materiałowych dla zastosowanych proszków do napawania (podano skład chemiczny, bez informacji w jaki sposób go wyznaczano, str. 52, tabl. 3, podobnie ziarnistość i kształt cząstek, np. str. 54, rys.28, str. 55, rys. 29). W odniesieniu do technologii napawania brakuje instrukcji technologicznej napawania WPS a np. na str. 57 w tabl. 4, gdzie podano parametry napawania, ilość podawanego proszku przedstawiono w „,%”.

W rozdziale 6.2. bardzo szczegółowo opisano zastosowane metodyki badań. Należy podkreślić szeroką wiedzę nt. wykorzystanych procedur badawczych, zarówno badań

kalorymetrycznych, dylatometrycznych, metalograficznych oraz badań właściwości mechanicznych i właściwości eksploatacyjnych. Takie szerokie spojrzenie na proces napawania plazmowego i oddziaływanie cyklu cieplnego na zmiany struktury zarówno w napoinie jak również SWC stanowi całościowe podejście do oceny wpływu energii liniowej napawania na strukturę i właściwości całej napoiny.

Pewne zastanowienie wzbudziło sformułowanie „Określono kinetykę przemiany martenzytycznej z żeliwa sferoidalnego” (str. 63, drugi akapit od dołu). Stwierdzenie to wymaga wyjaśnienia.

Pomiary twardości pierścienia ze stopu CuZn39Pb2 oraz pomiary twardości napoin wykonano metodą Vicersa przy „obciążeniu 300 g) (str. 65). Tutaj też wymagane jest uzasadnienie dlaczego dobrano taką metodą i takie obciążenie.

Wszystkie wyniki badań i ich analiza zostały przedstawione w rozdziale od 6.3. W pierwszym podrozdziale pokazano wyniki dla pierścienia ze stopu CuZn39Pb2. Strukturę analizowano na podstawie badań na elektronowym mikroskopie skaningowym. Zastrzeżenie budzi określenie zakresu składu chemicznego pierścienia na podstawie literatury (str. 74, tabl. 6) oraz sformułowanie: „w powiązaniu z wynikami mikroanalizy rentgenowskiej wskazuje...” (str. 75 drugi akapit od dołu). Niestety wyników tych badań nie pokazano.

Kolejno przedstawiono wyniki badań testowych odlewów z żeliwa sferoidalnego. Badania prowadzono na mikroskopie świetlnym. Należy tu zwrócić uwagę, że na zdjęciach struktury powinien być zamieszczony znacznik, który umożliwia określenie powiększenia (rys. 49-51).

Bardzo ciekawie została przedstawiona struktura całej napoiny, poprzez złożenia kilku zdjęć z mikroskopu świetlnego (rys. 53, 55, 57). Wyniki te uzupełniono o zdjęcia struktury wykonane na elektronowym mikroskopie skaningowym (rys. 54,56,58), co daje całościowy obraz zmian struktury napoiny oraz zmian wywołanych cyklem cieplnym napawania w materiale podłoża. Uzyskane wyniki wraz z wynikami mikroanalizy składu chemicznego EDS pozwoliły doktorantce na opis struktury całej napoiny. Należy jednak pamiętać, że metodą EDS nie powinno się określać zawartości węgla ze względu na zjawisko kontaminacji i tym samym brakiem pewności co do wyniku (rys. 59, 60 , 61, itd.). W tabelach na rys. 59-61 Doktorantka podaje zidentyfikowane fazy np. Fe₃C, brak jest natomiast wyników badań na jakiej podstawie została wykonana ta identyfikacja fazy. Podobne uwagi należy sformułować w odniesieniu do dalszych rozdziałów (rozdz. 6.3.4, 6.3.5).

Następne podrozdziały przedstawiają wyniki badań właściwości cieplnych, w tym badania kinetyki przechłodzonego austenitu w warunkach izotermicznych oraz współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej materiału podłoża i napoiny. Wyniki zostały

przedstawione w formie wykresów i zdjęć struktury. Wykonana analiza wyników jest zdawkowa i wymaga w dalszych pracach rozwinięcia w celu potwierdzenia uzyskanych wartości.

Bardzo ważne są wyniki badań nanoindentacji (rozdz. 6.3.9), wyniki badania odporności na zarysowanie (rozdz. 6.3.10), wyniki badania odporności na korozję (rozdz. 6.3.11) i wyniki badania odporności na korozję w wodzie pitnej i wodzie przemysłowej (rozdz. 6.3.12). Wyniki tych badań są unikatową całością w zakresie oceny właściwości użytkowych wykonanych napoin. Doktoranta na podstawie wyników oraz badań metalograficznych i profilometrycznych opisała stan powierzchni po zarysowaniach, po korozji i kawitacji. Wyniki swoich obserwacji odniosła do materiału pierścienia ze stopu CuZn39Pb2. Efekty tych badań umożliwiły zaproponowanie nowych bieżni w zaworach o zwiększonej trwałości.

Analiza wyników bardzo ciekawych badań strukturalnych i ich opisu, wymaga jednak wyjaśnienia kilku kwestii, o których dyskutowałem z Doktorantką, np. czy na rys. 99b widoczne są ślady po kawitacji czy jest to nieciągłość materiału, która powstała na etapie odlewania lub napawania oraz np. co oznacza pojęcie „austenitu niklowego γ ”.

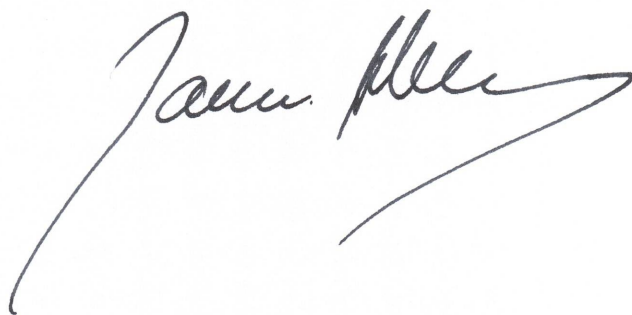
Zrealizowany program badań oraz uzyskane wyniki, które zostały podsumowane w poszczególnych rozdziałach, w pełni uzasadniają sformułowane wnioski. Należy podkreślić, że zastosowanie technologii napawania plazmowego bieżni zaworów z żeliwa sferoidalnego stosowanych w sieciach wodociągowych może kilkukrotnie zwiększyć ich trwałość, co ograniczy awarie i niekontrolowane wycieki wody.

5. Uwagi końcowe

Rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Jacek-Burek jest oryginalnym rozwiązaniem problemu technologicznego jakim było opracowanie technologii napawania bieżni zaworów z żeliwa sferoidalnego proszkami ze stali AISI 307 i AISI 316. Przedstawione w pracy wyniki badań materiałowych, zarówno charakterystyki materiałów podstawowych, jak i wytworzonych napoin oraz ocena ich właściwości użytkowych wskazują na ogólną wiedzę teoretyczną kandydatki w dyscyplinach inżynieria mechaniczna i inżynieria materiałowa oraz w obszarze zaawansowanych technologii materiałowych. Doktorantka wykazał się dobrą znajomością oraz umiejętnością praktycznego zastosowania różnorodnych narzędzi badawczych. Teza rozprawy została udowodniona, a cele zarówno o charakterze poznawczym, jak i utylitarnym zostały osiągnięte.

Stwierdzam zatem, że praca spełnia wymagania obowiązującego Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r w sprawie szczegółowego

trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora i wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Magdaleny Jacek-Burek do publicznej obrony rozprawy przed Radą Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Wydziału Politechniki Rzeszowskiej w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jacek Burek". The signature is stylized and cursive, with a long horizontal stroke extending to the right.