

Prof. dr hab. inż. Jacek Słania
 Sieć Badawcza ŁUKASIEWICZ
 – Górnośląski Instytut Technologiczny
 Centrum Spawalnictwa
 ul. K. Miarki 12/14
 44-100 Gliwice

Gliwice, 10 listopada 2025 r.

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Radosława Ciokana pt:

„Wpływ technologii spawania laserowego/hybrydowego na strukturę i właściwości złączy doczołowych rur kompozytowych stosowanych w przemyśle energetycznym”

wykonana na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny

Inżynieria Materiałowa

Politechniki Śląskiej

na podstawie uchwały z dnia 28 października 2025 r.

Wprowadzenie

Wysokie wymagania dotyczące właściwości eksploatacyjnych części i wyposażenia maszyn i elementów instalacji powodują konieczność stosowania do ich wytwarzania nowych materiałów konstrukcyjnych oraz nowoczesnych technologii. Jednymi z najnowocześniejszych i równocześnie najbardziej powszechnie stosowanymi w przemyśle technologiami są technologie spawalnicze. Technologie te są ważnym elementem wytwarzania części maszyn i elementów instalacji o specjalnych właściwościach użytkowych. Szczególnie jest to istotne w przypadku instalacji stosowanych w energetyce zawodowej, a zwłaszcza w przypadku elektrowni atomowych. Procesy spawalnicze są procesami specjalnymi, to jest takimi, których wyniku nie można ocenić w trakcie ich trwania, a niezgodności mogą się ujawnić dopiero po ich zakończeniu. Z tego względu zasadne i konieczne jest szczegółowe zbadanie tych procesów w celu ich wykorzystania do precyzyjnego kształtowania właściwości eksploatacyjnych elementów instalacji stosowanych w energetyce. Nie jest to jednak możliwe bez znajomości właściwości fizycznych i wynikających z nich właściwości eksploatacyjnych, w tym właściwości mechanicznych, rozkładu naprężeń spawalniczych oraz wpływu na nie warunków spawania, a zwłaszcza ciepła doprowadzonego do obszaru spawania. Zagadnienie wpływu warunków technologicznych spawania rur kompozytowych na właściwości złączy spawanych jest dotychczas zbadane w niewielkim stopniu.

Podjęcie przez mgr inż. Radosława Ciokana pracy doktorskiej o charakterze teoretyczno – doświadczalnym pt: **„Wpływ technologii spawania laserowego/hybrydowego na strukturę i właściwości złączy doczołowych rur kompozytowych stosowanych w przemyśle energetycznym”** należy uznać za wybór trafny ze względu na znaczenie tematyki w zakresie poznawczym, jak również możliwość praktycznego zastosowania wyników badań. Problematyka, którą Doktorant podjął jest mało zbadana, a przy tym bardzo istotna z

naukowego i użytkowego punktu widzenia. Dlatego uważam, że temat pracy jest uzasadniony, interesujący i aktualny.

Treść rozprawy

Praca doktorska pt: „**Wpływ technologii spawania laserowego/hybrydowego na strukturę i właściwości złączy doczołowych rur kompozytowych stosowanych w przemyśle energetycznym**” składa się z dwóch podstawowych części, to jest części literaturowej oraz części badawczej i zawiera 131 stron tekstu, 10 tabel, 53 rysunki oraz 119 pozycji bibliograficznych.

W części literaturowej Doktorant przedstawił zagadnienia dotyczące technologii spawania rur kompozytowych. W tej części szczegółowo omówił wytwarzanie rur kompozytowych, w tym odlewanie komponentów i obróbkę cieplną, łączenie komponentów i wyciskanie na gorąco, walcowanie na zimno oraz kontrolę i badania nieniszczące. Opisał strukturę fazową rur kompozytowych oraz ich zastosowanie w przemyśle. Omówił technologię spawania rur kompozytowych z wykorzystaniem tradycyjnych metod 111 i 141, w tym przygotowanie złączy do spawania, materiały dodatkowe oraz stosowane urządzenia. Przedstawił zagadnienia napawania hybrydowego (wiązka laserowa i proces MAG) oraz napawania laserowego. Szeroko opisał stanowisko spawalnicze wykorzystywane w spawaniu laserowym i napawaniu hybrydowym. Odnosił się do spawania laserowego rur kompozytowych, napawania hybrydowego laserowo – łukowego oraz zaawansowanych metod kontroli jakości połączeń spawanych. Przedstawił znaczenie i perspektywy rozwojowe zaprezentowanych procesów. Opisał inne metody nanoszenia powłok na rury stosowane w energetyce, w tym metalizację natryskową, napawanie łukiem krytym, elektrodą otuloną oraz MAG i TIG. Część teoretyczną Autor zakończył zwięzłym podsumowaniem, w którym dokonał krytycznej oceny obecnego stanu wiedzy w odniesieniu do procesów łączenia i napawania rur kompozytowych, struktury fazowej połączeń, odporności na pękanie i odporności korozyjnej. Na szczególne podkreślenie zasługuje trafny wybór zagadnień przedstawionych w części literaturowej, stosowny do tematu pracy zakres ich omówienia oraz wyczerpujący i przejrzysty sposób prezentacji.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literaturowego Autor sformułował tezę pracy, problem badawczy którego istota sprowadza się do uzyskania pełnego i poprawnego przetopu w złączach doczołowych rur kompozytowych, jednorodnej i wolnej od defektów mikrostruktury oraz właściwości mechanicznych spełniających wymagania sektora energetycznego. Przedstawił cel rozprawy, który ma charakter użytkowy i dotyczy opracowania innowacyjnej technologii spawania dwuwarstwowych rur kompozytowych z wykorzystaniem metod laserowych i hybrydowych (laser i spawania łukowe MAG) pozwalającej na uzyskanie złączy doczołowych spełniających określone normami wymagania jakościowe oraz eksploatacyjne. Doktorant sformułował również zbieżną z tezą hipotezę główną i hipotezy szczegółowe rozprawy.

Z przedstawionego celu wynikał plan i metodyka badań przedstawionych w drugiej, doświadczalnej części pracy.

W tej części pracy Doktorant przeprowadził badania, których celem była doświadczalna analiza wpływu warunków technologicznych procesu spawania laserowego oraz napawania hybrydowego na jakość połączenia spawanego, jego strukturę fazową, twardość, właściwości wytrzymałościowe oraz stan naprężeń własnych.

Uzyskane wyniki Autor przedstawił w postaci stabelaryzowanych wartości liczbowych i wykresów. Całość badań zakończył obszernym i wnikliwym podsumowaniem.

Na podstawie uzyskanych wyników Doktorant sformułował 6 wniosków o charakterze naukowym i 5 o charakterze utylitarnym dotyczących technologii spawania laserowego i napawania hybrydowego rur kompozytowych. Przedstawił znaczenie przeprowadzonych badań dla przemysłu oraz perspektywy dalszych badań.

Ocena rozprawy oraz uwagi ogólne

Wybór tematu rozprawy doktorskiej należy uznać za bardzo trafny i aktualny, mieszczący się we współczesnych tendencjach rozwojowych zastosowania badań procesów adtywnych. Doktorant przeprowadził obszerne badania doświadczalne mające na celu sprawdzenie związku między warunkami technologicznymi spawania laserowego i napawania hybrydowego rur kompozytowych a jakością i właściwościami złączy doczołowych.

Stanowi to znaczący, nowatorski wkład Doktoranta w rozwój badań nad wykorzystaniem spawania laserowego i napawania hybrydowego przy wykonywaniu połączeń z rur kompozytowych stosowanych w energetyce.

Na szczególne podkreślenie zasługuje:

- bardzo starannie, rzeczowo i wyczerpująco opracowana część teoretyczna pracy,
- zakres badań obejmujący właściwości mechaniczne, jakość uzyskanych połączeń, ich mikrostrukturę oraz stan naprężeń własnych,
- możliwość wykorzystania doświadczeń i szybkiego zaimplementowania uzyskanych wyników w praktyce przemysłowej.

W pierwszej części rozprawy Doktorant dokonał przeglądu stu dziewiętnastu pozycji literatury dotyczącej badanego zagadnienia, uwzględniając ważne publikacje ostatniej dekady. W tym zakresie Doktorant wykazał się dobrą znajomością zagadnienia i prawidłową oceną zjawisk związanych z wytwarzaniem przyrostowym metodami spawalniczymi.

Ogólna koncepcja badań doświadczalnych została sformułowana przez Autora poprawnie, a jej realizację oceniam pozytywnie. Eksperymentalna część rozprawy jest obszerna i zawiera szereg wartościowych wyników i informacji. Dotyczy to zwłaszcza praktycznego podejścia do zastosowania technologii spawania i napawania oraz szerokiej, szczegółowej i ciekawej analizy wyników wraz z ich podsumowaniem. Doktorant skutecznie zastosował istotne dla praktyki doświadczalne metody badań. W wyniku przeprowadzonych obszernej i różnorodnych badań uzyskał interesujące i wartościowe wyniki, które następnie poprawnie zinterpretował.

W podsumowaniu chciałbym podkreślić, że zaplanowany cel i zakres pracy zostały osiągnięte i dlatego całość rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Ciokana oceniam pozytywnie. Doceniam zwłaszcza trafnie przyjęty zakres metod badawczych oraz dużą liczbę przeprowadzonych badań. Forma prezentowania wyników, rzeczowy sposób ich analizy oraz przedstawione wnioski świadczą o dojrzałości badawczej Doktoranta. Sposób przygotowania rozprawy i jej szata graficzna nie budzą moich zastrzeżeń.

W trakcie szczegółowej analizy rozprawy nasunęło mi się jednak kilka uwag ogólnych dotyczących jej treści, warunków prowadzenia badań oraz zakresu eksperymentu.

1. Na stronie 5 Autor użył słowa „doskonalej” w odniesieniu do kontroli parametrów procesu. Proponuje nie używać takich sformułowań w tekstach technicznych. Równocześnie proszę o wyjaśnienie, co Doktorant przez to rozumie.
2. Na stronie 8 Autor użył stwierdzenia „optymalizacja własności mechanicznych”, nie podając jednak ze względu na jakie kryterium. Proszę o wyjaśnienie.
3. Na stronie 9 Doktorant użył stwierdzenia „Interakcja różnych materiałów w strefie połączenia wpływa na mechanikę procesu...”. Prawdopodobnie poprawnym stwierdzeniem byłby „przebieg procesu”. Proszę o wyjaśnienie co według Autora oznacza termin „mechanika procesu”.
4. Na stronie 25 Autor użył stwierdzenia „w pierwszych przebiegach spawalniczych”. Prawdopodobnie chodzi o warstwy spoiny. Proszę o wyjaśnienie.
5. Również na stronie 25 Autor użył stwierdzenia „drutu, czyli pręta” podczas, gdy drut spawalniczy jest materiałem dodatkowym do spawania dostarczonym w szpulach 15 lub 17 kg (w przypadku spawania zrobotyzowanego w zasobnikach 150 kg), natomiast pręt to materiał dodatkowy do spawania dostarczany w odcinkach. Proszę o wyjaśnienie.
6. Na stronie 25 Doktorant użył stwierdzenia „osadza w spoinie metal”. Proszę o wyjaśnienie.
7. Na stronach 39 do 48 Autor opisał inne metody nanoszenia powłok ochronnych na rury kompozytowe stosowane w energetyce. Nie wchodziły one jednak w zakres badań przez Niego prowadzonych. Ten rozdział pracy uważam więc za zbędny.
8. Na stronie 51 Doktorant użył stwierdzenia „wykończyć spoinę”. Proszę o wyjaśnienie.
9. Autor w pracy przedstawia wyniki badań nieniszczących. Proszę o podanie, jakie uprawnienia miały osoby, które je przeprowadzały.
10. Na stronie 61 Doktorant użył stwierdzenia „nie wykazały istotnych niezgodności”. Proszę o wyjaśnienie.
11. We wniosku 6 ze strony 117 Doktorant stwierdził brak ryzyka inicjacji pęknięć. Proszę o informację na jakiej podstawie oraz czy prowadzono technologiczne próby odporności na pękanie, a jeżeli tak, to jakie.

Najważniejsze uwagi szczegółowe

1. W spisie treści Autor podał punkt 2.3.1 Mikrostruktura rur kompozytowych. Przyjmuje się, że jednego podpunktu się nie wyszczególnia i sugeruję włączenie tego zagadnienia do punktu 2.3.
2. Podobnie w punkcie 16 Analiza wyników badań po próbach technologicznych spawania laserowego i napawania hybrydowego i podpunkcie 16.1 Synteza wyników analizy.
3. Na stronie 61 Doktorant użył stwierdzenia „dedykowane”. Dedykacja ma charakter uroczysty, podniosły, np. dedykowanie pracy doktorskiej, czy książki Żonie. Proponuje nie stosować tego słowa w tekstach technicznych.
4. Strona 73 – proponuję numerację cyfrową wniosków dla ich lepszej identyfikacji.
5. Na stronie 117 użyto terminu „spoina laserowa”. Proponuje termin „spoina wykonana laserem”.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Pomimo wymienionych uwag ogólnych i szczegółowych stwierdzam, że Autor osiągnął cel postawiony w pracy, dochodząc do wyników mających znaczenie nie tylko poznawcze, ale również szczególnie istotnych dla zastosowania wiedzy z zakresu technologii spawania laserowego/hybrydowego na strukturę i właściwości złączy doczołowych rur kompozytowych stosowanych w przemyśle energetycznym do praktyki przemysłowej. Całość recenzowanej rozprawy w pełni potwierdza wiedzę teoretyczną Doktoranta oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowo – badawczej.

Uważam, że opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Na tej podstawie składam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Radosława Ciokana do publicznej obrony rozprawy doktorskiej przed Radą Naukową Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej.

prof. Jacek Stania

/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)