

dr hab. inż. Dariusz Fydrych, prof. nadzw. PG
Katedra Inżynierii Materiałowej i Spajania
Wydział Mechaniczny
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Gdańsk, 18 marca 2019 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Michała Hudycza pt.: „Metalizowanie tarciove ceramiki AlN tytanem”

wykonanej pod opieką promotora Pana Prof. dr. hab. inż. Tomasza Chmielewskiego
oraz promotora pomocniczego Pana dr. hab. inż. Marcina Chmielewskiego
opracowana na zlecenie Rady Wydziału Inżynierii Produkcji
Politechniki Warszawskiej
z dnia 28 lutego 2019 r.

Wprowadzenie

Metale i ceramika, obok polimerów, stanowią 3 podstawowe grupy materiałów inżynierskich. Każda z tych grup charakteryzuje się swoistymi właściwościami, które są korzystne w określonych warunkach eksploatacyjnych. Niezwykle interesująca jest możliwość jednoczesnego wykorzystania atrakcyjnych cech metali i ceramiki poprzez wykonanie z nich złączy. W tym celu należy pokonać trudności, których przyczyną są diametralne różnice między łączonymi materiałami w zakresie budowy, wiązań atomowych, właściwości fizyko-chemicznych (np.: temperatury topnienia, twardości, współczynników przewodności i rozszerzalności cieplnej). Wymaga to doprowadzenia znacznej ilości energii aktywacji spajania, zazwyczaj w postaci ciepła. Doktorant w swojej oryginalnej pracy proponuje zastosowanie w tym celu rzadziej stosowanej, jednak bardziej precyzyjnej, metody bazującej na doprowadzeniu energii na sposób mechaniczny, gdy następuje zamiana energii tarcia w ciepło bezpośrednio w obszarze spajania.

Dobór tematyki rozprawy jest uzasadniony zastosowaniem azotku glinu (AlN) m.in. w przemyśle elektronicznym i obróbce skrawaniem, przy czym w tych przypadkach wymaga on łączenia z różnymi metalami, w tym z Ti. W świetle uzyskanych wyników wybór zestawu materiałów na podstawie przesłanek wynikających z powinowactwa Ti do składników azotku glinu świadczy o dużym wyczuciu i doświadczeniu badawczym Doktoranta.

Wobec powyższego podjęcie przez mgr. inż. Michała Hudycza tematu metalizowania tarciovego materiału ceramicznego tytanem uważam za w pełni uzasadnione. Poruszana w rozprawie tematyka jest, w moim przekonaniu, oryginalna, aktualna i istotna zarówno z poznawczego, jak i praktycznego punktu widzenia. Rozprawa stanowi kontynuację tradycyjnej dla Zakładu Inżynierii Spajania Politechniki Warszawskiej szkoły naukowej obejmującej badania spawalności materiałów zaawansowanych stworzonej przez Prof. Władysława Włosińskiego.

Charakterystyka i ocena formalna rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Michała Hudycza wydana jest w bardzo estetycznej formie, a jej kompozycja jest prawidłowa: składa się z Wprowadzenia i 9 rozdziałów przedstawionych na 121 stronach (101 stron tekstu właściwego), które obejmują dwurozdziałowy opis stanu zagadnienia w świetle literatury oraz badania własne (6 rozdziałów) oraz podsumowanie i wnioski (ostatni rozdział). W pracy znajdują się również: streszczenie, słowa kluczowe, spis treści, wykaz oznaczeń i skrótów, bibliografia oraz spisy tabel i rysunków. Rozprawa nie zawiera załączników.

We wprowadzeniu Doktorant zawarł informacje wstępne do dalej poruszanych zagadnień badań spajalności materiałów zaawansowanych oraz przedstawił cele ogólne i użyteczne oraz tezę pracy. Przedstawienie tezy rozprawy na początku pracy nie jest rozwiązaniem klasycznym. Jednak umożliwiło Autorowi przeprowadzenie przeglądu literaturowego, który jest wyjątkowo spójny merytorycznie z realizowanymi w dalszej części pracami badawczymi i analizami.

W rozdziale 1. Autor opisał standardowe metody metalizowania ceramiki skupiając się na metalizacji proszkowej, lutowaniu aktywnym i zgrzewaniu dyfuzyjnym. Drugi rozdział zawiera stan wiedzy dotyczący powstawania połączeń typu ceramika-metal, głównie w aspekcie zjawisk dyfuzyjnych. W moim przekonaniu, Doktorant w tej części pracy potwierdził swoją dobrą znajomość zagadnień związanych z realizowaną tematyką.

Kolejne rozdziały (3-8) stanowią raport z badań eksperymentalnych i analitycznych wraz z opisem ich wyników. W zakres tych prac wchodziły następujące zadania badawcze: dobór i przygotowanie materiałów do badań (rozdział 3), zaprojektowanie i wykonanie narzędzia do metalizowania tarcowego, przeprowadzenie procesu metalizowania tarcowego (rozdział 4), modelowanie MES zjawisk występujących podczas metalizowania (rozdział 5), badania właściwości uzyskanych powłok (rozdział 6), wykonanie i badania złączy lutowanych z wykorzystaniem elementów z badanymi powłokami (rozdział 7) oraz modelowanie MES naprężeń własnych w złączach lutowanych (rozdział 8). W ostatnim, dziewiątym, rozdziale Pan mgr inż. Michał Hudycz przedstawił podsumowanie i wnioski z przeprowadzonych prac badawczych.

Bibliografia obejmuje 129 pozycji literaturowych, w tym 7 artykułów naukowych, w których Doktorant jest współautorem. Przytaczane źródła są różnorodne i uzasadnione, spis obejmuje podręczniki oraz aktualne artykuły z czasopism naukowych i materiałów konferencyjnych z całego świata. Wszystkie źródła zostały zacytowane w treści pracy.

Podczas oceny formalnej pracy nasunęły mi się następujące uwagi edycyjne:

- W wykazie oznaczeń i skrótów brakuje jednostek. Ich podanie zwiększyłoby czytelność spisu. Ponadto wielkości Q_m i q są podane niezgodnie z przyjętą kolejnością alfabetyczną.
- Rys. 2.1: brak opisu symboli ω_{A-B} , ω_A oraz ω_B .
- Rys 2.3: literówka w opisie osi odciętych: „liczna” powinno być: „liczba”.
- Rys. 2.9 i 2.10: brakuje opisu obu osi.
- Strona 32 i 34: powtórzenie informacji dotyczących gradientu potencjału chemicznego.

- Strona 59: na rys 5.2 nie podano natężenia strumienia cieplnego S^K , o którym jest mowa w tekście poniżej (wzór 5.3.).
- Rys 6.3: Brakuje skali.
- Rys. 6.10: Wykres z rozkładem pierwiastków jest mało czytelny.
- Rozdział 6: Opisy osi wykresów pokazanych na niektórych rysunkach (np. rys. 6.28-6.34) należało przetłumaczyć z języka angielskiego na polski.
- Rys. 7.1 i 7.2 są odwrotnie opisane w tekście.
- Wskazane byłoby podanie źródeł przy wzorach w rozdziale 3, tablicy 1-1, rys. 2.4-2.8 i 4.1.
- Rys. 4.5: nie zaznaczono na fotografii elementów wyróżnionych w podpisie.
- Rys. 4.7: nie opisano wszystkich elementów oznaczonych na rysunku.
- Rys. 4.12 i 4.13: brakuje opisu a) i b) na fotografiach.

Poza tym stwierdziłem występowanie drobnych błędów interpunkcyjnych: (brak kropek, niewłaściwie stosowanie przecinków i nawiasów) oraz nielicznych sformułowań nietechnicznych: „zerowa wzajemna rozpuszczalność” (powinno być: „brak wzajemnej rozpuszczalności”), „znikoma dyfuzyjność metali w ceramike” (powinno być: „niskie współczynniki dyfuzji”).

Praca napisana jest językiem przystępnym i (poza wymienionymi wyjątkami) z zastosowaniem prawidłowej terminologii technicznej.

Ocena merytoryczna rozprawy

Na podstawie merytorycznej analizy zakresu i treści pracy jednoznacznie stwierdzam, że wpisuje się ona w dyscyplinę naukową: Budowa i Eksploatacja Maszyn. Pracę uważam za ciekawą i wartościową pod względem naukowym i praktycznym. Doktorant prawidłowo zrealizował zadanie badawcze: zaplanował i przeprowadził obszerne i komplementarne badania eksperymentalne zmierzające do zweryfikowania możliwości zastosowania metalizowania ceramiki AlN tytanem, a w dalszej kolejności opracowania podstaw technologii wykonywania złączy lutowanych próżniowo. Autor właściwie zinterpretował uzyskane wyniki i sformułował prawidłowe wnioski. Za najważniejsze osiągnięcie Doktoranta uważam przedstawienie i opis bezpośredniego dowodu na formowanie się na granicy ceramika-metal związku TiN, co świadczy o tym, że podczas stosowania metalizowania tarcowego wydzielą się ilość ciepła wystarczająca do aktywacji procesu spajania. Do tej pory mechanizm ten był potwierdzany jedynie pośrednio.

W zakresie oceny merytorycznej stwierdziłem następujące uchybienia:

- Wprawdzie charakterystyka ceramiki jest kompletna, jednak brakuje bardziej szczegółowego opisu innych dobranych do badań materiałów (Ti, Ni, FeNi42).
- Nie podano wszystkich zmiennych zasadniczych procesu lutowania: wartości próżni wstępnej, szerokości szczeliny lutowniczej i temperatury lutowania. Nie opisano preparatyki próbek metalograficznych złączy lutowanych.

Podsumowując, pod względem formalnym i merytorycznym rozprawę oceniam jednoznacznie pozytywnie, pomimo przedstawionych uwag. Doktorant udowodnił, że jest bardzo dobrze przygotowany metodologicznie do prowadzenia badań naukowych. Wszystkie powyższe uwagi formalne i merytoryczne omówiłem bezpośrednio z Autorem rozprawy.

Uwagi

Poniżej wyszczególniam pytania, które nasunęły mi się podczas lektury pracy. Bardzo proszę o odpowiedzi i komentarze do wymienionych zagadnień.

1. Strona 71: Doktorant stwierdził: „Nierównomierny rozkład osiowych naprężeń ściskających w okolicach powierzchni kontaktu i powiększający się z czasem tarcia jest spowodowany znaczną deformacją materiału tytanowej próbki i może mieć negatywny wpływ na jakość połączenia w tych obszarach”. Czy, zdaniem Doktoranta, można podjąć próbę ilościowej oceny deformacji tytanowej próbki?
2. Strona 75: Czy były przeprowadzane badania zachowania się lutownia (np. wg normy PN-M-69791:1989 Lutowanie -- Metoda badania wpływania lutu w szczelinę pionową próbki płaskiej) w warunkach przeprowadzonego eksperymentu?
3. Strona 103: Jakie elementy skończone zastosowano dla modelu złącza lutowanego?
4. Stron 107: Autor stwierdził: „Złącze spajane bezpośrednio lutem aktywnym wykazuje dwukrotnie niższe wartości naprężeń promieniowych (396 MPa) w tym obszarze”. Co może być tego przyczyną?
5. Strona 109: Autor zasugerował: „Wyniki symulacji dla modelu nr 3 pokazują, że jeśli udałoby się znacząco zredukować wielkość naprężeń własnych po procesie metalizacji tarciowej w warstwie tytanowej, to tak przygotowana do lutowania powierzchnia ceramiki umożliwiłaby uzyskanie korzystnego rozkładu naprężeń własnych w całym złączu, w którym warstwa tytanu pełniłaby funkcję zarówno warstwy metalizacyjnej jak i warstwy kompensacyjnej (przejściowej) dla wysokiego poziomu naprężeń własnych.” Czy można zaproponować metodę/metody redukcji wartości tych naprężeń?

W moim głębokim przekonaniu, wyszczególnione usterki nie umniejszają wysokiej oceny, na którą zasługuje rozprawa autorstwa Pana mgr. inż. Michała Hudycza. Wyrażam nadzieję, że uwagi będą stanowiły bodziec do dyskusji i okażą się pomocne w dalszych badaniach Doktoranta.

Wniosek końcowy

Pan mgr inż. Michał Hudycz przedstawił w swojej oryginalnej rozprawie uzupełniające się wzajemnie wyniki badań i analiz uzyskane nowoczesnymi metodami określając budowę i właściwości powłoki tytanowej wytworzonej metodą tarciową na podłożu ceramicznym (AlN). Za szczególnie ważne z praktycznego punktu widzenia uważam wyniki świadczące o wyższej przyczepności powłoki od wytrzymałości na rozciąganie ceramiki. Przydatność technologiczną i użytkową badanej metody nakładania powłok zweryfikował wykonując złącza lutowane. Najważniejszym walorem poznawczym pracy jest potwierdzenie przyjętej tezy poprzez wyniki badań TEM, podczas których wykazano obecność TiN będącego skutkiem reakcji między materiałem dodatkowym (Ti) a materiałem podłoża (AlN).

Przedstawiona do recenzji praca stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe Autora, który wykazał się samodzielnością w planowaniu, realizacji badań i interpretacji ich wyników.

Opiniowana praca doktorska pod tytułem „Metalizowanie tarciove ceramiki AlN tytanem” spełnia w pełni wymagania określone w Ustawie o Stopniach i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule Naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 z dnia 16 kwietnia 2003 roku poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnioskuję do Rady Wydziału Inżynierii Produkcji

Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Michała Hudycza do publicznej obrony w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn.

Jednocześnie podkreślając bardzo wysoki poziom zaprezentowanej rozprawy, szeroki zakres prac badawczych, symulacyjnych i analitycznych zrealizowanych z wykorzystaniem nowoczesnych metod badawczych i przedstawienie perspektywicznych wyników wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Michała Hudycza.

Sporządził:

Danuta Fydrych