

Prof. dr hab. inż. Leszek Klimek
Politechnika Łódzka
Instytut Inżynierii Materiałowej

Łódź dn. 29. 03. 2025

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Jani pt.: „Materiały i Technologie
we wdrożeniu detekcji luzu w łącznikach implantów stomatologicznych”**

**wykonana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria
Materiałowa Politechniki Śląskiej**

Podstawa prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce” (z późn. zm.)

Opinia dotycząca przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera trzy elementy:

- 1) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria materiałowa;
- 2) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta ubiegającego się o nadanie stopnia doktora;
- 3) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Przedstawiona do recenzji praca jest pracą wdrożeniową i częściowo utajnioną, w związku z powyższym, zgodnie z zarządzeniem 206/2021 z dn. 15. 11. 2021 r. Rektora Politechniki Śląskiej recenzja będzie składała się z dwóch części, części dotyczącej informacji jawnych oraz części dotyczącej informacji niejawnych.

1. Charakterystyka ogólna pracy

Z problemem odtwarzania utraconych lub w jakikolwiek sposób zniszczonych elementów organizmu ludzkość borykała się już od najdawniejszych czasów. W dużej mierze problem ten dotyczy ubytków w narządzie żucia. Bardzo często braki uzębienia są przyczyną zaburzeń czynnościowych narządu żucia. Przywrócenie utraconej funkcji żucia poprzez odbudowę braków zębowych, a także przywrócenie prawidłowego funkcjonowania całego aparatu stomatognatycznego zajmuje się protetyka stomatologiczna. Uzupełnienia protetyczne

Biurowo Dziekana

wpłynęło dnia 1.04.2025
RD JM 921 512 2025
nr zał.

w jamie ustnej mogą być mocowane na stałych zębach pacjenta albo na wszczepianych w kości żuchwy lub szczęki implantach. Jednak implantacja, z wielu powodów, nie zawsze kończy się powodzeniem. Najczęściej wszczepiane implanty składają się z kilku połączonych ze sobą elementów. Narażone one są podczas użytkowania na obciążenia mechaniczne, będące efektem sił zgryzowych, środowisko korozyjne jamy ustnej. Czynniki te mogą powodować do powstawania luzów pomiędzy implantem a łącznikiem. Luz ten może się pojawić już na etapie montowania uzupełnienia. Konsekwencją tego może być powstawanie mikroprzecieków sprzyjających kolonizacji mikroorganizmów, zaniku kości w okolicach implantu złamania implantu, co w konsekwencji prowadzi do jego utraty. Wg danych literaturowych luzy w połączeniu łączników z implantami mogą stanowić przyczynę kilkunastu procent niepowodzeń w leczeniu implantologicznym. Należy zaznaczyć, że są to luzy trudne do wykrycia podczas zabiegu implantacji, ponieważ mogą być na poziomie kilkudziesięciu mikrometrów.

Jako cel pracy doktorant postawił sobie opracowanie elementu, dostępnego w warunkach laboratorium protetycznego i technologii przemysłowej, służącego do detekcji luzów w łącznikach implantów stomatologicznych.

Problematykę recenzowanej pracy należy więc uznać jako trafną zarówno ze względu na możliwości praktycznego zastosowania.

2. Ocena części literaturowej pracy

Część literaturowa została zawarta w pierwszym rozdziale pracy, podzielonym na trzy podrozdziały. W pierwszym podrozdziale (1.1) Autor omówił rodzaje implantów oraz ich konstrukcje. Zwrócił szczególną uwagę na dopasowanie łącznika do części wszczepianej implantu. W dalszej części znalazły się rozważania dotyczące rodzajów zużycia mogących wpływać na pogorszenie dopasowania. Podsumowaniem tego jest przedstawienie konsekwencji złego dopasowania. Podrozdział kończy się omówieniem możliwości diagnozowania, w gabinetach stomatologicznych, obłuzowania łączników implantologicznych. W podsumowaniu tej części stwierdza, że naw zasadzie brak jest w pełni zadowalającej metody diagnozowania luzu. **To stwierdzenie wskazuje na celowość badań, których podjął się Doktorant.**

Kolejne dwa podrozdziały (1.2 i 1.3) obejmują omówienie materiałów stosowanych na implanty stomatologiczne, ze szczególnym uwzględnieniem stopów tytanu, które były przedmiotem przedstawionych w pracy badań.

Analizując tę część pracy mam jednak kilka uwag. Moim zdaniem jej pewne fragmenty są niespójne. Omawiając np. sposoby łączenia w pewnym momencie pojawia się fragment

o biofilmie, jego tworzeniu i znaczeniu, a potem znów o sposobach łączenia. Zgadzam się, że zagadnienie wpływu biofilmu jest bardzo istotne, ale wydaje mi się, że należało mu poświęcić osobny fragment i połączyć to ze zużyciem i jego konsekwencjami. Kolejna uwaga dotyczy właściwości biomateriałów zamieszczonych w Tabeli 2 (str. 37). Kolumna druga, topografia powierzchni oraz chropowatość nie są właściwościami biomateriału. Wynikają one ze stosowanej obróbki. Ten sam materiał po różnych obróbkach może mieć różną chropowatość. Podobnie zamieszczone w kolumnie trzeciej tej tabeli, potwierdzenie jakości biomateriału i potwierdzenie jakości implantu nie są właściwościami technologicznymi. Podejrzewam, że Doktorant zastosował tu jakiś skrót myślowy. Moim zdaniem, w niektórych fragmentach, niepotrzebnie zamieszcza informacje nie mające związku z tematyką pracy. Np. zastosowanie badań rentgenowskich w chirurgii do oceny złamań czy ocena jakości wypełnienia ubytków w stomatologii zachowawczej. Tak samo opisy i informacje o implantach podkostnych, czy omawiając materiały na implanty, podawanie przykładów koron, łączników teleskopowe. Ostatnia uwaga dotyczy zagadnień nomenklaturowych, które pozwolę sobie tutaj wymienić. Str. 8 „szpara”, chyba właściwsze jest szczelina, które później jest stosowane. Str. 18 „siły zgryzowe większe od granicy plastyczności”, nie można porównywać siły z wytrzymałością. Str. 33 „implant cyrkonowy” chyba z tlenku cyrkonu (ew. cyrkoniowy), w dalszej części używane jest już sformułowanie „z tlenku cyrkonu”. Str. 38 korozja krystaliczna, chyba międzykrystaliczna. Str. 50 i dalsze, oznaczenie μHV nie jest zgodne z normą podaje się HV i obciążenie. Wprawdzie nie są to jakieś kardynalne błędy i w ustach lekarza stomatologa, czy technika dentystycznego byłyby może do zaakceptowania, natomiast inżynier powinien zwracać uwagę na poprawność nomenklatury dotyczącej zagadnień, którymi się zajmuje.

Oceniając tę część pracy stwierdzam, że mimo przedstawionych wyżej kilku uwag, tak przedstawiona część literaturowa świadczy o posiadaniu przez Doktoranta wystarczających podstaw teoretycznych do realizacji podjętego tematu.

Z uwagi na utajnienie części pracy dalsza jej ocena będzie podzielona na ocenę części niejawnej i ocenę części jawnej.

3. Ocena części merytorycznej

Ocena części jawnej

Część jawna pracy skupia się na dwóch zagadnieniach. Pierwsze dotyczące „oceny poprawności działania układu implantu i zespołu łącznika w symulowanych warunkach spadku naciągu śruby łącznika”⁵. W ramach tych badań zostało wyznaczone przemieszczenie łącznika, ocena zmiany średnicy zewnętrznej implantu oraz kąta skręcenia własnego śruby. Jak rozumiem wyznaczenie przemieszczenia śruby miało za zadanie sprawdzenie, czy w badanych

systemach implantologicznych jest miejsce na spawanie znacznika. Zastanawiam się, czy do tego potrzebne były aż badania z wykorzystaniem tomografu komputerowego. Może wystarczyło dokonać pomiarów gotowych elementów ewentualnie na przekroju układu, który już został wykonany, czy wręcz z wymiarów na rysunku technicznym. Rozumiem, że podczas wkręcania następują pewne odkształcenia sprężyste i plastyczne, które zmieniają ten wymiar w stosunku do wymiaru nominalnego, ale są one na tyle niewielkie, że można je pominąć, mając dodatkowo na uwadze zmiany wymiarów podczas spawania znacznika. Nie do końca rozumiem, po co były prowadzone badania zmiany średnicy implantu. W ocenianej pracy brakuje mi szerszej dyskusji otrzymanych w tej części wyników. Doktorant ograniczył się tylko do podania wyników bez konsekwencji jakie one niosą.

Drugim zagadnieniem w tej części pracy było opracowanie sposobu połączenia łącznika ze złota ze śrubą implantu wykonaną ze stopu Al4Ti4V. Doktorant zaproponował połączenie metodą spawania. Rozwagał dwie technologie, spawanie laserowe, jak zaznaczył doktorant dostępne w gabinetach protetycznych i spawanie wiązką elektronów, jako spawanie możliwe na etapie produkcji implantów. Do tych badań wykorzystano materiały śruby implantów ze stopu Ti6Al4V do których został dospawany przeciągany drut ze złota 99,999% Au. Swoją drogą ciekawi mnie, jaka była wyjściowa grubość drutu, skoro do otrzymania średnicy w granicach 0,2 – 0,4 mm potrzeba było aż 100 przejść. W tej części pracy Doktorant skupił się na określeniu przydatności spawania laserowego i wiązką elektronów do połączenia znacznika ze śrubą implantu oraz określeniu szeroko pojętej metalografii uzyskanych złącz spawanych oraz ich wybranych właściwości istotnych z punktu potencjalnego zastosowania.

Zarówno dla spawania laserowego, jak i wiązką elektronów Autor wykonał po kilka prób przy różnych parametrach, co pozwoliło na wybranie optymalnych parametrów zarówno dla obu technologii. Podstawa wyboru tych parametrów była ocena wizualna spoin. W efekcie tej oceny do dalszych badań wybrano trzy spoiny – jedną po spawaniu laserowym i dwie, różniące się czasem, po spawaniu wiązką elektronów. W omówieniu tej części przygotowania próbek, Doktorant zwrócił uwagę na trudności pojawiające się szczególnie przy spawaniu laserowym. Stwierdził m.in., że „gdyby zastosowana została mechaniczna stabilizacja elementów mogłoby to wpłynąć na wyrównanie powstającej spoiny ...”⁶. Nasuwa się pytanie, dlaczego w tym przypadku nie postąpił tak, jak przy spawaniu wiązką elektronów – nacinając rowek i umieszczając w nim drut złoty. W przypadku podanego na rys. 36 wzoru odchylenia przydałoby się podać wymiary w poszczególnych osiach. Wyjaśnienia wymaga także

^{4,5} Oryginalne cytaty z rozprawy

informacja „odchylenie w osi x (poziomej) wynosiło 12%, a w osi y 5%”^{6,7} - nasuwa się pytanie czego dotyczyły te procenty (podejrzewam, że dotyczy to wymiarów x i y wzoru podanego na tym rysunku..

W dalszej części zaprezentowane zostały badania wykonanych spoin. Należy tutaj podkreślić, że były one bardzo szerokie. Obejmowały one obserwacje w elektronowym mikroskopie skaningowym i transmisyjnym., połączone z badaniami składu chemicznego w mikroobszarach metodą EDS oraz identyfikacją faz występujących w obszarach spoin. W tych przypadkach wykorzystano dyfrakcję elektronów wstecznie rozproszonych i elektronów przechodzących. Badania metalograficzne uzupełniono o pomiary twardości w poszczególnych obszarach. Tak szerokie badania pozwoliły na pełną charakterystykę uzyskanych spoin.

Kolejnym, bardzo istotnym, badaniem było określenie odporności korozyjnej złączy poprzez badania potencjodynamiczne oraz obserwacje mikroskopowe zniszczeń korozyjnych. Otrzymane wyniki wskazywały, że w przypadku obu technologii spawania nie nastąpiło pogorszenie odporności korozyjnej złączy w stosunku do próbki kontrolnej ze stopu Ti6Al4V.

Zagadnienia polemiczne i uwagi

Podczas analizy tej części pracy nasuwa się kilka uwag. W części dotyczącej oceny poprawności działania układu Autor chyba przesadził z dokładnością wyników, wymiary liniowy i kątowy podane do sześciu miejsc po przecinku, co w przypadku wymiaru liniowego stanowi 1nm. W drugiej części dotyczą one głównie części edycyjnej pracy. Opisy na wynikach otrzymanych metodą EDS mogłyby być większe. Dużo do życzenia pozostawiają obrazy mikroskopowe na których zaznaczone są obszary analiz. Prezentowane na nich opisy i zaznaczenia badanych obszarów były słabo widoczne, a w niektórych przypadkach wręcz niewidoczne. Uważam, że zamieszczone na rys. 62 mapy rozkładu faz lepiej było przedstawić na jednym zdjęciu rezygnując z pokazania ich orientacji krystalograficznej, a zaznaczyć tylko dwoma kolorami poszczególne fazy występujące w badanym obszarze. Ponadto w całej części pracy pojawiają się sformułowania, które są niezręczne, a nieraz wręcz błędne. Kilka z nich, z obowiązku ciążącego na recenzencie zostanie wymienionych: str. 33 implant cyrkonowy, str. 38 – korozja krystaliczna, str. 128 – kondycja spoiny.

Jak wcześniej zaznaczono przytoczone uwagi dotyczą w większości części edycyjnej pracy i nie obniżają jej wartości. Należy je raczej traktować jako wskazówki na przyszłość, szczególnie w kontekście publikowania wyników pracy w czasopismach naukowych

^{6,7} Oryginalne cytaty z rozprawy

4. Ocena końcowa

Doktorant zrealizował w sposób wystarczający postawione sobie cele, a tym samym zrealizował zakres merytoryczny pracy, której tematyka jest istotna zarówno w aspekcie poznawczym, jak i przyszłościowo klinicznym. Wykazał się przy tym odpowiednią wiedzą teoretyczną w zakresie dyscypliny Inżynieria Materiałowa, a zastosowane metody badawcze wskazują na Jego umiejętność w samodzielnym prowadzeniu eksperymentów oraz opracowania i analizy wyników, a także wyciągania wniosków. Należy mieć nadzieję, że opracowane w ramach doktoratu rozwiązanie doprowadzi do zastosowania w pracowniach techniki protetycznej, a może także do wdrożenia produkcyjnego. Przedstawione w pracy rozwiązania są oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego wnoszącym wkład w dyscyplinę Inżynieria Materiałowa w zakresie materiałów biomedycznych.

Wniosek końcowy

Na podstawie powyższej opinii o rozprawie doktorskiej mgr inż. Grzegorza Jani pt.: „Materiały i technologie we wdrożeniu detekcji luzu w łącznikach implantów stomatologicznych” stwierdzam, że wykazał się on wiedzą umożliwiającą prowadzenie samodzielnych badań naukowych, a oceniana praca jest samodzielnym i oryginalnym rozwiązaniem problemu badawczego. Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska spełnia warunki stawiane przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.), (Dz. U. 2018 poz. 1668). Przedkładam, więc, Wysokiej Radzie Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej wniosek o dopuszczenie mgr inż. Grzegorza Janię do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Prof. L. Klimek

/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)