



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

Prof. dr hab. inż. Piotr Bała

Kraków, dn. 11.11.2024

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgra inż. Jerzego Dybicha**

pt. **„Badanie sekwencyjnych odkształceń plastycznych celem uzyskania optymalnych własności mechanicznych, przy jednoczesnym zachowaniu zapasu plastyczności oraz wdrożenie do produkcji gwoździ ortopedycznych przeznaczonych do osteosyntezy śródszpikowej kości w okresie wzrostowym”**

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego prof. Grzegorza Dercza, w związku z uchwałą Rady Naukowej Instytutu z dnia 15 października 2024 roku (pismo z dnia 21 października 2024 roku)

1. **Ogólna charakterystyka pracy**

Praca doktorska Pana mgra inż. Jerzego Dybicha, napisana pod kierownictwem Dra hab. inż. Tomasza Goryczki, prof. UŚ oraz Dra Renato Bosio (promotor pomocniczy) została zrealizowana w ramach programu doktorat wdrożeniowy. Dotyczy opracowania i wdrożenia do produkcji gwoździ ortopedycznych przeznaczonych do osteosyntezy śródszpikowej kości

pacjentów w okresie wzrostowym. Praca składa się z przeglądu stanu wiedzy i części badań własnych. Wprowadzenie do pracy oparte jest w głównej mierze o obowiązujące normy dotyczące implantów oraz zawiera niezbędne informacje wprowadzające do złożoności tematu materiałów stosowanych na gwoździe śródszpikowe. Wstęp napisany jest poprawnie i ma jednoznaczny technologiczny przekaz. Świadczy to o bardzo dobrej orientacji Doktoranta w temacie wytwarzania implantów. Po wstępie Autor przedstawił tezę oraz cele (naukowy i biznesowy) pracy, szczegółowy opis metodyki, wyniki badań wraz z ich dyskusją oraz wnioski. Następnie Autor zamieścił spis literatury. Ze względu na specyfikę tematu oraz wdrożeniowy charakter pracy w spisie literatury znajdują się głównie odniesienia do norm i podręczników akademickim oraz nieliczne publikacje naukowe. Na końcu rozprawy zamieszczone są spisy rysunków oraz tabel, a po nich załączniki. Praca napisana jest na ogół poprawnym językiem technicznym z dobrze opracowanymi rysunkami oraz odpowiednią jakością badań. Ustawodawca nie zdefiniował jednoznacznie formatu tego typu prac doktorskich – doktoratów wdrożeniowych, oceniając jednak cały układ pracy uważam, że jest on właściwy i odpowiada wdrożeniowemu charakterowi pracy doktorskiej.

2. Ocena doboru tematyki i zakresu pracy

Tematyka życia i zdrowia ludzkiego jest aktualna ponadczasowo. „Choć zdrowie nie jest na pewno wszystkim, to bez zdrowia wszystko jest niczym” powiedział kiedyś Arthur Schopenhauer. Rosnące tempo życia, wypadki oraz wydłużający się czas życia ludzkiego wymusza na współczesnej medycynie ciągły postęp, którego efektem jest lawinowo rosnąca liczba implantacji, zarówno implantami krótko jak i długoterminowymi. Podstawą jest jak najszybsze przewrócenie sprawności pacjenta jak również podniesienie komfortu życia. I jak pisał kiedyś Jan Kochanowski „Szlachetne zdrowie, nikt się nie dowie, jako smakujesz, aż się zepsujesz”. Stąd nieustannie prowadzone są dalsze prace, których celem są między innymi różne rozwiązania materiałowe, które powinny przyczynić się do zmniejszenia liczby odrzutów poimplantacyjnych, skrócenia czasu osteointegracji, czy też jak w przypadku implantów bioresorbowalnych zmniejszenie stopnia ingerencji w organizm ludzki poprzez brak konieczności reoperacji lub usunięcia implantu. Do grupy znanych i stosowanych powszechnie na implanty biomateriałów metalicznych zalicza się Ti i jego stopy, stal austenityczną 316LVM, stopy Co oraz bioresorbowalne stopy Mg, Fe i Zn. W opiniowanej pracy zdefiniowano problem braku odpowiedniej stali o właściwościach mechanicznych dostosowanych do

wymagań stawianych implantom dedykowanym pacjentom będącym w fazie wzrostu. Uważam, że problematyka naukowa podjęta w opiniowanej rozprawie doktorskiej Pana Jerzego Dybicha jest aktualna, a patrząc z punktu widzenia technologii wytwarzania gwoździ śródszpikowych istotna. W oparciu o studia literaturowe i wyniki własnych badań doświadczalnych sformułowano tezę pracy: „Zmiana składu chemicznego stali 316L polegająca na podwyższeniu zawartości molibdenu i jednoczesnym obniżeniu miedzi oraz zastosowaniu przeróbki plastycznej prowadzonej na zimno, w postaci gniotów jednostkowych nie większych niż 40%, umożliwi wytworzenie drutu charakteryzującego się podwyższoną plastycznością przeznaczonego na nieblokowane gwoździe śródszpikowe dedykowane pacjentom będącym w fazie wzrostu” i postawiono główny cel, jakim było opisanie zależności pomiędzy parametrami procesowymi wytwarzania i przetwarzania stali na implanty, rozwojem jej mikrostruktury oraz możliwością sterowania właściwościami fizykochemicznymi i mechanicznymi w procesie przeróbki plastycznej na zimno drutów i prętów przeznaczonych do zastosowań medycznych, oraz cel biznesowy „Opracowanie technologii wytwarzania ortopedycznych gwoździ śródszpikowych nieblokowanych klasy II b oraz wdrożenie ich do produkcji w BHH Mikrohuta Sp. z o. o. oraz BHH Mikromed Sp. z o. o. oraz wprowadzenie ich do sprzedaży na rynku krajowym oraz zagranicznym”. Teza pracy jest rozbudowana, niemniej jednak prawidłowa z dobrze postawionymi najistotniejszymi akcentami naukowymi opracowywanego tematu.

3. Ocena merytoryczna pracy

Oceniając pracę od strony merytorycznej warto podkreślić, że zaplanowane eksperymenty oraz interpretacja wyników wykonane są starannie i jako całość stanowią dobre opracowanie technologiczne wytwarzania gwoździ śródszpikowych. Doktorant współpracuje od wielu lat ze środowiskiem medycznym w zakresie materiałów inżynierskich stosowanych na implanty oraz produkcji implantów, głównie stalowych, ale nie tylko. Na bazie wieloletnich doświadczeń zdefiniował problem braku kompleksowego podejścia do wytwarzania implantów stalowych o właściwościach mechanicznych dostosowanych do wymagań stawianym implantom dedykowanym pacjentom będącym w fazie wzrostu. Głównym celem prowadzonych prac było opracowanie zawężenia składu chemicznego stali odpornej na korozję austenitycznej przeznaczonej na implanty, technologii jej wytopu oraz w szczególności technologii jej przeróbki plastycznej wychodzącym naprzeciw wymaganiom zwiększonego zakresu

odkształceń plastycznych oraz wytworzenie ortopedycznych gwoździ śródszpikowych nieblokowanych służących do spajania odłamów kostnych. Efektem tej pracy jest odpowiednio zawężony skład chemiczny, wykonany w skali przemysłowej wytop, z którego następnie wyprodukowano walcówkę o parametrach zgodnych z odpowiednimi normami medycznymi. Zaprojektowane zostały oraz realizowane etapy przeróbki plastycznej prowadzącej od walcowania na gorąco walcówki, poprzez przeróbkę plastyczną na zimno drutów i prętów do wytwarzania gwoździ śródszpikowych. Określono zależności pomiędzy parametrami procesów wytwarzania i przetwarzania stali z właściwościami fizykochemicznymi oraz mechanicznymi finalnego wyrobu. Uzyskane wyniki stały się podstawą do opracowania technologii wytworzenia w skali przemysłowej pilotażowej partii drutów, prętów oraz gwoździ śródszpikowych nieblokowanych. Nowe gwoździe spełniają wymagania norm w zakresie parametrów wytrzymałościowych zachowując jednocześnie wysoki zapas plastyczności, charakteryzują się brakiem cytotoksyczności oraz nie wykazują cech charakterystycznych dla faz magnetycznych. Co warto podkreślić opracowane nowe gwoździe ortopedyczne zostały wdrożone do produkcji w Grupie Valbruna przy współpracy z BHH Mikromed oraz BHH Mikrohuta. Efektem zrealizowanych badań jest wprowadzenie do produkcji gwoździ śródszpikowych nieblokowanych oraz ich sprzedaż na rynku krajowym oraz zagranicznym obejmującym w okresie czerwiec 2023 - marzec 2024 łącznie 36.330 sztuk. Co należy uznać za bardzo duży sukces Autora opiniowanej pracy. Rozprawę doktorską Pana mgr inż. Jerzego Dybicha oceniam jednoznacznie pozytywnie.

Podczas jej uważnej lektury nasuwają się pewne spostrzeżenia natury polemicznej i krytycznej oraz uwagi szczegółowe (natury edycyjnej oraz inne drobne uwagi), które wyrażam poniżej:

Uwagi ogólne i dyskusyjne:

1. Moim zdaniem w niniejszej pracy bardziej dokonano zawężenia składu chemicznego niż zaprojektowano nowy skład chemiczny stali. Wszystkie zawartości pierwiastków stopowych mieszczą się bowiem w zakresie składu chemicznego przewidzianego w stosowanej normie dla gatunku 316LVM.
2. Nie przedstawiono jednoznacznie dowodów rekrytalizacji dynamicznej podczas odkształcenia prętów z badanej stali. Szkoda, że nie wykonano np. badań EBSD jednoznacznie to potwierdzających.

3. Jaką informację w przypadku analizowanej technologii niesie za sobą wyznaczenie wielkości krystalitów?
4. Strona 18 rozprawy „...obszary zubożone (poniżej 13%) w chrom charakteryzują się obniżoną odpornością na korozję”. To pewien skrót myślowy, który może wprowadzać w błąd. 10,5% wag. Cr w roztworze jest potrzebne aby uzyskać odporność korozyjną żelaza. Problemem są jednak wydzielenia węglików chromu, które mogą zubażać lokalnie zawartość chromu w osnowie poniżej tej wartości i powodować korozję.
5. Strona 21 rozprawy. Ferryt delta nie powstaje w wyniku reakcji eutektycznej.
6. Na rysunkach 5.30 i 5.31. zawierających wyniki badań z EBSD występują obszary niezdefiniowane (czarne na mapie fazowej), z czego to wynika?
7. Podrozdział 5.3.6.4 jest niefortunnie nazwany „Wpływ gniotu na zjawisko odkształceniowego wydzielenia fazy magnetycznej w stali BIOVAL 5832-1”. Moim zdaniem należało użyć sformułowania „na indukowanie odkształceniem martenzytu”.
8. W pracy nie wyjaśniono dlaczego w trakcie prostowania wrzecionowego przeprowadzonego na drodze wielokrotnego przeginania poprawiło się uplastycznienie badanego drutu ze stali BIOVAL 5832-1.

Uwagi edycyjne:

1. W rozprawie w odniesieniu do mikrostruktury używane są naprzemiennie struktura i mikrostruktura. Podobnie w odniesieniu do właściwości mechanicznych używane są naprzemiennie właściwości i własności. Należało wybrać jeden sposób nazewnictwa.
2. W spisie zastosowanych oznaczeń dwukrotnie zdefiniowano W_{Mo} i W_{Cr} .
3. W kilku miejscach w tekście rozprawy zamiast słów dynamiczna rekrytalizacja napisano błędnie dynamiczna krystalizacja lub realizacja dynamiczna.
4. Markery na niektórych zdjęciach są nieczytelne, co utrudnia weryfikację wyników.
5. W pracy znaleziono literówki i błędy stylistyczne, które wskazano Doktorantowi.

Wszystkie przedstawione uwagi mają charakter uzupełniający i dyskusyjny oraz nie wpływają na obiór pracy jako całości. Moim zdaniem Autor bardzo dobrze poradził sobie z rozwiązaniem sformułowanego problemu badawczego.

4. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgra inż. Jerzego Dybicha prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Bez wątplenia wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Niego pracy naukowej i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Rozprawa jest dobrze ulokowana w obecnym stanie wiedzy, została wykonana i napisana na odpowiednim poziomie naukowym. Niewątpliwie Autor posiada szeroką wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie wytwarzania implantów stalowych oraz ich charakteryzowania, a osiągnięte przez Niego w niniejszej pracy wyniki w zakresie technologicznym zasługują na uznanie.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgra inż. Jerzego Dybicha pt.: „Badanie sekwencyjnych odkształceń plastycznych celem uzyskania optymalnych własności mechanicznych, przy jednoczesnym zachowaniu zapasu plastyczności oraz wdrożenie do produkcji gwoździ ortopedycznych przeznaczonych do osteosyntezy śródszpikowej kości w okresie wzrostowym” stwierdzam, że spełnia ona wymagania formalne stawiane rozprawom doktorskim zawarte w stosownej ustawie oraz wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Ponadto biorąc pod uwagę osiągnięte w zakresie wdrożeniowym wyniki wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego o jej wyróżnienie.



Prof. dr hab. inż. Piotr Bała