

RECENZJA

rozprawy doktorskiej magistra Adriana Barylskiego
pt. „Opracowanie metody i analizy efektywności podwyższenia odporności na zużycie
polimerów dla endoprotezoplastyki”

Postęp w medycynie w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat spowodował wydłużenie średniego okresu życia człowieka poprzez wyeliminowanie lub ograniczenie występujących wcześniej zagrożeń wynikających z rozprzestrzeniania się śmiertelnych chorób zakaźnych, wynalezienie antybiotyków umożliwiających leczenie gruźlicy, stanów zapalnych oraz wielu groźnych chorób wieku dziecięcego. Na rosnącą długość życia ma również wpływ poprawa świadomości społeczeństw, ogólne polepszenie warunków higienicznych oraz działania o charakterze profilaktycznym.

Wydłużenie okresu życia człowieka stawia przed medycyną nowe wyzwania wynikające z potrzeby zapewnienia jego komfortu osobom starszym. Choroby, które wcześniej były na marginesie zainteresowań nauk medycznych stanowią obecnie przedmiot badań wielu ośrodków naukowych pracujących dla potrzeb medycyny. Jedną z wielu grup chorób związanych z wiekiem są choroby zwyrodnieniowe stawów, którym sprzyja także długotrwałe oddziaływanie zanieczyszczenia środowiska. Najczęściej stosowaną w chwili obecnej metodą leczenia tych chorób jest zastępowanie uszkodzonych części organizmu implantami, które w przybliżeniu spełniają ich funkcje. Implanty stosowane są również wówczas, gdy występuje zniszczenie lub uszkodzenie części narządów w wyniku wypadków, których liczba rośnie w skutek rozwoju cywilizacyjnego.

W naukach medycznych w ostatnim okresie pojawiła się nowa dziedzina wiedzy nazywana implantologią, łącząca postęp w zakresie nauk technicznych z nowymi metodami badań zjawisk zachodzących wewnątrz organizmu człowieka w wyniku kontaktu z ciałami obcymi, jakimi są implanty i spełnianiem przez nie funkcji mechanicznych realizowanych wcześniej przez zdrowe narządy. Nauki inżynierskie wyodrębniły nowy obszar badań związanych z materiałami projektowanymi i wytwarzanymi dla potrzeb medycyny nazywanymi biomateriałami a ramach mechaniki pojawił się nowy dział nazywany biomechaniką. Postęp techniczny i rosnąca wiedza na temat reakcji i zachowań ludzkiego organizmu umożliwiła opracowanie wielu rozwiązań implantów zastępujących między innymi różne części narządu ruchu człowieka. Należą do nich implanty, stawu biodrowego i stawu kolanowego. Pomimo ciągłego rozwoju wiedzy, wprowadzania nowych bardziej wytrzymałych i trwałych materiałów, biozgodnych z organizmem człowieka, implanty te w dalszym ciągu pozostają niedoskonałe. Problemem jest wyeliminowanie ich szkodliwych oddziaływań przy jednoczesnym zapewnieniu sprawnego i bezbolesnego funkcjonowania stawów.

Wśród powszechnie stosowanych materiałów na elementy implantów ortopedycznych ważne miejsce zajmują materiały polimerowe w tym polietylen. Z różnych rodzajów tego materiału wykonywane są elementy pracujące w skojarzeniach ślizgowych endoprotez stawu

biodrowego i kolanowego. Tego typu zastosowania polietylenu wynikają z jego niskiego współczynnika tarcia oraz takich własności jak dobre tłumienie oddziaływań o dynamicznym charakterze. Polietylen podlega jednakże zużyciu tribologicznemu, którego produkty gromadzą się wokół implantów stanowiąc przyczynę stanów zapalnych i osteolizy, a przedostawanie się z krwią drobnych produktów zużycia tribologicznego do narządów odległych od implantu może stymulować oddziaływania o kancerogennym charakterze. Prowadzone są zatem badania zmierzające do ograniczenia procesów zużycia polegające na modyfikacji własności polietylenu, zmianach rodzaju i własności elementów współpracujących oraz cech geometrycznych elementów endoprotez. W ten nurt badań wpisuje się recenzowana praca doktorska.

Rozprawa stanowi dobrze udokumentowaną i zakończoną pozytywnym rezultatem próbę modyfikacji własności wybranych materiałów polimerowych prowadzącej do poprawy ich własności użytkowych, koncentrując się w głównej mierze na zjawiskach zużycia tribologicznego.

Zrealizowane w szerokim zakresie badania własne Autor rozprawy poprzedził obszernym i wyczerpującym przeglądem piśmiennictwa związanego z tematem pracy. Analiza tej części rozprawy umożliwia czytającemu uzyskanie poglądu odnośnie dostępnych obecnie metod modyfikacji własności implantów ortopedycznych, jakkolwiek niektóre stwierdzenia i sposób ujęcia treści rozdziałów opracowanych na podstawie dostępnej literatury mogą być przedmiotem dyskusji i polemiki.

Pod pojęciem zużycia Autor rozumie głównie zużycie o charakterze tribologicznym traktując oddzielnie takie procesy jak zmęczenie i pękanie, a trwałość traktuje jako problem wydawałoby się niezależny od wymienionych zjawisk, o czym świadczy przedstawiony na stronie 9 wykaz warunków, jakie powinny spełniać materiały stosowane w alloplastyce. Stwierdzenia zawarte w rozdziale 2.1.2 wymagałyby, zdaniem recenzującego, dalszej krytycznej analizy w celu uporządkowania znaczenia niektórych pojęć stosowanych w analizie zjawisk związanych z trwałością endoprotez.

Rozdziały dotyczące charakterystyki materiałów polimerowych stosowanych do wytwarzania implantów oraz metod podwyższania ich odporności na zużycie ścierne świadczą o uporządkowanej wiedzy Autora z tego zakresu i o Jego umiejętności krytycznej analizy dostępnych danych literaturowych. Jak w przypadku każdej pracy można w tych rozdziałach zauważyć pewne potknięcia oraz stwierdzenia o dyskusyjnym charakterze, które nie umniejszają ogólnej wysokiej oceny zawartego w tym miejscu przeglądu obecnego stanu wiedzy, który stanowił podstawę dla sformułowania celu dalszych badań.

Uwagi szczegółowe do przeglądu piśmiennictwa

1. Określenie „granica wytrzymałości” na stronie 14 (Tabela 2.1) powinno być zastąpione określeniem „wytrzymałość na rozciąganie”.
2. Analizując wpływ napromieniowania na własności mechaniczne Doktorant pominął niektóre istotne prace z tego zakresu, których autorem jest Jego Promotor. Prace te wykonane w latach 90-tych ubiegłego wieku, a więc wcześniej od zamieszczonych w wykazie literatury opracowań innych autorów na ten sam temat.
3. Na stronie 35 Autor posługuje się pojęciem „przebytej odległości”, które należałoby zastąpić pojęciem „przebytej drogi”.
4. Na rysunku 2.26 zwrot osi odciętych jest przeciwny do zwrotu osi ogólnie stosowanego kartezjańskiego układu odniesienia.
5. Komentarza wymagałoby zjawisko przyrostu masy polietylenowych panewek w funkcji liczby cykli reprezentowane jedną z krzywych na rysunku 2.26.

6. Nie powinno się używać pojęcia „przyrostu wagi” (rys. 2.26), należałoby mówić o przyroście masy, który można zmierzyć za pomocą ważenia.
7. Na stronie 36 Autor cytuje wyniki badań wpływu starzenia na zużycie tribologiczne polietylenu. Stwierdza, że wpływ ten jest nieistotny. Nie podano, jakie były warunki procesu starzenia. Wniosek odnośnie roli procesu starzenia nie wydaje się mieć ogólnego charakteru. Należałoby rozpatrywać wpływ tego procesu w kontekście przyjętych parametrów badań.

Ocena ogólna części literaturowej

Krytyczna analiza informacji dostępnych w literaturze umożliwiła Autorowi sformułowanie szeregu wniosków i wytycznych do dalszych badań.

Autor zauważa między innymi w tej części rozprawy, że:

1. Sieciowane powoduje zmniejszenie mobilności łańcucha polimeru potrzebnej do deformacji plastycznej.
2. Napromieniowanie strumieniem elektronów może wpływać korzystnie na własności polimerów, natomiast połączenie tego oddziaływania z procesem utleniania może powodować degradację właściwości użytkowych w tym wzrost kruchości.
3. Napromieniowany polimer nie posiada stabilnych własności.
4. Podgrzewanie polietylenu podczas napromieniowywania powoduje wzrost jego plastyczności.
5. Gęstość usieciowania polietylenu zależy od liczby dawek napromieniowania.
6. Możliwe jest określenie granicznej dawki napromieniowania, powyżej której jej wpływ na własności materiału jest niewielki.
7. Stopień krystaliczności polietylenu spada wraz ze wzrostem odkształcenia.
8. Połączenie odkształcenia i sieciowania powoduje znaczące ograniczenie zużycia tribologicznego.
9. Zużycie tribologiczne zależy od rodzaju ruchu.

Wymienione powyżej konkluzje stanowiły podstawę dla sformułowania celu i tezy rozprawy doktorskiej. Autor skoncentrował się na opracowaniu i zweryfikowaniu własnej metody kształtowania własności polimerów stosowanych na panewki endoprotez stawu biodrowego zapewniającej ograniczenie podatności ich warstwy wierzchniej do trwałej deformacji oraz poprawę odporności na zużycie tribologiczne. Przedstawiona wcześniej szczegółowa charakterystyka struktury kształtowanej w wyniku zabiegów technologicznych była pomocna podczas analizy mechanizmów zużycia materiałów polimerowych. Doktorant potraktował zagadnienie kształtowania własności polimerów w sposób kompleksowy, łącząc zagadnienia o charakterze technologicznym z problematyką symulacji rzeczywistych warunków zużywania się polietylenu oraz analizą zmian zachodzących w jego strukturze pod wpływem różnego typu oddziaływań.

Teza pracy jest oryginalna, a jej cel ma istotne znaczenie dla rozwoju wiedzy w zakresie implantologii, poprawy trwałości stosowanych obecnie implantów i wyeliminowania konieczności wykonywania zabiegów rewizyjnych wymiany endoprotez.

Ocena zastosowanych metod badań

Część obejmującą badania własne Doktorant przedstawił w dwóch rozdziałach. Pierwszy z nich – rozdział 4 zawiera obszernie omówienie metodyki badań. Na wyróżnienie zasługuje w tym przypadku komplementarność zastosowanych metod.

Obszerny – obejmujący ponad 30 stron rozdział 4 zawiera, zdaniem recenzującego, znacznie więcej informacji, niż można by oczekiwać na podstawie jego tytułu. Bowiem oprócz metodyki badań przedstawiono w tym miejscu również charakterystyki procesu kształtowania własności materiałów, które moim zdaniem należałoby zaliczyć do części związanej z bezpośrednią realizacją programu badań. Uwaga ta ma charakter dyskusyjny i dotyczy sposobu redakcji pracy, w której wyniki badań własnych rozumiane są przez Autora, jako rezultaty badań struktury i własności polietylenu. Część eksperymentów związanych z kształtowaniem struktury i własności materiału została zaliczona w tym przypadku do metodyki badań.

Uwagi szczegółowe

W rozdziale 4.2.2 pojawia się pojęcie „płaskiego stanu odkształcenia”, które w tekście zostało użyte w nieprawidłowym znaczeniu. Odkształcenie w rozpatrywanym w pracy przypadku ma charakter przestrzenny. Pewnym przybliżeniem może być potraktowanie stanu odkształcenia, występującego w opisanej w pracy próbie ściskania, jako osiowo-symetrycznego.

W kontekście przedstawionej powyżej uwagi pojawia się pytanie: co Autor rozumie pod pojęciem odkształcenia? Czy jest to odkształcenie osiowe dla stosowanych w pracy próbek walcowych? Bardziej odpowiednim byłoby zastosowanie pojęcia względne odkształcenie osiowe.

Z uwagi na dużą liczbę występujących w pracy wielkości celowe byłoby zamieszczenie na początku rozprawy wykazu oznaczeń. Autor oznacza na przykład tą samą literą – σ naprężenie i odchylenie standardowe. W przypadku braku wykazu oznaczeń, w miejscu pojawienia się danej wielkości w tekście powinno się znaleźć objaśnienie znaczenia zastosowanego symbolu. Odchylenie standardowe przedstawiane jest przy tym raz w (%) (rys. 4.3 i 4.5), innym razem w formie bezwymiarowej (rys. 4.4). W innym miejscu wielkość ta pojawia się bez objaśnienia, co reprezentuje symbol σ_E i σ_H (rys. 5.6).

Autor wprowadza pojęcie mikromechanizmu zużycia ściernego oznaczając go literą β (strona 75). β nie jest mikromechanizmem, lecz współczynnikiem charakteryzującym ten mikromechanizm.

Uwagi ogólne

W rozdziale dotyczącym metodyki badań Doktorant szeroko i wyczerpująco potraktował metody badań struktury polimerów. W swoich badaniach wykorzystał subtelne metody fizyczne jak różnicowa kalorymetria skaningowa, spektrometria anihilacji pozytonów oraz rozpraszanie promieni X. Autor rozprawy wykazał swoją wiedzę z zakresu podstaw fizycznych wymienionych metod oraz umiejętność interpretacji uzyskanych przy ich użyciu rezultatów. Szeroki i komplementarny warsztat naukowy Doktoranta świadczy o Jego dobrym przygotowaniu do samodzielnej realizacji badań.

Należy przy tym zauważyć, że zrealizowana praca doktorska jest kolejnym opracowaniem z zakresu badań materiałów polimerowych stosowanych na implanty ortopedyczne zrealizowanych w Uniwersytecie Śląskim w zespole kierowanym przez profesora Jerzego Cybo. W tym zakresie zespół opanował unikalną w skali kraju metodykę badań naukowych, umożliwiającą prace nad modyfikacją własności stosowanych obecnie oraz projektowaniem nowych materiałów dla ortopedii. Recenzowana praca jest przykładem praktycznego zastosowania tej metodyki. Sposób przedstawienia metodyki ma wzorcowy, podręcznikowy charakter.

Ocena rezultatów pracy i ich omówienia

Program badań własnych uwzględnił wpływ modyfikacji polietylenu, przeprowadzonej przy użyciu dostępnych metod opisanych w części literaturowej pracy, zarówno na jego strukturę jak i własności użytkowe. Zastosowano metody bezpośredniej jak i pośredniej oceny cech materiałowych rozpatrywanych polimerów. Szczególną uwagę zwrócił przy tym Doktorant na zużycie tribologiczne materiału, eksponując tę własność w kontekście jej istotności dla zdrowia pacjentów po zabiegu endoprotezoplastyki.

Szczególną rolę przypisał możliwości kształtowania gęstości usieciowania polietylenu. Wyniki badań własnych umożliwiły Autorowi sformułowanie własnego oryginalnego wniosku odnośnie wpływu kolejności zabiegów napromieniowania strumieniem elektronów i odkształcenia na gęstość usieciowania badanych materiałów. Stwierdzone zostało, że wcześniejsze napromieniowanie przed procesem odkształcania może spowodować wielokrotny wzrost gęstości usieciowania.

Uwagi szczegółowe

1. We wzorach (5.2) i (5.3) istotne są jednostki zarówno stałych jak i objętości. Można się domyślić, że jednostką objętości V_{free} jest $[\text{nm}^3]$. Zatem stałe we wzorach powinny być podane w $[\text{MPa}]$ oraz $[\text{MPa}/\text{nm}^3]$.
2. W podpisie pod rysunkiem 5.6 σ_H i σ_E to zapewne odchylenia standardowe. Tej informacji brakuje w tekście pracy.
3. Wnioski sformułowane na stronie 93 nie znajdują uzasadnienia w wynikach badań wykonanych w pracy i nie wnoszą istotnych informacji związanych z jej tezą i celem badań. Wnioski te wyciągnięte na podstawie badań zrealizowanych w pracy [152] można byłoby pominąć bez szkody dla wartości opracowania.
4. Niejasne jest stosowane przez Autora rozprawy określeń „lamelle zorientowane krawędziowo” i „lamelle zorientowane płasko”.
5. Nie wydaje mi się poprawne stosowane przez Doktoranta określenie „mimośród elipsy”
6. We wzorach (5.9) i (5.10), podobnie jak w (5.2) i (5.3), brakuje jednostek.

Ocena ogólna

Rezultaty badań potwierdzają słuszność przyjętych w pracy wartości parametrów procesu kształtowania własności polietylenu. Założona przez Doktoranta wartość odkształcenia plastycznego pozostająca w zakresie od 0,20-0,25 okazała się bliska wartości nazywanej graniczną, co wykazują na przykład badania orientacji struktury lamelarnej.

Kompleksowe badania struktury polimerów stanowiły solidną podbudowę dla interpretacji przyczyn zmian odporności na zużycie tribologiczne w wyniku zabiegu napromieniowania i odkształcenia plastycznego. Najkorzystniejszą metodą kształtowania własności okazała się metoda polegająca na napromieniowaniu strumieniem elektronów a następnie odkształceniu.

W części przedstawiającej wyniki badań własnych na szczególne wyróżnienie zasługuje analiza wyników sklerometrycznych, w której uwzględniono fizykalne uwarunkowania mikromechanizmów lokalnego odkształcenia plastycznego. Wyniki uzyskane przy użyciu tej metody badań potwierdzają jej użyteczność w przypadku wstępnej oceny odporności na zużycie tribologiczne.

Dokonując próby podsumowania i syntetycznej oceny recenzowanej pracy doktorskiej należy zauważyć, że rozprawa ta zawiera wiele nowych i oryginalnych wskazówek w odniesieniu do metodyki badań materiałów polimerowych stosowanych na implanty ortopedyczne. Praca rozwiązuje problem doboru parametrów procesu kształtowania ich własności proponując odpowiednie metody i określając wartość parametrów tego procesu. Wyniki badań struktury polietylenu stanowią równocześnie przyczynek do poszerzenia wiedzy w na temat relacji pomiędzy procesami napromieniowania strumieniem elektronów i plastycznego odkształcania a zmianami zachodzącymi w strukturze materiałów. Metodyka badań tribologicznych zrealizowanych w ramach recenzowanej pracy doktorskiej może być wykorzystania do oszacowania trwałości polietylenowych panewek w warunkach ich użytkowania.

Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę znaczenie przedstawionej w pracy problematyki, przyjęty obszerny i komplementarny program badań, założoną i udowodnioną tezę rozprawy oraz wynikające z niej wnioski o praktycznym znaczeniu z przekonaniem stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnioskuję o dopuszczenie magistra Adriana Barylskiego do jej publicznej obrony przed Radą Wydziału Informatyki i Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego.

Na podstawie analizy treści rozprawy, biorąc pod uwagę oryginalność przyjętej w niej metodyki badań oraz wartości aplikacyjne mogę również z przekonaniem stwierdzić, że praca zasługuje na wyróżnienie.

Jan Obęgni