

Dr hab. inż. Cezary Gozdecki, prof. uczelni
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
w Bydgoszczy
Instytut Inżynierii Materiałowej

Bydgoszcz, 27 lipca 2020r.

RD Ima

~~PRÓDZIEKAN~~
ds. Ogólnych

dr hab. inż. Wojciech Sitek, prof. PŚ

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Lewandowskiego

Tytuł rozprawy: Właściwości reologiczne kompozytów polimerowych
z napełniaczem drzewnym

Promotor pracy: dr hab. Kazimierz Piszczek, prof. uczelni

Zrealizowana w Zakładzie Technologii Polimerów i Powłok Ochronnych, Wydziału Technologii
i Inżynierii Chemicznej, Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego im. J. i J. Śniadeckich
w Bydgoszczy

Podstawy prawne: zgodny ze stanem prawnym, określonym w Ustawie z dn. 14 marca
2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie
sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.).

Podstawą wykonania recenzji jest pismo Pani prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej,
Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej z dnia
27 maja 2020 roku (RD(Ima)-98/0006/2019/2020).

Współczesne przetwórstwo tworzyw polimerowych to złożony system uwzględniający szereg zagadnień obejmujących obszary zarówno z zakresu termodynamiki, mechaniki płynów, wytrzymałości materiałów, technologii procesów czy też ekonomiczności i ekologii. Tak szeroki wachlarz wymagań powoduje, że bardzo często zaspokojenie któregoś z nich na wymaganym poziomie stoi w sprzeczności z innym, bądź całkowicie go wyklucza (np. wysokowytrzymały kompozyt konstrukcyjny w pełni biodegradowalny, w niskiej cenie). Stąd tak cenne i stale aktualne jest prowadzenie poszukiwań optymalnych rozwiązań podstawowych problemów przetwórstwa tworzyw polimerowych, które poparte są dodatkowo rzetelnymi badaniami naukowymi. Za jeden z ważkich nurtów obejmujących modyfikację polimerów uznać należy stosowanie napełniaczy pochodzenia naturalnego, takich jak włókna roślin jednorocznych czy cząstki drzewne. Tak powstałe kompozyty np.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 13 08 2020

nr 1077/D/006 kat. 2

kompozyty drzewno-polimerowe (WPC), znajdują coraz szersze zastosowanie i przynajmniej w części spełniają warunek biodegradowalności. W obrębie problemów związanych z przetwórstwem WPC, szczególnie istotne są między innymi, wpływ napełniacza na własności reologiczne kompozytu oraz możliwości pomiarów tych właściwości w warunkach rzeczywistych przetwórstwa. Chociaż istnieją doniesienia światowe w tym zakresie, to nadal występuje wiele wątpliwości dotyczących np. możliwości bezpośredniego zastosowania do praktyki przemysłowej wyników badań laboratoryjnych właściwości reologicznych WPC, gdzie np. podczas przetwórstwa metodą wtryskiwania, występują znacznie wyższe, niż podczas oznaczeń laboratoryjnych, wartości szybkości ścinania. Na tym tle bardzo istotnym wyzwaniem jest dostosowywanie urządzeń badawczych w taki sposób aby umożliwiały prowadzenie analiz, w warunkach jak najbardziej zbliżonych do warunków przetwórstwa. Biorąc powyższe pod uwagę, przedstawiona mi do oceny dysertacja Autorstwa Pana mgr. inż. Krzysztofa Lewandowskiego w sposób bezpośredni wpisuje się w aktualne potrzeby przemysłu przetwórstwa tworzyw polimerowych, będąc jednocześnie zdecydowanie aktualnym kierunkiem badań naukowych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Ocena formalna pracy

Przedstawiona do oceny dysertacja jest pracą o charakterze eksperymentalnym z elementami modelowania matematycznego, napisaną w typowym układzie, podzieloną na dwa główne działy (część teoretyczna oraz część badawcza). Monografia zawiera 175 numerowanych stron w tym spis symboli i skrótów, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis literatury, indeks tabel oraz indeks rysunków. Zasadnicza część pracy podzielona jest na 12 numerowanych rozdziałów i 39 podrozdziałów, w których część informacji przedstawiana jest w 27 tabelach i na 104 rysunkach. Wykaz literaturowy obejmuje 196 aktualnych i odpowiednio dobranych pozycji w tym normy oraz strony internetowe. Stwierdzam, że przedstawiona praca doktorska spełnia formalne wymagania stawiane dysertacjom na stopień doktora.

Ocena merytoryczna pracy

Tytuł przedstawionej pracy: „Właściwości reologiczne kompozytów polimerowych z napełniaczem drzewnym” odpowiada celowi i zawartym treściom i chociaż bardzo pojemny to w opinii recenzenta jest poprawny.

Część teoretyczna pracy obejmuje 31 stron (6 rozdziałów w tym wstęp), na których zawarte jest uzasadnienie podjęcia badań w opisywanym zakresie na tle światowej i krajowej literatury. Autor w tym rozdziale przedstawia na początku problematykę dotyczącą reologii polimerów prezentując wybrane modele reologiczne płynów pseudoplastycznych oraz przytacza podstawy reometrii kapilarnej wskazując na jej najistotniejsze aspekty. Słusznie podkreśla wysoki stopień złożoności zagadnienia, na który składa się występowanie wielu czynników zmiennych, wpływających na wynik końcowy wyznaczanych właściwości reologicznych. Skupia się na zasadności stosowania poprawek Rabinowitscha oraz Bagleya opisując ich stosowalność i skuteczność. Kolejno dokonuje porównania reometrów kapilarnych typu *off-line* i *in-line* (głowice reologiczne) prezentując ich główne zalety oraz ograniczenia. W dalszej części Autor przedstawia ogólne informacje na temat WPC oraz krótko charakteryzuje ich właściwości reologiczne. Na podstawie własnych obserwacji oraz

doniesień literatury światowej zauważa, że większość badań naukowych koncentruje się głównie na ustalaniu właściwości mechanicznych i użytkowych WPC a niejako w ramach badań uzupełniających prowadzone są analizy nad reologią kompozytów zawierających cząstki drzewne. Zgodzić się tu należy z Autorem dysertacji, że głębsze poznanie właściwości reologicznych kompozytu wiąże się bezpośrednio z szybszym i precyzyjniejszym projektowaniem narzędzi i urządzeń przetwórczych. Jak podkreślono w pracy stosowanie drewna jako napełniacza, pomimo wielu zalet, niesie za sobą szereg problemów przetwórczych. Są one spowodowane głównie specyficznymi właściwościami drewna takimi jak np. anizotropowa budowa anatomiczna, duża zmienność właściwości w obrębie jednego gatunku czy też trudności w otrzymaniu powtarzalnego kształtu cząstki drzewnej, w wyniku jego rozdrabniania. Autor opisuje też krótko charakterystyczne własności płynów pseudoplastycznych oraz wybrane modele reologiczne (Ostwalda de Waele'a, Carreau, Carreau-Yasudy i Klaina). Wskazuje na celowość stosowania w opisach właściwości reologicznych kompozytów zawierających cząstki o kształcie odmiennym od kulistego i w tych przypadkach gdy udział napełniacza jest znaczny, trzech znanych modeli, Maron-Pierce, Guth, oraz Mooney. W podsumowaniu tej części pracy na podstawie przeprowadzanej analizy Autor zauważa konieczność pogłębienia stanu wiedzy w zakresie reologii WPC. Słusznie wskazuje, że w pełnej charakterystyce własności reologicznych WPC niezbędne jest uwzględnienie szeregu czynników zmiennych takich jak udział napełniacza, jego wymiary, interakcje pomiędzy osnową a cząstkami drzewnymi oraz warunki przepływu. Autor w zwięzły i precyzyjny sposób wskazał, że tak kompleksowy opis złożonych zależności reologicznych WPC nie jest znany w literaturze, co uzasadnia celowość podjęcia próby rozwiązania tego zagadnienia w prezentowanej dysertacji.

Stwierdzam, że Doktorant dokonał rzetelnej i wartościowej analizy doniesień literaturowych. Moim zdaniem, ten fragment pracy jest dobrze napisanym przeglądem wymienionych zagadnień, świadczącym o umiejętności dokonywania selekcji rzeczy najistotniejszych z bogatej literatury.

Z drobnych uwag można wymienić: str. 43 pojawia się określenie „...wzdłuż i w poprzek słoju rocznych...” precyzyjniej było by zapisać: wzdłuż i poprzek włókien drzewnych, co bezpośrednio wiąże się z obowiązującą nomenklaturą.

Wskazane jest też umieszczanie afiliacji bibliograficznych w podpisach rysunków. Autor co prawda umieszcza odnośniki w tekście jednak nie zawsze jest to jednoznaczne odniesienie do konkretnego grafu.

Pojawiają się też w niewielkiej ilości „literówki”, nie obniżające jednak, wysoko ocenianej przez recenzenta wartości merytorycznej tej części pracy.

Hipoteza i cel pracy

Autor stawia w pracy dwie zasadne i poprawnie sformułowane hipotezy oraz dwa główne cele. Cel badawczy dotyczący określenia właściwości reologicznych WPC pogłębiono o cele dodatkowe: określenie wpływu wybranych poprawek reometrycznych oraz próba opisu matematycznego z wykorzystaniem modeli reologicznych. Cel aplikacyjny odnoszący się do określenia właściwości reologicznych WPC w warunkach jakie odpowiadają przemysłowym procesom przetwórstwa wymagał wytworzenia innowacyjnego stanowiska opisanego w dalszej części pracy. Cele główne i cele dodatkowe są poprawne i odpowiadają zaprezentowanym zadaniom badawczym.

Zakres pracy

Zakres realizowanych prac przedstawiono na prostym i czytelnym schemacie. Zdaniem recenzenta ten rozdział mógłby być bardziej rozbudowany, uwzględniający plan badań oraz informacje czy zastosowano plan pełny czy np. selekcyjny. W obecnej postaci informuje on czytelnika o głównej ścieżce prowadzonych prac, jednak przy tak rozbudowanych badaniach jego uszczegółowienie stanowiłoby pomoc podczas analizy podejmowanych w dysertacji prac. Szczegółowiej mógłby być opisany ostatni element schematu „ Analiza porównawcza reometr kapilarny/głowica reologiczna”. Obecnie można odnieść wrażenie, że porównywane będą reometr i głowica np. ich budowa. Proponowałbym w tym przypadku zapis „Analiza porównawcza wyników otrzymanych z wykorzystaniem reometru kapilarnego oraz głowicy reologicznej” Powyższe uwagi nie stanowią krytyki przedstawianych w pracy treści lecz mają charakter porządkowy.

Metodyka badań

Część metodyczna pracy zawarta jest na 15 kartach i można ją podzielić na pięć głównych elementów: opis materiałów użytych w badaniach wraz ze sposobem wytwarzania kompozytów, wyznaczenie udziału objętościowego napełniacza w kompozycie, badania reologiczne, obliczenia i wyznaczenie charakterystyki reologicznej oraz analiza statystyczna. Osnowę badanych kompozytów drzewno-polimerowych stanowiły dwie odmiany polipropylenu (Moplen HP400R, Moplen HP501H) przeznaczone do przetwórstwa metodą wtryskiwania, różniące się wartością masowego wskaźnika szybkości płynięcia, 27,72 g/10 min. oraz 2,49 g/10 min. Napełniacz stanowiła mączka drzewna w dwóch odmianach Lignocel C120 oraz Lignocel 9. Pierwsza oznaczona w pracy jako WF1 o frakcji 0,12-0,2 mm druga z kolei WF2 o rozmiarze cząstki 0,6-0,8 mm. Współczynnik kształtu odpowiednio dla mączek wynosił 3,31 i 2,92. O ile różnica pomiędzy wielkością frakcji poszczególnych mączek jest wyraźna to zauważyć należy, że obliczony współczynnik kształtu jest na porównywalnym poziomie. Podejrzewać można, że uwzględniając w późniejszych badaniach efekty związane z rotacją cząstek drzewnych w trakcie przepływów, to ten parametr a nie wielkość cząstki powinien istotnie wpływać na właściwości reologiczne WPC. Zdaniem recenzenta przydałoby się doprecyzowanie czy pisząc o współczynniku kształtu Autor wskazuje na smukłość czy płaskość cząstki. W przypadku napełniacza drzewnego, biorąc pod uwagę jego budowę anatomiczną, podczas rozdrabniania można uzyskiwać cząstki o dużej płaskości (podobnie jak frakcja WF2) lub „szpilkowe”. Kompozyty wytworzono metodą wytłaczania na wytłaczarce dwuślimakowej a następnie granulowano. Tak wytworzone kompozyty zawierały masowo 10, 30 i 50(%) napełniacza drzewnego. W celu oceny wpływu warunków przetwórstwa WPC na rozmiar cząstek napełniacza, z wytworzonych granulatów metodą prasowania, sporządzono „cienkie błonki” a następnie przy użyciu mikroskopu optycznego dokonano pomiaru wymiarów liniowych napełniacza. Autor nie podaje grubości wyprasowanych próbek a jedynie ich średnicę. W opinii recenzenta ta informacja przyczyniłaby się do pełniejszej analizy otrzymanych wyników. Zastanawiające jest jak proces wykonania tych próbek wpłynął na samą cząstkę drzewną zawartą w wytworzonym WPC. Podejrzewać można, że podczas oddziaływania siły rzędu 1000N następuje ponowne odkształcenie (sprasowanie?) napełniacza. Przyjęte więc do dalszej analizy parametry cząstek drzewnych mogą różnić się od tych, które rzeczywiście występują w zgranulowanym WPC.

Zagadnienie to choć podejmowane przez wielu badaczy na całym świecie nie doczekało się, jak na razie, efektywnego rozwiązania. Każde więc z proponowanych rozwiązań zawiera pewien element niepewności. Na tym tle zaznaczyć należy, że przyjęty przez Autora pracy sposób postępowania, jest ciekawy i wartościowy.

Udział objętościowy napełniacza wykonano na podstawie analizy pV przy stałej temperaturze używając reometru kapilarnego.

W dalszej kolejności wyznaczono krzywe lepkości, współczynniki równania Ostwalda de Waele'a oraz poprawki Bagleya i Rabinowitscha w zakresie szybkości ścinania 15 s^{-1} do 912 s^{-1} . Analizę Mooneya natomiast w zakresie 10 s^{-1} do 207 s^{-1} . Zastosowane zakresy szybkości ścinania jakkolwiek poprawne, to jednak w opinii recenzenta, ze względu na znaczne rozpiętości, mogłyby być opatrzone krótkim komentarzem.

Za bardzo cenne i wartościowe należy uznać zastosowanie specjalistycznej głowicy reologicznej (zaprojektowanej i wykonanej przy współudziale Autora przedstawionej do oceny dysertacji) przystosowanej do współpracy z wtryskarką przemysłową. W wyniku zastosowania głowicy uzyskano warunki ścinania zbliżone do występujących w rzeczywistych procesach przetwórstwa metodą wtryskiwania (od 19098 do 101859 s^{-1}). Głowica wyposażona była w dysze o zmiennej średnicy (2, 2,5 i 3mm), dzięki czemu Autor uzyskał różne zakresy nieskorygowanej szybkości ścinania.

Kolejno Autor wyznacza na podstawie krzywych lepkości pozornej i krzywych płynięcia charakterystyki reologiczne WPC dwoma sposobami, przy zastosowaniu reometru kapilarnego oraz głowicy reologicznej. Analizie poddaje wpływ zastosowanego polimeru, wielkość i ilość mączki drzewnej i szybkości ścinania. Uwzględniając poprawkę Rabinowitscha wyznacza rzeczywistą, skorygowaną szybkości ścinania, wykładnik płynięcia oraz współczynnik konsystencji. W przypadku analiz prowadzonych za pomocą reometru kapilarnego uwzględnia efekty wlotowe i wyznacza poprawkę Bagleya.

W związku z tym, że warstwy tworzywa mające bezpośrednio kontakt ze ścianką kapilary w trakcie przepływu nie pozostają w stanie spoczynku, powstaje efekt poślizgu. W celu uwzględnienia tego zjawiska w pracy zastosowano metodę Mooneya. Zaznaczyć tu należy, że Autor bardzo dokładnie podchodzi do prowadzonych analiz. Zdając sobie sprawę, że niezbędne w obliczeniach parametry równania otrzymał z punktów pomiarowych, co może wprowadzać znaczne błędy wynikające z niedokładności opisu krzywej poza obszarem badawczym, obliczenia zawęży do wspólnego zakresu wartości naprężenia stycznego.

Otrzymane rezultaty badań poddaje analizie statystycznej stosując poprawne dla tego typu wyników procedury. Wykonuje analizę wariancji, bada istotność różnic a dla oceny wyboru zastosowania testów przeprowadził analizę normalności rozkładu. W uzasadnianych przypadkach stosuje prosty test t-Studenta oraz analizę ANOVA.

Zestawienie i omówienie wyników

Jest to najobszerniejsza część pracy stanowiąca opis, analizę i dyskusję otrzymanych wyników. Zawarto ją na 63 stronach z wyraźnym zaakcentowaniem, iż możliwe są, jak pisze Autor, sprawne i rzetelne pomiary reologiczne w rzeczywistych warunkach przetwórstwa metodą wtryskiwania z wykorzystaniem kapilarnej głowicy reologicznej. Autor w opisie poszczególnych wpływów na charakterystyki reologiczne WPC nie skupia się tylko na prostej prezentacji wyników i ich porównaniu ale stara się w miarę możliwości tłumaczyć przyczyny pojawienia się poszczególnych wpływów, co stanowi bardzo istotny element pracy naukowej.

Bardzo cennym elementem prowadzonych badań jest analiza udziału objętościowego napełniacza w WPC. W wyniku przetwórstwa, a co za tym idzie działania wysokiego ciśnienia oraz temperatury, cząstki napełniacza drzewnego ulegają kompresji a w przypadku większych cząstek również redukcji proporcji wymiarowych. Problem ten jest szeroko znany jednak, jak zaznacza Autor pracy, niedostatecznie zbadany. Brak jest też jednoznacznych procedur, które pozwoliłyby na ocenę rzeczywistego udziału objętościowego napełniacza drzewnego w WPC. Tym bardziej problem ten staje się skomplikowany, gdy analizujemy kompozyt w stanie uplastycznionym. Autor, w wyniku prowadzonych eksperymentów doszedł do wniosku, że wraz ze wzrostem udziału mączki drzewnej zwiększa się znacząco gęstość kompozytów. Zdaniem recenzenta, zjawisko to jest możliwe tylko w przypadku, gdy podczas przetwórstwa materiał drzewny ulegnie kompresji w takim stopniu, aby jego gęstość była wyższa niż gęstość matrycy polimerowej. W związku z tym, że obie mączki powstały z drewna gatunków iglastych, najprawdopodobniej jako mieszanina sosny i świerka (średnia gęstość takiej mieszaniny około 550kg/m^3) należy spodziewać się bardzo znacznego zagęszczenia struktury drewna. W pracy wykazano, że gęstość materiału drzewnego w WPC wynosi WF1 $1,477\text{g/cm}^3$ a WF2 $1,463\text{g/cm}^3$, są to wartości odpowiadające tzw. gęstości substancji drzewnej. Wartość ta w opinii recenzenta jest bardzo wysoka i dobrze by było zaopatrzyć ten fakt chociaż krótkim wyjaśnieniem. Pewnym udogodnieniem w analizie otrzymanych w pracy wyników byłoby też zamieszczenie gęstości obu mączek drzewnych w stanie wilgotnościowo-temperaturowym takim, jaki występował bezpośrednio przed procesem mieszania z polimerem. Pewnych wyjaśnień wymaga też, konfrontacja otrzymanych gęstości napełniacza drzewnego z wartościami znajdującymi się na rysunkach 32-35. Na prezentowanych grafach maksymalne wartości gęstości nie przekraczają $1,1\text{g/cm}^3$. Zastanawiający jest też fakt (rys. 32-35), że udział objętościowy drewna rośnie wraz ze zwiększaniem jego gęstości, a więc zjawiskiem jego kompresji, czyli zmniejszaniem objętości. W opinii Autora zjawisko to związane jest z tym, że osnowa polimerowa zmniejsza swoją objętość nieproporcjonalnie bardziej niż napełniacz. Jest to ciekawe spostrzeżenie i bardzo pomocne byłoby rozszerzenie tego wątku o pogłębiony komentarz.

Niewątpliwym atutem pracy jest bardzo szczegółowy opis właściwości reologicznych WPC z wykorzystaniem reometrii kapilarnej a w szczególności, w przypadkach występowania wysokich wartości szybkości ścinania. Ważnym spostrzeżeniem, nie tylko z naukowego punktu widzenia, jest fakt, że po przekroczeniu pewnej granicznej wartości szybkości ścinania, udział oraz wielkość cząstki drzewnej nie ma istotnego wpływu na lepkość kompozytów, przy czym wartość ta istotnie zależy od własności reologicznych osnowy polimerowej. Wydaje się natomiast, że szerszego wytłumaczenia wymagają rezultaty badań prowadzonych za pomocą reometru kapilarnego uwzględniające efekty wlotowe. Zastanawiający jest fakt, że jak wykazuje to Autor pracy, nie zaobserwowano wpływu udziału mączki drzewnej w kompozycie z osnową PP1 na liniową prędkość przepływu, gdy w przypadku kompozytu z PP2 ten wpływ jest widoczny. Wydaje się, że bez względu na wielkość (w badanym zakresie) cząstki napełniacza oraz zastosowanego polipropylenu wzrost ilości napełniacza powinien wpływać na wartości prędkości przepływu. Podobnie w przypadku wyznaczania współczynnika pseudoplastyczności dla kompozytu Autor stwierdza, że po przekroczeniu pewnej krytycznej wartości skorygowanej szybkości ścinania nie obserwuje się istotnej różnicy w lepkości pomiędzy WPC a nienapełnionym polimerem. Tłumaczy to zakończeniem etapu rotacji cząstek napełniacza i pełną ich orientacją w kierunku przepływu. Analizując kształtki WPC (własne badania recenzenta) otrzymane metodą wtryskiwania do formy, każdorazowo obserwowano (w prostych i długich odcinkach

próbek) znaczną część napełniacza drzewnego zorientowanego w kierunku płynięcia uplastycznionego kompozytu ale też występowanie stref, w których cząstki do tego kierunku ustawione były pod pewnym kątem. Wydaje się więc, że trudno w rzeczywistych warunkach przetwórstwa, nawet przy wysokich prędkościach przepływu, uzyskać 100% orientację cząstek a zatem zakończenie procesu ich rotacji.

Bardzo wysoko należy ocenić wnikliwą analizę rezultatów badań reologicznych zarówno prowadzonych przy pomocy reometru kapilarnego jak i głowicy reologicznej. W dogłębnym i spójnym sposobie Autor udowodnił, że różnice jakie występują w rzeczywistych warunkach przetwórstwa oraz podczas standardowych procedur badań reologicznych, na których opierają się przetwórcy, powodują duże ograniczenia w doborze prawidłowych parametrów przetwórstwa w praktyce przemysłowej. Szczególnie widoczne jest to gdy porówna się różnice w prędkościach przepływów występujących w urządzeniach przeznaczonych do oznaczania wskaźnika szybkości płynięcia MFR i MVR i kanałach maszyn przetwórczych. Dokonana przez Autora analiza udowadnia również jak bardzo istotne jest zachowanie dużej ostrożności podczas porównań parametrów reologicznych materiałów w warunkach dalekich od zakresu pomiarowego, przy których je wyznaczono.

W mojej opinii uzyskane przez doktoranta rezultaty badań mają istotne znaczenie naukowe, stanowiąc ważne uzupełnienie wiedzy w temacie możliwości rozwiązywania złożonych problemów jakie występują podczas oceny właściwości reologicznych WPC, przy uwzględnieniu rzeczywistych parametrów jakie występują podczas procesów przetwórczych. Osiągnięte wyniki posiadają też bez wątpienia duże znaczenie użytkowe. Mogą one stanowić istotną pomoc zarówno podczas konstruowania narzędzi przetwórczych jak i projektowania procesów przetwórstwa kompozytów zawierających cząstki pochodzenia roślinnego. W tym kontekście można uznać, że przedstawiona mi do oceny praca zawiera cenne rozwiązania ważnego problemu występującego w przetwórstwie WPC.

Stwierdzam, że zaprezentowane wyniki badań oraz ich wnikliwa analiza potwierdziły słuszność stawianych w pracy hipotez.

Dodatkowo docenić należy ogromny nakład pracy jaki wykonał Autor dysertacji oraz fakt, że pomimo iż badania obejmowały szeroki zakres czynników i parametrów badawczych, zachował wysoką staranność i spójność prezentowanych treści.

Wnioski i spostrzeżenia

Rozdział ten zawiera 12 numerowanych wniosków, które prawidłowo podsumowują prowadzoną analizę wyników oraz korespondują z postawionymi celami pracy. Wnioski zapisane są w sposób poprawny oraz zwięzły a przedstawione w nich informacje stanowią cenne wskazówki zarówno dla dalszych analiz nad problemami poruszonymi w pracy jak również dla praktyki przemysłowej.

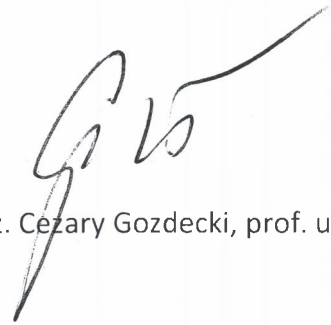
Podsumowanie

Podsumowując, praca doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Lewandowskiego odznacza się wysokim poziomem naukowym i analitycznym, wnosi cenny wkład do dyscypliny inżynieria materiałowa a pojawiające się w niej uchybienia nie stanowią podstawy do poddania w wątpliwość jej istotnej wartości merytorycznej, którą oceniam bardzo wysoko. Dlatego też przytaczane przez recenzenta uwagi mają najczęściej charakter porządkujący i mogą podlegać dyskusji. Przedstawiona mi do oceny praca stanowi

wartościowe pod względem merytorycznym, poznawczym i aplikacyjnym osiągnięcie naukowe. Ponadto prezentowany przez dra inż. Krzysztofa Lewandowskiego bogaty warsztat badawczy, umiejętność rozpoznawania problemów naukowych i praktycznych oraz biegłość w ich rozwiązywaniu świadczą o dojrzałości naukowej i stanowią dodatkowy atut w ubieganiu się o stopień naukowy doktora.

Wnioski końcowe

Stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca spełnia wymagane stawiane dysertacjom doktorskim, zawarte w Ustawie z dn. 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.) i stanowi podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Wnoszę więc o dopuszczenie Pana mgr. inż. Krzysztofa Lewandowskiego do publicznej obrony wyżej wymienionej rozprawy.



Dr hab. inż. Cezary Gozdecki, prof. uczelni