

Dr hab. inż. Marek Hebda, prof.PK
Politechnika Krakowska im Tadeusza Kościuszki
ul. Warszawska 24
31-155 Kraków

Kraków, 25 marzec 2026r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Gockiego
pod tytułem
*„Struktura i własności nowo opracowanych materiałów kompozytowych na formy
wtryskowe wytwarzane technologią przyrostową”*

wykonanej pod opieką promotora
Dr hab. inż. Grzegorza Matuli, Prof. PŚ
i promotora pomocniczego
Dr inż. Agnieszki J. Nowak

opracowana na zlecenie
Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Politechniki Śląskiej
zgodnie z uchwałą z dnia 20 stycznia 2026 roku
(pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Prof. dr hab. inż. Adama Grajcar z dnia 21.01.2026 r.)

Przedmiot i zakres rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Gockiego pod tytułem *„Struktura i własności nowo opracowanych materiałów kompozytowych na formy wtryskowe wytwarzane technologią przyrostową”* wykonana pod opieką promotora dr hab. inż. Grzegorza Matuli, Prof. PŚ i promotora pomocniczego dr inż. Agnieszki J. Nowak.

Praca o objętości 196 stron napisana została w języku polskim i ma charakter eksperymentalno-badawczy. Układ rozprawy jest klasyczny, i obejmuje część teoretyczną oraz doświadczalną, podzielone na 6 rozdziałów: Wstęp; Przegląd piśmiennictwa; Badania własne; Omówienie wyników badań; Podsumowanie; Wnioski oraz Bibliografię. W pracy zamieszczono łącznie 109 rysunków i 24 tabele, przedstawione w sposób przejrzysty i czytelny. Bibliografia obejmuje 169 pozycji literaturowych adekwatnych do tematyki rozprawy. Praca zakończona jest streszczeniem w języku polskim i angielskim.

Biuro Dziekana

15.04.2026

Należy podkreślić bardzo dobry poziom edycyjny pracy zarówno od strony przygotowania tekstu, jak i szaty graficznej. Nieliczne błędy interpunkcyjne i językowe, nie wpływają na mój wysoce pozytywny odbiór całej dysertacji.

Tematyka podjęta w recenzowanej rozprawie doktorskiej autorstwa Pana mgr inż. Michała Gockiego wpisuje się w aktualne i istotne kierunki badań naukowych związanych z dynamicznym rozwojem technologii przyrostowych metali oraz projektowaniem kompozytów funkcjonalnych do zastosowań narzędziowych.

Charakterystyka rozprawy

Doktorant w rozprawie skoncentrowała się na zagadnieniach związanych z opracowaniem, charakterystyką i oceną właściwości kompozytów stal-miedź wytwarzanych metodą metal FDM (Fused Deposition Modeling, modelowanie za pomocą topionego materiału), obejmując pełny łańcuch procesowy, od analizy proszków, reologii i degradacji lepiszcza, poprzez optymalizację parametrów spiekania i infiltracji, aż po szczegółowe badania mikrostruktury, właściwości mechanicznych, cieplnych i tribologicznych materiałów przeznaczonych na elementy form wtryskowych.

Tytuł recenzowanej rozprawy „*Struktura i własności nowo opracowanych materiałów kompozytowych na formy wtryskowe wytwarzane technologią przyrostową*” odzwierciedla treści zawarte w pracy.

Pod względem formalnym rozprawa została opracowana poprawnie, jej struktura odpowiada przyjętym zasadom, a treść poszczególnych rozdziałów rozmieszczona jest zgodnie z postawionymi celami.

Praca rozpoczyna się wstępem, który stanowi syntetyczne wprowadzenie do problematyki podejmowanej w rozprawie doktorskiej (rozdział pierwszy). Autor przedstawia w nim uzasadnienie podjętej tematyki badawczej, koncentrując się na problematyce projektowania materiałów kompozytowych o właściwościach dostosowanych do współczesnych wymagań technologicznych. Pan mgr inż. Michał Gocki wskazuje, że metale o wysokiej czystości charakteryzują się korzystnymi własnościami fizycznymi, jednak nie spełniają kryteriów wytrzymałościowych i tribologicznych. Zasadnie podkreślono, że kompozyty metalowo-metalowe umożliwiają funkcjonalne połączenie wysokiej przewodności cieplnej i elektrycznej z odpowiednią twardością i odpornością na zużycie.

W rozdziale tym omówiono również znaczenie technologii proszkowych, szeroko stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym, oraz ich przewagę środowiskową nad metodami konwencjonalnymi. Przytoczone dane rynkowe potwierdzają dynamiczny wzrost sektora stali spiekanej i technologii MIM, co wskazuje na rosnące zapotrzebowanie na materiały o wysokiej precyzji i powtarzalności. Autor odnosi się również do regulacji środowiskowych tj. Europejskiego Systemu Handlu Emisjami (EU ETS) oraz mechanizmu dostosowania emisji (CBAM) na sektor stalowy Unii, które wymuszają redukcję emisji CO₂ w procesach

produkcyjnych, podkreślając konieczność wdrażania technologii o wyższej efektywności energetycznej.

Istotną część wstępu stanowi omówienie technologii przyrostowych, które umożliwiają projektowanie geometrii niemożliwych do uzyskania metodami ubytkowymi oraz redukcję zużycia materiału. Szczególną uwagę zwrócono na zastosowanie metod druku 3D w wytwarzaniu wkładek do form wtryskowych, gdzie optymalizacja kanałów chłodzących i przepływowych przekłada się na poprawę stabilności procesu i jakości wyprasek, zwłaszcza w przypadku materiałów o podwyższonej lepkości.

W końcowej części rozdziału Autor przedstawił koncepcję wykorzystania procesu infiltracji ciekłym metalem spieków o wysokiej porowatości otwartej do otrzymywania kompozytów stal-miedź o korzystnym połączeniu właściwości mechanicznych i cieplnych. Rozwiązanie to stanowi podstawę dalszych badań opisanych w rozprawie i odpowiada aktualnym potrzebom przemysłu narzędziowego.

Rozdział drugi zatytułowany *Przegląd piśmiennictwa* stanowi merytorycznie spójną analizę aktualnego stanu wiedzy dotyczącej materiałów stosowanych w formach wtryskowych, technologii przyrostowych oraz procesów reologicznych, degradacji lepiszcza i spiekania, a także metod infiltracji spieków. Autor odnosi się zarówno do klasycznych rozwiązań jak i najnowszych osiągnięć technologicznych.

W części dotyczącej materiałów na formy wtryskowe Pan mgr inż. Michał Gocki przedstawia właściwości i zastosowania najczęściej wykorzystywanych stali narzędziowych, w tym stali X40CrMoV5-1 (1.2344), podkreślając jej wysoką odporność na zmęczenie cieplne, ścieranie oraz stabilność podczas obróbki cieplnej. Zwraca uwagę, że w procesie technologicznym etap chłodzenia zajmuje od 70 do 80% czasu cyklu, co uzasadnia potrzebę stosowania materiałów o wysokiej przewodności cieplnej oraz projektowania kanałów chłodzących o zoptymalizowanej geometrii. Wskazano również na rosnące znaczenie powłok PVD/CVD oraz stopów miedzi w kontekście poprawy efektywności chłodzenia.

Druga część rozdziału obejmuje szczegółową analizę technologii przyrostowych, w tym SLA (Stereolithography, stereolitografia), SLM (Selective Laser Melting, selektywne topienie laserowe) oraz FDM (Fused Deposition Modeling, modelowanie za pomocą topionego materiału). Autor przedstawiał zarówno historyczne tło rozwoju druku 3D, jak i współczesne rozwiązania przemysłowe. Dla technologii SLM opisano wpływ parametrów procesu: mocy lasera, prędkości skanowania i strategii prowadzenia ścieżek, na mikrostrukturę i porowatość materiału. Wskazano, że odpowiedni dobór parametrów umożliwia uzyskanie gęstości przekraczającej 99%, co potwierdzają liczne cytowane prace. Autor trafnie podkreśla, że technologie przyrostowe umożliwiają wytwarzanie geometrii niemożliwych do uzyskania metodami konwencjonalnymi, co jest szczególnie istotne w kontekście form wtryskowych o złożonych kanałach chłodzących.

W części poświęconej technologii MFDM (Metal Fused Deposition Modeling) Autor omówił różne systemy ekstruzji gęstwy polimerowo proszkowej oraz wpływ udziału proszku na właściwości reologiczne. Ponadto przedstawił szczegółową analizę modeli opisujących lepkość kompozytów wysoko napełnionych oraz ograniczenia wynikające z niespełniania reguły Coxa Merza. W dalszej części rozdziału Pan mgr inż. Michał Gocki opisał metody usuwania lepiszcza: rozpuszczalnikową, katalityczną, termiczną i knotową. Autor przedstawił

szczegółowe mechanizmy tych procesów, odwołując się do teorii Van Krevelena oraz przykładów zastosowań przemysłowych, np. dla filament BASF Ultrafuse 316L. Zaprezentowana analiza obejmowała również aspekty środowiskowe i bezpieczeństwa, np. toksyczność formaldehydu powstającego podczas degradacji POM (polioksymetylenu).

W części dotyczącej spiekania, Autor omówił mechanizmy transportu materii, wpływ wielkości cząstek proszku oraz parametry procesu na gęstość i właściwości mechaniczne spieków. Zwrócił uwagę na znaczenie dyfuzji objętościowej i wzdłuż granic ziaren w końcowej fazie spiekania oraz na możliwość stosowania spiekania indukcyjnego, które pozwala skrócić czas procesu do kilku minut przy zachowaniu wysokiej gęstości.

Ostatnia część rozdziału dotyczy infiltracji spieków, zarówno metalicznych, jak i ceramicznych. Pan mgr inż. Michał Gocki przedstawił przykłady zastosowań, od kompozytów Cu-Sn i Al-stal po zaawansowane materiały ceramiczne infiltrowane stopami Zr₂Cu. Tym samym wskazał, że techniki infiltracji umożliwiają uzyskanie materiałów o wysokiej gęstości, ulepszonych właściwościach mechanicznych i funkcjonalnych, co znajduje zastosowanie m.in. w przemyśle lotniczym i medycznym.

Rozdział trzeci zatytułowany: *Badania własne*, rozpoczyna się od przedstawienia tezy pracy, następnie zakresu badań oraz szczegółowej metodyki eksperymentalnej.

Pan mgr inż. Michał Gocki formułuje tezę, zgodnie z którą zastosowanie technologii druku 3D do wytwarzania lito-porowatych kształtek ze stali narzędziowej X40CrMoV5-1, a następnie ich infiltracja miedzią, umożliwi otrzymanie kompozytów o właściwościach predestynujących je do zastosowań na wkładki matrycowe form wtryskowych. Uzasadnienie tezy oparto na aktualnych problemach przemysłu przetwórstwa tworzyw sztucznych, w tym rosnącym zużyciu elementów form wtryskowych wynikającym z przetwarzania recyklatów, gęstw polimerowo-proszkowych oraz materiałów o zwiększonej abrazyjności. Autor trafnie wskazuje, że współczesne formy wymagają zarówno wysokiej przewodności cieplnej, jak i odporności na zużycie, co uzasadnia poszukiwanie nowych materiałów kompozytowych oraz wykorzystanie technologii przyrostowych.

Teza i cele pracy zostały sformułowane prawidłowo i jasno określają kierunki badań, które należało zrealizować aby je udowodnić. Ponadto, dotyczą one zarówno aspektów naukowo-badawczych jak również mają istotne znaczenie uylitarne, co Doktorant w sposób jednoznaczny podkreślił w rozprawie.

W części dotyczącej materiałów i przygotowania próbek Autor opisał zarówno filament komercyjny Zetamix H13, jak i opracowany filament eksperymentalny na bazie TPU (termoplastycznego poliuretanu). Szczegółowo przedstawiono proces doboru matrycy polimerowej, parametry mieszania proszku ze spoiwem oraz warunki wytłaczania filamentu. Badania wstępne obejmowały ocenę elastyczności, jednorodności dyspersji proszku oraz możliwości wytłaczania, co pozwoliło na wytypowanie optymalnego udziału proszku na poziomie 60% objętościowo.

W kolejnych etapach przedstawiono proces przygotowania próbek do badań, obejmujący projektowanie modeli CAD, dobór parametrów druku, oraz wykonanie wydruków na drukarce FDM. Następnie opisano proces degradacji lepiszcza oraz procesów spiekania w różnych atmosferach (N₂-10%H₂, Ar-10%H₂, próżnia), co umożliwiło dobór optymalnych parametrów.

W części dotyczącej infiltracji Autor przeprowadził porównanie kilku metod, w tym infiltracji ciśnieniowej, w atmosferach ochronnych oraz w wysokiej próżni. Ostatecznie wybrano infiltrację próżniową jako najbardziej efektywną i jednocześnie ekonomicznie uzasadnioną. Przedstawiono również zakres stopni wypełnienia preform stalowych (60-80%) oraz opisano końcową obróbkę cieplną kompozytów.

Ostatnia część rozdziału zawiera szczegółowy opis metodyki badań, obejmujący analizę morfologii proszków, badania reologiczne, TGA, FTIR, tomografię, pomiary gęstości, badania mikrostruktury, analizy fazowe, pomiary mikrotwardości, dyfuzyjności cieplnej oraz próby rozciągania. Dobór metod badawczych jest adekwatny do postawionej tezy, a ich zastosowanie świadczy o wysokim poziomie przygotowania eksperymentalnego.

W rozdziale czwartym Pan mgr inż. Michał Gocki omawia wyniki przeprowadzonych badań prezentując je w sześciu wyodrębnionych podrozdziałach.

Podrozdział 4.1 przedstawia analizę właściwości proszków stalowych X40CrMoV5-1, składników lepiszcza oraz filamentów polimerowo proszkowych, zarówno komercyjnych, jak i eksperymentalnych. Autor prezentuje wyniki badań w sposób systematyczny, obejmując charakterystykę morfologiczną proszków, ich rozkład wielkości, właściwości reologiczne gęstw, strukturę chemiczną lepiszcza oraz zachowanie materiałów podczas degradacji termicznej.

W pierwszej części przedstawiono wyniki pomiarów wielkości cząstek proszków stali oraz współczynnika nachylenia krzywej (S_w). Autor trafnie wskazał, że zróżnicowany rozmiar cząstek sprzyja zagęszczaniu podczas spiekania, co jest korzystne dla technologii MFD. M.

Morfologię proszków obserwowano za pomocą SEM. Pan mgr inż. Michał Gocki zaobserwował, że cząstki obu proszków charakteryzowały się głównie kształtem sferycznym, z lokalnymi cząstkami globularnymi. Ponadto proszek eksperymentalny charakteryzował się gładką morfologią powierzchni oraz niskim stopniem aglomeracji, co sprzyja jego jednorodnej dyspersji w matrycy polimerowej. Właściwości te stanowią istotny czynnik determinujący stabilność procesu druku oraz jakość otrzymywanych spieków.

Wykonana analiza FTIR pozwoliła Autorowi na identyfikację grup funkcyjnych w lepiszczach. W przypadku filamentu komercyjnego wykazano obecność grup amidowych, estrowych lub hydroksylowych oraz pierścieni aromatycznych. W filamencie eksperymentalnym zidentyfikowano charakterystyczne pasma dla poliuretanu TPU, potwierdzając obecność segmentów twardych tj. grupy uretanowe, jak i segmenty miękkie, poliestry lub polietyry.

Na podstawie wyników reologicznych Autor stwierdził, że oba filamenty wykazywały właściwości pseudoplastyczne. Natomiast przeprowadzone pomiary termogravimetryczne dowiodły, że materiał eksperymentalny charakteryzował się niższym zapotrzebowaniem energetycznym (przy stopniach przemiany $\alpha > 0,3$) w porównaniu do degradacji cieplnej materiału komercyjnego, co potwierdza jego korzystne właściwości przetwórcze.

Podrozdział 4.2 prezentuje analizę doboru parametrów technologicznych obejmujących drukowanie metodą MFD, degradację cieplną lepiszcza, proces spiekania oraz infiltrację porowatych preform stalowych. Pan mgr inż. Michał Gocki przeanalizował trzy warianty cykli

degradacji lepszczą, uwzględniające czas degradacji (23 h, 40 h, 48 h), efektywność procesu oraz zużycie energii. W części dotyczącej spiekania Autor przedstawił wyniki badań próbek prasowanych oraz wydrukowanych metodą MFD. Dla próbek prasowanych optymalną temperaturę spiekania określił jako 1420°C, natomiast dla próbek drukowanych, 1390°C.

W ostatniej części podrozdziału przedstawił wyniki procesu infiltracji ciśnieniowej oraz infiltracji w piecu rurowym w różnych atmosferach, z wykorzystaniem ciekłej miedzi, próbek wykonanych w technologii MFD. Autor wykazał, że jedynie infiltracja w wysokiej próżni lub infiltracja ciśnieniowa zapewniają pełne wypełnienie porowatych preform. Ostatecznie w badaniach przyjął infiltrację w warunkach wysokiej próżni jako rozwiązanie optymalne pod względem technologicznym i ekonomicznym.

Podrozdział 4.3 dotyczy analizy struktury i właściwości stali X40CrMoV5-1 po procesie spiekania, obejmującą ocenę jakości powierzchni, gęstości, składu chemicznego, mikrostruktury, faz krystalicznych, porowatości, dyfuzyjności cieplnej, mikrotwardości oraz właściwości mechanicznych.

Pan mgr inż. Michał Gocki wykazał, że wytworzone przez niego próbki charakteryzowały się brakiem defektów typowych dla technologii MFD, takich jak delaminacje międzywarstwowe czy pęknięcia. Równoległe i ciągłe ścieżki druku świadczą o stabilnym procesie wytłaczania oraz prawidłowej degradacji lepszczą. Zidentyfikowane pory lokalne, o wielkości 20-80 µm, w rejonach zmiany kierunku ścieżki oraz drobne pory międzyścieżkowe wynikały z geometrii procesu druku, a nie z błędów technologicznych.

Autor określił skurcz materiału eksperymentalnego i komercyjnego, który był porównywalny, i mieściły się w zakresie deklarowanym przez producenta. Ponadto wykazał, że mikrotwardość stali spiekanych w atmosferze N₂-10%H₂ przewyższają mikrotwardość stali H13 wytwarzanej metodą SLM, przy jednoczesnej wysokiej plastyczności i wysokiej wytrzymałości.

Podrozdział 4.4 prezentuje analizę struktury i właściwości kompozytów stal-miedź otrzymanych poprzez infiltrację porowatych preform stalowych ciekłą miedzią. Pan mgr inż. Michał Gocki ocenił wpływ atmosfery spiekania, rodzaju filamentu oraz udziału miedzi na gęstość, mikrostrukturę, skład fazowy, dyfuzję międzyfazową, porowatość, przewodność cieplną i mikrotwardość kompozytów.

Wyniki pomiarów gęstości wskazały, że najwyższe zagęszczenie uzyskano dla kompozytów spiekanych w atmosferze N₂-10%H₂, niezależnie od udziału miedzi. Analiza SEM-EDS potwierdziła zjawisko dyfuzji żelaza do miedzi w strefie granicznej oraz ograniczony proces dyfuzji miedzi do stali. Obserwacje TEM ujawniły obecność nanometrycznych wydzielen miedzi w stali oraz wydzielen żelaza w miedzi, a także liczne defekty dyslokacyjne w fazie Cu, co jest typowe dla materiałów poddanych szybkiemu chłodzeniu i intensywnym procesom dyfuzyjnym. Wyniki badań dyfuzyjności cieplnej jednoznacznie wskazały, że przewodność cieplna kompozytów rośnie wraz ze zwiększeniem udziału miedzi. Najwyższe wartości uzyskano dla kompozytów zawierających 30-40% miedzi, spiekanych w atmosferze N₂-10%H₂. Autor trafnie zauważył, że choć kompozyty z 40% miedzi charakteryzowały się najwyższą dyfuzyjnością, wymagały zastosowania dwukrotnego procesu

infiltracji. Obniża to ich opłacalność technologiczną. Dlatego Pan mgr inż. Michał Gocki za optymalny uznano udział 30% miedzi w opracowywanym kompozycie.

Rozdział 4.5 przedstawia wyniki wpływu obróbki cieplnej na strukturę i właściwości mechaniczne stali X40CrMoV5-1 wytwarzanej metodą MFDm i spiekanej w atmosferze N₂-10%H₂. Autor przeprowadził analizę fazową, mikrostrukturalną, pomiary mikrotwardości, wytrzymałości na rozciąganie oraz dyfuzyjności cieplnej, wykazując jednoznacznie, że proces hartowania i odpuszczania znacząco poprawia właściwości użytkowe materiału.

Rozdział 4.6 koncentruje się na analizie właściwości tribologicznych stali X40CrMoV5-1 wytwarzanej metodą MFDm i spiekanej w różnych atmosferach oraz poddanej obróbce cieplnej. Autor skoncentrował się na ocenie odporności na zużycie ściernie, współczynnika tarcia oraz charakterystyce śladów zużycia, co jest kluczowe z punktu widzenia zastosowań w formach wtryskowych, gdzie wymagane są zarówno wysoka przewodność cieplna, jak i trwałość powierzchniowa. Zarejestrowane wyniki potwierdziły, że stal X40CrMoV5-1 wytwarzana metodą MFDm i spiekana w atmosferze N₂-10%H₂, zwłaszcza po obróbce cieplnej, charakteryzuje się korzystnymi do zastosowań narzędziowych właściwościami tribologicznymi.

Merytoryczną część pracy zamykają rozdział 5, stanowiący podsumowanie, oraz rozdział 6, w którym przedstawiono wnioski końcowe. Pracę zamykają spis bibliografii oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Około 50% cytowanej literatury stanowią publikacje opublikowane w ciągu ostatnich pięciu lat, a prawie 70% bibliografii stanowią publikacje z ostatnich 10 lat. Wskazuje to na silne osadzenie rozprawy w aktualnym stanie wiedzy oraz uwzględnienie najnowszych osiągnięć badawczych w analizowanym obszarze. W rozprawie nie przytoczono żadnej pozycji bibliograficznej Autora.

Merytoryczna ocena rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Michała Gockiego pt. *„Struktura i własności nowo opracowanych materiałów kompozytowych na formy wtryskowe wytwarzane technologią przyrostową”* stanowi oryginalne opracowanie, które ze względu na tematykę oraz zastosowaną metodologię badań mieści się w obszarze dyscypliny inżynieria materiałowa.

Należy podkreślić szeroki zakres metod analitycznych zastosowanych przez Doktoranta w trakcie realizacji pracy. Wyniki są spójne, rzetelnie opracowane i właściwie zinterpretowane.

Uważam, że problematyka naukowo-badawcza podjęta w rozprawie doktorskiej przez Pana mgr inż. Michała Gockiego jest wysoce aktualna i posiada znaczący potencjał aplikacyjny. Wybór tematyki rozprawy, jak i materiałów do badań, należy uznać za trafny i uzasadniony.

Do najważniejszych osiągnięć Pana mgr inż. Michała Gockiego należy zaliczyć kompleksowe opracowanie i walidację pełnego łańcucha technologicznego wytwarzania

kompozytu stal-miedź z wykorzystaniem technologii metal FDM, obejmujące optymalizację parametrów druku, degradacji cieplnej, spiekania oraz infiltracji.

Przeprowadzone analizy mikrostrukturalne oraz badania właściwości mechanicznych, cieplnych i tribologicznych wykazały możliwość wytwarzania lito-porowatych spieków stalowych z zastosowaniem technologii metal FDM, a następnie ich skutecznej infiltracji miedzią, prowadzącej do uzyskania materiałów kompozytowych o wysokiej gęstości, podwyższonej odporności na zużycie ścierne, korzystnych właściwościach mechanicznych oraz wysokiej przewodności cieplnej.

Dokładne zapoznanie się z treścią rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Gockiego skłania do sformułowania pod adresem Doktoranta kilku pytań dotyczących niektórych jej fragmentów:

- Proszę o wyjaśnienie czy zastosowanie w tytule rozprawy liczby pojedynczej „nowoopracowanego materiału kompozytowego” nie byłoby bardziej adekwatne w kontekście treści przedstawionych w pracy?
- Proszę o wyjaśnienie, w jaki sposób Doktorant rozumie zapis „... wartość maksymalnej temperatury, która wystąpiła przy największym ubytku masy [96, 97].” (str. 34).
- W odniesieniu do rysunku 2.13 proszę o wskazanie, jaki termin zgodny z nomenklaturą stosowaną w literaturze międzynarodowej można zastosować w miejsce określenia „zarastanie poru”.
- Proszę o przedstawienie metodyki przeprowadzania testów elastyczności i dyspersji proszku, których wyniki zaprezentowano w tabeli 3.1.
- Proszę o wyjaśnienie, dlaczego najmniejszy zastosowany objętościowy udział proszku stali w filamencie, wynoszący 55%, nie spełnił kryterium testu dyspersji proszku.
- Proszę o przedstawienie informacji dotyczących sposobu realizacji procesów spiekania wyprasek, które umożliwiły wyznaczenie krzywych gęstości spiekania.
- Proszę o wyjaśnienie obserwowanego wyraźnego spadku gęstości z $7,56 \text{ g/cm}^3$ do $7,07 \text{ g/cm}^3$ wraz ze wzrostem temperatury spiekania z 1420°C do 1430°C .
- Proszę o informację, czy wyniki analizy ilościowej zawartości węgla przedstawione na rysunkach 4.36 - 4.45 można uznać za miarodajne.

W pracy znajdują się również nieliczne błędy redakcyjne, lub powtórzenia fragmentów tekstu.

Przytoczone powyżej uwagi traktuję raczej jako formę dyskusji z Doktorantem, które nie umniejszają merytorycznej wartości rozprawy i nie wpływają na ocenę realizację całości pracy. Rozprawa Pana mgr inż. Michała Gockiego zawiera wartościowe wyniki, które świadczą o jego kompetencjach, umiejętnościach w zakresie planowania badań oraz doświadczeniu w ich przeprowadzeniu. Opracowana rozprawa dotyczy aktualnej problematyki badawczej i w wielu miejscach wnosi nowe, istotne treści o znaczących walorach poznawczych oraz aplikacyjnych.

Ocena końcowa rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Gockiego pt. *„Struktura i własności nowo opracowanych materiałów kompozytowych na formy wtryskowe wytwarzane technologią przyrostową”* stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oraz wykazuje na dobre teoretyczne przygotowanie Kandydata w danej dyscyplinie naukowej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa jest napisana przejrzysto i prawidłowo przeprowadzona od strony eksperymentalnej. Autor sformułował oryginalny problem naukowy, który ma ważne znaczenie zarówno od strony badawczej, jak i technologicznej. Doktorant wykazał się biegłością w wykorzystaniu nowoczesnych metod badawczych stosowanych w inżynierii materiałowej, a także umiejętnością poprawnego i przekonującego przedstawiania wyników badań. Wszystkie stwierdzenia w omówieniu wyników oraz wnioskach są odpowiednio udokumentowane w pracy i nie budzą zastrzeżeń. Rezultaty przeprowadzonych analiz przedstawione w rozprawie stanowią istotny wkład w rozwój zagadnień związanych z opracowaniem, wytwarzaniem i charakterystyką właściwości kompozytów stal-miedź wytwarzanych metodą metal FDM. Praca charakteryzuje się wysokim poziomem merytorycznym i znaczną wartością aplikacyjną.

Oceniając całość przesłanej do recenzji rozprawy doktorskiej pt. *„Struktura i własności nowo opracowanych materiałów kompozytowych na formy wtryskowe wytwarzane technologią przyrostową”* stwierdzam, że praca Pana mgr inż. Michała Gockiego spełnia wymagania określone w Art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn. zm.), i wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Autora do publicznej obrony.

Jednocześnie mając na uwadze całokształt uzyskanych wyników i zakres pracy zrealizowany przez Doktoranta oraz biorąc pod uwagę złożoność podjętej tematyki wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Prof. Marek Hebda

/podpis odręczny/