

**RECENZJA**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła GROBELNEGO**  
**pt. OCENA WYBRANYCH PARAMETRÓW TOPOGRAFII**  
**POWIERZCHNI MATERIAŁÓW METALOWYCH OTRZYMYWANYCH**  
**TECHNIKAMI PRZYROSTOWYMI**

**Podstawa opracowania:**

pismo z dnia 06.02.2019 nr DM.63.182.2019 oraz umowa o dzieło nr 02/29/2019/50 z dnia 06.02.2019 z Politechniką Poznańską reprezentowaną przez Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania dr hab. inż. Olafa CISZAKA, prof. PP, dotycząca opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła GROBELNEGO.

**1. Wprowadzenie**

Przyrostowe metody wytwarzania wyrobów znajdują coraz więcej zastosowań w wielu obszarach nauki ale również procesach wytwarzania elementów maszyn ze stopów metali. Pojawiają się opracowania dotyczące wytycznych dla procesu projektowania wyrobów wytwarzanych addytywnie, samych procesów warstwowych oraz obróbki wykończeniowej tego typu prototypów, można jednak zauważyć deficyt informacji dotyczących topografii powierzchni elementów otrzymywanych w wyniku spiekania warstwowego proszków metali. Prace związane z tymi zagadnieniami są szczególnie uzasadnione potrzebami przemysłu. Trwają obecnie intensywne prace nad normalizacją procesów związanych z technologiami przyrostowymi w ramach zespołów roboczych ISO oraz Polskiego Komitetu Normalizacyjnego *Sekcji PKNKT207 Obróbki Ubytkowej i Przyrostowej oraz Charakterystyki Warstwy Wierzchniej*.

Powyższe informacje dowodzą, że tematyka pracy jest aktualna a jej podjęcie uzasadnione. Wyniki badań zawartych w rozprawie mają potencjał aplikacyjny możliwy do zastosowania w praktyce przemysłowej w branżach związanych z budową i eksploatacją maszyn.

## 2. Struktura pracy doktorskiej

Dysertacja doktorska mgr inż. Pawła GROBELNEGO pt. *„Ocena wybranych parametrów topografii powierzchni materiałów metalowych otrzymywanych technikami przyrostowymi”* przedstawia w sposób teoretyczny i doświadczalny zagadnienia związane badaniem wybranych parametrów topografii powierzchni próbek otrzymywanych w procesie przyrostowego spajania proszków metali.

Rozprawa została przygotowana Politechnice Poznańskiej i składa się ze 188 stron zawartych w siedmiu rozdziałach. Spis literatury obejmuje 151 pozycji ze źródeł krajowych i zagranicznych w tym publikacje zwarte, czasopisma i strony internetowe. Zachowane zostały prawidłowe proporcje pomiędzy opracowaniami o charakterze naukowym a pozostałymi pozycjami zawartymi w literaturze. Wątpliwości mogą budzić powołania na niektóre portale internetowe, szczególnie związane z tzw. drukiem 3D, na których zamieszczone informacje często nie mają charakteru naukowego tylko reklamowy a informacje podane są tam w sposób ogólnikowy a czasami nieaktualny. Spośród podanych w spisie adresów dla jednej z domen aktywnej na podany dzień (01.01.2016), widnieją informacje że w dniu 25.02.2019 domena została wystawiona na aukcję internetową. Brak jest w tym zestawieniu norm dotyczących addytywnych procesów wytwarzania oraz innych norm, które Autor przytacza w tekście (m.in. str. 34, 36, 39), a których nie wymienia w żadnym zestawieniu.

Pracę rozpoczyna krótki wstęp (rozdział 1) oraz krótkie wprowadzenie z uzasadnieniem podjęcia tematu badawczego (rozdział 2). W rozdziale trzecim przedstawiona jest szczegółowa analiza stanu wiedzy oparta na danych literaturowych. Opisane są tu informacje związane z technologiami przyrostowymi oraz podstawowe procesy wykorzystywane do spajania warstwowego proszków stopów metali. Przedstawiono również definicje opisujące technologiczną warstwę wierzchnią oraz parametry opisu topografii powierzchni. Na podstawie analizy stanu zagadnienia sformułowano tezę pracy przedstawioną w rozdziale czwartym, który zawiera również cel i zakres pracy.

W rozdziale piątym przedstawiono metodykę badań obejmującą zestawienie aparatury zastosowanej do badań, próbki badawcze wykonane z równych materiałów, dobór narzędzi do obróbki, parametry skrawania, zakres badań w postaci schematycznej oraz opis stanowisk badawczych.

Rozdział szósty opisuje badania własne Doktoranta, które stanowią bardzo szeroki materiał z przeprowadzonych badań oraz ich szeroką analizę zilustrowaną przy pomocy szeregu czytelnych wykresów ułatwiających interpretację przeprowadzonych pomiarów.

W rozdziale siódmym przedstawiono wnioski końcowe podzielone na odpowiedź na tezy pracy, wnioski poznawcze oraz wnioski użytkowe. Rozdział został zakończony sformułowanymi kierunkami dalszych badań.

W początkowej części pracy znajduje się krótki wykaz ważniejszych oznaczeń i akronimów na końcu pracy streszczenie w języku polskim i angielskim bez przedstawienia tłumaczenia tytułu.

### **3. Charakterystyka rozprawy doktorskiej**

Tematyka i zakres przeprowadzonych badań przedstawionych w rozprawie dotyczą technologii przyrostowych związanych z przetwarzaniem warstwowym proszków stopów metali, które należą do zagadnień szczególnie ważnych i aktualnych nie tylko z punktu widzenia rozwoju nauki ale również aplikacji przemysłowych. Badanie i ocena wybranych parametrów topografii powierzchni wyrobów uzyskiwanych bezpośrednio w wyniku procesu przyrostowego ale również w wyniku obróbki wykończeniowej. Powierzchni jest istotne z punktu widzenia rozwoju technologii addytywnych ale również technologii hybrydowych skojarzonych bezpośrednio z przyrostowymi. Można spotkać wiele opracowań dotyczących technologii szybkiego prototypowania wyrobów, najczęściej przedstawiających wyniki badań właściwości wytrzymałościowych oraz dokładności wymiarowej i kształtowej próbek normatywnych, jednak niewiele jest opracowań przedstawiających wyniki badań topografii powierzchni próbek wykonanych przyrostowo ze stopów metali i następnie poddanych obróbce wykończeniowej.

Autor sformułował temat pracy jako „*Ocena wybranych parametrów topografii powierzchni materiałów metalowych otrzymywanych technikami przyrostowymi*”, moim zdaniem praca dotyczy oceny wybranych parametrów topografii powierzchni próbek otrzymywanych technikami przyrostowymi w procesie spajania proszków materiałów metalowych. Biorąc pod uwagę różne technologie addytywne można również kształtować wyroby w poprzez wyłaczanie przyrostowe blach (np. z zastosowaniem obrabiarek CNC) oraz łączenie warstwowe wycinanych uprzednio folii metalowych. Doktorant w rozdziale 3.3 próbuje definiować techniki przyrostowe w obrębie przetwarzania materiałów metalowych jako tzw. druk 3D, które to kreślenie nie jest dość precyzyjne i nie oddaje spektrum procesów stosowanych do warstwowego kształtowania wyrobów. Określenie to jest bardzo szeroko używane jako skrót myślowy, który na stałe zagościł w nomenklaturze związanej z technologiami przyrostowym i jest ono często nadużywane, szczególnie przez autorów portali internetowych (również podanych w pisie literatury) w celu łatwego dotarcia do szerokiej rzeszy czytelników. W tekstach naukowych i profesjonalnych materiałach technicznych, jednak nie powinno się tego sformułowania nadużywać, ponieważ jest one nieprecyzyjne. W rozdziale tym zawarta jest również próba opisanie historii, wad i zalet technologii przyrostowych. Być może lepiej byłoby w tym miejscu odnieść się konkretnie do zagadnień związanych z procesami przyrostowymi niż do wybiórczo przedstawionych elementów historii rozwoju procesów wytwarzania przyrostowego wyrobów. W kolejnych częściach rozdziału przedstawione są już wyłącznie informacje związane z warstwowym przetwarzaniem

proszków metali. Można tu zauważyć pewne błędy i niekonsekwencje np. w opisie technologii SLS w odniesieniu do spajania proszków metali i proszków polimerowych (rozdział 3.3.2) oraz przypadki zastosowania nieprecyzyjnych i potocznych sformułowań (zdanie na str. 25) „*Druk powstaje dzięki wysokiej mocy lasera, który z dużą dokładnością przetapia i spieka kolejne warstwy wybranego metalu*”. Można tu zadać pytania co oznacza: druk powstaje, jaka jest to wysoka moc lasera, jaka jest duża dokładność, jakie są to kolejne warstwy wybranego metalu. W rozdziale trzecim można znaleźć również inne przykłady tego typu potocznych sformułowań, które są typowe dla początkowych etapów pracy i opisu badań nad technologiami przyrostowymi. Błędy te nie wpływają istotnie na główny merytoryczny wątek pracy doktorskiej dotyczący oceny parametrów topografii powierzchni badanych próbek, jednak jeżeli w przyszłości Autor chciałby zajmować się technologiami przyrostowymi powinien w tekstach technicznych i naukowych trzymać się sformułowań i definicji fachowych, a są one już dostępne w opracowanych i opublikowanych normach.

Założone w rozdziale czwartym tezy dotycząca analizy parametrów topografii powierzchni po procesie toczenia elementów wykonanych przyrostowo ze stopów metali w odniesieniu do analizy tych parametrów dla próbek wytworzonych tradycyjnymi technikami wytwarzania oraz możliwości sterowania wybranymi parametrami były powodem do sformułowania celu i zakresu pracy.

Metodyka badań doświadczalnych przedstawiona w rozdziale piątym obejmuje zastosowanie w procesie badawczym kilku maszyn do warstwowego kształtowania wyrobów z proszków metali, znajdujących się w różnych ośrodkach polskich i zagranicznych, co należy uznać jako duży wkład pracy doktoranta w realizację badań. Zestawienie maszyn przedstawione jest w tabeli 5.1. Metodyka ta obejmuje również dobór narzędzi do obróbki próbek, parametrów skrawania oraz aparatury pomiarowej. Wszystkie te elementy zostały dobrane prawidłowo i pozwoliły na osiągnięcie założonych w pracy celów. Autor nie odnosi się do procesu przyrostowego, przyjmując wykonane w tym procesie próbki jako półfabrykat i materiał do dalszych badań, co wynika to z założonego zakresu badań. W przypadku wytwarzania wyrobów w procesie spajania warstwowego proszków metali podejście do tzw. surowego wydruku 3D jako półfabrykatu jest z punktu widzenia technologii poprawne.

Badaniom poddano próbki o kształcie walcowym o średnicy nominalnej 10mm i długości 100mm jak wynika z rysunku 6.1, jednak rysunek przedstawia w znacznym uproszczeniu widok próbki. Z punktu widzenia planu badań, takie uproszczenie może wydawać się wystarczające, jednak z punktu widzenia opracowań technicznych dla których rysunek techniczny jest podstawą wymiany informacji o charakterze naukowym uproszczenie to moim zdaniem jest zbyt duże. Nie są podane wymiary średnic po obróbce toczenia, podane są jedynie parametry skrawania a parametry podane na rysunkach 6.1 i 6.6 są bardzo uproszczone. Doktorant skupił się na badaniu i analizie parametrów topografii powierzchni badanych

próbek, co jest zgodne z celem pracy i jest szeroko przedstawione w rozdziale szóstym, jednak można odnieść czasami wrażenie że analiza ta jest celem tylko w samym sobie. Przedstawiony w tym rozdziale materiał badawczy stanowi bardzo szerokie omówienie przeprowadzonych badań na próbkach wykonanych przyrostowo z różnych materiałów takich jak: stopy niklu, stopy tytanu, stopy aluminium brązu czy stali. Materiały te mają różną właściwości oraz różnie poddają się procesowi przyrostowemu czy obróbce ubytkowej, stąd przeprowadzenie analizy topografii powierzchni próbek wykonanych z tych materiałów stanowi istotny i oryginalny wkład Autora do dyscypliny *Budowa i eksploatacja maszyn*. Zagadnienia te są również istotne z punktu widzenia aplikacji przemysłowych

Przedstawione w szóstym rozdziale wyniki badań stanowią materiał do przeprowadzenia wielu analiz. Sposób przedstawienia wyników i ich omówienie jest bardzo czytelne a ich podsumowanie w rozdziale siódmym może stanowić pewnego rodzaju wytyczne dla konstruktorów i technologów zajmujących się projektowaniem i wytwarzaniem elementów maszyn z zastosowaniem procesów przyrostowych.

Dysertacja oparta jest na badaniach i analizie wyników badań, przeprowadzonych w oparciu o założony program z wykorzystaniem nowoczesnej i odpowiednio dobranej aparatury. Doktorant w procesie badawczym potwierdził założone tezy.

Przedstawione uwagi w dużej mierze można uznać, że mają charakter dyskusyjny i nie wpływają znacząco na wartość merytoryczną rozprawy. Metodyka badań oraz opracowane modele badawcze stanowią w znacznej części oryginalny wkład Autora w rozwój dyscypliny *budowa i eksploatacja maszyn*. Stwierdzam jednocześnie, że wysoko oceniam poziom merytoryczny rozprawy ze względu na dużą liczbę przeprowadzonych badań oraz wykonanych na ich podstawie analiz.

#### **4. Podsumowanie**

Na podstawie analizy przedstawionej do oceny dysertacji doktorskiej stwierdzam, że:

- dotyczy ona analizy oceny wybranych parametrów topografii powierzchni próbek wytworzonych przyrostowo z proszków metali, odnosi się do aktualnej wiedzy i praktyki objętej jej zakresem, a w wielu elementach wnosi nowe treści,
- wybór tematyki pracy został dokonany w sposób trafny, a zakres pracy spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim,
- zasadnicze cele pracy zostały osiągnięte w zakresie przyjętym przez Autora,
- założenia przyjęte w pracy i opracowane własne procedury badawcze mogą być przedmiotem dalszych prac badawczych,
- struktura i formalny układ pracy jest prawidłowy.

W rozprawie Autor podjął się realizacji złożonego zadania badawczego, które nie wyczerpuje całości tematyki związanej z analizą parametrów topografii powierzchni części maszyn wytwarzanych technologiami addytywnymi. Zakres przeprowadzonych badań oraz opracowane analizy świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jego dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej *budowa i eksploatacja maszyn*, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą.

Stwierdzam zatem, że praca mgr inż. Pawła Grobelnego pt.: *„Ocena wybranych parametrów topografii powierzchni materiałów metalowych otrzymywanych technikami przyrostowymi”* (promotor: prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko, promotor pomocniczy: dr inż. Natalia Makuch - Dziarska) spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określonych w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U z 2017, poz. 1789 t.j. ze zm.), a Autor w mojej ocenie może być dopuszczony do jej publicznej obrony.

*Grzegorz Budnik*