

**Karta zgłoszenia tematyki badawczej
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych
dla kandydatów do Szkoły Doktorskiej
w roku akademickim 2025/2026**

Proponowana tematyka doktoratu
Badania wpływu parametrów procesu kształtowania przyrostowego na dokładność wymiarowo-kształtową wytłoczek
Dyscyplina naukowa
INŻYNIERIA MECHANICZNA
Proponowany promotor
dr hab. inż. Paweł Sutowski, prof. PK Wydział Inżynierii Mechanicznej i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji ul. Raławicka 15-17; budynek D, pokój 209 e-mail: pawel.sutowski@tu.koszalin.pl ; tel.: +48 (94) 3478-363

Krótki opis tematyki badawczej ze wskazaniem problematyki naukowej (max. 350 słów)
Tematyka badawcza koncentruje się na analizie procesu kształtowania przyrostowego blach metodą SPIF (Single Point Incremental Forming), który umożliwia kształtowanie elementów o złożonej geometrii przy zastosowaniu prostych narzędzi i bez konieczności stosowania kosztownych tłoczników. Mimo rosnącego zainteresowania tą technologią, jej pełne zrozumienie i kontrola nadal stanowią poważne wyzwanie badawcze. W szczególności, złożony charakter procesu — obejmujący lokalne uplastycznianie materiału, dynamiczne zmiany warunków kontaktu i nieliniowe rozkłady naprężeń — generuje szereg trudnych problemów naukowych. Jednym z kluczowych zagadnień jest wpływ parametrów technologicznych (takich jak głębokość zadawania narzędzia, prędkość posuwu czy trajektoria narzędzia) na dokładność wymiarową oraz kształtową uzyskiwanych wyrobów. Dotychczasowe badania wskazują, że nawet niewielkie zmiany w tych parametrach mogą prowadzić do znaczących odchyłek geometrycznych, jednak mechanizmy leżące u podstaw tych zależności pozostają niedostatecznie poznane. Część z aktualnych badań procesu SPIF dotyczy optymalizacji narzędzia wykorzystywanego w procesie kształtowania przyrostowego. W trakcie kształtowania narzędzie ulega zużyciu, co prowadzi do zmian w jego charakterystyce geometrycznej i zmniejszenia efektywności procesu. Optymalizacja narzędzia obejmuje zarówno jego konstrukcję, jak i dobór odpowiednich parametrów, takich jak siła nacisku czy trajektoria ruchu, w celu minimalizacji błędów związanych z dokładnością wymiarową oraz kształtową wyrobów. Drugim istotnym problemem jest zjawisko sprężynowania, czyli elastycznego odkształcenia wyrobu po zakończeniu procesu kształtowania. Jego skala i charakter są trudne do przewidzenia, szczególnie w przypadku wyrobów o złożonej geometrii, gdzie nakładają się na siebie efekty lokalnych krzywizn, zmiennych kierunków odkształceń i różnic w grubości materiału. Brakuje ugruntowanych modeli, które wiarygodnie łączyłyby cechy geometrii z charakterem odkształceń sprężystych oraz pozwalały

na skuteczną kompensację błędów.

Kolejnym zasadniczym obszarem badawczym jest wpływ umacniania materiału na ograniczenia procesu. W trakcie kształtowania dochodzi do intensywnego lokalnego umacniania, które wpływa na dalszy przebieg procesu i może prowadzić do przedwczesnej utraty plastyczności lub pękania materiału. Wymaga to dogłębnych badań nad rozkładem twardości, ewolucją mikrostruktury oraz modelowaniem nieliniowego zachowania się materiału w warunkach zmiennego obciążenia.

Istotnym wyzwaniem jest także opracowanie metod diagnostycznych umożliwiających monitorowanie stanu narzędzia w czasie rzeczywistym, co pozwala na wczesne wykrywanie problemów związanych z jego zużyciem i odpowiednią korektę parametrów procesu. Zrozumienie wpływu narzędzi na jakość wyrobów i optymalizacja ich właściwości stanowi niezbędny krok w kierunku zwiększenia efektywności i niezawodności procesu SPIF.

Problematyka badawcza obejmuje zatem nie tylko zagadnienia technologiczne, lecz przede wszystkim pytania dotyczące opisu mechaniki procesu, predykcji zachowania się materiału oraz rozwoju metod analitycznych i numerycznych wspierających jego optymalizację.

Uzasadnienie celowości podjęcia tematyki badawczej (max. 150 słów)

Proces kształtowania przyrostowego blach metodą SPIF stwarza wiele wyzwań natury naukowej, które nadal pozostają nierozwiązane lub jedynie częściowo opisane. W szczególności brak kompleksowego zrozumienia zależności pomiędzy parametrami procesu a dokładnością wymiarowo-kształtową powoduje trudności w jego predykcyjnym modelowaniu. Problem stanowi także występowanie zjawiska sprężynowania, którego skala i kierunek są silnie uzależnione od geometrii wyrobu oraz nieliniowych mechanizmów deformacji sprężysto-plastycznej. Kolejnym wyzwaniem jest wpływ umacniania materiału — dynamicznie zmieniających się właściwości mechanicznych w trakcie procesu — na ograniczenia formowalności i inicjację uszkodzeń.

Zagadnienia te wymagają opracowania zaawansowanych modeli numerycznych uwzględniających rzeczywiste warunki kontaktu, złożoną historię odkształceń oraz lokalne efekty geometryczne. Istnieje również potrzeba stworzenia metod doświadczalnych pozwalających na weryfikację modeli i analizę wpływu poszczególnych czynników technologicznych. Celowość podjęcia badań wynika z konieczności wyjaśnienia mechanizmów odpowiedzialnych za niestabilności procesu, niedokładności formowanych kształtów oraz występowanie błędów systemowych, takich jak odchylenia trajektorii narzędzia czy nierównomierne umacnianie.

Badania te mogą przyczynić się do rozwoju wiedzy w obszarze inżynierii materiałowej i mechaniki plastyczności, szczególnie w kontekście nieliniowych, przyrostowych procesów kształtowania. Ich realizacja pozwoli na sformułowanie nowych kryteriów oceny przebiegu procesu SPIF i jego ograniczeń technologicznych, co może stanowić istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynierii mechanicznej.

Proponowane tematy prac doktorskich w ramach zgłaszanej tematyki badawczej (do 3 tematów)

1. Badania wpływu parametrów kształtowania przyrostowego wytłoczek o złożonej geometrii na dokładność wymiarowo-kształtową
2. Badania zjawiska umacniania materiału na ograniczenia procesu kształtowania przyrostowego wytłoczek o złożonej geometrii
3. Badania relacji między złożonością geometryczną wyrobu a zjawiskiem sprężynowania wraz z opracowaniem metody jego kompensacji w procesie kształtowania przyrostowego

Źródła finansowania tematyki badawczej (tematyka realizowanych obecnie grantów naukowych finansowanych ze źródeł zewnętrznych lub w ramach subwencji)
Przewiduje się, że podstawowym źródłem finansowania badań będą środki na badania statutowe Katedry Inżynierii Produkcji. Możliwe jest również wnioskowanie o finansowanie w ramach projektów wydziałowych wewnętrznych oraz grantów NCN/NCBiR.
Potwierdzenie możliwości zapewnienia dostępu do aparatury naukowej oraz oprogramowania niezbędnego do realizacji proponowanej tematyki badawczej
CZĘŚCIOWO
W przypadku odpowiedzi CZĘŚCIOWO lub BRAK proszę wskazać rodzaj brakującej aparatury naukowej i/lub oprogramowania oraz źródła finansowania dostępu do nich
Badania właściwe będą wymagały realizacji badań eksperymentalnych na 5-osiowej frezarce CNC. W dyspozycji Katedry Inżynierii produkcji znajduje się frezarka HAAS oraz stanowisko prototypowe sterowane numerycznie. Oba stanowiska umożliwiają programowanie trajektorii narzędzia w sposób wymagany w procesie SPIF. Maszyny te mogą wymagać dostosowania do planowanych obciążeń wrzeciona, co może wymagać wykonania lub zakupu dodatkowej głowicy zewnętrznej lub zastosowania łożyskowanej oprawy kulowej. Źródłem finansowania modernizacji stanowisk będą środki na badania statutowe Katedry Inżynierii Produkcji lub środki pozyskane w ramach projektów wydziałowych wewnętrznych lub grantów NCN/NCBiR

Wykaz dorobku naukowego promotora w tematyce wskazanych problemów naukowych
Wykaz ważniejszych publikacji (maksymalnie 5), publikowanych w czasopismach indeksowanych w Web of Science lub Scopus za okres ostatnich 3 lat (z uwzględnieniem współczynnika wpływu czasopisma oraz punktacji MEiN)
1. Sutowski P., Zieliński B., Nadolny K. (2025): Advanced regression model fitting to experimental results in case of the effect of grinding conditions on a cutting force with the planer technical knives. Measurement, Volume 241, 115717. DOI: 10.1016/j.measurement.2024.115717. 2. Nadolny K., Romanowski M., Sutowski P. (2023): Assessing the technological quality of abrasive water jet and laser cutting processes by geometrical errors and a multiplicative indicator. Measurement, Volume 217, 113060. DOI: 10.1016/j.measurement.2023.113060. 3. Sutowski P., Nadolny K., Sutowska M. et al. (2022): Influence of regeneration process parameters on geometry and defects of clearance surface of planer knives used in wood planing process. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Volume 22, 43. DOI: 10.1007/s43452-021-00332-1. 4. Myśliński P., Gilewicz A., Nadolny K., Warcholiński B., Sutowska M., Sutowski P., Mydlowska K. (2022): Thermomechanical method in application to measurement of changes in stress states in substrate-PVD coating systems. Measurement, Volume 188, 110380. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.110380. 5. Nadolny K., Kapłonek W., Sutowska M., Sutowski P., Myśliński P., Gilewicz A., Warcholiński B. (2021): Moving towards sustainable manufacturing by extending the tool life of the pine wood planing process using the AlCrBN coating. Sustainable Materials and Technologies, Volume 28, e00259. DOI: 10.1016/j.susmat.2021.e00259.

Wykaz grantów naukowych finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz European Research Council, za okres ostatnich 5 lat

- | |
|---|
| 1. „ <i>Poprawa efektywności procesowej i materiałowej w przemyśle tartacznym</i> ” – projekt finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu „ <i>Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo</i> ” BIOSTRATEG, na podstawie umowy nr BIOSTRATEG3/344303/14/NCBR/2018; Projekt realizowany od 22.12.2017 r. do 21.12.2022 r. przez konsorcjum, którego liderem jest Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, a współwykonawcami Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego Warszawa, Politechnika Koszalińska oraz Koszalińskie Przedsiębiorstwo Przemysłu Drzewnego Szczecinek SA. |
|---|

Wykaz usług badawczych realizowanych na rzecz przemysłu za okres ostatnich 5 lat
--

-
