

Wrocław, 3 sierpnia 2016r.

Marek Hawryluk

Załącznik nr 3
Do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego
Autoreferat w języku polskim

1. Imię i Nazwisko.

MAREK HAWRYLUK

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne - z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- 01.2006 r.: dr inż. nauk technicznych w dyscyplinie mechanika i budowa maszyn, praca obroniona w Instytucie Technologii i Automatykacji Maszyn na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej, temat pracy: „Wpływ warunku podobieństwa plastycznego na dokładność modelowania fizycznego procesów wyciskania”.
- 06.2001 r.: mgr inż. nauk technicznych, absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej, temat pracy magisterskiej: „Koncepcja laboratorium do modelowania fizycznego”.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

- 02.2006 – obecnie: **Miejsce zatrudnienia:** Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny.
Sposób zatrudnienia: umowa o pracę na czas określony na stanowisku adiunkta.
Zakres pracy: badania naukowe, dydaktyka (różne formy zajęć), prace dyplomowe, organizacja (współpraca przy projektach unijnych oraz krajowych, tworzenie propozycji projektowych, zarządzanie projektami, organizacja konferencji naukowych, letnich szkół dla doktorantów, wycieczek do firm przemysłowych oraz rekreacyjnych w Katedrze, itp.).

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego,

Metody analizy oraz zwiększania trwałości narzędzi kuźniczych stosowanych w procesach kucia matrycowego na gorąco w formie monografii oraz cyklu publikacji monotematycznych

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy),

Książka:

- 1 **Hawryluk M.:** Metody analizy oraz zwiększania trwałości narzędzi kuźniczych stosowanych w procesach kucia matrycowego na gorąco, Monograficzna seria wydawnicza Problemy Eksploatacji i Budowy Maszyn, ISBN 978-83-7789-410-1, Wyd. Naukowe ITE – PIB, Radom 2016.

Publikacje w recenzowanych czasopismach i w recenzowanych materiałach konferencyjnych:

- 2 **Hawryluk M.** Review of selected methods of increasing the life of forging tools in hot die forging processes, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 16 (2016) : 845-866, <http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2016.06.001>. LF, IF - 02.194 (2015), LM 30.
- 3 Gronostajski Z., **Hawryluk M.** The main aspects of precision forging, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 2008; 8(2): 39-57. LF, LM 08.
- 4 **Hawryluk M.**, Kaszuba M., Gronostajski Z., Sadowski P. Systems of supervision and analysis of industrial forging processes, *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2016; 18 (3): 315–324, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2016.3.1>. LF, IF 1.248, LM 20.
- 5 Gronostajski Z., **Hawryluk M.**, Kaszuba M., Ziembra J. Application of a measuring arm with an integrated laser scanner in the analysis of the shape changes of forging instrumentation during production. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2016; 18 (2): 194–200, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2016.2.6>. LF, IF 1.248, LM 20.
- 6 **Hawryluk M.**, Jakubik J. Analysis of forging defects for selected industrial die forging processes, *Engineering Failure Analysis* 59 (2016) 396–409, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.11.008>, LF, IF 1.358, LM 30.
- 7 **Hawryluk M.**, Marciniak M., Misiun G. Possibilities of investigating abrasive wear in conditions close to those prevailing in industrial forging processes, *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 16 (4) (2015) 600-607. LF, IF 0.983, LM 15.
- 8 **Hawryluk M.**, Zwierzchowski M. Analiza strukturalna matryc stosowanych do kucia na ciepło w aspekcie ich trwałości., *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2 (2009) 31-41. LF, LM 09.
- 9 Gronostajski Z., **Hawryluk M.**, Kaszuba M., Marciniak M., Niechajowicz A., Polak S., Zwierzchowski M., Adrian A., Mrzygłód B., Durak J. The expert system supporting the assessment of the durability of forging tools, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 82 (2016) 1973–1991, <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-7522-3>. LF, IF 1.568, LM 25.
- 10 Gronostajski Z., **Hawryluk M.**, Krawczyk J., Marciniak M. Numerical modelling of the thermal fatigue of steel wclv used for hot forging dies, *Eksploatacja i Niezawodność- Maintenance and Reliability* 15(2) (2013) 129-133. LF, IF 0.505, LM 15.
- 11 Gronostajski Z. **Hawryluk M.**, Jakubik J., Kaszuba M., Misiun G., Sadowski P. Solution examples of selected issues related to die forging, *Archives of Metallurgy and Materials* 60(4) (2015) 2767-2775. LF, IF 0.00, LM 25.
- 12 Gronostajski Z. **Hawryluk M.**, Kaszuba M., Sadowski P., Walczak S., Jabłoński D. Measuring & control systems in industrial die forging processes, *Eksploatacja i Niezawodność- Maintenance and Reliability* 3 (2011) 62-69. LF, IF 0.333, LM 09.
- 13 Gronostajski Z. **Hawryluk M.**, Kaszuba M., Misiun G., Niechajowicz A., Polak S., Pawełczyk M. An analysis of the industrial forging process of flange in order to reduce the weight of the input material, *Archives of Metallurgy and Materials* 60(2) (2015) 849-853. LF, IF 0.00, LM 25.
- 14 Gronostajski Z., Kaszuba M., **Hawryluk M.**, Zwierzchowski M. A review of the degradation mechanisms of the hot forging tools, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 14 (4) (2014) 528-539. LF, IF 1.793, LM 25.

- 15 Gronostajski Z., Kaszuba M., Polak S., Zwierzchowski M., Niechajowicz A, **Hawryluk M.** The failure mechanisms of hot forging dies, *Materials Science and Engineering. A, Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing* 657 (2016) 147-160. LF, IF 2.647, LM 35.
- 16 Gronostajski Z. Kaszuba M., **Hawryluk M.** Marciniak M.,Zwierzchowski M., Mazurkiewicz A., Smolik J. Improving durability of hot forging tools by applying hybrid layers, *METALURGIJA*, 2015, 64 (4) : 687-690. LF, LM 25.
- 17 Gronostajski Z. Kaszuba M., **Hawryluk M.** , Niechajowicz A., Polak S., Walczak S., Jabłoński D. Die profile optimization for forging constant velocity joint casings, *Archives of Metallurgy and Materials* 56 (2) (2011) 551-558. LF, IF 0.487, LM 13.

c) omówienie celu naukowego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

a. Motywacja

Narzędzia kuźnicze stosowane w procesach kucia matrycowego na półgorąco i gorąco, cechują się stosunkowo niską trwałością, co z kolei w sposób znaczący wpływa na jakość i koszt wytwarzania odkuwek. Niska trwałość narzędzi kuźniczych spowodowana jest przede wszystkim ekstremalnymi warunkami panującymi w przemysłowych procesach kucia na gorąco, wynikającymi z jednoczesnego występowania wielu złożonych zjawisk i mechanizmów niszczących. Zagadnienie trwałości stanowi wciąż trudny i nierozwiązany problem, zarówno pod względem naukowym, jak i ekonomicznym [1,3].

Zniszczenie i zużywanie się oprzyrządowania kuźniczego podczas eksploatacji stanowi znaczący udział w kosztach produkcji [14,15]. Obecnie szacuje się, że koszty narzędzi mogą stanowić nawet 8-15 % całkowitych kosztów produkcji, a w skrajnych przypadkach, przy małych seriach produkcyjnych nawet 30%. W rzeczywistości uwzględniając czas potrzebny na wymianę wyeksploatowanego oprzyrządowania lub w przypadku nieoczekiwanego zniszczenia narzędzi koszty te mogą wzrosnąć nawet do 40%. Ponadto zużycie narzędzi w istotny sposób wpływa na obniżenie jakości wytwarzanych odkuwek. Najczęstszymi wadami odkuwek spowodowanymi zużywaniem się narzędzi, są błędy w wypełnieniu wykroju matrycy, czyli: niedokucia, zakucia, zadziory, skrzywienia, rysy, rozwarstwienia, mikro i makro pęknięcia, itp. to z kolei wpływa na funkcjonalność wyrobu finalnego uzyskanego z odkuwki. W literaturze można znaleźć informacje, że statystycznie 70% matryc kuźniczych zostaje wycofana z produkcji z powodu utraty wymiarów – wskutek zużycia ściernego i odkształcenia plastycznego, a 25% w wyniku pęknięć zmęczeniowych i jedynie 5% z innych powodów (nieprzestrzeganie technologii, wady konstrukcyjne, materiałowe lub wady obróbki cieplnej i ciepno-chemicznej, itp.) [1]. Ponadto ciągła konkurencja na rynku wymusza od producentów wyrobów kutech stałe obniżanie kosztów oraz wytwarzanie odkuwek o wysokiej jakości, co powoduje duże zainteresowanie problemem zwiększenia trwałości narzędzi [1,2]. Coraz częściej zarówno producenci oprzyrządowania kuźniczego, jak i jednostek naukowo-badawczych wykorzystują szereg narzędzi informatycznych i zaawansowanych badań oraz rozwijają nowoczesne metody pozwalające zarówno na analizę, jak i zwiększenie trwałości narzędzi kuźniczych [6, 9, 11].

Aktualnie nie ma jednoznacznych kryteriów samej oceny, czy też doboru metod poprawy trwałości narzędzi [1,2], znane są tylko ogólne kierunki, a każdy proces kuźniczy należy analizować oddzielnie, gdyż parametry procesu wynikające z technologii, czy też warunki tribologiczne oraz wiele innych czynników są ściśle związane z konkretnym procesem przemysłowym. Do najbardziej znanych metod oceny trwałości zaliczyć można m.in: analizę statystyczną eksploatacji narzędzi [1,8], badania termowizyjne, obserwacje i badania makroskopowe, często połączone ze skanowaniem powierzchni wykroju narzędzi [5], zaawansowane badania mikrostrukturalne [8,14,15], pomiary mikrotwardości [1], modelowanie numeryczne [6,10] oraz wykorzystanie specjalistycznych stanowisk laboratoryjnych, dedykowanych do badania określonych mechanizmów niszczących [7] jak również nowoczesnych systemów pomiarowo-analizujących [11,12].

Do najbardziej popularnych i chętnie stosowanych metod podnoszenia trwałości należą: odpowiedni dobór materiału narzędziowego dla danego procesu lub operacji [12], jego obróbka

cieplna i ciepłno-chemiczna, techniki inżynierii powierzchni [16] oraz optymalizacja kształtu i konstrukcji oprzyrządowania [3,1,17]. Istotny jest też odpowiedni dobór warunków technologicznych (np.: związanych z określeniem optymalnych temperatur, dobór środka smarno-chłodzącego i sposobu jego podawania itp.), czy rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych, a także systemów kontrolno-pomiarowych [4], mogących stanowić swoiste systemy nadzoru pracy narzędzi. Wykorzystanie przedstawionych metod zarówno do oceny, jak i zwiększenia trwałości narzędzi powinno pozwolić na pełniejszą analizę problemu niskiej trwałości, jak również znacząco podnieść trwałość oprzyrządowania kuźniczego [1].

Badanie mechanizmów niszczących oraz innych zjawisk temu towarzyszących, jak również prognozowanie i podnoszenie trwałości narzędzi kuźniczych jest bardzo trudnym i złożonym zagadnieniem, stanowiącym spore wyzwanie dla wielu naukowców. Mimo ciągłego postępu technologicznego oraz ogromnej ilości badań i prac zrealizowanych w tym obszarze, wciąż jest jeszcze wiele do zrobienia, co dla mnie stanowiło i nadal stanowi motywację do badań naukowych [1].

b. Cele naukowe

Z przedstawionych informacji wynika, że uzasadnione jest kompleksowe podejście do zagadnienia trwałości wykorzystujące całe spektrum przedstawionych powyżej metod i technik, pozwalających na osiągnięcie **głównego celu**, jakim jest lepsze poznanie i analiza złożonego wpływu mechanizmów niszczących na trwałość narzędzi kuźniczych, a dzięki temu jej zwiększenie poprzez wybór optymalnych metod podnoszenia trwałości oprzyrządowania kuźniczego.

Podjęta przeze mnie problematyka została podzielona na **3 główne zagadnienia (cele naukowe)**.

Pierwsze z nich związane jest z **opracowaniem metodologii** dotyczącej badania i analizy trwałości oprzyrządowania kuźniczego, pozwalającej na szerokie spojrzenie na to zagadnienie (niską trwałość narzędzi). W tej części zaprezentowałem autorskie, kompleksowe podejście do metod, sposobów badania i oceny trwałości narzędzi, także w odniesieniu do literatury przedmiotu, poprzez usystematyzowanie stosowanych obecnie metod badawczych. Takie kompleksowe podejście obejmowało m.in: analizę wybranej technologii kucia (badania termowizyjne, pomiary sił kucia), obserwacje i badania makroskopowe połączone ze skanowaniem narzędzi, pomiary mikrotwardości, zaawansowane badania mikrostrukturalne, modelowanie numeryczne oraz wykorzystanie specjalistycznych stanowisk laboratoryjnych, dedykowanych do analizy określonych mechanizmów niszczących, czy też opracowanych i zbudowanych systemów pomiarowo-kontrolno-analizujących, analizę statystyczną eksploatacji oraz wykorzystanie systemów ekspertowych. Bezpośrednio w swojej monografii również opisałem każdą z metod analizy oraz przedstawiłem własne, autorskie rozwinięcie wybranych metod analizy trwałości.

Drugim głównym zagadnieniem osiągnięcia naukowego, obejmującego było zaprezentowanie obszernych badań własnych dotyczących identyfikacji mechanizmów niszczących występujących w przemysłowych procesach kucia matrycowego w podwyższonych temperaturach oraz problemów związanych z trwałością narzędzi. W badaniach zwróciłem szczególną uwagę na to, który z mechanizmów destrukcyjnych jest rzeczywiście dominującym, a który krytycznym ze względu na trwałość. Podważając nieco, nieprecyzyjnie podawane w literaturze przedmiotu informacje, w których wskazuje się, że w przypadku kucia matrycowego na gorąco w 2/3 przypadków dominuje zużycie ściernie, a nie jak wykazałem na podstawie własnych badań i analiz, że **zmęczenie ciepłno-mechaniczne** jest równie ważnym mechanizmem niszczącym. W tym celu przeanalizowałem kilkadziesiąt różnych narzędzi kuźniczych stosowanych w kilku przemysłowych procesach (kucie odkuwek: tarcz koła czołowego, kołnierzy, pokrywy, typu rozwidlonego, obudów przegubów homokinetycznych, zgrzebeł i innych) po różnym czasie ich eksploatacji [14,15]. Przeprowadzone przeze mnie badania wykazały, że w przypadku typowych warunków kucia, tzn. kiedy narzędzia są smarowane i chłodzone **zmęczenie ciepłno-mechaniczne** występuje już w początkowym etapie procesu i bardzo intensyfikuje pozostałe mechanizmy niszczące. Jednak przez to, że zmęczenie ciepłno-mechaniczne nie jest łatwo mierzalne, to często na podstawie efektu, w postaci obserwowanego ubytku materiału, przypisuje się, że to właśnie zużycie ściernie jest dominujące.

Trzecie, główne zagadnienie, obejmujące osiągnięcie naukowe, zaprezentowane przeze mnie m.in.: szczegółowo w monografii [1], a także w najnowszej pracy [2], dotyczy obecnie stosowanych

działań i metod mających na celu podniesienie trwałości oprzyrządowania kuźniczego wraz z przedstawianiem ich aplikacyjnych rozwiązań. Opisane metody zwiększenia trwałości narzędzia, takie jak: dobór odpowiedniego materiału narzędziowego dla konkretnego procesu, jego właściwa obróbka cieplna i cieplno-chemiczna, techniki inżynierii powierzchni, a także optymalizacja konstrukcji oprzyrządowania, czy zastosowanie specjalnych systemów kontrolno-pomiarowych pozwalających na pełny monitoring procesu, nie są jedynymi metodami, lecz najpowszechniej stosowanymi. Przedstawione oraz przeanalizowane przeze mnie metody, poparte dodatkowo badaniami własnymi, zweryfikowanymi w procesach przemysłowych umożliwiają, jak wykazano w pracach, na skuteczne zwiększanie trwałości narzędzi i oprzyrządowania kuźniczego.

c. Efekty końcowe i osiągnięcia

W ramach przedkładanego osiągnięcia naukowego zdecydowałem się przedstawić usystematyzowane i kompleksowe podejście do zagadnienia trwałości oprzyrządowania kuźniczego stosowanego w procesach kucia matrycowego w podwyższonych temperaturach. Opisałem problemy związane z niską trwałością narzędzi kuźniczych spowodowaną warunkami eksploatacyjnymi panującymi w tych procesach, które powodują jednoczesne występowanie wielu złożonych zjawisk. W ramach prac naukowo-badawczych skoncentrowałem się na intensywności występowania i rzeczywistym udziale typowych mechanizmów niszczących: zużycia ściernego, odkształcenia plastycznego, pęknięcia zmęczeniowego, zmęczenia cieplnego i cieplno-mechanicznego oraz utleniania, w (różnych) procesach kucia matrycowego. Szczególną uwagę zwróciłem na efekt synergii pomiędzy wybranymi mechanizmami, w szczególności pomiędzy zmęczeniem cieplnym i cieplno-mechanicznym a zużyciem ściernym połączonym z procesem utleniania. Prowadzone przeze mnie badania wykazały, że w większości procesów kucia matrycowego w podwyższonych temperaturach zmęczenie cieplno-mechaniczne na równi ze zużyciem ściernym jest mechanizmem dominującym, co w pewnym stopniu przeczy ogólnie przyjętemu pogładowi, według którego dominuje zużycie ściernie. Moje badania pokazały, że zmęczenie cieplno-mechaniczne oraz zniszczenie wskutek utleniania, bardzo często występują wspólnie z mechanizmem zużycia ściernego, tworząc ów efekt synergii, powodując przyspieszenie, najbardziej widocznych i „łatwo mierzalnych” efektów zmiany geometrii przypisywanych jedynie zużyciu ściernemu. W dostępnej literaturze przedmiotu słusznie podaje się, że aż 70 % wszystkich wycofywanych z dalszej eksploatacji narzędzi kuźniczych pracujących w podwyższonych temperaturach jest skutkiem zużycia ściernego. Jednak nie informując przy tym, że znaczna część tego udziału, wywołana jest wzmacnianiem tego mechanizmu destrukcyjnego przede wszystkim wskutek zmęczenia cieplno-mechanicznego. Efekt synergii pomiędzy tymi mechanizmami powoduje niecykliczne odrywanie się dużych cząstek materiału narzędzia z pierwotnej lub wtórnej siatki pęknięć oraz cykliczne odrywanie się znacznie mniejszych cząstek – zgorzeliny, w postaci twardych tlenków. Wszystkie te cząstki będące wynikiem zmęczenia cieplnego oraz utleniania działają, jak swoiste ścierniwo znacznie intensyfikując proces zniszczenia wskutek zużycia ściernego. To z kolei prowadzi niekiedy do bardzo dużych zmian geometrii narzędzi przekładających się bezpośrednio na odkuwki, co z punktu widzenia jakości i funkcjonalności takiego wyrobu jest niedopuszczalne.

Rozpoznanie, dokładne przebadanie i kompleksowa analiza, a następnie przeciwdziałanie mechanizmom niszczącym stwarza możliwości skutecznego podniesienia trwałości narzędzi kuźniczych poprzez wykorzystanie nowych lub obecnie stosowanych metod podniesienia trwałości narzędzi kuźniczych. W ramach prac badawczych skoncentrowałem się przede wszystkim na tych metodach, które w mojej opinii dają największą skuteczność w poprawie trwałości narzędzi kuźniczych i są używane, bądź testowane w przemysłowych procesach kucia matrycowego. Opisane metody zwiększania trwałości można podzielić na 3 zasadnicze grupy:

- a) metody związane z całym narzędziem (dobór materiału narzędziowego i jego optymalna obróbka cieplna, optymalizacja konstrukcji oprzyrządowania);
- b) metody związane z warstwą wierzchnią (techniki hybrydowe, obróbka cieplno-chemiczna, metody spawalnicze i mechaniczne);
- c) inne metody niezwiązane bezpośrednio z narzędziem (systemy ekspertowe, zastosowanie systemów nadzoru pracy narzędzi pozwalających na pełny monitoring procesu wraz ze

specjalnymi rozwiązaniami konstrukcyjno-technologicznymi) pozwalające na skuteczne podniesienie trwałości oprzyrządowania kuźniczego.

Analizy skuteczności zastosowania tych metod dokonałem, opierając się na własnych badaniach i doświadczeniach zdobytych dzięki dotychczasowej współpracy z przemysłem kuźniczym, a w szczególności z kuźniami: Kuźnią Jawor, GKN Driveline. Dodatkowo przedstawiłem aplikacyjny charakter tych metod, jednocześnie wskazując na kierunki ich rozwoju oraz potencjalnych zagrożeń i korzyści wynikające z ich stosowania [1,2].

d. Wpływ na dyscyplinę naukową

Opracowane tytułowe osiągnięcie naukowe w postaci monografii oraz cyklu publikacji monotematycznych będzie miało duży wpływ do rozwoju dyscypliny **mechanika i budowa maszyn** w następujących kierunkach:

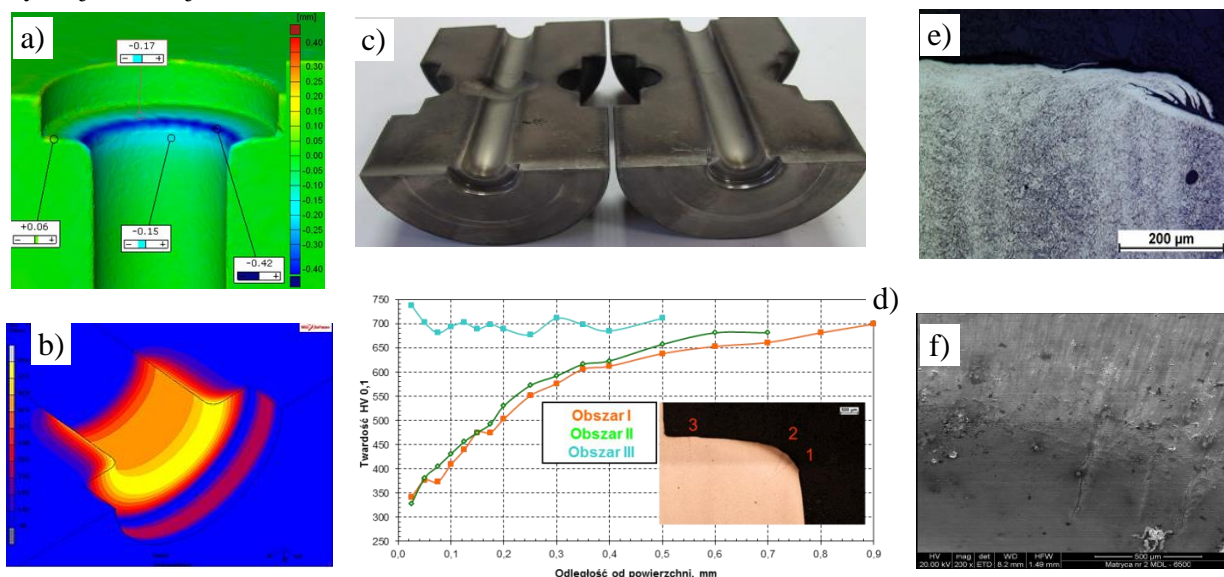
1. W dostępnej literaturze przedmiotu znaleźć można ogromną ilość badań, publikacji, raportów lub innych opracowań dotyczących analizy zjawisk i mechanizmów niszczących oraz trwałości narzędzi kuźniczych. Jednakże trudno jest znaleźć kompleksowe i usystematyzowane podejście do oceny oraz metod analizy trwałości narzędzi kuźniczych, jak zaproponowane w mojej monografii.
2. W ramach przedkładanego osiągnięcia naukowego wykazałem, że większość mechanizmów niszczących w procesach kucia matrycowego w podwyższonych temperaturach powoduje i ujawnia się w postaci ubytku materiału, łatwo zauważalnego i mierzalnego. Dlatego często modeluje się całościowy proces zniszczenia najbardziej popularnym i przebadanym modelem zużycia ściernego wg Archarda, lub jego bardziej zaawansowanymi postaciami, co w przypadku typowej eksploatacji narzędzi kuźniczych nie pokrywa się ze stanem faktycznym.
3. Intensywność zużywania się i niszczenia narzędzia kuźniczego zmienia się wraz ze zmianą parametrów procesu, co jest determinowane głównie czasem kontaktu, wartościami nacisków i zmianami temperatury, warunkami tribologicznymi. Na podstawie przeprowadzonych badań, można przyjąć, że:
 - a. zużycie ściernie jest faktycznie dominującym mechanizmem niszczącym, a zmęczenie cieplno-mechaniczne pełni „drugoplanową rolę”, ale tylko wówczas, kiedy stosowane narzędzia kuźnicze, nie są smarowane i chłodzone. W takich przypadkach wzrasta także udział odkształceń plastycznych, wskutek temperatury, co powoduje miejscowe odpuszczanie materiału narzędzia oraz obniżenie twardości.
 - b. dla narzędzi kuźniczych, pracujących w typowych warunkach, jak na procesy kucia matrycowego na gorąco i półgorąco, czyli narzędzi, które są smarowane i chłodzone, zmęczenie cieplno-mechaniczne na równi ze zużyciem ściernym jest mechanizmem dominującym.. Prowadzone badania wykazały, że znaczna część zużycia ściernego wywołana jest wzmocnieniem tego mechanizmu poprzez zmęczenie cieplno-mechaniczne skutkujące (niecyklicznym) odrywaniem się dużych cząstek materiału narzędzia z siatki pęknięć oraz poprzez utlenianie i (cykliczne) odrywanie się znacznie mniejszych tlenków – zgorzeliny [1].
4. Na podstawie przeprowadzonej dużej liczby badań związanych z zagadnieniem trwałości zbudowany został system ekspertowy, który pozwala na zaawansowaną analizę trwałości narzędzi, w różnych jego obszarach i dla różnych warunków. System ten umożliwia prognozowanie trwałości procesów kucia matrycowego w podwyższonych temperaturach. Opracowany system ekspertowy pozwala oszacować procentowy udział poszczególnych mechanizmów niszczących, jak również wartość ubytku materiału narzędzia.
5. Opracowanie i budowa systemów pomiarowo-kontrolnych pozwalających na monitoring, w trybie on-line wybranych, najważniejszych parametrów procesu kucia jest istotne dla przemysłowych aplikacji. Także opracowanie i budowa specjalnych stanowisk badawczych dedykowanych do odrębnej analizy dwóch mechanizmów niszczących (zaawansowanych badań zmęczenia cieplnego oraz zużycia ściernego przy wysokich naciskach) wnoszą cenny wkład w celu ich pełniejszego poznania i wnikliwego przebadania. Obecnie biorę także udział w pracach, związanych z rozbudową systemów pomiarowo-kontrolnych, w kierunku monitorowania i analizy większej ilości parametrów produkcyjnych, a które w połączeniu ze specjalnymi rozwiązaniami konstrukcyjno-technologicznymi (np.: urządzeniem smarującym, z regulacją wydatku środka smarno-

chłodzącego), mogą pełnić rolę systemów nadzoru pracy narzędzi m.in.: informacji o bieżącej produkcji, aktualnych zamówieniach i obciążeniach, a także o brakach, przestojach, czy przewidzianych przeglądach maszyn lub wykonanych naprawach. Takie rozwiązania mogą także skutecznie wpływać na podniesienie trwałości oprzyrządowania kuźniczego.

e. Podsumowanie

Tak, jak przedstawiono powyżej, w dostępnej literaturze brak jest kompleksowego i usystematyzowanego podejścia do zagadnienia trwałości narzędzi kuźniczych w aspekcie jej oceny i analizy oraz metod pozwalających na jej podniesienie. Wpływ poszczególnych czynników na trwałość narzędzi jest na ogół analizowany oddzielnie, trudno jest znaleźć globalny opis procesu zniszczenia, uwzględniającego wszystkie czynniki i zjawiska jednocześnie, dlatego stosując usystematyzowane kompleksowe podejście, poprzez zaproponowaną metodykę pozwala na szersze spojrzenie i pełniejszą analizę trwałości. Przedstawione w rozdziale 4 monografii, badania dotyczące metod oceny i analizy trwałości narzędzi kuźniczych, wykazały, że: większość mechanizmów niszczących w procesach kucia matrycowego w podwyższonych temperaturach powoduje i ujawnia się w postaci ubytku materiału lub zmiany kształtu. Intensywność zużycia zmienia się wraz ze zmianą parametrów procesu, co jest determinowane głównie czasem kontaktu, wartościami nacisków i zmianami temperatury, warunkami tribologicznymi. Dlatego powszechnie przyjęło się, że to zużycie ściernie jest dominującym mechanizmem niszczącym, natomiast drugim przeważającym mechanizmem jest odkształcenie plastyczne. Stąd bardzo często, co można spotkać w wielu opracowaniach, że zdecydowaną większość wszystkich mechanizmów niszczących modeluje się modelem zużycia ściernego wg Archarda. Jak wykazały zaprezentowane wyniki badań mikrostrukturalnych, wyniki skanowania powierzchni oraz wyniki uzyskane z systemu ekspertowego, zmęczenie cieplno-mechaniczne na równi ze zużyciem ściernym jest mechanizmem dominującym. Na tej podstawie można postawić dwa zasadnicze wnioski:

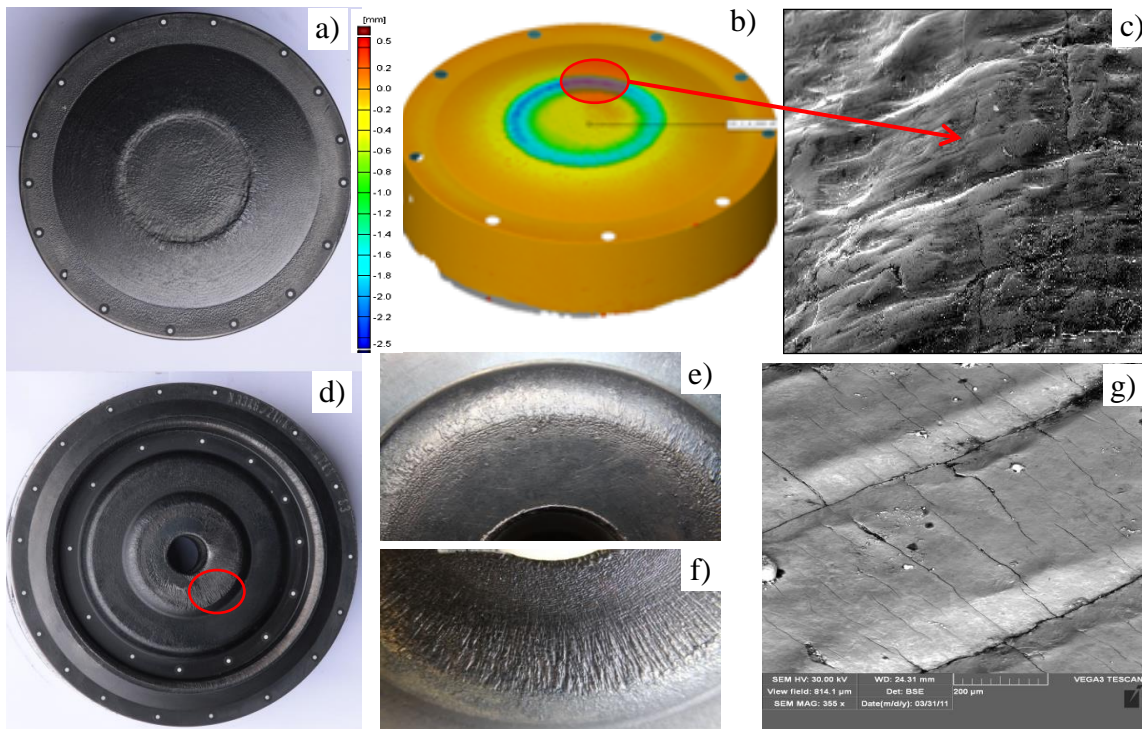
I. W procesach kucia matrycowego na gorąco, w przypadku, kiedy narzędzia, w danej operacji lub całym procesie, nie są smarowane i chłodzone, to wówczas można przyjąć, że zużycie ściernie jest faktycznie dominującym mechanizmem niszczącym, a zmęczenie cieplno-mechaniczne pełni „drugoplanową rolę”. Na rys. 1 przedstawiono zdjęcia, przykładowych narzędzi, w analizowanych procesach, dla których opisana sytuacja ma miejsce.



Rys. 1. Analiza dla narzędzi niesmarowanych i niechłodzonych: a) wyniki skanowania dla obszaru kołnierzyka, b) rozkład temperatury w najbardziej zużywającym się obszarze, uzyskany z MES, c) widok matryc do kucia zaczepu budowlanego stosowanych w pierwszej operacji, d) wyniki pomiarów mikrotwardości, e) odkształcenia plastyczne w analizowanym obszarze – mikroskop metalograficzny, e) ślady zużycia ściernego – mikroskop skaningowy

W takich przypadkach wzrasta także udział odkształceń plastycznych, wskutek temperatury, co powoduje miejscowe odpuszczanie materiału narzędzia oraz obniżenie twardości, co potwierdziła także analiza na podstawie wyników uzyskanych z systemu ekspertowego.

II. Dla narzędzi kuzniczych, pracujących w warunkach typowych, jak na procesy kucia matrycowego na gorąco i półgorąco, które są smarowane i chłodzone już na samym początku procesu pojawia się mechanizm zmęczenia cieplno mechanicznego. Na rys. 2 przedstawiono porównanie stanu narzędzi (wkładki matrycowe) po eksploatacji, stosowanych w przemysłowym procesie kucia koła czołowego, dla pierwszej operacji (brak smarowania i chłodzenia) oraz dla drugiej operacji (narzędzia smarowane i chłodzone).



Rys. 2. Analiza porównawcza stanu narzędzi niesmarowanych z narzędziami smarowanymi i chłodzonymi, stosowanych w tym samym procesie kucia: a) dolna wkładka matrycowa po 9000 odkuwek, b) wyniki skanowania narzędzia, c) zdjęcie SEM z wybranego obszaru matrycy – ślady odkształcenia plastycznego, zużycia ściernego i utleniania, d) dolna wkładka matrycowa po wykonaniu 1850 odkuwek, e) zdjęcie czoła wkładki z wybranego obszaru po 550 odkuwkach, f) po 4300 odkuwkach, g) zdjęcie SEM czoła wkładki, z zaznaczonego obszaru z rys. 2 d – widoczna pierwotna siatka zmęczenia cieplnego, ślady bruzd powstałych wskutek zużycia ściernego twardymi cząstkami

W wyniku cyklicznych zmian temperatury podczas procesu kucia dochodzi do naprzemiennego rozszerzania i „kurczenia się” warstwy wierzchniej matrycy, co w efekcie prowadzi do powstawania siatki pęknięć cieplnych, która dodatkowo wskutek działania cyklicznych obciążeń mechanicznych, powoduje wzrost koncentracji naprężeń, rozwija się, tworząc pierwotną, a z czasem wtórną siatkę pęknięć. Wykruszanie siatki zmęczenia cieplno-mechanicznego powoduje dalszy rozrost pęknięć oraz intensyfikację zużycia ściernego. Rozrostowi pęknięć sprzyja również obecność zgorzeli, która wypełniając pęknięcia może działać jak „klin”. Odkształcenia plastyczne, dla takich warunków procesu, w zasadzie nie występują.

Przedstawione porównanie bardzo dobrze obrazuje, jak złożone i różne mechanizmy występują dla narzędzi kuzniczych, stosowanych w tym samym przemysłowym procesie kucia matrycowego, co jeszcze bardziej utwierdza w przekonaniu, że analiza trwałości stanowi wciąż aktualne wyzwanie.

f. Uzyskane wyniki naukowe oraz wykorzystanie w praktyce (wyniki uytylitarne)

Na podstawie przeprowadzonych prac naukowo-badawczych, w ramach osiągnięcia naukowego opracowałem najważniejsze **wnioski naukowe**, które przedstawiono poniżej:

1. Przeprowadzone badania wykazały, że w większości procesów kucia matrycowego w podwyższonych temperaturach, dla typowych warunków pracy narzędzi zmęczenie cieplno-mechaniczne na równi ze zużyciem ściernym jest mechanizmem dominującym.
2. Znaczna część zużycia ściernego wywołana jest wzmacnianiem tego mechanizmu poprzez zmęczenie cieplno-mechaniczne skutkujące (niecyklicznym) odrywaniem się dużych cząstek materiału narzędzia z siatki pęknięć oraz poprzez utlenianie i (cykliczne) odrywanie się znacznie mniejszych tlenków – zgorzeliny. Oba te „produkty” zmęczenia cieplnego oraz utleniania działają, jak „ścierniwo znacznie intensyfikując proces zniszczenia wskutek zużycia ściernego [1,14,15].
3. W ramach kompleksowego podejścia, do zagadnienia trwałości narzędzi, pozwalającego na jej pełniejszą analizę, zaproponowałem i opracowałem nowe metody oceny trwałości (metodę odwrotną skanowania 3D) oraz rozwinąłem obecnie stosowane. Przedstawione metody i badania należy traktować jako nowe, mające pomóc w ustaleniu metodyki badawczej narzędzi kuźniczych do pracy na gorąco w warunkach przemysłowych [1].
4. Opracowałem i zbudowałem dwa stanowiska dedykowane do analizy wyselekcjonowanych mechanizmów niszczących: zaawansowanych badań zmęczenia cieplnego oraz zużycia ściernego przy wysokich naciskach. Wyniki uzyskane, dzięki badaniom prowadzonym na opracowanych stanowiskach zostały częściowo opublikowane i mogą być także wykorzystane w dalszych, bardziej zaawansowanych badaniach, np. podczas modelowania numerycznego procesów kucia, czy analizie stanu warstwy wierzchniej narzędzi kuźniczych [7, 10].
5. Na podstawie przeprowadzonych badań, analiz i pomiarów kilkudziesięciu narzędzi, stosowanych w przemysłowych procesach kucia (opisanych szczegółowo w rozdziale 4.1 monografii) brałem udział w opracowaniu i budowie obszernej baza danych, w której zostały zebrane najistotniejsze parametry z analizowanych procesów (m.in.: nacisk, ubytek materiału, rozkłady temperatur, drogę tarcia, czas odkształcania, itd.), a które zostały powiązane z procentowym udziałem typowych mechanizmów niszczących: zużycia ściernego, zmęczenia cieplno-mechanicznego, odkształcania plastycznego i zmęczenia mechanicznego [1].
6. Na tej podstawie, dzięki pomocy zespołu AGH, jak również przy moim udziale, został opracowany i zbudowany system ekspertowy, który pozwala na zawansowaną analizę trwałości narzędzi, w różnych jego obszarach i dla różnych warunków. System ten umożliwia prognozowanie trwałości procesów kucia matrycowego na gorąco. Opracowany system ekspertowy pozwala oszacować procentowy udział poszczególnych mechanizmów niszczących, jak również wartość ubytku materiału narzędzia [9].
7. Zaprezentowane wybrane metody zwiększenia trwałości, w wielu procesach kucia pozwalają na wydłużenie czasu eksploatacji analizowanych narzędzi. Należy mieć świadomość, że każdą z przedstawionych metod, należy rozpatrywać indywidualnie dla danego procesu, a nawet narzędzia, co niestety niesie ze sobą dodatkowe koszty, często na tyle wysokie, że ich rentowność może być osiągnięta dopiero po dłuższym okresie i przy znacznej liczbie narzędzi. Niemniej jednak, rozwijanie tych metod i prowadzenie dalszych badań jest jak najbardziej uzasadnione [2].

W ramach monografii oraz cyklu publikacji monotematycznych, sformułowałem także następujące **wnioski uytylitarne**:

1. Opracowana przeze mnie metoda odwrotna analizy zużycia na podstawie skanowania 3D, polegająca na pomiarze przy użyciu skanera, postępującego zużywania się wybranego narzędzia kuźniczego (jego ubytku materiału), na podstawie zmian kształtu, cyklicznie pobieranych z procesu odkuwek (przyrostu materiału odkuwki) stanowi praktyczną aplikację przemysłową. Pozwala bowiem na analizę zużycia narzędzia, weryfikowaną dodatkowo w trakcie krótkich przerw technologicznych poprzez bezpośredni pomiar geometrii narzędzia, bez konieczności jego demontażu [5].
2. Zbudowany system ekspertowy do prognozowania trwałości narzędzi kuźniczych jest przeznaczony nie tylko do wnikliwych analiz naukowych, lecz może być powszechnie wykorzystywany przez inżynierów i technologów kuźniczych do szybkiego oszacowania zużycia dowolnego narzędzia i podjęcia na tej podstawie odpowiednich decyzji produkcyjnych. Wykorzystanie opracowanego systemu ekspertowego w przemyśle ma też wymierne uzasadnienie w obniżeniu kosztów produkcji [9].
3. Opracowane i zbudowane przy moim wyraźnym współudziale systemy pomiarowo-kontrolne, pozwalają na pomiar, w trybie „on-line” najistotniejszych parametrów przemysłowego procesu kucia, ich archiwizację oraz zaawansowaną analizę skorelowanych ze sobą wielkości dając cenne i praktyczne informacje o procesie [4].
4. W ramach obecnych prac badawczych przedstawiłem możliwość wykorzystania systemów kontrolno-pomiarowych, jako systemów monitorujących, które w połączeniu ze specjalnymi rozwiązaniami konstrukcyjno-technologicznymi (np.: urządzeniem smarującym, z regulacją wydatku środka smarno-chłodzącego), po odpowiedniej modyfikacji i adaptacji do warunków przemysłowych, mogą stanowić systemy nadzoru pracy narzędzi, a także informować o nagłych zdarzeniach i podejmować odpowiednie działania prewencyjne. Tego typu rozwiązania mogą także skutecznie wpływać na podniesienie trwałości oprzyrządowania kuźniczego [4,11,12].
5. Prowadzone przeze mnie badania dotyczące pomiaru i analizy wielkości wcisku matryc wstępnie sprężanych, w wielooperacyjnym procesie kucia obudowy przegubu homokinetycznego, pozwoliły na kontrolowanie stanu wytężenia materiału matryc. Na podstawie m.in.: wyników modelowania numerycznego, w przypadku zmniejszenia zewnętrznej średnicy matrycy, takie działania spowodowały zmniejszenie o około 150 MPa obwodowych naprężeń rozciągających oraz naprężeń zastępczych podczas procesu kucia (decydujących o pękaniu oraz uplastycznieniu materiału narzędzia) [1,2].
6. Badania związane z optymalizacją kształtu wykroju roboczego dla tej samej matrycy (matryca używana do kucia obudowy przegubu w drugiej operacji) pozwoliły na wyznaczenie optymalnego kształtu. Prowadzone przeze mnie testy eksploatacyjne w warunkach przemysłowych, wykazały, że zmieniony kształt wykroju narzędzia spowodował obniżenie o 10% maksymalnej siły kucia (na podstawie zbudowanego systemu pomiarowego) oraz uzyskanie bardziej równomiernego rozkładu odkształcenia w odkuwce [1,17].

Prowadzenie dalszych badań w tym kierunku i rozwijanie nowych metod analizy trwałości, jak również nieustanny rozwój technologii kucia oraz metod podnoszenia trwałości powinny przyczynić się do rozwiązywania przedstawionych problemów oraz podniesienia jakości wytwarzanych wyrobów, jak również zwiększenia wydajności produkcji oraz znaczącego obniżenia kosztów wytwarzania odkuwek. produkcji.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.

5.1. Działalność prowadzona przed doktoratem.

Moja główna działalność naukowa, którą rozpocząłem jeszcze w czasie studiów magisterskich, związana była z modelowaniem fizycznym i numerycznym procesów kształtowania plastycznego. W ramach pracy doktorskiej opracowałem koncepcję kompleksowej pracowni/laboratorium do modelowania fizycznego, którą następnie zbudowałem i uruchomiłem. Jest to jedno z trzech laboratoriów w Polsce o bardzo nowoczesnym profilu, które obecnie jest wykorzystywane zarówno do badań naukowych, jak i zajęć dydaktycznych dla studentów. Badania zrealizowane w ramach pracy doktorskiej wykazały, że poprawność fizycznego modelowania z wykorzystaniem miękkich materiałów modelowych (bazujących na plastelinie i syntetycznych woskach) i możliwość transformacji wyników na proces przemysłowy jest ściśle uzależniona od zachowania warunków podobieństwa. W szczególności z zachowaniem, jednego z najistotniejszych w przypadku procesów kształtowania plastycznego, podobieństwa materiału modelowego do materiału rzeczywistego (metal) w zakresie plastycznym. W pracy doktorskiej zaproponowałem i opracowałem oryginalną metodę matematycznego opisu warunku podobieństwa plastycznego, opartego na ilościowej ocenie dopasowania, polegającej na wyznaczeniu współczynnika podobieństwa przebiegów naprężenia uplastyczniającego materiału modelowego do rzeczywistego. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazałem, że jeżeli współczynnik ten mieści się w zakresie od 0 do 0,3 to dany materiał modelowy bardzo dobrze symuluje zachowanie się materiału rzeczywistego, zarówno w przypadku parametrów siłowych, jak i sposobu płynięcia. Natomiast, jeżeli wyznaczony współczynnik podobieństwa wyniesie powyżej 0,7 to taki materiał modelowy nie powinien być zastosowany do symulowania procesu przemysłowego. W ramach pracy doktorskiej opracowałem bazę danych, zawierającą krzywe naprężenie uplastyczniające – odkształcenie materiałów modelowych utworzonych w oparciu o syntetyczny воск filia oraz plastelinę, ułatwiającą dobór materiałów do modelowania fizycznego.

Moimi głównymi osiągnięciami przed uzyskaniem tytułu doktora jest udział w 5 konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym popartych wygłoszonymi przeze mnie referatami oraz przygotowanie na tej podstawie 5 artykułów opublikowanych, zarówno w czasopismach, jak i materiałach konferencyjnych. Ponadto jestem także współautorem jednego rozdziału w książce oraz współautorem 3 raportów.

5.1. Działalność prowadzona po obronie pracy doktorskiej.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, na początku 2006 r. zostałem zatrudniony w Instytucie Technologii Maszyn i Eksploatacji Politechniki Wrocławskiej na stanowisku asystenta. Natomiast od września 2007 r. jestem zatrudniony na stanowisku adiunkta, obecnie w Katedrze Obróbki Plastycznej i Metrologii (wcześniej do 2015r w Zakładzie Procesów Kształtowania Plastycznego) na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. W podejmowanych początkowo pracach naukowo-badawczych po doktoracie skoncentrowałem się na wykorzystaniu wyników uzyskanych z badań i dyskusji nad pracą doktorską. Kontynuowałem i rozwijałem badania dotyczące wykorzystania modelowania fizycznego do analizy płynięcia materiału w procesach kucia i wyciskania, a także do analizy wad i defektów, jak również weryfikacji modelowania numerycznego. Wyniki zrealizowanych w tym obszarze badań opublikowałem w czasopismach i materiałach konferencyjnych krajowych i zagranicznych (łącznie 7 artykułów, 5 referatów, 2 rozdziały w książce oraz 4 raporty).

W krótkim czasie po obronie doktoratu zdecydowałem się aplikować wnioski o finansowanie projektów badawczych, stanowiących rozszerzenie zagadnień, którymi zajmowałem się przed obroną, tj dotyczących wykorzystania modelowania fizycznego i numerycznego do analizy i optymalizacji procesów kształtowania plastycznego. Moja praca badawcza skoncentrowana została wokół procesów objętościowych, w szczególności procesów wyciskania i kucia. Duży wpływ na to miał mój udział i realizacja projektu rozwojowego nr **R07 010 03** pt: „Zastosowanie modelowania fizycznego i matematycznego do zwiększenia trwałości narzędzi w procesie kucia przegubów homokinetycznych”. Projekt realizowany był dzięki współpracy ówczesnego Zakładu Inżynierii Procesów Kształtowania Plastycznego z GKN Driveline Oleśnica (wyniki mojej pracy doktorskiej były m.in. przyczynkiem do nawiązania trwającej do dziś wieloletniej współpracy z firmą GKN). Badania, zrealizowane w ramach projektu pozwoliły mi na szersze spojrzenie na trwałość narzędzi

kuźniczych oraz konfrontację nauki z przemysłem, dla którego najważniejsza jest ciągła produkcja, nieprzerywana poprzez badania i testy. Wówczas pojawiła się koncepcja budowy systemu do pomiaru sił kucia w funkcji czasu w wielooperacyjnym procesie kucia precyzyjnego obudowy przegubu homokinetycznego na półgorąco, a także realizacja innych prac naukowo-badawczych dotyczących całego procesu kucia. Obejmowały one, m.in.:

- pomiar rozkładu temperatury wewnątrz matrycy (w odległości 10mm od wykroju roboczego) poprzez zamontowanie termopary w wydrążonym otworze matrycy, analiza wyników oraz porównanie ich z rozkładami temperatur uzyskanych z MES;
- wpływu kształtu roboczego narzędzia na trwałość narzędzia. Badania dotyczyły dwóch kształtów: stożkowego oraz łukowego i obejmowały kompleksową analizę (modelowanie fizyczne i numeryczne, badania materiałowe i mikrostrukturalne);
- analiza wstępnego sprężenia matrycy, decydująca o wytrzymałości materiału narzędzia i jego odporności na pękanie podczas procesu kucia.

Efektom moich dalszych w tym obszarze działań było otrzymanie projektu badawczego własnego z KBN **N508 476038**, pt: "Analiza wpływu wybranych zjawisk niszczących na trwałość matryc kuźniczych", którego byłem kierownikiem i głównym wykonawcą. Także dzięki moim działaniom, Zakład Procesów Kształtowania Plastycznego wspólnie z Instytutem Obróbki Plastycznej z Poznania uzyskał projekt finansowany z Unii Europejskiej **POIG.01.03.01-02-161/09**, pt: „Kompleksowy system ekspertowy do optymalizacji trwałości narzędzi w procesach kucia”, którego byłem głównym wykonawcą i koordynatorem ze strony Politechniki Wrocławskiej. Oba te projekty już wówczas ukierunkowały i ugruntowały moje główne prace naukowo-badawcze, które skierowane zostały nie tyle na cały proces, lecz na eksploatację narzędzi i oprzyrządowania kuźniczego, w kontekście mechanizmów niszczących powodujących obniżenie ich trwałości. W zasadzie, od tamtego momentu do chwili obecnej cała moja praca skupiona jest w obszarze szeroko pojętego zagadnienia trwałości narzędzi kuźniczych. W przeprowadzonych licznych badaniach i analizach w ramach zrealizowanych obu projektów uzyskałem istotne wyniki i cenne informacje dotyczące występowania różnych mechanizmów niszczących w zależności o liczby wykonanych odkuwek przez narzędzie, czasu kontaktu odkształcanego materiału z narzędziem, drogi tarcia i nacisków (uzyskanych z symulacji numerycznych, rozkładów temperatury, innych. Dzięki tym wynikom udało mi się opracować i zbudować specjalne stanowiska badawcze do analizy zużycia ściernego oraz zmęczenia cieplnego, a także przeanalizować i zweryfikować obecnie stosowane modele matematyczne mechanizmów niszczących. Na uwagę zasługuje w ramach wspomnianego projektu **POIG.01.03.01-02-161/09** opracowana przeze mnie i pozostałych wykonawców projektu obszerna baza danych, zawierająca usystematyzowane dane dotyczące występowania 4 głównych mechanizmów niszczących (zużycia ściernego, zmęczenia cieplno-mechanicznego, odkształcenia plastycznego oraz pęknięcia mechanicznego) w powiązaniu z elementarnymi, wytypowanymi obszarami roboczymi narzędzia kuźniczego oraz pozostałymi istotnymi parametrami (temperatura, czas kontaktu, naciski, liczba odkuwek, warunki tribologiczne, twardość, itp.). Przy budowie bazy danych oraz bazy wiedzy zdefiniowano parametry, które stanowiły podzbiór zmiennych wyjściowych. Pod uwagę wzięto wybrane 4 mechanizmy niszczące a także ubytek geometryczny (zużycie narzędzia wyrażone w milimetrach). Ubytki określono w oparciu o porównanie nałożonych obrazów ze skanowania nowych i wyeksploatowanych (po wykonaniu ustalonej ilości odkuwek) powierzchni wykrojów roboczych narzędzi [5]. Opracowana baza danych (będąca ciągle rozbudowywana), we współpracy z zespołem z AGH, umożliwiła zbudowanie systemu ekspertowego, opartego o mechanizm wnioskowania bazujący na logice rozmytej. Dzięki systemowi ekspertowemu, użytkownik po wprowadzeniu podstawowych informacji o procesie i narzędziu, a następnie wybierając interesujący elementarny kształt narzędzia, uzyskuje na wyjściu informację o procentowym udziale 4 mechanizmów niszczących oraz o wartości ubytku materiału w zależności od liczby odkuwek oraz zadanych wcześniej parametrów procesu. Zaproponowany, m.in.: przeze mnie sposób podziału matrycy na podstawowe, reprezentatywne kształty, pozwala na szybkie zdefiniowanie cech geometrycznych dowolnego narzędzia kuźniczego. Uzyskane wyniki, dzięki systemowi zostały wielokrotnie zweryfikowane w oparciu o inne przemysłowe procesy kucia, a rezultaty tych prac były publikowane przeze mnie w licznych opracowaniach i artykułach, m.in.: [1,9]. Obecnie biorę aktywny udział w kontynuacji prac naukowo-badawczych dotyczących możliwości wykorzystania innego narzędzia informatycznego, tak aby wyniki sformułowane w obszarze działania logiki rozmytej mogły być weryfikowane automatycznie

przez system wykorzystujący do tego celu inny formalizm reprezentacji i przetwarzania wiedzy oparty na sieciach neuronowych. Jest to oryginalne podejście, ponieważ dane, opracowane tabelarycznie w postaci wektorów wiedzy, stanowią doskonałe źródło danych uczących dla tego typu formalizmu i do tej pory w literaturze przedmiotu nie było przypadków wykorzystania sieci neuronowych do rozwiązania postawionego systemowi problemu.

W obszarze moich zainteresowań naukowych znalazły się zagadnienia dotyczące opracowania praktycznych rozwiązań i aplikacji przemysłowych, w szczególności związane z procesami kucia [3,4,5,6,11,12]. Prace w tym zakresie obejmowały:

- budowę prostych układów pomiarowych, m.in.: do weryfikacji temperatury podczas nagrzewania materiału wsadowego (INOP Poznań, Kuźnia Jawor);

- opracowanie i budowę automatycznego sortownika nagrzanego materiału wsadowego przed procesem kucia (Kuźnia Jawor);

- opracowanie i budowa systemów rejestrująco-pomiarowych, głównie do kontroli, pomiaru i analizy sił kucia w funkcji czasu, przemieszczenia i/lub położenia kąтового wału korbowego prasy, rozkładów temperatur na powierzchniach roboczych narzędzi lub wewnątrz narzędzia (GKN Diveline, Kuźnia Jawor, INOP Poznań, Belos);

- opracowanie i budowa urządzeń smarująco-chłodzących, zsynchronizowanych z pracą agregatu kuźniczego, umożliwiających na regulowane i kierunkowe podawanie środka smarnego oraz ustawialnej dawki powietrza do czyszczenia narzędzia ze zgorzeliny (Belos, Kuźnia Jawor). Dla jednego z takich urządzeń zostało przygotowane zgłoszenie patentowe;

- opracowanie i budowa stanowisk badawczych: dwa dedykowane stanowiska do badania zużycia ściernego i zmęczenia cieplnego (opisane szczegółowo w monografii);

- budowa laboratorium modelowania fizycznego;

- współdziałanie w opracowaniu i budowie stanowiska do badania wytrzymałości zmęczeniowej odkuwek rozwidlonych (obecnie przygotowuję patent dotyczący układu napędowo-pomiarowego);

- wykorzystanie ramienia pomiarowego ze zintegrowanym skanerem do pomiarów i analiz aktualnego stanu zużycia narzędzia kuźniczego, (opracowana i opisana przeze mnie metoda odwrotna skanowania 3D cyklicznie pobieranych z procesu odkuwek), a także do wykorzystania skanera do weryfikacji ilości napoiny po regeneracji narzędzi.

Moje zainteresowania i prace naukowo-badawcze obejmowały także:

- badania materiałowe, dotyczące stali narzędziowych do pracy na gorąco oraz materiałów stosowanych na odkuwki, które związane były z wyznaczaniem ich własności mechanicznych i plastycznych, w szczególności w podwyższonych temperaturach i warunkach podobnych do tych, jakie mają miejsce w przemysłowych procesach kucia;

- opracowanie modeli numerycznych procesów kucia (m.in.: opisanych w monografii), czy też zbudowanych stanowisk badawczych (do zużycia ściernego, zmęczenia cieplnego), zjawisk (modelowanie mechanizmów destrukcyjnych) oraz innych procesów (sprężanie zestawu narzędzi, przepychania kąowego - ECAP), prowadzenie symulacji numerycznych oraz ich wnikliwa analiza, często połączona z innymi badaniami,

- badania doświadczalne, w warunkach przemysłowych i półprzemysłowych (kalibracja systemów pomiarowych), testy weryfikacyjne (zoptymalizowanych narzędzi, geometrii odkuwek, itp.).

Jestem kierownikiem pracowni Badań Wytrzymałościowych oraz Laboratorium Modelowania Fizycznego. Wielokrotnie, prowadzone przeze mnie badania prowadzone w pracowni i laboratorium obejmowały nie tylko liczne prace naukowe, ale także ekspertyzy oraz badania dla przemysłu.

W ostatnim okresie zatrudnienia, głównym obszarem moich prac badawczych są metody oraz inne działania pozwalające na podnoszenie trwałości narzędzi i oprzyrządowania kuźniczego. Szczegółowe informacje dotyczące aktualnie stosowanych metod zwiększania trwałości i wydłużania czasu eksploatacji narzędzi zamieściłem w punkcie 4b niniejszego załącznika w pozycjach 1 i 2. Przedstawiłem w nich najbardziej popularne i chętnie stosowane metody podnoszenia trwałości oraz zaprezentowałem badania własne z tego obszaru.

Mój dorobek publikacyjny po uzyskaniu stopnia doktora obejmuje 1 monografię, 60 publikacji w czasopismach i materiałach konferencyjnych o zasięgu krajowym i zagranicznym, w tym 20 na Liście Filadelfijskiej oraz 6 rozdziałów w książkach i ponad 40 raportów. Łączna ilość punktów obliczonych wg MNiSW za dorobek naukowy po otrzymaniu stopnia doktora wynosi 635. Wykaz publikacji, projektów badawczych i udziału w konferencjach zamieszczono w załączniku nr 7 do wniosku, a zestawienie przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie publikacji i najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych po i przed uzyskaniem stopnia doktora

Dorobek naukowy w okresie		po uzyskaniu stopnia Doktora
Rodzaj pracy		
Artykuły naukowe ogółem	Krajowe	25
	Zagraniczne	25
Artykuły z listy filadelfijskiej		20
Publikacje naukowe w bazie JCR		19
Podręczniki, skrypty		1
Monografie		1
Rozdziały w książkach i monografiach		7
Pozostałe publikacje naukowe	Krajowe	5
	Zagraniczne	1
Referaty zagraniczne i krajowe		11
Projekty badawcze (bad. stosowane)		N N508 476038 (kierownik), PBS2/A5/37/2013 , N50709032/2438 , 3T08A01830
Projekty celowe, rozwojowe, wdrożeniowe		POIG.01.03.01-02-063/12 (koordynator), POIG.01.04.00-02-056/13-02 (koordynator), POIG.01.03.01-02-161/09-03 , R07 010 03 , R15 023 03 7 T08B 018 20
Patenty		0
Cytowania		30
Wskaźnik Hirscha:		5
Inne ważne wskaźniki: Raporty zarejestrowane w bibliotece		19+26

Opublikowane przez mnie artykuły ukazały się między innymi w czasopismach wymienionych w tabeli 2, czyli w czasopismach indeksowanych w bazie Journal Citation Reports.

Tabela 2. Sumaryczny Impact Factor wg Journal Citation Reports

Czasopismo wg JCR	Rok wydania	Impact Factor (zgodnie z rokiem publikacji)
Archives of Civil and Mechanical Engineering	2008	0
Steel Research International	2008	0.344
Eksploatacja i Niezawodność-Maintenance and Reliability	2009	0
Steel Research International	2010	0.455
Eksploatacja i Niezawodność-Maintenance and Reliability	2011	0.333
Archives of Metallurgy and Materials	2011	0
Archives of Metallurgy and Materials	2012	0.431
Eksploatacja i Niezawodność-Maintenance and Reliability	2013	0.505
Eksploatacja i Niezawodność-Maintenance and Reliability	2014	0.983
Archives of Civil and Mechanical Engineering	2014	1.793
Archives of Metallurgy and Materials	2015	0
Archives of Metallurgy and Materials	2015	0
Metalurgia	2015	0
Engineering Failure Analysis	2016	1.358*
Eksploatacja i Niezawodność-Maintenance and Reliability	2016	1.248*
Eksploatacja i Niezawodność-Maintenance and Reliability	2016	1.248*
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	2016	1.568*
Materials Science and Engineering A-Structural materials Properties Microstructure and Processing	2016	2.647*
Archives of Civil and Mechanical Engineering	2016	2.194*
Sumaryczny IF * (dla publikacji z 2016 przyjęto IF za rok 2015)		15,107

Jestem stałym recenzentem w czasopiśmie z listy filadelfijskiej takich jak Archives of Civil and Mechanical Engineering Engineering Failure Analysis, a także w innych czasopiśmie oraz materiałach konferencyjnych

Po uzyskaniu stopnia doktora uczestniczyłem w 18 konferencjach naukowych, wygłaszając 16 referatów oraz przedstawiając 1 poster.

Pozyskiwanie projektów oraz współpraca z przemysłem

Cały czas aktywnie uczestniczę w pozyskiwaniu nowych projektów. Aktualnie brałem aktywny udział w przygotowaniu i złożeniu projektu dotyczącego opracowania zaawansowanej technologii obróbki cieplno-plastycznej odkuwek z wykorzystaniem ciepła kucia, w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, w poddziałaniu 4.1.2. Przygotowuję także wniosek do NCN, w ramach konkursu MAESTRO 8, dotyczący budowy algorytmu modułu wiedzy, opartego na metodach sztucznej inteligencji, wspomagającego proces modelowania fizycznego wybranych procesów przeróbki plastycznej.

W ramach moich prac badawczych o charakterze aplikacyjnym udało się nawiązać współpracę Katedry Obróbki Plastycznej i Metrologii realizować wspólne badania z wieloma firmami, głównie kuźniami, m. in: GKN Driveline, Kuźnia Jawor, Inoforges, Belos-plp, Schmolz Bickenbach, NSK Steering Systems Europe. Składane były także wspólne projekty badawcze i rozwojowe, nie tylko z firmami przemysłowymi, ale również z uczelniami wyższymi i JBR, w których przygotowywaniu brałem udział. Te, na które udało się pozyskać finansowanie i w których brałem udział jako wykonawca, zostały przedstawione w załączniku 8.

Od 2010r. prowadzę intensywną współpracę z Kuźnią Jawor w Jaworze, realizując na potrzeby tej firmy wiele prac i badań o charakterze naukowym. Dzięki temu w udało się pozyskać projekt, z Unii Europejskiej, w ramach zawiązanego konsorcjum Politechniki Wrocławskiej i Kuźni Jawor, nr POIG.01.03.01-02-063/12 "Opracowanie i wdrożenie technologii kucia dokładnego w Kuźni Jawor S.A.", którego byłem głównym koordynatorem. W ramach projektu przeprowadzono ogromną

liczbę prac naukowo-badawczych oraz innych działań pozwalających na osiągnięcie głównych celów projektu dotyczących dwóch wdrożeń przemysłowych. Wdrożenia dotyczyły opracowania nowych technologii kucia dokładnego polegających na zminimalizowaniu masy materiału wsadowego bez znaczącego pogorszenia trwałości narzędzi. Na podstawie modelowania numerycznego (MES) oraz całego spektrum badań doświadczalnych dokonano optymalizacji oraz opracowania nowych technologii kucia dokładnego dla dwóch typów odkuwek:

a) typu kołnierz. Główne zmiany: podniesienie temp. szyjki oraz zmniejszenie denka. Rezultat: zmniejszenie o 15% maksymalnych sił kucia, zmniejszenie masy materiału wsadowego o około 12%.

b) typu rozwidlonego. Główne zmiany: modyfikacja ilości operacji spęczających oraz opracowanie nowego kształtu wkładek wstępnie matrycujących. Rezultat: brak zakuć, zmniejszenie o 20% maksymalnych sił kucia, zmniejszenie masy materiału wsadowego o 10,2%. Wprowadzone zmiany i opracowane nowe technologie kucia dla obu grup odkuwek spowodowały nie tylko obniżenie masy materiału wsadowego, lecz także zawęziły tolerancje wymiarowe odkuwek nie pogorszając znacząco dotychczasowej trwałości oprzyrządowania.

W ramach projektu przeprowadzono także wiele dodatkowych prac o charakterze badawczo-rozwojowym, które znacząco przyczyniły się do zoptymalizowania innych procesów kucia (haka, tłoka, zgrzebla, dźwigni) oraz podniesienia wydajności w Kuźni Jawor.

Ponadto w ramach współpracy z Kuźnią Jawor zostałem koordynatorem projektu finansowanego funduszy strukturalnych **POIG.01.04.00-02-056/13-02** „Opracowanie linii badawczo-rozwojowej dla zaawansowanej obróbki cieplnej i monitorowania wpływu poszczególnych parametrów procesu na własności zmęczeniowe i wytrzymałościowe widłaków”. Głównym celem projektu było opracowanie koncepcji i budowa nowoczesnej badawczej linii technologicznej pozwalającą na przeprowadzenie różnych wariantów obróbki cieplnej. W ramach prac badawczo-rozwojowych opracowano, a następnie zbudowano i zainstalowano specjalną strukturę informatyczną oraz opomiarowanie aparatury badawczej. Ponadto w ramach projektu opracowane zostało i wykonane stanowisko do badania i analizy widłaków według różnych technologii obróbki cieplnej i z różnym efektem struktury i twardości po procesie. Przy koncepcji i budowie tego stanowiska jest mój duży wkład naukowo-merytoryczny.

Obecnie jestem także wykonawcą projektu badań stosowanych PBS2/A5/37/2013 „Zastosowanie zaawansowanych warstw hybrydowych typu PN+PVD dedykowanych do zwiększenia trwałości narzędzi w procesach kucia”, realizowanego w ramach konsorcjum Politechnika Wroclawska – Kuźnia Jawor – Instytut Technologii Eksploatacji Państwowego Instytutu Badawczego w Radomiu. Prowadzone przeze mnie oraz pozostałych wykonawców badania polegające na opracowaniu, a następnie zastosowaniu wielowarstwowych powłok hybrydowych typu PVD o składzie Cr/CrN/AlTiCrN na narzędzia kuźnicze pozwoliły na:

- zwiększenie średniej trwałości dla wkładki matrycowej (stosowanej w 2 dolnej operacji kucia odkuwki typu tarcza) z 10 000 sztuk do 14200 sztuk, co stanowi wzrost o 42%,
- zwiększenie średniej trwałości dla wypełniacza (stosowanego w 2 górnej operacji kucia odkuwki typu pokrywa) z 5700 sztuk do 13500 sztuk, co stanowi wzrost o 137%. Ponadto w ramach projektu opracowano wytyczne dotyczące poprawienia technologii napawania (prewencyjnego) oprzyrządowania kuźniczego poprzez m.in: zastosowanie manipulatora spawalniczego oraz specjalistycznych materiałów do napoin. W ramach projektu brałem udział w opracowaniu, budowie oraz kalibracji specjalistycznego systemu pomiarowo-archiwizującego na prasie przemysłowej pozwalającego na monitorowanie on-line całego procesu kucia.

Działalność dydaktyczna

Oprócz działalności naukowo-badawczej, za szczególnie istotną uważam działalność dydaktyczną, za którą w 2011 roku otrzymałem nagrodę Dziekana Wydziału Mechanicznego. Od początku pracy na Politechnice Wroclawskiej prowadzę różne formy zajęć dydaktycznych (wykłady, laboratoria, seminaria, prace przejściowe, projekty) ze studentami, zarówno z Wrocławia oraz filii w Jeleniej Górze (Cieplicach), Wałbrzychu i Legnicy z zakresu przeróbki plastycznej (także w j. angielskim), projektowania CAD/CAM, metrologii warsztatowej, wielkości geometrycznych oraz analizy i optymalizacji procesów przeróbki plastycznej (MES). Prowadziłem lub aktualnie prowadzę następujące kursy: Chipless Processes, Plastic Forming, Manufacturing Systems CNC, Metrologia warsztatowa, Metrologia wielkości geometrycznych, Podstawy technik Wytwarzania, Systemy

Mechatroniczne w technologiach wytwórczych, Techniki Wytwarzania – obróbka bezubytkowa, przeróbka plastyczna, Technologie i materiały stosowane w wytwarzaniu konstrukcji lekkich, Zaawansowane procesy obróbki bezubytkowej, Pro/ENGINEER. Jestem także współautorem kilku instrukcji do ćwiczeń oraz wykładów. Jestem promotorem ponad 100 (łącznie) prac magisterskich i inżynierskich (średnio 12-15 w ciągu roku akademickiego), których zdecydowana większość jest powiązana z przemysłem lub ma wyraźnie aplikacyjny charakter. Jestem także promotorem pomocniczym jednej realizowanej w mojej katedrze pracy doktorskiej dotyczącej analizy możliwości zastosowania warstw typu warstwa azotowana/powłoka PVD w celu zwiększenia trwałości narzędzi kuźniczych.

Od 2012 roku biorę czynny i aktywny udział w organizacji oraz prowadzeniu zajęć edukacyjnych dla młodzieży w ramach Dolnośląskich Festiwalu Nauki na Politechnice Wrocławskiej.

Działalność organizacyjna

Jestem głównym współorganizatorem organizowanej od 2008r. przez Katedrę Obróbki Plastycznej i Metrologii Politechniki Wrocławskiej oraz TU Bergakademie Freiberg, cyklicznej, odbywającej się co 2 lata międzynarodowej konferencji „Advanced Metal Forming Processes in Automotive Industry”. Głównym celem konferencji jest prezentacja osiągnięć naukowych i wymiana doświadczeń między naukowcami a przedstawicielami przemysłu w zakresie procesów obróbki plastycznej wykorzystywanych w przemyśle motoryzacyjnym. Konferencja skupia się na zaawansowanych problemach poczynając od struktury materiału poprzez obecne i nowoczesne metody kształtowania metalu kończąc na systemach produkcyjnych. Konferencji towarzyszą liczne pokazy firm przemysłowych, prezentacje kół studenckich, a także możliwość zwiedzania laboratoriów. W listopadzie 2015 r. byłem także głównym organizatorem konferencji kuźniczej w Ustroniu, której organizacja możliwa była dzięki środkom finansowym z projektu POIG.01.03.01-02-063/12. Konferencja cieszyła się olbrzymim zainteresowaniem przede wszystkim kuźni, w tym Związek Kuźni Polskich oraz firm i zakładów przemysłowych o zbliżonym profilu działalności, jak również jej uczestnikami byli naukowcy z różnych uczelni wyższych, a nawet przedstawiciele ministerstwa. Mam nadzieję, że uda się kontynuować tę konferencję w przyszłości, gdyż prezentowane na niej były aplikacyjne zagadnienia naukowe, ze szczególnym uwzględnieniem aktualnych potrzeb przemysłu.

Aktywnie uczestniczę również w życiu Politechniki Wrocławskiej, pełniąc funkcje w kilku komisjach i radach:

- Rada Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej (ITMA-24) – od 2010-2015;
- Komisja ds. przyznawania nagród dla pracowników Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji,
- Wydziałowa Komisja Hospitująca Doktorantów od 2012 do chwili obecnej;
- Komisja egzaminów prac dyplomowych od 2008 do chwili obecnej;
- Komisja rekrutacyjna – 2007;

Byłem także członkiem sekcji Teorii Procesów Przeróbki Plastycznej Komitetu Metalurgii PAN w kadencji 2011-2014.

Udzielam się także aktywnie w Katedrze poza obszarem naukowym, organizując m.in.: cykliczne wyjazdy rowerowe, spływy kajakowe, pontonowe oraz inne wycieczki rekreacyjne, powiązane często z obszarem zainteresowań zawodowych (zwiedzanie zakładów przemysłowych połączone z seminariami, prezentacjami, wymianą doświadczeń). Wielokrotnie takie wyjazdy do firm przemysłowych rozpoczynały późniejszą współpracę Zakładu Inżynierii Procesów Kształtowania Plastycznego (wcześniej) i Katedry Obróbki Plastycznej i Metrologii (obecnie), zarówno w obszarze rozwiązywania bieżących problemów produkcyjnych tych zakładów, jak i aplikowania w konkursach projektowych (Belos, Measurement and Medical Technologies Transfer, Kuźnia Jawor, GKN, Kuźnia Skoczów, Schmolz+Bickenbach, inne).

Marek Hryb