

Prof. dr hab. inż. Michał Kulka  
Politechnika Poznańska  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej  
Instytut Inżynierii Materiałowej

## RECENZJA

**dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego dr. inż. Marcina Kaszuby  
w związku z ubieganiem się o stopień naukowy doktora habilitowanego w dziedzinie nauk  
inżynierijno-technicznych, w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*,  
na podstawie cyklu 18 publikacji pt.:  
„Metody poprawy trwałości narzędzi kuźniczych”**

*Podstawą formalną opracowania recenzji jest Uchwała nr 496/26/RDN D07/2021÷2024 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 28 lutego 2023 r. oraz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego z dnia 3.03.2023 r.*

*Podstawę prawną jej wykonania stanowi Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 r., poz. 1668 ze zm.), która w art. 219 formułuje wymagania stawiane osiągnięciom naukowym osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego.*

Ocenę merytoryczną dorobku dr. inż. Marcina Kaszuby opracowałem na podstawie następujących materiałów:

1. Wniosek przewodni.
2. Dane wnioskodawcy.
3. Kopia dyplomu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora nauk technicznych.
4. Autoreferat.
5. Wykaz pozostałych osiągnięć naukowych.
6. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego.
7. Oświadczenia współautorów publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe.
8. Kopie dokumentów potwierdzających wybrane osiągnięcia naukowe.

### **1. Ogólna charakterystyka Habilitanta**

Dr inż. Marcin Kaszuba jest absolwentem kierunku Mechanika i Budowa Maszyn o specjalności Technologia Maszyn na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Tytuł zawodowy magistra inżyniera uzyskał w roku 2008, broniąc pracy magisterskiej pt. „Analiza procesu kucia obudów przegubów homokinetycznych”, której promotorem był prof. dr hab. inż. Zbigniew Gronostajski. W styczniu 2010 r. został zatrudniony w Instytucie Technologii Maszyn i Automatyzacji na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej na stanowisku starszego referenta technicznego. Od grudnia 2012 r. pracował w tej samej jednostce na stanowisku asystenta naukowego. Od początku działalności naukowej **obszar zainteresowań Habilitanta związany był z przemysłowymi procesami kucia. Zainteresowania te rozwijał poprzez realizację projektów badawczych, w pozyskiwaniu których brał czynny udział.** Pierwszym projektem był Grant Promotorski pt.” Optymalizacja parametrów kucia obudowy przegubu

homokinetycznego”, w ramach którego nawiązał współpracę z firmą GKN Driveline kontynuowaną przy realizacji badań związanych z rozprawą doktorską. W roku 2009 wspólnie z Instytutem Obróbki Plastycznej z Poznania przygotował projekt finansowany przez UE w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka pt: „Kompleksowy system ekspertowy do optymalizacji trwałości narzędzi w procesach kucia”, którego był głównym wykonawcą. W 2011 roku uzyskał finansowanie na realizację projektu „Przedsiębiorczy doktorant” realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki. Łącznie przed doktoratem uczestniczył w realizacji 5 projektów.

**Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn** został mu nadany 27 lutego 2013 r. uchwałą Rady Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej. **Tematem jego rozprawy doktorskiej były „Badania możliwości zwiększenia trwałości narzędzi w procesie kucia precyzyjnego”.** Promotorem rozprawy był prof. dr hab. inż. Zbigniew Gronostajski, a jej recenzentami: prof. dr hab. inż. Zbigniew Pater i prof. dr hab. inż. Jerzy Adam Smolik. **Rozprawa została wyróżniona przez Radę Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej.** W październiku 2013 r. dr inż. Marcin Kaszuba został zatrudniony w Katedrze Obróbki Plastycznej, Spawalnictwa i Metrologii na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego, które zajmuje do chwili obecnej. Od stycznia 2017 r. jest zastępcą Kierownika Katedry Obróbki Plastycznej, Spawalnictwa i Metrologii. **Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych w 2013 roku kontynuował i rozwijał zainteresowania związane z przemysłowymi procesami kucia matrycowego, szczególnie w obszarze związanym z trwałością narzędzi stosowanych w procesach kucia na gorąco.** Prowadzone przez dr. inż. Marcina Kaszubę badania związane były z pozyskiwaniem i realizacją kolejnych projektów badawczych i koncentrowały się na poszukiwaniu i opracowywaniu metod zwiększania trwałości narzędzi kuźniczych. Habilitant uczestniczył w 12. takich projektach krajowych, w jednym jako kierownik projektu, w kolejnym jako kierownik projektu ze strony konsorcjanta i główny wykonawca, a w pozostałych 10. jako wykonawca. **W roku 2019 roku uzyskał Stypendium dla Wybitnych Młodych Naukowców** przyznane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## **2. Charakterystyka i ocena cyklu publikacji stanowiącego osiągnięcie naukowe**

Wniosek dr. inż. Marcina Kaszuby do Rady Doskonałości Naukowej o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna w punkcie 4. Autoreferatu zawiera opis osiągnięcia, o których mowa w art. 219 ust.1 pkt.2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.). Opis tych osiągnięć w postaci **cyklu 18 monotematycznych publikacji** Habilitant zatytułował „**Metody poprawy trwałości narzędzi kuźniczych**”. W skład cyklu wchodzi:

- **1 publikacja autorska** [H17],

- **17 publikacji współautorskich** [H1-H16, H18], w których Habilitant jest pierwszym autorem w 2. przypadkach [H14, H16], drugim autorem w 4. przypadkach [H1, H2, H10, H12], trzecim autorem w 9. przypadkach [H3-H6, H9, H11, H13, H15, H18] oraz czwartym autorem w 2. przypadkach [H7, H8].

**Habilitant załączył do wniosku kopie publikacji** stanowiących osiągnięcie naukowe będące podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, a także **oświadczenia własne oraz współautorów wskazujące na wkład w powstanie tych publikacji**. Na podkreślenie zasługuje fakt, że **15 prac wchodzących w skład cyklu opublikowano w czasopismach posiadających współczynnik wpływu Impact Factor**, w tym publikacja autorska, jedna z publikacji, w których Habilitant był pierwszym autorem, 3 publikacje, w których Habilitant był drugim autorem, 8 publikacji, w których Habilitant był trzecim autorem i obie publikacje, w których Habilitant był czwartym autorem. **Na podstawie załączonych oświadczeń dotyczących wkładu poszczególnych autorów trudno jest ocenić, czy wkład Habilitanta w realizację badań i tworzenie wszystkich tych publikacji był dominujący**. Niemniej jednak, **wskazany zakres merytoryczny przeprowadzonych prac potwierdzony oświadczeniami współautorów pozwala stwierdzić, że wkład Habilitanta w każdą z publikacji był bardzo istotny, a w niektórych publikacjach ([H1], [H2], [H5], [H10], [H12], [H13], [H14], [H16], [H17]) niewątpliwie dominujący**. Habilitant **nie podał w wykazie publikacji wchodzących w skład cyklu liczby cytowań każdej z nich wg bazy Web of Science, czy Scopus**. Stosunkowo łatwo było to sprawdzić w bazie Scopus, która umożliwia odrzucenie samocytowań wszystkich współautorów tak, by liczba cytowań była bardziej miarodajnym wskaźnikiem zainteresowania opublikowanymi pracami w środowisku naukowym i wkładu autorów w rozwijaną tematykę badawczą. Okazało się, że praca [H1] była cytowana 44 razy, praca [H2] – 57 razy, praca [H3] – 2 razy, praca [H4] – 3 razy, praca [H5] – 5 razy, praca [H6] – 5 razy, praca [H7] – 1 raz, praca [H8] – 10 razy, praca [H9] – 5 razy, praca [H10] – 5 razy, praca [H11] – 12 razy, praca [H12] – 19 razy, praca [H13] – 4 razy, praca [H14] – 5 razy, praca [H17] – 6 razy, a praca [H18] – 4 razy. Prace [H15] i [H16] nie są odnotowane w bazie Scopus. **Łącznie publikacje wymienione w cyklu były zatem cytowane 187 razy wg bazy Scopus z wyłączeniem samocytowań wszystkich współautorów, co wskazuje na istotne zainteresowanie ich treścią na arenie międzynarodowej i świadczy o istotnym wkładzie autorów w prezentowaną tematykę badawczą**.

**Opis osiągnięcia zgłoszonego we wniosku Habilitant rozpoczął w Autoreferacie od wprowadzenia, w którym uzasadnił podjęcie wskazanej tematyki badań stosując już odniesienia do publikacji wchodzących w skład cyklu przedstawionego jako osiągnięcie**. Habilitant stwierdza, że procesy kształtowania plastycznego, w tym procesy kucia matrycowego na gorąco, stanowią szczególną grupę procesów wytwarzania cechujących się małą trwałości narzędzi. Stosowane w tych procesach narzędzia zwykle są bardzo skomplikowane, przez co drogie w wykonaniu i to sprawia, że **w niektórych przypadkach koszty narzędzi stanowią nawet 30% całkowitych kosztów produkcji**. Habilitant wskazuje, że mała trwałość narzędzi kuźniczych wynika z ciężkich warunków pracy podczas ich eksploatacji i **definiuje trzy główne czynniki powodujące niszczenie narzędzi w procesach kucia matrycowego, jako: intensywne szoki cieplne, cyklicznie zmienne obciążenia mechaniczne oraz intensywne zużycie przez tarcie [H1-H4]**. Habilitant stwierdza, że w warstwie wierzchniej matryc występują następujące mechanizmy zużycia: **zużycie ściernie, zmęczenie cieplno-mechaniczne, odkształcenie plastyczne, pękanie zmęczeniowe, zużycie adhezyjne i utlenianie [H1]**. W dalszym wywodzie Habilitant określa trzy główne kierunki działań mających na celu poprawę trwałości narzędzia. **W pierwszym brane są pod uwagę aspekty technologiczne i konstrukcyjne procesu kucia, a największe znaczenie ma optymalizacja konstrukcji matryc oraz kształtów wykrojów**. Modyfikacje kształtu matryc są jednak ograniczone z uwagi na fakt, że wykrój wykańczający

matrycy musi odzwierciedlać gotową odkuwkę, której kształt nie może ulec zmianie bez konsultacji z odbiorcą. Dlatego modyfikacja może dotyczyć zazwyczaj wykrojów wstępnych oraz pomocniczych, gdzie poprzez zmianę kształtu uzyskuje się równomierne rozłożenie odkształcenia i sił kształtujących pomiędzy poszczególnymi operacjami w celu odciążenia najbardziej narażonych na zużycie narzędzi. **Drugi kierunek Habilitant określa jako modyfikację materiału, z którego wykonane są narzędzia.** Podkreśla, że stale stosowane do wyrobu wkładek matrycowych na prasy muszą posiadać dużą wytrzymałość, twardość oraz odporność na ścieranie, z równoczesną z odpowiednią odpornością na kruche pękanie w temperaturze pracy, a także odpornością na szoki cieplne będące przyczyną powstawania na powierzchni siatki pęknięć (tzw. zmęczenie cieplne). Wyżej wymienione właściwości można uzyskać przez **dobór odpowiedniego składu chemicznego stali oraz przeprowadzenie prawidłowej obróbki cieplnej,** która zwykle składa się z hartowania i dwukrotnego wysokiego odpuszczania. **Trzeci kierunek działań zwiększających trwałość narzędzi kuźniczych Habilitant definiuje jako nowoczesne techniki inżynierii powierzchni.** Wśród najbardziej rozpowszechnionych wyróżnia techniki spawalnicze (napawanie), obróbkę cieplno-chemiczną (azotowanie, azotonawęglanie), techniki wiązkowe, metody mechaniczne (kulowanie) oraz warstwy i techniki hybrydowe. Następnie Habilitant stwierdza, że obecnie najbardziej popularną metodą poprawy trwałości narzędzi kuźniczych jest regulowane azotowanie, a **przykładem metody azotowania, w której dzięki precyzyjnej regulacji składu chemicznego atmosfery azotującej i potencjału azotowego można otrzymywać warstwy azotowane o dowolnie określonej budowie, jest metoda ZeroFlow** stosowana przez firmę Seco Warwick [H5]. W sytuacjach, gdy warunki pracy narzędzia są szczególnie trudne, wymagane są bardziej zaawansowane metod poprawy trwałości, do których należą niewątpliwie **technologie hybrydowe.** Habilitant wskazuje na możliwość stosowania dwóch lub więcej technik inżynierii powierzchni **łączyjących w sobie np. azotowanie z technikami PVD lub CVD.** Dzięki prowadzeniu wielu prac badawczych Habilitant zdobył duże doświadczenie w tej dziedzinie, zakończone wdrożeniem tego typu rozwiązań w aplikacjach przemysłowych [H7-H12]. Jako ważną technologię coraz częściej stosowaną przez kuźnie w celu poprawy trwałości narzędzi i modyfikującą właściwości warstwy wierzchniej Habilitant wskazuje też **napawanie, w szczególności napawanie prewencyjne.** Metoda ta polega na zastosowaniu technik spawalniczych do pokrywania narzędzi kuźniczych powłoką metalową przy jednoczesnym niewielkim przetopieniu podłoża w celu zapewnienia połączenia metalurgicznego wytwarzanej powłoki z materiałem podłoża i w niektórych przypadkach pozwala na skuteczne zwiększenie trwałości takich narzędzi [H14-H17]. Habilitant zauważa, że do regeneracji i poprawy powierzchni matryc stosuje się także metodę natryskiwania płomieniowego lub plazmowego, a także napawanie laserowe. Podsumowując, dr inż. Marcin Kaszuba stwierdza, że **poprawa trwałości narzędzi kuźniczych przez zastosowanie nowych warstw hybrydowych łączących napawanie i azotowanie jest stosunkowo nowym zagadnieniem, któremu dotąd nie poświęcono zbyt wiele uwagi w literaturze przedmiotu.**

W kolejnej części opisu osiągnięcia naukowego w postaci cyklu publikacji pt. „Metody poprawy trwałości narzędzi kuźniczych” Habilitant formułuje cele naukowe przeprowadzonych badań. **Za główny cel Habilitant uznał opracowanie skutecznej metody poprawy trwałości narzędzi stosowanych w przemysłowych procesach kucia matrycowego na gorąco przez zastosowanie warstw hybrydowych łączących napawanie i azotowanie.** Drugim, również ważnym celem prowadzonych badań była **identyfikacja i opis mechanizmów niszczących występujących w narzędziach kuźniczych.** Trzeci cel powadzonych przez Habilitanta badań

naukowych dotyczył przeglądu i oceny skuteczności obecnie stosowanych metod poprawy trwałości narzędzi kuźniczych stosowanych w przemysłowych procesach kucia matrycowego. Efektem realizacji tego celu były publikacje [H5-H17].

W dalszej części opisu osiągnięcia w postaci cyklu publikacji Habilitant szczegółowo prezentuje najważniejsze wyniki badań, W przeglądowych pracach [H1] i [H2] kompleksowo przedstawiono opis mechanizmów niszczących, jakie występują w narzędziach stosowanych w procesach kucia na gorąco. Na podstawie badań własnych zaprezentowano przykłady poszczególnych mechanizmów niszczących oraz opisano relacje pomiędzy nimi. Wyniki badań wykazały, że mechanizmy niszczące narzędzia kuźnicze w procesach kucia na gorąco dotyczą przede wszystkim warstwy wierzchniej narzędzi, gdzie zidentyfikowano następujące mechanizmy zużycia: zużycie ściernie, zmęczenie cieplno-mechaniczne, odkształcenie plastyczne, pękanie zmęczeniowe, zużycie adhezyjne i utlenianie. **Badania przedstawione w pracy [H3] dotyczyły wyznaczenia temperatury w narzędziu przy zastosowaniu termopary umieszczonej w specjalnym otworze doprowadzającym termoparę na odległość 2 mm od powierzchni roboczej narzędzia.** Wyznaczenie temperatury na powierzchni narzędzi w czasie kontaktu jest bardzo trudne, dlatego w badaniach wykorzystano pomiary przy użyciu termopary, pomiary termowizyjne oraz modelowanie numeryczne MES. **Artykuł [H18] poświęcony został zagadnieniom zmiękczenia termicznego materiałów w warstwie powierzchniowej narzędzi kuźniczych.** Badania obejmowały modelowanie numeryczne procesu kucia, badania laboratoryjne odpuszczania warstw azotowanych oraz analizę odpuszczania warstwy powierzchniowej narzędzi w rzeczywistym procesie kucia. Z kolei w pracy [H4] **przedstawiono wybrane metody wyznaczenia trwałości zmęczeniowej w ujęciu odkształceniowym** opisanej zależnością Mansona-Coffina-Basquina (MCB) bazując na wynikach prób statycznego rozciągania. Uzyskane wyniki posłużyły do wyznaczenia charakterystyk niskocyklowych dla stali narzędziowej 1.2344, która jest powszechnie stosowana na narzędziach do kucia w wysokiej temperaturze. W pracy [H4] przedstawiono też **termogramy wykonane bezpośrednio po wykonaniu odkuwki oraz bezpośrednio po natrysku cieczą smarującą chłodzącą** (Rys. 5b, c), na których zaobserwowano gwałtowny spadek temperatury na powierzchni. W wyniku intensywnego chłodzenia temperatura spadała z 360°C lokalnie nawet do 100°C. Ze względu na ograniczoną przewodność cieplną materiału występowały różnice temperatur między rdzeniem a powierzchnią, prowadzące do powstawania dużych wartości naprężeń, w szczególności w warstwie wierzchniej. Cykliczne zmiany temperatury powodowały, że materiał był naprzemiennie rozciągany oraz ściskany, przez co pojawiały się naprężenia skutkujące powstawaniem siatki mikropeknięć (Rys. 6a) [H1]. **Ta forma zniszczenia określana jest jako zmęczenie cieplne [H4].**

Następnie Habilitant na podstawie publikacji wchodzących w skład cyklu stanowiącego osiągnięcie naukowe analizuje szczegółowo metody zwiększenia trwałości narzędzi kuźniczych na drodze: azotowania, wytwarzania powłok PVD i napawania. Habilitant stwierdza, że skuteczność zastosowania warstwy azotowanej do poprawy trwałości narzędzia wymaga jej jednolitej i określonej budowy (tj. składu fazowego) [H5]. Azotowane narzędzia oraz próbki wykonano ze stali do pracy na gorąco Unimax (odpowiednik X40CrMoV5-1 wg normy EN). Próbki i narzędzia poddano uprzednio obróbce cieplnej: hartowaniu i odpuszczaniu w temperaturze 600°C. Głównym założeniem opisanych w artykule [H5] badań było wytworzenie warstw azotowanych o podobnej głębokości, ale zróżnicowanej strukturze. **Wytworzenie warstw azotowanych o różnej budowie było możliwe dzięki zastosowaniu azotowania metodą ZeroFlow, zaliczaną do metod azotowania regulowanego i umożliwiającej precyzyjną**

**kontrolę dozowania atmosfery azotującej i potencjału azotowego.** Badano zatem wpływ trzech wariantów azotowania na trwałość narzędzi: warstwy azotowanej składającej się wyłącznie ze strefy (warstwy) dyfuzyjnej (zwanej też strefą azotowania wewnętrznego), warstwy azotowanej składającej się z fazy  $\gamma'$  przy powierzchni i strefy dyfuzyjnej oraz warstwy, w skład której wchodziła strefa  $\varepsilon+\gamma'$  przy powierzchni i strefa dyfuzyjna. Strefa związków przy powierzchni ( $\gamma'$  lub  $\varepsilon+\gamma'$ ) nazywana jest czasem „białą warstwą” („white layer”). **Habilitant w Autoreferacie stosował nazewnictwo „warstwa dyfuzyjna  $\alpha$ ”, co jest pewnym uproszczeniem lub skrótom myślowym,** bo o strukturze fazy  $\alpha$  w warstwie dyfuzyjnej można mówić wyłącznie w przypadku azotowania czystego żelaza i fazą tą jest ferryt azotowy. Badana stal była natomiast poddana hartowaniu i wysokiemu odpuszczaniu, co determinowało jej strukturę przed azotowaniem, a także strukturę warstwy dyfuzyjnej po azotowaniu. W publikacji [H5] stosowano natomiast określenie „diffusion layer without white layer ( $\alpha$ -type layer)”, co jest już w mojej opinii bardziej uzasadnione. Generalnie, w pracy [5] prawidłowo opisano mikrostrukturę tych trzech warstw azotowanych o różnej mikrostrukturze. **Szkoda, że nie poddano tych wytworzonych warstw analizie fazowej metodą dyfrakcji rentgenowskiej.** Można by wtedy rozwiązać wątpliwości co do ewentualnego występowania fazy  $\varepsilon$  w warstwie opisanej jako „diffusion and white layer with a predominance of gamma phase ( $\gamma'$ -type compound layer)”. W pracy [H5] wykazano zbliżoną grubość strefy dyfuzyjnej we wszystkich trzech przypadkach, co skutkowało podobnymi profilami twardości w funkcji odległości od powierzchni. Przeprowadzono również badania eksploatacyjne w warunkach przemysłowych. Przy zastosowaniu narzędzi z różnymi wariantami warstw azotowanych oraz narzędzia nieazotowanego (dla porównania) wykonano taką samą ilość odkuwek i przeprowadzono obserwacje w skali makro z analizą geometryczną zużycia narzędzi na powierzchni roboczej oraz obserwacje na mikroskopie skaningowym (SEM). **Na powierzchni mostka narzędzia nieazotowanego** widoczne były głębokie bruzdy oraz ślady nieregularnej siatki pęknięć, podczas gdy w pozostałej części powierzchnia jest gładka ze śladami siatki słabo widocznych pęknięć (Rys. 14a). **Na powierzchni narzędzia wyłącznie z warstwą dyfuzyjną** można było zaobserwować regularną siatkę pęknięć z lokalnymi niewielkimi wykruszeniami (Rys. 14b) występującymi głównie na krawędzi na styku mostka matrycy i reszty wykroju roboczego. Natomiast w części płaskiej, czyli na mostku widoczne były ślady po obróbce, co świadczy o braku zużycia. Ponadto można zaobserwować początek tworzenia się bruzd, charakterystycznych dla zużycia ściernego w tym samym miejscu, co w przypadku matrycy nieazotowanej. **Na całej powierzchni narzędzia z warstwą azotowaną składającą się z fazy  $\gamma'$  przy powierzchni i strefy dyfuzyjnej** widoczna była gęsta, regularna siatka pęknięć z licznymi wykruszeniami (Rys. 14c). Analiza geometryczna w tym obszarze nie wykazała zużycia, jednak można przypuszczać, że w kolejnych cyklach byłoby ono zintensyfikowane na skutek wykruszonych twardych cząstek z powierzchni matrycy, które działają jak ścierniwo. **W przypadku narzędzia z warstwą azotowaną zawierającą strefę  $\varepsilon+\gamma'$  przy powierzchni i strefę dyfuzyjną** również widoczna była intensywna siatka pęknięć z wykruszeniami (Rys. 14d), przy czym obserwowane pęknięcia były nieregularne a wykruszenia niewielkie i było ich znacznie mniej, niż w przypadku matrycy z warstwą azotowaną ze strefą związków składającą się wyłącznie z fazy  $\gamma'$ . **W pracy [H6] zaprezentowano wyniki badań eksploatacyjnych stempla stosowanego w procesie kucia obudowy przegubu homokinetycznego, gdzie analizowany był wpływ różnych wariantów obróbki powierzchniowej na trwałość, w tym również wpływ różnych wariantów azotowania.** Analizowano dwa przypadki azotowania: warstwę składającą się wyłącznie ze strefy dyfuzyjnej oraz warstwę z fazą  $\gamma'$  przy powierzchni i strefą dyfuzyjną, a także stempel bez

warstwy azotowanej. W zastosowanym procesie kucia po wystąpieniu pierwszych śladów zużycia narzędzia są wycofywane z dalszej eksploatacji. W przypadku stempla bez warstwy azotowanej wykonano 4372 szt. odkuwek, stempla wyłącznie ze strefą dyfuzyjną – 6249 szt., a stempla z fazą  $\gamma'$  w strefie przypowierzchniowej i strefą dyfuzyjną – 1412 szt. Na całej powierzchni stempla z warstwą azotowaną z fazą  $\gamma'$  w strefie przypowierzchniowej widoczna jest regularna siatka pęknięć. W niektórych obszarach fragmenty siatki ulegają wykruszeniu, podczas gdy pozostałe fragmenty, bezpośrednio sąsiadujące z fragmentami wykruszonymi są nienaruszone. Podsumowując, Habilitant stwierdza, że **warstwy azotowane z fazą  $\epsilon$  w strefie związków generalnie cechują się gorszymi właściwościami użytkowymi głównie z powodu małej ciągliwości wykazując przy tym zwiększoną odporność na ścieranie**. Są zatem przydatne do pracy w warunkach, gdzie nie występują obciążenia dynamiczne np. w procesach wyciskania. **W tym miejscu można by polemizować z Habilitantem odnośnie zwiększonej odporności na ścieranie takich warstw z uwagi na dużą porowatość fazy  $\epsilon$  i wynikającą z tego dużą jej skłonność do wykruszeń podczas zużycia przez tarcie**. Wiele danych literaturowych wskazuje, że obecność fazy  $\epsilon$  w strefie związków pogarsza odporność na zużycie przez tarcie warstwy azotowanej. Z kolei **warstwa zbudowana fazy  $\gamma'$  i strefy dyfuzyjnej przyczynia się w opinii Habilitanta do zwiększenia odporności na ścieranie i zatarcie oraz zwiększa odporność na korozję**. Natomiast **warstwy azotowane bez strefy związków charakteryzują się bardzo dobrą wytrzymałością zmęczeniową i mają mniejszą skłonność do pęknięcia w wyniku zmęczenia cieplnego, w związku z czym nadają się do pracy w warunkach dużych obciążeń dynamicznych, jakie występują przy kuciu na gorąco**. Jakkolwiek z tymi dwoma ostatnimi wnioskami Habilitanta można się zgodzić, to nie wynikają one z przeprowadzonych badań, a podsumowanie w całości wynika z analizy literatury i zostało zaczerpnięte z rozdziału 1. Introduction pracy [H6] z powołaniem się na przeglądową pracę [8] w spisie publikacji. Praca ta formułuje te wnioski na podstawie analizy innych danych literaturowych. **Wszystkie te uwagi krytyczne nie podważają niekwestionowanego wkładu Habilitanta w analizę wpływu składu fazowego warstwy azotowanej na trwałość narzędzi kuźniczych**.

Kolejną część opisu osiągnięcia naukowego w Autoreferacie Habilitant zaczyna od stwierdzenia, że **zaawansowane procesy kucia, w których oczekiwania związane z trwałością narzędzi są coraz większe, wymagają bardziej zaawansowanych metod poprawy trwałości narzędzi takich, jak technologie hybrydowe** polegające na zastosowaniu dwóch lub więcej technik obróbki powierzchniowej. Dzięki połączeniu i wzajemnemu oddziaływaniu różnych technologii można uzyskać właściwości warstwy powierzchniowej nieosiągalne przy zastosowaniu tych technik oddzielnie. Jako przykład takiej technologii hybrydowej Habilitant wskazuje **warstwy hybrydowe typu warstwa azotowana/powłoka PVD lub CVD**. Dr inż. Marcin Kaszuba wskazuje na rolę warstwy azotowanej w zwiększeniu twardości i odporności podłoża na odkształcenia plastyczne oraz uodpornieniu powłoki na utratę spójności wewnętrznej i adhezji do azotowanego podłoża. Rolę powłoki natomiast definiuje jako izolowanie azotowanego podłoża od wpływu czynników zewnętrznych, który jest w takiej sytuacji ograniczony. **Tego typu warstwy hybrydowe stosowane w celu poprawy trwałości narzędzi kuźniczych zostały opisane w pracach [H6-H12]** związanych głównie z realizacją projektu badawczego w ramach Programu Badań Stosowanych pt. „Zastosowanie zaawansowanych warstw hybrydowych typu PN+PVD dedykowanych do zwiększenia trwałości narzędzi w procesach kucia”. W badaniach prowadzonych w ramach projektu **warstwę azotowaną wytwarzano w warunkach wyładowania jarzeniowego**. Taki proces azotowania zwany jest azotowaniem jarzeniowym,

jonowym lub plazmowym, a w wymienionych publikacjach stosowany jest w odniesieniu do niego powszechnie akceptowalny skrót nazwy „**plasma nitriding**” jako **PN**. Po procesie azotowania na powierzchni otrzymanej warstwy wytwarzano następujące powłoki: **monolityczną powłokę Cr/CrN** złożoną z azotku chromu z przejściową strefą chromu poprawiającą adhezję powłoki do podłoża, **wielowarstwową powłokę Cr/CrN/AlCrTiN** o większej twardości i wielofazowym składzie **oraz najbardziej złożoną powłokę CrN/CrN-AlCrN/AlCrN-TiSiN**, która zawierała najtwardsze azotki tytanu i krzemu. Habilitant stwierdza w Autoreferacie, że **najbardziej kompleksowo wyniki badań wyżej wymienionych warstw hybrydowych przedstawiono w pracy [H7], w której opisano szczegółowo wyniki testów laboratoryjnych dotyczących wytworzonych powłok przeciwzużyciowych oraz wyniki testów eksploatacyjnych warstw hybrydowych typu PN+PVD z zastosowaniem tych powłok w warunkach przemysłowych na narzędziach kuźniczych stosowanych w procesie kucia na gorąco odkuwki typu pokrywa**. Stąd też sporo miejsca w Autoreferacie poświęca wynikom zaprezentowanym właśnie w tej publikacji, **dość szczegółowo opisując testy laboratoryjne**, a mianowicie: budowę i mikrostrukturę wytworzonych warstw powierzchniowych hybrydowych, grubość powłok wytworzonych metodą PVD, ich wybrane właściwości takie, jak: twardość, moduł Younga, czy adhezja do azotowanego podłoża, pomijając pokazaną w pracy [H7] analizę składu chemicznego metodą EDS. Następnie Habilitant opisuje **testy eksploatacyjne w warunkach przemysłowych** zaprezentowane w tej publikacji, a przeprowadzone w Kuźni Jawor w odniesieniu do różnych warstw hybrydowych wytworzonych na stemplach, przy pomocy których odkuto taką samą ilość odkuwek tj. 4000 szt. Narzędzia poddano wnikliwej analizie, która obejmowała analizę geometryczną, pomiary mikrotwardości, czy obserwacje mikroskopowe. **Na uwagę zasługuje zastosowana w pracy [H7] tzw. „metoda odwrotna” w ocenie i interpretacji zużycia narzędzi** polegająca na wykorzystaniu do pomiarów zużycia zmiany kształtu odkuwek, które powstają w kolejnych cyklach kucia. W tym celu wykorzystano zaobserwowane podobieństwo (odwzorowanie) powierzchni roboczej stempla na wybranych powierzchniach odkuwki, w których ubytek materiału narzędzia równy jest przyrostowi materiału na odkuwce. Na podstawie obserwacji mikrostruktury oraz powierzchni za pomocą SEM **Habilitant stwierdza, że w przypadku narzędzia z powłoką Cr/CrN po wykonaniu 4000 odkuwek warstwa hybrydowa pozostała na niemal całej powierzchni badanego narzędzia (Rys. 21 a). Powierzchnia narzędzia z powłoką AlCrTiN stosunkowo dobrze zachowała swoje właściwości podczas eksploatacji, choć na całej powierzchni utworzyła się dość drobna siatka pęknięć cieplno-mechanicznych (Rys. 21 c). Natomiast na powierzchni narzędzia z powłoką AlCrTiSiN wskutek działania mechanizmów niszczących doszło do całkowitego wytarcia warstwy hybrydowej oraz do deformacji plastycznej, o czym świadczą odkształcone pęknięcia zakrzywione w kierunku płynięcia materiału i głębokie wygładzone bruzdy (Rys. 21 d)**. Biorąc pod uwagę 5 różnych przekrojów stempla w pracy [H7] przeprowadzono badania w celu określenia **profilu twardości w funkcji odległości od powierzchni**. Z wykresów przedstawionych na rysunku 22 Habilitant stwierdza, że **badane narzędzia podczas eksploatacji częściowo zachowały efekt zwiększonej twardości spowodowany obecnością warstwy azotowanej**. Pomiary mikrotwardości wykazały, że **na powierzchniach P1, P2 i P3 warstwa hybrydowa zachowuje swoje właściwości lepiej niż na krawędziach R1 i R2**. Na narzędziu z powłoką AlCrTiSiN (Rys. 22c) doszło do utraty twardości na powierzchni P1 i promieniach R2 i R3, gdzie (jak wykazały poprzednie wyniki) **doszło do całkowitego usunięcia warstwy hybrydowej**. Na powierzchniach P1 i P2 widoczny jest niewielki spadek twardości na głębokości ok. 0,1mm,



co oznacza przypowierzchniowe odpuśczenie materiału. Habilitant stwierdza, że obserwowana przy powierzchni większa twardość potwierdza ochronną rolę powłoki PVD, która zabezpiecza warstwę azotowaną przed zużyciem ściernym i tworzy barierę przeciwko szokom cieplnym. Nie jest to jednak pełna ochrona i podczas eksploatacji narzędzia z warstwą hybrydową w wybranych miejscach dochodzi do zmniejszenia twardości warstwy azotowanej na skutek kontaktu z gorącym materiałem. Widoczny jest również spadek twardości pod warstwą azotowaną. **Następnie Habilitant w opisie osiągnięcia naukowego również szczegółowo opisuje wyniki badań warstw hybrydowych typu warstwa azotowana/powłoka PVD zaprezentowane w pracach [H9], [H9] i [H12]. Habilitant kończy tę część opisu osiągnięcia dość ogólnym wnioskiem, że (cyt.): „przedstawione badania wykazały korzystny wpływ zastosowania warstw hybrydowych typu warstwa azotowana i powłoka PVD na efekt poprawy trwałości narzędzi kuźniczych. Przy czym bardzo istotny jest ich poprawny dobór zastosowanej warstwy. Niepoprawny dobór powłoki PVD może przyczynić się do obniżenia trwałości.”**

Kolejne publikacje [H13-H17] dotyczyły zwiększania trwałości narzędzi kuźniczych z wykorzystaniem technologii spawalniczej - procesu napawania. Habilitant stwierdza w Autoreferacie, że punktem wyjścia do dalszych badań była praca [H16], w której potwierdzono, że **technika napawania pozwala na skuteczne regenerowanie narzędzi kuźniczych**, dzięki czemu możliwe jest wielokrotne wykorzystanie tego samego narzędzia, którego wykonanie jest dużo droższe od jego regeneracji przez napawanie. Zaskakująco pozytywne wyniki oceny trwałości narzędzi napawanych spowodowały, że **w kolejnych pracach [H13-H15, H17] zaproponowano powierzchniową warstwę hybrydową wytwarzaną przez połączenie technologii napawania i azotowania**. Podczas takiej obróbki regenerowano narzędzie wytwarzając na jego powierzchni powłokę napawaną techniką spawalniczą, szlifowano ją w celu uzyskania jednolitej i gładkiej powierzchni, a następnie **poddawano regulowanemu azotowaniu gazowemu metodą ZeroFlow wytwarzając warstwę azotowaną o różnej mikrostrukturze**. **W pracy [H13] porównano efekty zastosowanej technologii hybrydowej z narzędziami poddanymi wyłącznie procesowi napawania oraz matrycę, którą poddano jedynie azotowaniu**. Narzędzie z hybrydową warstwą powierzchniową wytworzone technologią łączącą napawanie i azotowanie wykazało najmniejsze ślady zużycia, które jedynie lokalnie w okolicy mostka przyjmowało charakter zużycia ściernego, aczkolwiek jego intensywność i zakres występowania były znacznie mniejsze, niż w przypadku pozostałych narzędzi. **W kolejnej pracy [H14] naniesiono 3 powłoki napawane poddane następnie regulowanemu azotowaniu metodą ZeroFlow, które skutkowało wytworzeniem warstwy azotowanej wyłącznie ze strefą dyfuzyjną**. Na podstawie wyników pracy [H5] taki wariant azotowania okazał się bowiem najbardziej skuteczny w zwiększaniu trwałości narzędzi kuźniczych. Nie znaczy to, że nie badano wpływu innych wariantów azotowania na trwałość narzędzi kuźniczych poddawanych technologii hybrydowej w postaci napawania i azotowania. **Analizie wpływu różnej mikrostruktury i składu fazowego warstw azotowanych wytwarzanych po napawaniu poświęcono pracę [H15]. W pracy tej do wytworzenia napoiny stosowano trzy różne materiały: Robotool 46, Castolin EnDOtec<sup>®</sup> DO\*04 i Megafil A750M. Powłoka napawana drutem Robotool 46 wykazała najlepszą podatność do azotowania i okazała się najbardziej odpowiednia do wytwarzania warstw powierzchniowych hybrydowych**. W swojej autorskiej publikacji [H17] Habilitant zastosował ten sam materiał do wytwarzania napoin i poddał ocenie trwałość narzędzi azotowanych (3 warianty obróbki), napawanych oraz wytwarzanych technologią hybrydową (napawanie + azotowanie skutkujące wyłącznie strefą dyfuzyjną). Uzyskane wyniki badań wskazują na **korzystny efekt zastosowania**

**technologii hybrydowej**, co skutkuje 300% zwiększeniem trwałości analizowanych narzędzi. **Warstwy hybrydowe okazały się najbardziej odporne na zużycie ściernie i pękanie spowodowane zmęczeniem cieplno-mechanicznym.** Badania potwierdziły też, że najbardziej korzystny wpływ na trwałość narzędzi kuźniczych ma warstwa azotowana o strukturze wyłącznie strefy dyfuzyjnej, bez strefy związków przy powierzchni. Stwierdzenie **znacznego efektu poprawy trwałości narzędzi w porównaniu z dotychczas stosowanymi metodami** sprawiło, że przed opublikowaniem wyników prac [H13 i H15] zgłoszono to rozwiązanie do ochrony patentowej pod nazwą **"Sposób poprawy trwałości narzędzia kuźniczego przez modyfikację jego warstwy wierzchniej"**, a ochronę patentową przyznano w 2019 r., co zasługuje na **podkreślenie.**

**Autoreferat nie został opracowany przez Habilitanta wystarczająco starannie. W opisie osiągnięcia naukowego dr inż. Marcin Kaszuba nie ustrzegł się wielu błędów** takich, jak: literówki, końcówki wyrazów niezgodne z wymogami języka polskiego, czy wręcz w kilku miejscach błędy, które określić by można jako „brakujące wyrazy”. Wydaje się też, że w opisie wyników badań publikacji współautorskich należałoby stosować tryb bezosobowy. Nie umniejsza to oczywiście wkładu Habilitanta w prezentowane wyniki badań, ale ma na celu zwrócenie na to przez niego większej uwagi w przyszłości w przypadku redagowania podobnych opracowań.

Opis osiągnięcia w formie cyklu monotematycznych publikacji Habilitant zakończył podsumowaniem, w którym zaprezentował najistotniejsze wnioski naukowe i utylitarne z przeprowadzonych badań. **Przedstawiony jako osiągnięcie naukowe cykl publikacji jest spójny i w konsekwentny sposób prowadzi do sformułowania wniosków, które mają istotne znaczenie i wnoszą istotny wkład w rozwój inżynierii mechanicznej, w szczególności w zakresie metod zwiększania trwałości narzędzi kuźniczych.**

### **3. Charakterystyka i ocena dorobku naukowo-badawczego**

**Habilitant był współautorem 7. rozdziałów w monografiach naukowych, w tym 3. rozdziałów przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych i 4. rozdziałów po jego uzyskaniu. Dr inż. Marcin Kaszuba był też autorem lub współautorem 33. artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach z listy JCR posiadających współczynnik wpływu Impact Factor, w tym współautorem 3. artykułów przed uzyskaniem stopnia doktora oraz autorem jednego i współautorem 29. – po uzyskaniu stopnia doktora.** Większość z tych czasopism charakteryzowała się dość dużą liczbą punktów wg MNiSW i MEiN, a na szczególną uwagę zasługują prace opublikowane w takich renomowanych czasopismach, jak: **Wear, Metallurgical and Materials Transactions A, Materials Science and Engineering. A, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Materials, Journal of Materials Processing Technology, czy Journal of Manufacturing Processes.** W dostarczonej dokumentacji Habilitant nie zamieścił listy autorskich, bądź współautorskich publikacji w czasopismach spoza bazy JCR. Na podstawie tablicy z punktu 8. Autoreferatu (strona 65) można wnioskować, że takich artykułów opublikował łącznie 39.

**Dr inż. Marcin Kaszuba uczestniczył łącznie w 13. konferencjach krajowych i międzynarodowych, w tym w 6. przed uzyskaniem stopnia doktora i w 7. po jego uzyskaniu. Trzy z nich były konferencjami zagranicznymi, dwie - międzynarodowymi w Polsce, a 8 - krajowymi.** Z załącznika nr 4 (strona 13) wynika, że Habilitant miał wystąpienia na tych konferencjach, jednak w dokumentacji brak jest informacji o publikacji artykułów powiązanych z tymi wystąpieniami w materiałach konferencyjnych, czy czasopismach. **Habilitant był członkiem**

komitetu naukowego IX Wrocławskiego Sympozjum Spawalniczego „Innowacje w spawalnictwie”.

Wskaźniki bibliometryczne Habilitanta wskazują (dane na dzień 24.04.2023 r.) wg bazy Scopus na indeks Hirscha  $h = 7$  przy liczbie cytowań 267 (bez samocytowań wszystkich współautorów) i liczbie publikacji 38. W bazie Web of Science trudno jest wyeliminować samocytowania wszystkich współautorów, w związku z tym indeks Hirscha wynosił  $h = 14$  (z uwzględnieniem samocytowań wszystkich współautorów) przy liczbie cytowań 381 (bez samocytowań) i liczbie publikacji 38. Wskaźniki te wydają się być wystarczającymi, wskazując na istotnie zauważalny wkład działalności naukowej dr. inż. Marcina Kaszuby w rozwój wiedzy w reprezentowanej dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Na uwagę zasługuje aktywność Habilitanta w projektach badawczych finansowanych w drodze konkursów krajowych i zagranicznych. Przed uzyskaniem stopnia doktora Habilitant uczestniczył w realizacji 5. takich projektów krajowych, w tym w dwóch jako główny wykonawca i w trzech – jako wykonawca. Projekty te były finansowane w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, przez Narodowe Centrum Nauki oraz przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych dr inż. Marcin Kaszuba uczestniczył w 12. takich projektach krajowych, w jednym (finansowanym przez NCBiR) jako kierownik projektu, w kolejnym (finansowanym także przez NCBiR) jako kierownik projektu ze strony konsorcjanta i główny wykonawca, a w pozostałych 10. (finansowanych przez NCBiR, w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Programu Operacyjnego Innowacyjny Rozwój) jako wykonawca. Połowa z tych projektów została już zrealizowana, a pozostałe są w toku. Na podkreślenie zasługuje fakt, że aktualnie Habilitant uczestniczy też jako wykonawca w projekcie “Application of Functionally Graded Materials to Extra-Large Structures” finansowanym przez UE w ramach programu Horyzont 2020 Industrial Leadership - Leadership in enabling and industrial technologies - Advanced materials.

Habilitant wykazał się istotną współpracą z innymi jednostkami naukowymi w kraju i za granicą, choć brak w załączonych dokumentach informacji o stażach naukowych w tych jednostkach. Współpraca Habilitanta dotyczyła zarówno badań prowadzonych w ramach wspólnie realizowanych projektów badawczych, jak i badań związanych ze wspólnymi obszarami zainteresowań naukowych, które nie były związane z realizowanymi projektami. Dr inż. Marcin Kaszuba współpracował z następującymi zagranicznymi jednostkami naukowymi: Materials Innovation Institute (M2i) - instytut badawczy przy TU Delft, Technische Universität Bergakademie Freiberg - The Institute of Metal Forming, Technische Universität Dresden - Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology oraz Fraunhofer - Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU). Wśród krajowych jednostek naukowych, z którymi współpracował, były: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie - Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Obróbki Plastycznej, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji, Politechnika Lubelska - Katedra Inżynierii Materiałowej, Politechnika Poznańska – Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Uniwersytecki Szpital Kliniczny we Wrocławiu - Klinika Chorób Serca i Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu. W wyniku nawiązanej w 2018 r. współpracy z Materials Innovation Institute (M2i) został przygotowany projekt w ramach programu Horyzont 2020, dotyczący opracowania zaawansowanych technologii funkcjonalnych materiałów

**gradientowych w celu budowania struktur i warstw użytkowych.** Projekt jest realizowany w ramach dużego konsorcjum, które tworzy 21 partnerów z Holandii, Francji, Belgii, Danii, Wielkiej Brytanii, Niemiec, Polski i Słowenii, a **Habilitant jest jednym z wykonawców.** Z **Technische Universität Bergakademie Freiberg** dr inż. Marcin Kaszuba współpracuje od studiów doktoranckich, kiedy to brał czynny udział we wspólnie organizowanej **letniej szkole dla Doktorantów - „Summer Schools”.** Aktualna współpraca z instytutem **The Institute of Metal Forming** dotyczy zarówno **wspólnego obszaru zainteresowań naukowych związanych między innymi z kształtowaniem stopów lekkich w tym stopu magnezu AZ31,** jak i **wspólnie organizowanej konferencji międzynarodowej AutoMetForm - Advanced Metal Forming Processes in Automotive Industry.** Od 2016 roku do współorganizatorów dołączył **Fraunhofer IWU – Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology Chemnitz.** W ramach współpracy z tą ostatnią jednostką **Habilitant brał udział w opracowaniu i przygotowaniu wniosku o dofinansowanie udziału w realizacji projektu międzynarodowego w ramach Inicjatywy CORNET pt. „Określenie trwałości maszyn do przeróbki plastycznej z uwzględnieniem warunków ich pracy oraz parametrów procesu”.** Jego głównym celem było opracowanie referencyjnego katalogu przypadków obciążeniowych dla różnych typów i technologii maszyn do przeróbki plastycznej (głównie pras) z uwzględnieniem newralgicznych węzłów konstrukcyjnych – tj. spoin. W ramach współpracy z **Technische Universität Dresden - Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology** Habilitant prowadził badania związane z wyznaczeniem trwałości zmęczeniowej stali narzędziowej. Wymiernym efektem tej współpracy jest między innymi **wspólna publikacja w International Journal of Advanced Manufacturing Technology (IF 2,633).** Współpracę z AGH Habilitant rozpoczął w 2012 r. w związku z realizacją projektu dotyczącego opracowania systemu ekspertowego umożliwiającego prognozowanie trwałości narzędzi stosowanych w procesach kucia matrycowego na gorąco. Wyniki przeprowadzonych badań zostały **opisane we wspólnej pracy opublikowanej w International Journal of Advanced Manufacturing Technology.** W 2016 r. wspólnie z AGH Habilitant opracował i jako kierownik złożył w ramach konkursu NCN **Opus 12 projekt pt. „Hybrydowy model numeryczny zużycia narzędzi w procesach kucia na gorąco”,** który nie uzyskał finansowania. Obecnie dr inż. Marcin Kaszuba **współpracuje z AGH w ramach realizacji projektu LIDER pt. „Opracowanie innowacyjnej metody zwiększenia trwałości narzędzi kuźniczych przez dobór optymalnych parametrów hybrydowego procesu napawania z azotowaniem wspomaganym modelowaniem numerycznym warstwy wierzchniej”,** którego jest kierownikiem. **Współpraca Habilitanta z Instytutem Obróbki Plastycznej** dotyczy głównie wspólnie realizowanych projektów badawczych. W 2009 r. brał on czynny udział w przygotowaniu **wspólnego projektu finansowanego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka pt: „Kompleksowy system ekspertowy do optymalizacji trwałości narzędzi w procesach kucia”.** Projekt uzyskał finansowanie, a Habilitant był jego głównym wykonawcą ze strony Politechniki Wrocławskiej. **Kolejny wspólny projekt pt. „Prasy do obróbki plastycznej metali z innowacyjnym napędem wykorzystującym zjawisko rezonansu mechanicznego”,** złożony w ramach konsorcjum z Instytutem i partnerem przemysłowym, **został pozytywnie zaopiniowany i uzyskał finansowanie.** Niestety, ze względów formalnych nie została podpisana umowa pomiędzy partnerem przemysłowym a NCBiR. Obecnie **współpraca z Instytutem Obróbki Plastycznej jest kontynuowana w ramach wspólnie realizowanego projektu Techmatstrateg III pt. „Nowe powłoki zwiększające trwałość narzędzi w procesach kucia i wyciskania”,** w którym

Habilitant pełni rolę wykonawcy. Wieloletnia współpraca Habilitanta z **Instytutem Technologii Eksploatacji** rozpoczęła się od **wspólnie realizowanego w ramach PBS II projektu pt. „Zastosowanie zaawansowanych warstw hybrydowych typu PN+PVD dedykowanych do zwiększenia trwałości narzędzi w procesach kucia”**. Projekt był realizowany przez konsorcjum, w skład którego wchodziła jeszcze Kuźnia Jawor, a **dr inż. Marcin Kaszuba brał czynny udział w przygotowaniu projektu oraz był jednym z głównych wykonawców badań**. Wyniki badań zostały przedstawione w wielu wspólnych artykułach, z których najważniejsze to te **opublikowane w Wear, International Journal of Machine Tools & Manufacture oraz Metalurgia**. Obecnie współpraca jest kontynuowana w ramach **projektu Techmatstrateg III pt. „Nowe powłoki zwiększające trwałość narzędzi w procesach kucia i wyciskania”**. Współpraca Habilitanta z **Politechniką Lubelską obejmowała badania dotyczące określenia właściwości tribologicznych warstw hybrydowych wytwarzanych za pomocą napawania i azotowania**. W efekcie współpracy powstała **wspólna praca opublikowana w Archives of Civil and Mechanical Engineering**. Współpraca z **Politechniką Poznańską (zespół prof. Leszka Maldzińskiego)** dotyczyła wymiany doświadczeń związanych z wpływem azotowania na **trwałość narzędzi kuźniczych**. Efekty badań zostały opublikowane we **wspólnych publikacjach w czasopiśmie: Journal of Manufacturing Processes oraz Welding Technology Review - Przegląd Spawalnictwa**. Współpraca z **Uniwersyteckim Szpitalem Klinicznym we Wrocławiu** dotyczyła badań związanych z **analizą trwałości nasypu diamentowego na narzędziach stosowanych w zabiegu rotoablacji, czyli przewiercania się przez zwężoną tętnicę i skutkowało wspólnymi publikacjami w czasopiśmie: Archives of Civil and Mechanical Engineering oraz European Heart Journal**. Współpraca z **Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu** była związana z realizacją **wspólnego projektu w ramach programu BIOSTRATEG pt. „Mobilny system iniekcyjnego, precyzyjnego nawadniania i nawożenia, zaspokajający indywidualne potrzeby rośliny”**. Jednym z efektów współpracy jest **współautorstwo w rozdziale jednej monografii**.

**Współpraca dr. inż. Marcina Kaszuby z otoczeniem społecznym i gospodarczym zasługuje na uwagę, zwłaszcza po uzyskaniu stopnia doktora**. Przed uzyskaniem stopnia doktora Habilitant **współpracował z firmą GKN Driveline**. Na podstawie badań zrealizowanych we współpracy z tą firmą **napisał pracę magisterską oraz pracę doktorską**. Nawiązał również intensywną **współpracę z Kuźnią Jawor**, z którą podpisał umowę o współpracę w ramach projektu „Przedsiębiorczy doktorant” realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki. **Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuował współpracę z Kuźnią Jawor, podtrzymując ją do dnia dzisiejszego**. W ramach tej współpracy **był zaangażowany w realizację wielu projektów badawczo-rozwojowych w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (jednego przed doktoratem i jednego po jego uzyskaniu), Programu Operacyjnego Innowacyjny Rozwój (dwóch po doktoracie) oraz przez NCBiR (dwóch po doktoracie)**. Ponadto od 2018 roku **dr inż. Marcin Kaszuba jest zatrudniony na stanowisku technolog specjalista w Kuźni Jawor w związku z realizacją projektu: POIR.01.01.01-00-0047/17 pt. „Opracowanie innowacyjnego technologicznego centrum kuźniczego, elastycznego pod względem produkcji, dedykowanego głównie dla motoryzacji i szeroko pojętego rozwoju rynku e-mobility”**. Habilitant nawiązał również bliską współpracę z innymi firmami. **Wspólnie z firmą WT MASZYNYSERWIS Sp. z o.o i Instytutem Obróbki Plastycznej przygotował wniosek projektowy pt. „Prasy do obróbki plastycznej metali z innowacyjnym napędem wykorzystującym zjawisko rezonansu mechanicznego” w ramach**

konkursu Szybka Ścieżka, współfinansowanego przez NCBiR, który został złożony 01.07.2019 r. Głównym celem projektu było opracowanie i wykonanie prototypowych pras z napędem wykorzystującym zjawisko rezonansu mechanicznego. Współpraca z firmą **Mahle Polska rozpoczęła się do badań związanych z trwałością narzędzi kuźniczych z czym firma miała duży problem**. Efektem współpracy jest **wspólnie realizowany projekt POIR.01.01.01-00-0034/19 pt. „Opracowanie technologii kucia dokładnego zaworu silnikowego ze stali wysokoniklowej o zwiększonej trwałości narzędzi kuźniczych oraz zmniejszonym zużyciu środków smarnych”**. Na podstawie podjętych rozmów i zdefiniowania problemów firmy **Belos PLP** związanego z automatyzacją procesu kucia, **wspólnie został opracowany wniosek projektowy pt. „Opracowanie zintegrowanego wielofunkcyjnego stanowiska kuźniczego”** w Działaniu 4.1.4 POIR, ogłoszonego przez NCBiR. Niestety projekt nie uzyskał finansowanie, ale współpraca była kontynuowana. Współpraca z firmą **AGRO – TOM Tomasz Kaniewski** była **związana z realizacją projektu BIOSTRATEG3/343547/8/NCBR/2017 pt. „Mobilny system iniekcyjnego, precyzyjnego nawadniania i nawożenia, zaspokajający indywidualne potrzeby rośliny”**. Projekt dotyczył opracowania i budowy maszyn do iniekcyjnego nawadniania roślin. Współpraca Habilitanta z firmą **SANHA Polska Sp. z o.o.** trwa od **ponad 10 lat i dotyczy głównie badań związanych z analizą przyczyn uszkodzeń narzędzi**. Od 2021 roku **wspólnie realizowany jest projekt TECHMATSTRATEG-III/0017/2019-00 „Nowe powłoki zwiększające trwałość narzędzi w procesach kucia i wyciskania”**. Ten sam projekt Habilitant realizuje od 2021 r. **wspólnie z firmą Albatros Aluminium Sp. z o.o.** W 2015 r. **dr inż. Marcin Kaszuba** nawiązał współpracę z firmą **Seco Warwick**. Współpraca ta do tej pory nie wiązała się z realizacją żadnych projektów badawczych, **dotyczyła natomiast wymiany doświadczeń związanych z wpływem azotowania na trwałość narzędzi kuźniczych**. Efekty wspólnych badań zostały opublikowane między innymi w czasopiśmie **Journal of Manufacturing Processes [H5]**. W 2017 Habilitant nawiązał współpracę z czeską firmą **SHM**, zajmującą się osadzaniem powłok PVD. Firma ta do tej pory stosowała powłoki PVD na narzędziach skrawających, nie posiadała natomiast doświadczenia w zastosowaniu powłok PVD na narzędziach kuźniczych. **Nawiązana współpraca zaowocowała wspólnymi badaniami opublikowanymi w pracy [H9]** oraz w przypadkach, gdy analizowano wpływ zastosowania warstwy hybrydowej z powłoką CrAlSiN o handlowej nazwie ALWIN na trwałość narzędzi w przemysłowym procesie kucia. **W roku 2022 Habilitant nawiązał współpracę z firmą ATEX**. Wymiernym efektem tej współpracy jest **usługa realizowana w ramach Bonu na Innowacje, która dotyczy opracowania technologii wykonania króćca przyłączeniowego układu wydechowego pojazdów lądowych eliminującego technologię spawania i skręcania**. Dr inż. Marcin Kaszuba jest jednym z głównych wykonawców badań w ramach tej usługi. Habilitant był członkiem 14. zespołów wykonujących badania i ekspertyzy w ramach prac zleconych z przemysłu. Wyniki tych badań zostały przedstawione w ponad 60 raportach. W 2017 roku brał **aktywny udział w pracach zespołu ekspertów związanych z opracowaniem Studium wykonalności programu sektorowego „Innowacyjne kuźnictwo siłą napędową polskiego przemysłu” – INNOFORGE**.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że Habilitant jest **współautorem trzech patentów krajowych i dwóch wzorów użytkowych udzielonych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych**, a także **pięciu zgłoszeń patentowych**. W wyniku realizacji projektu pt: „Opracowanie i wdrożenie technologii kucia dokładnego w Kuźni Jawor S.A.”, którego Habilitant był głównym wykonawcą, **zostały wdrożone technologie: kucia odkuwki typu kołnierz oraz kucia odkuwki typu rozwidlonego**. **Najważniejsze osiągnięcia projektowe i konstrukcyjne dr. inż. Marcina**

**Kaszuby** związane są także ze **współpracą z Kuźnią Jawor**. Należy zaliczyć do nich: opracowanie rozwiązania sposobu podawania zawiesiny wodno-grafitowej dedykowane do smarowania narzędzi kuźniczych poprzez zastosowanie dysz pełno stożkowych, 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 zgorzeli, opracowanie zautomatyzowanego gniazda do napawania regeneracyjnego narzędzi osiowosymetrycznych, optymalizację technologii kucia odkuwek typu kołnierz, opracowanie stanowiska do szybkich przebrojeń narzędzi na zrobotyzowanym gnieździe kującym, czy 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 temperatury na powierzchniach roboczych narzędzi lub wewnątrz narzędzia.

**Habilitant był członkiem sekcji Teorii Procesów Przeróbki Plastycznej Komitetu Metalurgii PAN w kadencji 2016-2020. Opracował też 16 recenzji artykułów naukowych zgłaszanych do czasopism z listy JCR oraz 1 recenzję artykułu zgłoszonego do innego czasopisma. Dr inż. Marcin Kaszuba otrzymuje zatem zaproszenia do recenzowania z prestiżowych czasopism i je przyjmuje, co warte jest odnotowania.**

**Habilitant otrzymywał stypendia i nagrody za działalność naukową.** Przed uzyskaniem stopnia doktora otrzymał Stypendium Przedsiębiorczy Doktorant przyznane przez Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego. **Po uzyskaniu stopnia doktora jego rozprawa doktorska została wyróżniona przez Radę Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej, uzyskał Stypendium dla Wybitnych Młodych Naukowców przyznane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, otrzymał Nagrodę Rektora Politechniki Wrocławskiej za wybitne osiągnięcia naukowe w latach: 2016, 2020, 2021 i 2022, był laureatem następujących konkursów Politechniki Wrocławskiej: Primus - jako jedna z osób o największym dorobku publikacyjnym w dyscyplinie inżynieria mechaniczna (2020 r.), „Boost your Research Impact 2020” – jako jedna z 20 osób z dyscypliny inżynieria mechaniczna, które najbardziej powiększyły swój dorobek w stosunku do roku poprzedniego (2020 r.) oraz Secundus – jako jedna z osób o największym dorobku publikacyjnym w dyscyplinie inżynieria mechaniczna (2021 r.). Otrzymał też nagrodę w V Biennialach fotograficznych Uniwersytetu Śląskiego Nauka Idea w Praktyce 2014: Nauka w obiektywie.**

**Stwierdzam zatem, że dr inż. Marcin Kaszuba wykazał się istotną aktywnością w zakresie działalności naukowo-badawczej realizowanej w więcej niż jednej uczelni i spełnia w tym zakresie wymagania stawiane kandydatom do uzyskania stopnia doktora habilitowanego.**

#### **4. Charakterystyka działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzującej naukę**

Od początku swojej pracy na Uczelni **Habilitant prowadzi zajęcia dydaktyczne ze studentami w formie wykładów, ćwiczeń laboratoryjnych, seminariów, prac przejściowych i projektów.** Tematyka prowadzonych zajęć dotyczy **głównie przeróbki plastycznej w ramach następujących przedmiotów: Techniki wytwarzania - przeróbka plastyczna, Technologia materiałów inżynierskich, Podstawy technik wytwarzania i Zaawansowane technik wytwarzania.** W zakresie projektowania CAD/CAM prowadzi takie przedmioty, jak: **CAD/MES w modelowaniu procesów technologicznych i Komputerowa symulacja procesów kształtowania plastycznego, w zakresie metrologii przedmioty: Metrologia warsztatowa i**

**Metrologia wielkości geometrycznych, a w zakresie maszyn i urządzeń stosowanych w technikach wytwarzania: Zastosowanie urządzeń mechatronicznych w systemach wytwarzania.**

Od roku 2013 dr inż. Marcin Kaszuba był promotorem 59 prac magisterskich oraz 52 prac inżynierskich realizowanych w j. polskim oraz w j. angielskim. Od 2018 r. bierze udział w komisji egzaminów dyplomowych jako sekretarz. Uczestniczył w 26 takich komisjach. Był promotorem pomocniczym zrealizowanego doktoratu wdrożeniowego Pana dr. inż. Marcina Rychlika.

W zakresie działalności popularyzującej naukę Habilitant do największych swoich osiągnięć zalicza: członkostwo w Komitecie naukowym IX Wrocławskiego Sympozjum Spawalniczego w 2022 r., członkostwo w sekcji Teorii Procesów Przeróbki Plastycznej Komitetu Metalurgii PAN, uczestnictwo w zespole oceniającym prace Studentów biorących udział w cyklicznie organizowanej „Międzynarodowej Olimpiadzie Kuźniczej” w 2016, 2017, 2018, 2019 roku (należy podkreślić, że studenci, którzy reprezentowali Politechnikę Wrocławską do Olimpiady zostali przygotowani przez Habilitanta i w każdej edycji zajmowali czołowe miejsca) oraz założenie Wydziałowego Koła Naukowego Nowoczesna Automatyka Przemysłowa, którego Habilitant jest opiekunem.

W zakresie osiągnięć organizacyjnych Habilitant wskazał następujące swoje funkcje i działania: od 2008 r. czynny udział w organizacji konferencji międzynarodowej AutoMetForm - Advanced Metal Forming Processes in Automotive Industry odbywającej się co 2 lata, pełnienie funkcji Zastępcy Kierownika Katedry Obróbki Plastycznej, Spawalnictwa i Metrologii od roku 2017.

Podsumowując stwierdzam, że dr inż. Marcin Kaszuba wykazał się również dorobkiem dydaktycznym, organizacyjnym i popularyzującym naukę.

## **5. Wniosek końcowy**

Dokonując całościowej oceny dorobku naukowo-badawczego, dydaktycznego oraz organizacyjnego i popularyzującego naukę dr. inż. Marcina Kaszuby stwierdzam, że w mojej opinii:

- główne osiągnięcie naukowe dr. inż. Marcina Kaszuby w postaci cyklu 18 publikacji zatytułowanego „Metody poprawy trwałości narzędzi kuźniczych” wnosi znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna,
- dotychczasowe osiągnięcia naukowo-badawcze, udokumentowane przedstawionym cyklem publikacji, artykułami naukowymi w renomowanych czasopismach z listy JCR, wskaźnikami bibliograficznymi, udziałem w projektach badawczych, w konferencjach naukowych oraz współpracą naukową prowadzoną z krajowymi i zagranicznymi ośrodkami naukowymi dają podstawę do stwierdzenia, że dr inż. Marcin Kaszuba wykazuje istotną aktywność naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, czy instytucji naukowej.

W związku z powyższym stwierdzam, że dr inż. Marcin Kaszuba spełnia wymagania stawiane kandydatom pretendującym do otrzymania stopnia doktora habilitowanego zawarte w art. 219 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 r., poz. 1668). Habilitant wykazał się również osiągnięciami dydaktycznymi, organizacyjnymi i popularyzującymi naukę. Wnioskuje zatem o dopuszczenie dr. inż. Marcina Kaszuby do dalszego postępowania przed Radą Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki



Wrocławskiej i nadanie mu stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Richard Kulew", is positioned in the upper right quadrant of the page.