

Załącznik nr III do wniosku

dr inż. Munish Kumar Gupta

Politechnika Opolska, Opole, Polska

Wydział Mechaniczny

# AUTOREFERAT



## SPIS TREŚCI

1. Imię i nazwisko	2
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne.	2
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.	2-3
4. Omówienie osiągnięć, 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 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).	3-27
4.1. Przegląd i podsumowanie założeń naukowych poszczególnych referatów i uzyskanych wyników.	5-23
4.2. Kierunki badań na przyszłość	23
4.3. Referencje	23-27
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.	27-30
6. Przegląd innych osiągnięć naukowych	31-35
6.1. Autorstwo i współautorstwo w publikacjach naukowych	32
6.2. Udział w konferencjach	32-33
6.3. Udział i kierownictwo w projektach badawczych	33
6.4. Nagrody i stypendia	33
6.5. Wygłoszone wykłady	33
6.6. Redaktor gościnny i członek Rady Redakcyjnej	33-34
6.7. Recenzent w czasopismach	34
6.8. Informacje o liczbie cytowań i indeksie Hirsha	35

## Autoreferat

**1. Imię i nazwisko**

Munish Kumar Gupta

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne.**

**Data uzyskania nostryfikacji dyplomu doktora w Polsce: 13 Sierpnia 2021**

**Politechnika Opolska, Opole, Polska**

**Rok uzyskania stopnia doktora: 2018**

Inżynieria Mechaniczna, National Institute of Technology, Hamirpur - (H.P.), Indie.

Tytuł pracy doktorskiej: **Machining Behavior of High Strength Temperature Resistant Alloys under Minimum Quantity Lubrication Environment**

Promotor: Dr Pardeep Kumar Sood

**Rok uzyskania tytułu magistra: 2013**

Inżynieria produkcji, Guru Nanak Dev Engineering College, Ludhiana, Indie.

Tytuł pracy magisterskiej: **Experimental Investigations for Use of Abs Replicas in Investment Casting Applications.**

Promotor: Prof. dr Rupinder Singh.

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.**

**2021 r. do chwili obecnej: Profesor Uczelni, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole, Polska**

**2021 r. - do chwili obecnej** Adjunct Faculty, Chandigarh University, Indie (załącznik 3.1),

**Od 1 stycznia 2020 r. do 31 stycznia 2020 r. oraz od 1 lipca 2020 r. do 31 lipca 2020 r.,** Visiting Professor, Department of Mechanical and Mining Engineering, University of Jaén, EPS de Jaén, Campus Las Lagunillas, 23071 Jaén, Hiszpania (załącznik 3.2),

**Od 25 maja 2020 r. do 24 maja 2021 r.,** Senior-Research Technical Staff (Distance work): Department of Automated Mechanical Engineering, South Ural State University, Lenin Prosp. 76, Chelyabinsk, 454080, Rosja. Zaangażowanie w działalność badawczą, taką jak publikacje, patenty, organizacja konferencji (załącznik 3.3),

**Od 1 maja 2019 r. do 30 kwietnia 2021 r.,** Post-Doctoral Research Fellow: School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan, P.R. China (załącznik 3.4),

**Od 8 stycznia 2018 r. do 31 sierpnia 2018 r.:** Assistant Professor, Ludhiana College of engineering and technology, Punjab, India; (załącznik 3.5).

**4. Omówienie osiągnięć, 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 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).**

Jednotematyczny cykl publikacji pt. "Ocena właściwości tribologicznych i skrawalności materiałów metalicznych dla różnych warunków chłodzenia/smarowania", będący osiągnięciem naukowym po uzyskaniu stopnia doktora, obejmuje autorską monografię naukową oraz 10 publikacji naukowych:

**Monografia:**

[A1] **Gupta M.K.** Tribological and Surface Morphological Characteristics of Additively Manufactured Titanium and Nickel Based Alloys. Opole: Opole University of Technology 2022, 162 pages., Studia i Monografie Z. 569 (Załącznik 5.1).

**Publikacje naukowe:**

[A2] **Gupta MK\***, Niesłony P, Sarikaya M, Korkmaz ME, Kuntoğlu M, Królczyk GM, Jamil M. Tool Wear Patterns and Their Promoting Mechanisms in Hybrid Cooling Assisted Machining of Titanium Ti-3Al-2.5 V/grade 9 Alloy. Tribology International. 2022 Jul 8:107773 (Załącznik 5.2).

[A3] **Gupta MK\***, Etri HE, Korkmaz ME, Ross NS, Krolczyk GM, Gawlik J, Yaşar N, Pimenov DY. Tribological and surface morphological characteristics of titanium alloys: a review. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2022 May;22 (2):1-23 (Załącznik 5.3).

[A4] **Gupta MK\***, Korkmaz ME, Sarikaya M, Krolczyk GM, Günay M. In-process detection of cutting forces and cutting temperature signals in cryogenic assisted turning of titanium alloys: An analytical approach and experimental study. Mechanical Systems and Signal Processing. 2022 Apr 15;169:108772 (Załącznik 5.4).

[A5] **Gupta MK\***, Korkmaz ME, Sarikaya M, Krolczyk GM, Günay M, Wojciechowski S. Cutting Forces and Temperature Measurements in Cryogenic Assisted Turning of AA2024-T351 alloy: An Experimentally Validated Simulation Approach. Measurement. 2022, Dec 13:110594 (Załącznik 5.5).

[A6] **Gupta MK\***, Boy M, Korkmaz ME, Yaşar N, Günay M, Krolczyk GM. Measurement and Analysis of Machining Induced Tribological Characteristics in Dual Jet Minimum Quantity Lubrication Assisted Turning of Duplex Stainless Steel. Measurement. 2022 Oct 24:110353 (Załącznik 5.6).

[A7] **Gupta MK**, Mia M, Singh G, Pimenov DY, Sarikaya M, Sharma VS. Hybrid cooling-lubrication strategies to improve surface topography and tool wear in sustainable turning of Al 7075-T6 alloy. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019 Mar 17;101(1-4):55-69 (Załącznik 5.7).

[A8] **Gupta MK**, Song Q, Liu Z, Singh R, Sarikaya M, Khanna N. Tribological behavior of textured tools in sustainable turning of nickel based super alloy. Tribology International. 2020 Nov 21:106775 (Załącznik 5.8).

[A9] Demirsöz R, Korkmaz ME, **Gupta MK\***. A Novel Use of Hybrid Cryo-MQL System in Improving the Tribological Characteristics of Additively Manufactured 316 Stainless Steel against 100 Cr6 Alloy. Tribology International. 2022 May 2:107613 (Załącznik 5.9).

[A10] Korkmaz ME, **Gupta MK\***. A State of the Art on Simulation and Modelling Methods in Machining: Future Prospects and Challenges. Archives of Computational Methods in Engineering. 2022 Jul 28:1-29 (Załącznik 5.10).

[A11] Korkmaz ME, **Gupta MK\***, Demirsöz R. Understanding the Lubrication Regime Phenomenon and Its Influence on Tribological Characteristics of Additively Manufactured 316 Steel under Novel Lubrication Environment. Tribology International. 2022 May 30:107613 (Załącznik 5.11).

Liczba punktów wg. MNiSW, Impact Factor (IF) i kwartył (CQ) - punktacja dla czasopism, w których opublikowano prace od [A1] - [A11] wynosi (Październik, 2022):

Tribology International: 200 pkt MNiSW, IF: 5.62, CQ: Q1 in mechanical engineering,

Mechanical Systems and Signal Processing: 200 pkt MNiSW, IF: 8.934, CQ: Q1 in mechanical engineering.

Measurement: 200 pkt MNiSW, IF: 5.131, CQ: Q1 in instruments & instrumentation.

Archives of Computational Methods in Engineering: 200 pkt MNiSW, IF: 8.171, CQ: Q1 in mechanical engineering.

Archives of Civil and Mechanical Engineering: 140 pkt MNiSW, IF: 4.042, CQ: Q2 in mechanical engineering.

The International Journal of Advanced Manufacturing Technology: 100 pkt MNiSW, IF: 3.563, CQ: Q2 in manufacturing engineering.

.

Wyżej wymieniona tematyka obejmuje różne aspekty kształtowania i oceny jakości elementów maszyn wytwarzanych przez współczesny przemysł maszynowy/wytwórczy, takie jak: wytwarzanie przyrostowe, obróbka skrawaniem, tribologia, morfologia powierzchni itp. Przedstawione publikacje obejmują wszystkie wymienione aspekty, które zostały uwzględnione w niniejszej aplikacji. Podczas tych publikacji byłem autorem prac, inicjatorem eksperymentów oraz byłem odpowiedzialny za inne zadania badawcze i publikacyjne, takie jak: opracowanie koncepcji pracy i metodyki badań, interpretacja wyników, pisanie pracy, korekta przed złożeniem pracy do druku oraz koordynowanie procesu publikacji itp.

Kopie prac składających się na wyżej wymienione osiągnięcie wraz z oświadczeniami współautorów i wyszczególnieniem wkładu poszczególnych autorów znajdują się w załączniku nr 5.

#### **4.1. Przegląd i podsumowanie założeń naukowych poszczególnych referatów i uzyskanych wyników.**

Przedstawiony do recenzji cykl publikacji zatytułowany "Właściwości tribologiczne i morfologia powierzchni stopów na bazie tytanu i niklu wytwarzanych przyrostowo " obejmuje następujące zagadnienia:

- Charakterystyka tribologiczna przyrostowo wytwarzanych stopów tytanu
- Charakterystyka tribologiczna przyrostowo wytwarzanych stopów na bazie niklu
- Charakterystyka tribologiczna i morfologia powierzchni części wytwarzanych przyrostowo, a kształtowanych w procesie obróbki skrawaniem
- Rola metody MQL w poprawie właściwości obróbkowych i tribologicznych wytwarzanego przyrostowo stopu Inconel.

Badania te koncentrują się na ocenie charakterystyk tribologicznych i morfologii powierzchni wytwarzanych metodą SLM elementów na bazie tytanu i niklu. Głównym celem badań jest określenie wpływu parametrów procesu SLM na tribologię i technologiczną warstwę wierzchnią. Następnie przeanalizowano, w świetle przeglądu literatury, obróbkę termiczną, cieplną, termomechaniczną oraz wykonano analizę technologicznej warstwy wierzchniej po obróbce skrawaniem. Bazując na studium przypadku, w monografii poddane zostały analizie wyniki badań mające na celu poprawę procesu obróbki skrawaniem i właściwości tribologiczne przyrostowo wytwarzanych części.

#### **[A1] Tribological and Surface Morphological Characteristics of Additively Manufactured Titanium and Nickel Based Alloys**

Bardzo ważnym zagadnieniem jest analiza właściwości tribologicznych i morfologii powierzchni, które odzwierciedlają termiczne i mechaniczne właściwości wytworzonych części. Niniejsza monografia koncentruje się na tribologicznych i morfologicznych cechach powierzchni komponentów tytanowych wytwarzanych metodą SLM. Głównym celem jest analiza wpływu parametrów procesu SLM na tribologię i technologiczną warstwę wierzchnią. Następnie, w świetle analizy literatury, przedstawiono obróbkę termiczną, cieplną, termomechaniczną oraz obróbkę powierzchniową po procesie kulkowania oraz modyfikacji powierzchni i zastosowanej powłoki. Ponadto, monografia przedstawia stan wiedzy na temat SLM dla części z IN 625 i IN 718 z obszaru analizy mikrostruktury, właściwości mechanicznych i stanu powierzchni po obróbce. W pracy przedstawiono możliwości zastosowania Inconelu i wyzwania stawiane konwencjonalnym i przyrostowym techniką wytwarzania oraz wpływ parametrów procesu na analizę mikrostrukturalną i fazową. Ponadto w pracy przedstawiono właściwości mechaniczne Inconelu wytwarzanego metodą SLM, w tym twardość, morfologię powierzchni i zużycie, wpływ orientacji wytwarzania na jakość powierzchni, biokompatybilność, naprężenia szczątkowe i wynikowe, właściwości mechaniczne, zwłaszcza wytrzymałość na rozciąganie, wytrzymałość zmęczeniową i właściwości tribologiczne. Następnie w

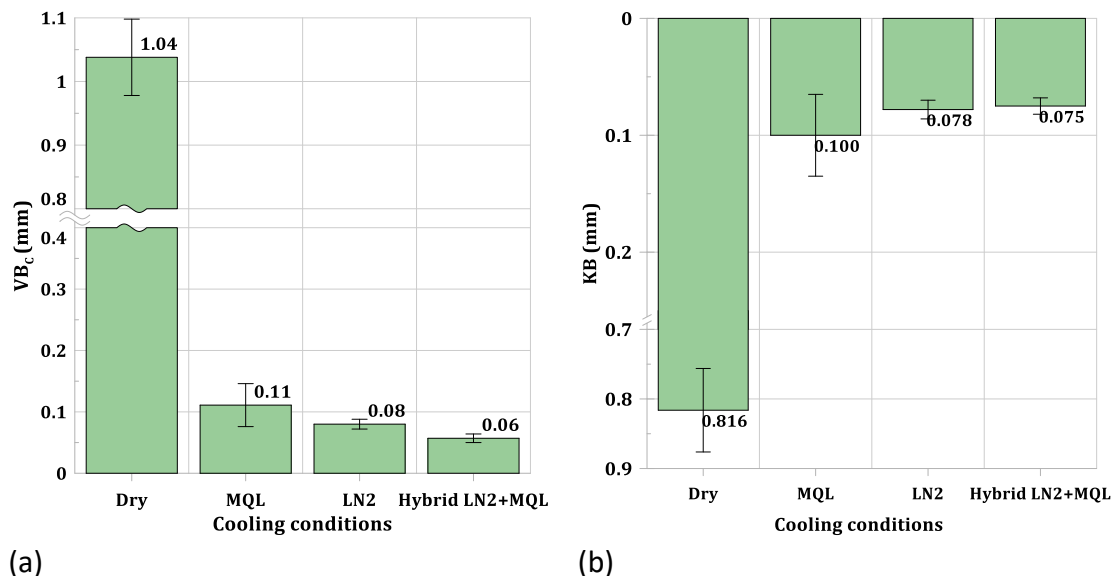
pracy podsumowano techniki post-processingu, takie jak obróbka termiczna, techniki polerowania, czy mechaniczne i laserowe kulkowanie.

## **[A2] Tool Wear Patterns and Their Promoting Mechanisms in Hybrid Cooling Assisted Machining of Titanium Ti-3Al-2.5V/grade 9 Alloy**

W niniejszej pracy eksperymentalnej porównano mechanizm zużycia narzędzia w warunkach obróbki na sucho, obróbki kriogenicznej-LN<sub>2</sub>, metody minimum quantity lubrication (MQL) oraz chłodzenia hybrydowego LN<sub>2</sub>-MQL podczas toczenia stopu tytanu. W konsekwencji w pracy przedstawiono porównanie wielkości zużycia ostrza skrawającego po obróbce w różnych środowiskach chłodzenia. Praca przedstawia efekt uzyskania minimalnego zużycie narzędzia  $VB=0.06\text{mm}$  dla hybrydowego chłodzenia LN<sub>2</sub>-MQL, w odniesieniu do maksymalnego zużycie narzędzia, które wyniosło  $VB=1.04\text{mm}$  dla obróbki na sucho. Podobnie, minimalne zużycie na powierzchni natarcia wyniosło  $KB=0,075\text{mm}$  dla hybrydowego chłodzenia LN<sub>2</sub>-MQL, a maksymalne  $KB=0,816\text{mm}$  dla obróbki na sucho. Zmniejszenie wartości zużycia w porównaniu do obróbki na sucho wyniosło 89,4%, 92,3% i 94,2% dzięki zastosowaniu metod chłodzenia strefy skrawania odpowiednio MQL, LN<sub>2</sub>, MQL z hybrydowej LN<sub>2</sub>-MQL. W zakresie analizy krateru zużycia poprawa wyniosła odpowiednio 87,7%, 90,4% i 90,8% dzięki zastosowaniu metod chłodzenia MQL, LN<sub>2</sub>, MQL i hybrydowego LN<sub>2</sub>-MQL. Analiza powierzchni przyłożenia za pomocą Mikroskopii Elektronowej Skaningowej wykazała, że dominującymi mechanizmami zużycia były adhezja i dyfuzja w zależności od środowiska chłodzenia. Postępujące zużycie obserwowano w warunkach hybrydowego chłodzenia LN<sub>2</sub>-MQL, natomiast przyspieszone zużycie ostrza skrawającego w warunkach obróbki na sucho [1,2]. Analiza EDS wykazała, że adhezja pierwiastków chemicznych takich jak aluminium (Al), azot (N), tytan (Ti) i węgiel wolframu (WC) są dominujące na zużytej powierzchni przyłożenia dla wszystkich warunków chłodzenia, jednak stężenie efektów osadzonych pierwiastków w hybrydowym LN<sub>2</sub>-MQL było znacznie mniejsze niż w warunkach suchych. Porównanie trwałości narzędzia w warunkach kriogenicznego chłodzenia LN<sub>2</sub>, MQL i hybrydowego chłodzenia LN<sub>2</sub>-MQL pod względem długości skrawania wykazało maksymalną trwałość narzędzia (1000mm) w warunkach hybrydowego chłodzenia LN<sub>2</sub>-MQL i minimalną trwałość narzędzia (600mm) w warunkach obróbki na suchych. Na rysunku 1 zilustrowano zmiany wielkości (wielkość zużycia  $VB_c$  i  $KB$ ) narzędzi zarówno na powierzchni przyłożenia jak i natarcia. Rysunek 5(a) przedstawia nadmierne zużycie powierzchni natarcia podczas toczenia na sucho, wskazując na koniec okresu trwałości ostrza według normy ISO. Nadmierne ciepło powstaje z powodu dużego tarcia narzędzia, wióra i przedmiotu obrabianego w środowisku skrawania na sucho, gdzie nie jest możliwe odpowiednie odprowadzenie ciepła, co powoduje wzrost temperatury narzędzia. Materiał narzędzia mięknie wraz ze wzrostem temperatury narzędzia, co generuje silną adhezję w strefie kontaktu i zwiększone zużycie. Wraz z wprowadzeniem środków chłodząco-smarujących do strefy skrawania nastąpiła znacząca redukcja zużycia powierzchni przyłożenia. Również dzięki tym środkom wartość zużycia powierzchni przyłożenia narzędzia skrawającego pozostawała w korzystnych, akceptowalnych granicach trwałości narzędzia, tj.  $VB<0,3\text{ mm}$ . Rozpylony przez sprężone powietrze olej w strefie skrawania, co jest efektem zastosowania metody MQL, wnika w strefę skrawania jako aerozol powodując zarówno smarowanie jak i chłodzenie. W ten sposób tarcie, temperatura i długość



kontaktu mogą być zmniejszone. Z drugiej strony, LN<sub>2</sub> znacznie obniża temperaturę, zmniejszając przyczepność i długość kontaktu wióra z powierzchnią natarcia. Również minimalne zużycie uzyskane w chłodzeniu hybrydowym przypisuje się dłuższemu czasowi przebywania kropeł oleju w środowisku bez odparowania, przy jednoczesnym efekcie chłodzenia kriogenicznego. Podobny trend zaobserwowano również dla zużycia kraterowego, co przedstawiono na rysunku 1(b). Wzrost temperatury we wtórnej strefie skrawania (powierzchnia wióra) może wywoływać szybkie zużycie kraterowe na drodze dyfuzji podczas obróbki stopów tytanu przy średnich/wyższych prędkościach skrawania z użyciem płytki z węglików spiekanych. Zastosowane w badaniach zaawansowane i hybrydowe metody chłodzenia i smarowania stopniowo przyczyniły się do ograniczenia tego typu zużycia. W badaniach hybrydowego chłodzenia/smarowania, chłodzenie kriogeniczne narzędzia skrawającego oraz stabilne smarowanie powierzchni styku są uważane za czynniki znacząco ograniczające zużycie związane z minimalizacją zjawisk adhezji i dyfuzji. W przypadku oceny zużycia narzędzia z tribologicznego punktu widzenia, redukcja zużycia krawędzi przyłożenia w porównaniu do obróbki na sucho wynosi odpowiednio 89,4%, 92,3% i 94,2% dzięki strategiom skrawania MQL, LN<sub>2</sub>, MQL i hybrydowej LN<sub>2</sub>-MQL. W obszarze krateru zużycia poprawa wyniosła odpowiednio 87,7%, 90,4% i 90,8% dzięki strategiom skrawania MQL, LN<sub>2</sub>, MQL i hybrydowej LN<sub>2</sub>-MQL. Wyniki dowodzą, że prawidłowe smarowanie, jak również chłodzenie strefy skrawania sprzyjają trwałości narzędzia podczas obróbki stopów tytanu [3,4]. W przyszłości można przeprowadzić bardziej szczegółowe badania innych warunków chłodzenia również dla innych materiałów.



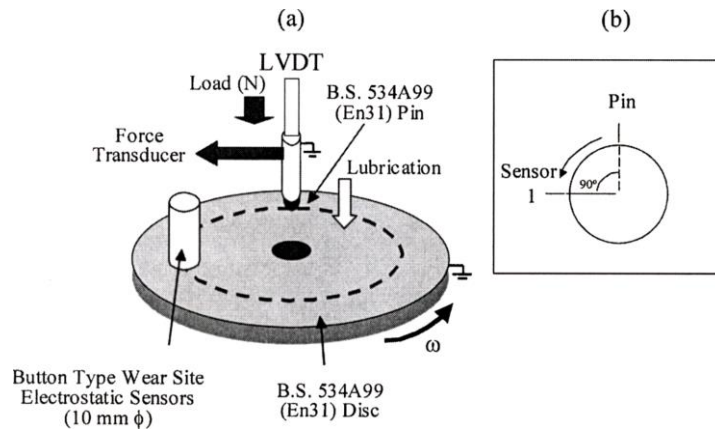
Rysunek 1. Geometryczne aspekty zużycia narzędzi skrawających

### [A3] Tribological and Surface Morphological Characteristics of Titanium Alloys: A Review

W artykule przedstawiono przegląd morfologicznych i tribologicznych charakterystyk stopów tytanu, w tym Ti-6Al-4V w porównaniu do różnych materiałów obrabianych za pomocą narzędzi z węglików spiekanych w warunkach suchego i kontrolowanego poślizgu. W przedstawionym artykule przeglądowym omówione zostały morfologie powierzchni, zużycie i inne właściwości

fizykomechaniczne. Ze względu na znaczenie tytanu i jego stopów, wskazane jest, aby znać ich właściwości tribologiczne oraz jak zminimalizować zarówno zużycie ostrza jak także współczynnik tarcia. Stopy tytanu w procesie obróbki wykazują silne przyleganie do powierzchni narzędzi skrawających, silne zużycie adhezyjne oraz wysokie i niestabilne warunki tarcia, co jest wynikiem ich struktury krystalicznej, trudnych warunków tribologicznych generowanych w strefie kontaktu i niskiego przewodnictwa cieplnego [5]. Oprócz podatności na zużycie ściernie, tytan i jego stopy mają również niską twardość, której nie można znacząco poprawić poprzez obróbkę cieplną, nawet na powierzchni [6]. W wyniku dużej skłonności do przylegania i złe właściwości tarcia, tytan i jego stopy są podatne na uszkodzenia frettingowe w połączeniu ze stalami nierdzewnymi, takimi jak stale austenityczne lub martenzytyczne. Uszkodzenia powierzchniowe powstałe w wyniku zużycia frettingowego są miejscami inicjacji pęknięć w tytanie i innych tego typu stopach ze względu na duże, wywołane adhezją, niszczące mieszane zużycie frettingowe, które występuje w tych materiałach [7]. Ponadto, omawiany artykuł przeglądowy przedstawia szerzej inne mechanizmy zużycia związane z tytanem i jego stopami. Na przykład zużycie można zdefiniować jako interakcję zachodzącą między powierzchniami, która prowadzi do usuwania i deformacji materiału na powierzchniach podczas poślizgu [8]. Parametr ten definiowany jest również jako utrata wymiaru w wyniku odkształcenia plastycznego. Erozja, korozja, procesy chemiczne lub nawet ich kombinacja prowadzą do zużycia [9]. Istnieją różne rodzaje zużycia, do których zalicza się: zużycie ściernie (rysy lub pofałdowania powodujące ubytki materiału w wyniku ślizgania się twardych powierzchni), zużycie adhezyjne (powstałe odłamki szczipione z materiałem bazowym), zmęczenie powierzchni (cykliczne obciążenie osłabia powierzchnię materiału), zużycie erozyjne (oddziaływanie ostrych, twardych cząstek działających na powierzchnię) oraz zużycie frettingowe (obserwowane jako niewielkie przesunięcie styku powierzchni pod wpływem obciążenia) [20]. Różne standardowe metody eksperymentalne są stosowane do kontrolowania zużycia różnych metali. Celem każdego badania jest określenie rodzaju zużycia. Badania powinny być wykonywane w określonym czasie i określonych warunkach. Współczynnik zużycia jest używany do korelacji i pomiaru zużycia materiału. Badania mogą być przeprowadzane przy użyciu różnych urządzeń, takich jak disc-on-disc, ball-on-disc, ring-on-disc, oraz pin-on-disc. Dla zobrazowania problemu, na rysunku 2 przedstawiono tribometr typu pin-on-disc, czyli trzpień ślizgający się po tarczy. Idea funkcjonowania tego tribometru polega na przyłożeniu siły osiowej do sworznia w trakcie obracania się próbki. Wyniki odnośnie siły tarcia są obliczane z danych pozyskiwanych za pomocą czujnika tensometrycznego, natomiast współczynnik zużycia zarówno trzpienia jak i tarczy (próbki) jest obliczany w zależności od wartości utraty materiału podczas eksperymentu. Test pin-on-disc jest miarodajny, ponieważ pomaga oszacować współczynnik tarcia powierzchni, odporność na zużycie, przyczepność i parametry smarności materiału [22]. Uważa się, że tytan i jego stopy mają mniejsze właściwości ściernie. W szczególności, powierzchnie tytanu, gdy są w kontakcie z innymi metalami, łatwo ulegają zużyciu w warunkach poślizgu, frettingu lub kontaktu [10]. Dlatego też, przedstawiona praca jest próbą podsumowania różnych badań prowadzonych w obszarze oceny charakterystyk tribologicznych stopów tytanu, zwłaszcza Ti-6Al-4V podczas warunków tarcia ślizgowego na sucho i w warunkach smarowania w odniesieniu do różnych materiałów przeciwpróbki (pin) w zróżnicowanych warunkach środowiskowych [12]. W przyszłości można przedstawić więcej prac związanych z różnymi materiałami i ich charakterystykami

tribologicznymi. Nowe osiągnięcia technologiczne, takie jak przyjazne dla środowiska środki smarne, itp. mogą zostać wdrożone w celu rozwiązania problemów tribologicznych również i dla innych materiałów.

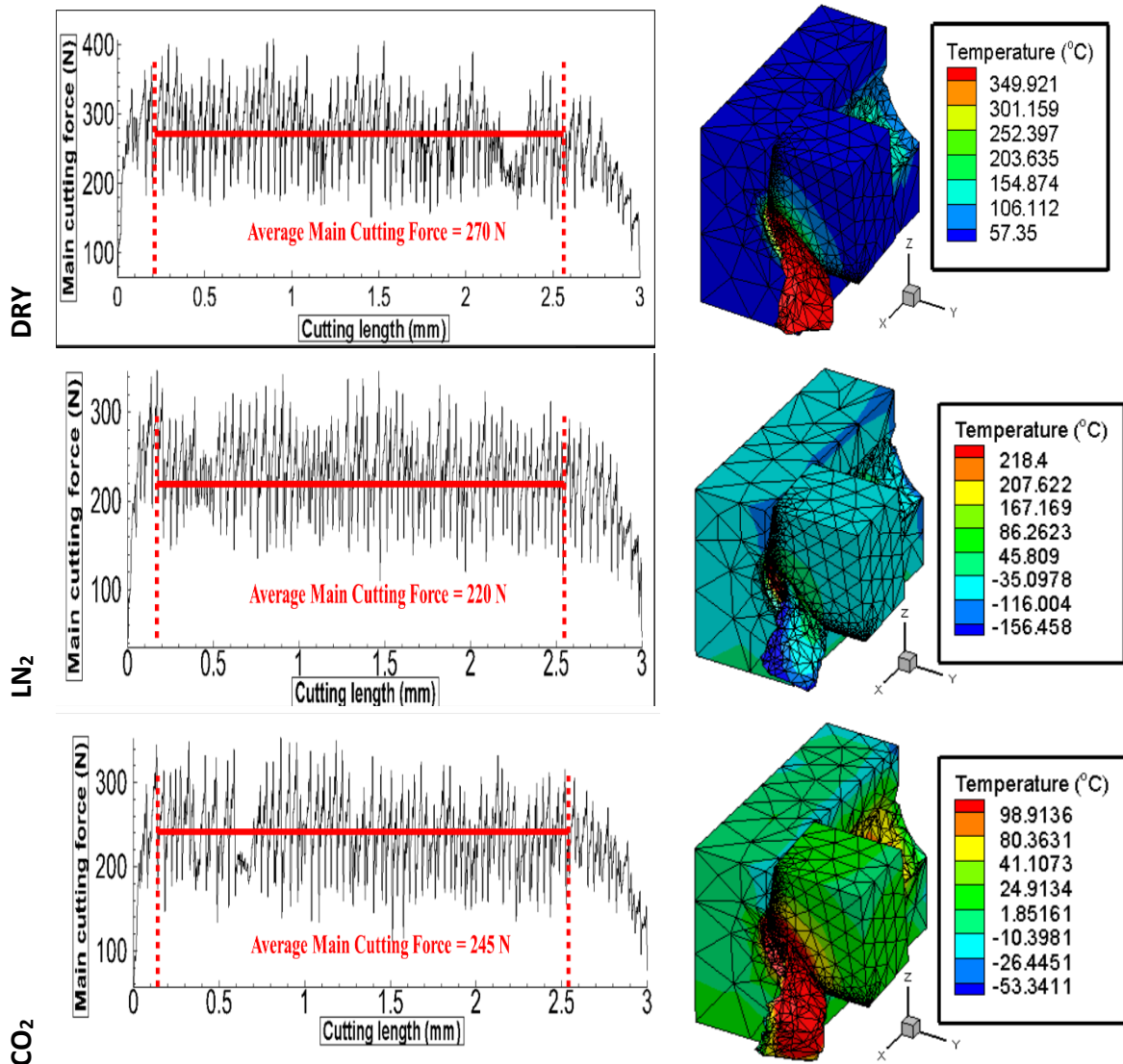


**Rysunek 2.** Urządzenie (tribometr) typu pin-on-disc [11]

#### **[A4] In-process Detection of Cutting Forces and Cutting Temperature Signals in Cryogenic Assisted Turning of Titanium Alloys: An Analytical Approach and Experimental Study**

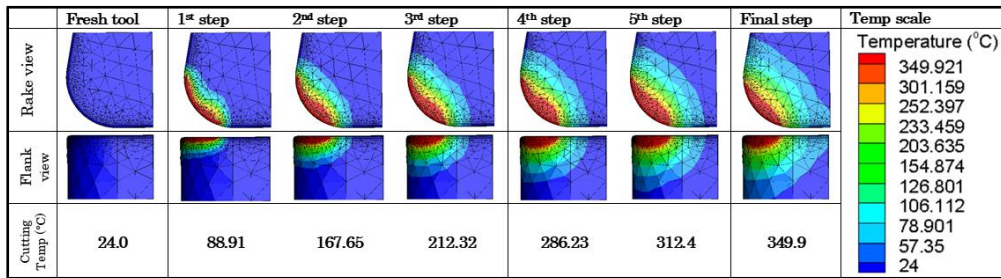
W pracy skupiono się na procesie toczenia na sucho i toczenia Ti6Al4V wspomaganego chłodzeniem LN<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> oraz symulacji tego procesu poprzez modelowanie metodą elementów skończonych (MES). Stwierdzono, że w zależności od zwiększającej się prędkości skrawania, wzrost siły skrawania wyniósł od 16,56% do 23,70% przy posuwie 0,1 mm/obr, od 18,24% do 28,17% przy posuwie 0,15 mm/obr oraz od 14,23% do 26,36% przy posuwie 0,20 mm/obr. Z drugiej strony, również zgodnie z oczekiwaniami, wzrost posuwu wywoływał wzrost siły skrawania. W zależności od wzrostu wartości posuwu wzrost siły skrawania wyniósł od 6,72% do 23,11% jak we wcześniejszych badaniach Hou i inni [13] oraz Shi i inni [14]. Ponadto można określić, że warunkami skrawania generującymi najmniejszą wartość siły skrawania dla każdego testowanego parametru technologicznego jest chłodzenie LN<sub>2</sub>, a następnie CO<sub>2</sub> i na końcu obróbka bez chłodzenia. W porównaniu do obróbki na sucho, przy obróbce wspomaganą LN<sub>2</sub> można uzyskać od 21,01% do 34,95% mniejszą siłę skrawania. Dodatkowo, dzięki obróbce wspomaganą CO<sub>2</sub>, zmniejszenie siły skrawania w odniesieniu do obróbki na sucho może sięgnąć nawet 14,41%, co zostało podobnie stwierdzone przez Pusavec i inni [15] oraz Hong i inni [16]. Przy obróbce z zastosowaniem LN<sub>2</sub>, temperatura skrawania jest drastycznie obniżona w porównaniu z obróbką na sucho i CO<sub>2</sub>. LN<sub>2</sub> powodował obniżenie temperatury od 58,43% do 73,53% w stosunku do obróbki na sucho oraz od 40,32% do 57,14% w stosunku do CO<sub>2</sub>. Kolejną obserwacją jest spowolnienie tempa obniżania temperatury LN<sub>2</sub> wraz ze wzrostem prędkości skrawania i posuwu. Jest to dowód na to, że efektywność chłodzenia LN<sub>2</sub> maleje przy dużych prędkościach skrawania i posuwach, na co wskazują również He i inni [17]. Chociaż fluktuacje pomiędzy wynikami eksperymentalnymi, a wynikami modelu MES mieszczą się w dopuszczalnych granicach, to nie można mówić o całkowitej zgodności [18]. Ponieważ współczynniki przenikania ciepła i temperatury chłodzenia za pomocą LN<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> zostały przyjęte jako stałe, problem ten można

przypisać odchyleniom między modelem MES, a wynikami eksperymentalnymi w warunkach obróbki kriogenicznej [19]. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe wyniki badań symulacyjnych metodą elementów skończonych dla posuwu 0,1 mm/obr i prędkości skrawania 50 m/min.

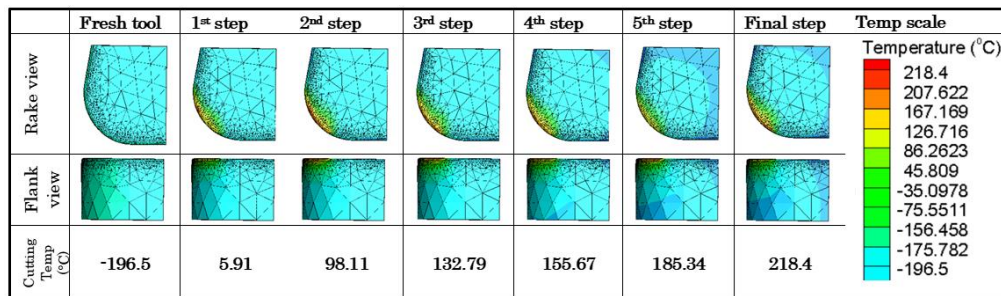


**Rysunek 3.** Przykładowe symulacje MES dla posuwu 0,1 mm/obr i prędkości skrawania 50 m/min dla różnych testowanych warunków chłodzenia.

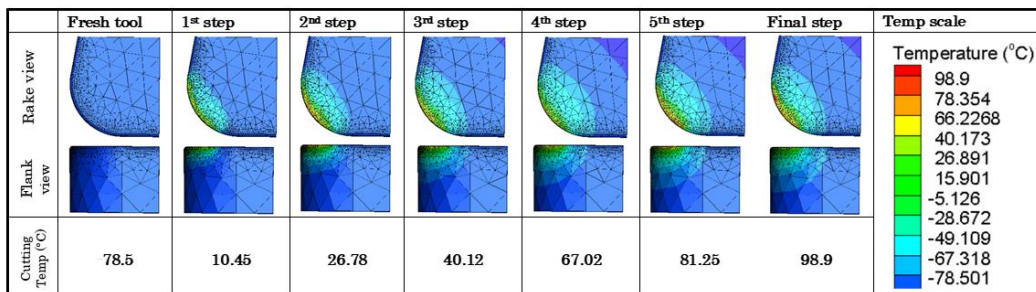
Na rysunku 4, 5 i 6 przedstawiono etapy symulacji metodą elementów skończonych rozkładu temperatury na ostrzu narzędzia w celu oceny maksymalnej temperatury skrawania dla obróbki na sucho oraz przy chłodzeniu z LN<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>. Jak można zaobserwować na rysunkach 4-6, na powierzchni styku narzędzia skrawającego występuje maksymalna temperatura. Z tego powodu ciepło generowane pomiędzy narzędziem, a wiórem wpływa na trwałość narzędzia i jakość powierzchni obrabianego przedmiotu. Tarcie występujące w strefie poślizgu wpływa również na właściwości mechaniczne obrabianego materiału i powoduje zużycie narzędzia oraz większe siły skrawania z powodu ciepła generowanego w strefie kontaktu wióra z narzędziem i obrabianym materiałem.



**Rysunek 4.** Etapy zmiany temperatury skrawania płytki z WC z płaską powierzchnią natarcia przy posuwie 0,1 mm/obr i prędkości skrawania 50 m/min w warunkach suchych.



**Rysunek 5.** Etapy zmiany temperatury skrawania płytki z WC z płaską powierzchnią natarcia przy posuwie 0,1 mm/obr i prędkości skrawania 50 m/min w warunkach LN<sub>2</sub>.

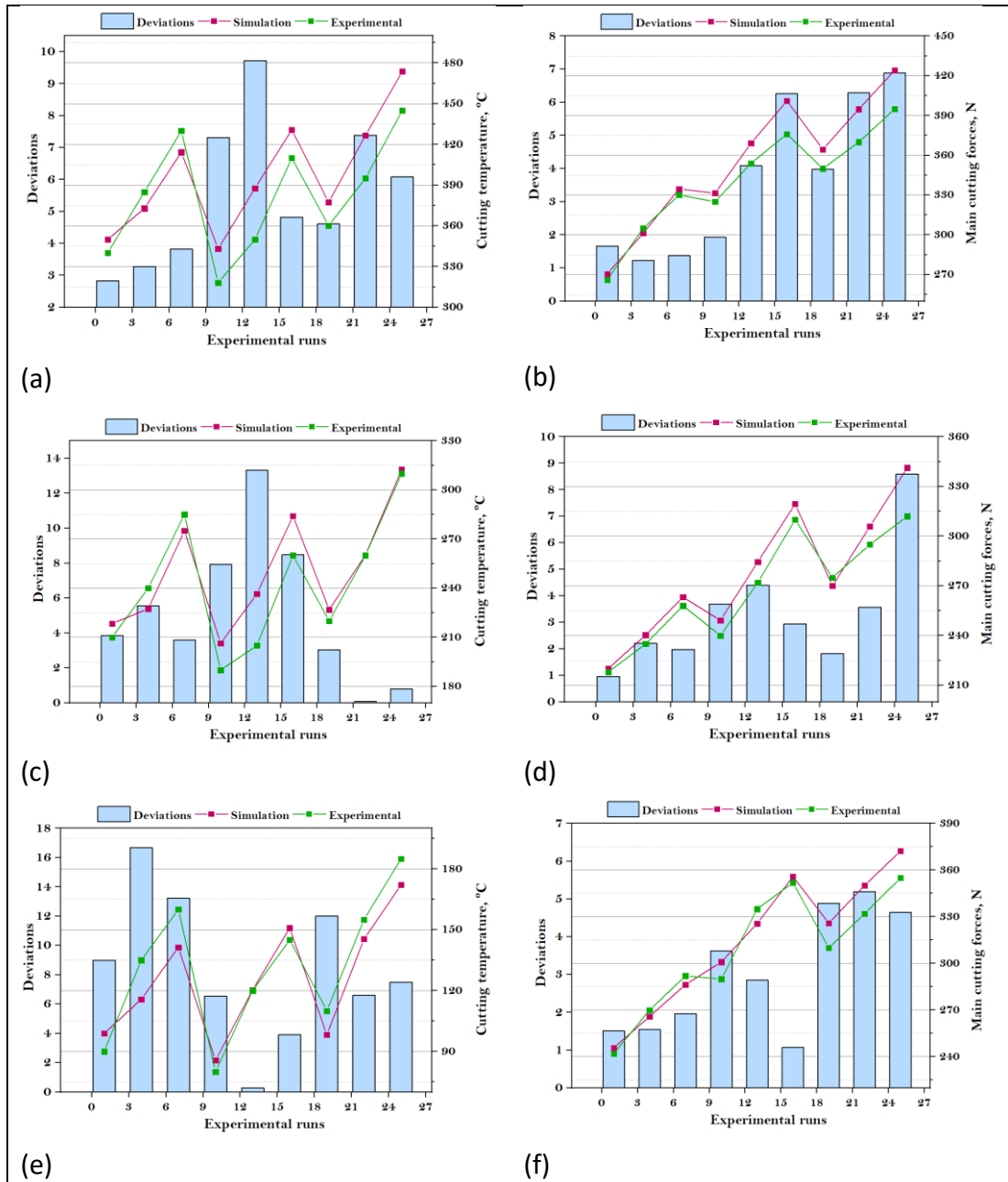


**Rysunek 6.** Etapy zmiany temperatury skrawania płytki z WC z płaską powierzchnią natarcia przy posuwie 0,1 mm/obr i prędkości skrawania 50 m/min w warunkach CO<sub>2</sub>.

Zależność pomiędzy siłą skrawania i jej składowymi, a temperaturą skrawania dodatkowo wyjaśniono graficznie na rysunku 7. Na podstawie rysunku 7a-c-e wykazano, że odchylenia pomiędzy wynikami MES i wynikami eksperymentalnymi dla temperatury skrawania wynoszą średnio 5,54%, 5,18% i 8,42% odpowiednio dla warunków chłodzenia na sucho, LN<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>. Natomiast odchylenia od wyników badań MES i siły skrawania na rysunku 7b-d-f wynoszą średnio 3,35%, 5,18% i 3,03% odpowiednio w warunkach chłodzenia suchego, LN<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>. W literaturze tematu, w większości badań dotyczących symulacji obróbki skrawaniem metodą elementów skończonych, wskazuje się, że odchylenie mniejsze niż około 10% jest uważane za dopuszczalny zakres pomiędzy wynikami modelu MES, a uzyskaną walidacją eksperymentalną. W związku z tym warto zaznaczyć, że opracowane modele są



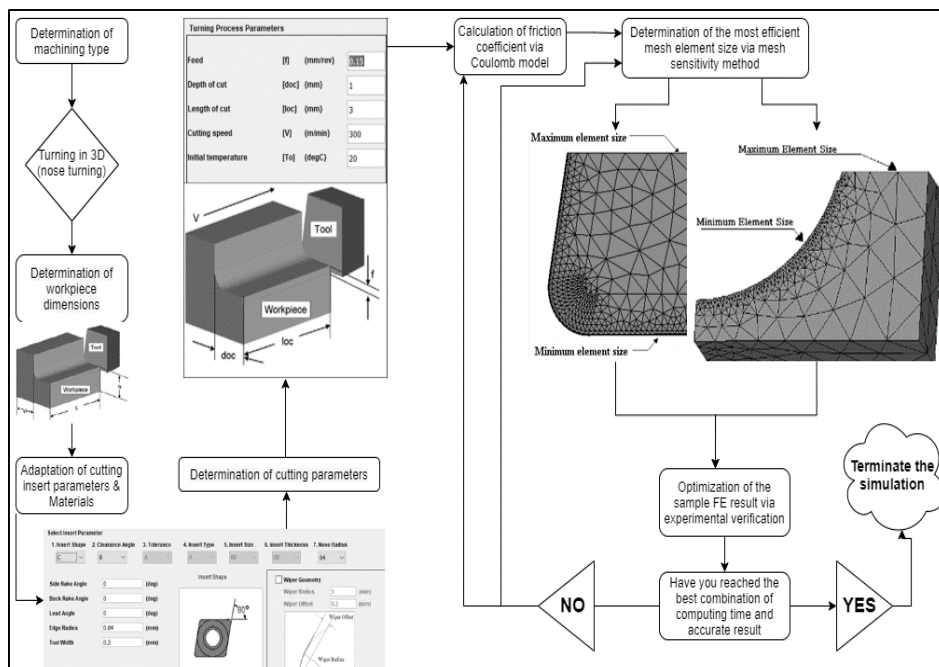
dokładne, a badania te będą pomocne dla ośrodków badawczo-rozwojowych branży obróbki skrawaniem i przemysłu biomedycznego, szczególnie pracujących nad udoskonaleniem technologii chłodzenia w obróbce materiałów biomedycznych.



**Rysunek 7.** Porównanie wyników temperatury skrawania i sił skrawania uzyskanych z symulacji MES do wartości eksperymentalnych; a-b) na sucho, c-d) LN<sub>2</sub>, e-f) CO<sub>2</sub>.

## [A5] Cutting Forces and Temperature Measurements in Cryogenic Assisted Turning of AA2024-T351 alloy: An Experimentally Validated Simulation Approach

Artykuł przedstawia efekty badań dotyczące procesu toczenia AA2024-T351 z wykorzystaniem chłodzenia  $\text{LN}_2/\text{CO}_2$  i wykorzystuje MES do modelowania tego procesu. Celem pracy jest analiza zakresu, w jakim szeroko przyjęta technologia chłodzenia  $\text{LN}_2/\text{CO}_2$  spełnia swoją zamierzoną funkcję w celu spełnienia wymagań zrównoważonego wytwarzania. Ponadto, w odniesieniu do danych MES przedstawionych w pracy, dążono do ustalenia walidacji badań symulacyjnych MES z eksperymentalnym proces toczenia oraz walidację oceny wyników możliwych do uzyskania z procesu obróbki. Można określić, że warunkami skrawania pozwalającymi na uzyskanie najmniejszej siły skrawania, dla analizowanych technologicznych parametrów skrawania, są chłodzenie  $\text{LN}_2$ , a następnie  $\text{CO}_2$  i obróbka bez chłodzenia [16]. Na rysunku 8 przedstawiono standardowy schemat blokowy etapów badań symulacyjnych MES.



Rysunek 8. Schemat etapów badań symulacyjnych MES.

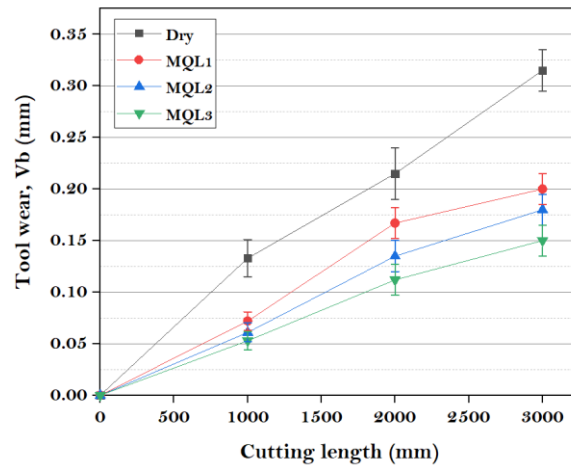
W porównaniu z obróbką na sucho, od 21,01% do 34,95% mniejsza siła skrawania może być osiągnięta przy obróbce wspomaganej  $\text{LN}_2$ . Dodatkowo, dzięki obróbce wspomaganej  $\text{CO}_2$ , poprawa ta może osiągnąć nawet 14,41%. Kiedy  $\text{LN}_2$  jest doprowadzany do obszaru styku wiór-ostrze, absorbuje ciepło i szybko odparowuje z obszaru, powodując spadek temperatury skrawania.  $\text{CO}_2$  pozwala na uzyskanie niższej temperatury skrawania niż w odniesieniu do  $\text{LN}_2$  i obróbki na sucho o odpowiednio 11% i 17%. Jest to dowód na to, że efektywność chłodzenia  $\text{CO}_2$  maleje przy podwyższonych prędkościach skrawania i posuwach jak w pracy [20]. Najmniejszą siłę skrawania stwierdzono przy posuwie 0,1 mm/obr, prędkości skrawania 100 m/min i chłodzeniu  $\text{LN}_2$ . W porównaniu ze skrawaniem na sucho uzyskano średnio o 8,8% mniejszą siłę skrawania w obróbce wspomaganej  $\text{LN}_2$  i o 4,4% mniejszą w obróbce wspomaganej  $\text{CO}_2$ . Największy wzrost temperatury

skrawania wraz ze wzrostem prędkości skrawania wynosił 22°C w skrawaniu na sucho, natomiast przy wspomagananiu LN<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> wynosił około 5°C. W przypadku porównania temperatur skrawania z badań eksperymentalnych i symulacji MES stwierdzono, że najmniejszą wartość temperatury uzyskano przy chłodzeniu CO<sub>2</sub> przy najmniejszym posuwie i prędkości skrawania. W świetle tej analizy zaobserwowano średnio 5,7% i 6,16% odchylenia pomiędzy symulacjami, a eksperymentem, a wyniki wskazują na przydatność modelu materiałowego JC, zastosowanego współczynnika tarcia i symulacji MES. W literaturze, w większości opracowań dotyczących obróbki skrawaniem metodą elementów skończonych wskazuje się, że odchylenie mniejsze niż około 10% uważa się za dopuszczalny zakres pomiędzy wynikami MES, a walidacją eksperymentalną [18,21].

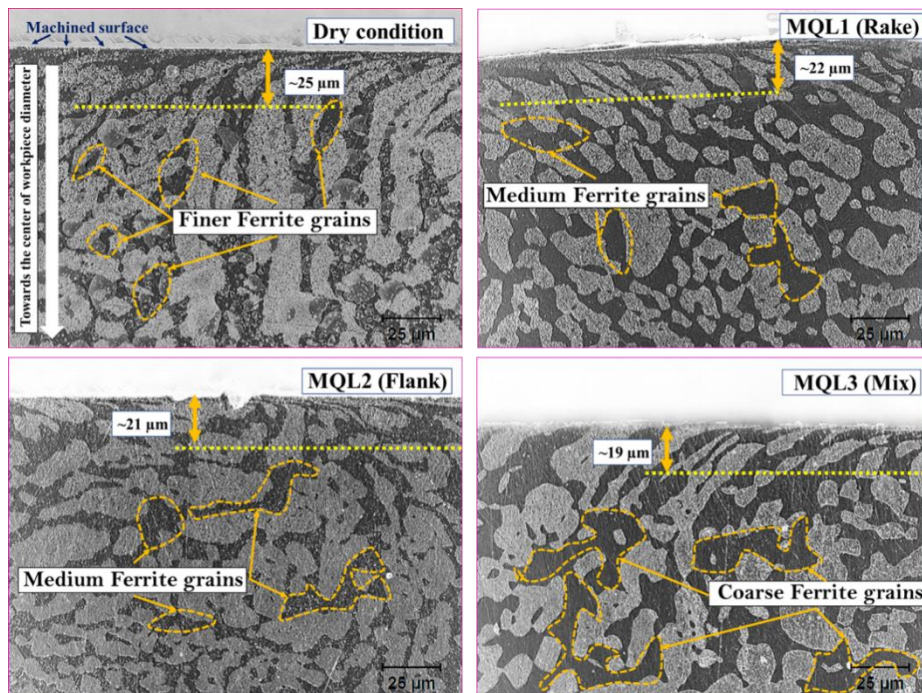
#### **[A6] Measurement and Analysis of Machining Induced Tribological Characteristics in Dual Jet Minimum Quantity Lubrication Assisted Turning of Duplex Stainless Steel**

W niniejszej pracy zbadano zużycie narzędzia, chropowatość powierzchni, zużycie energii, mikrostrukturę, mikrotwardość obrabianych powierzchni i morfologię wiórów dla obróbki MQL ferrytyczno-austenitycznej stali nierdzewnej duplex 2205. Jako warunki chłodzenia przyjęto, że zmienny będzie sposób podawania strumienia MQL odpowiednio: MQL1 – na powierzchnię natarcia, MQL2 – na powierzchnię przyłożenia, MQL3 – na obie powierzchnie. W rezultacie, uzyskano duże zmniejszenie wartości parametrów chropowatości obrabianej powierzchni podczas obróbki w warunkach MQL 3, a następnie MQL 2 (powierzchnia przyłożenia), MQL 1 (powierzchnia natarcia) w odniesieniu do obróbki bez chłodzenia (na sucho). Podobnie, mniej przetopień na powierzchni zaobserwowano w warunkach MQL 3. Jest to spowodowane faktem, że MQL 3 zapewnia lepszy efekt smarowania w strefie skrawania [22], a w rezultacie, mniej drgań generował tego typu proces obróbki skrawaniem. Drgania te w dużym stopniu wpływały na wartości chropowatości powierzchni. Wyniki zużycia narzędzia również wykazują ten sam trend, co wartości chropowatości powierzchni i zużycia energii. Oznacza to, że zużycie narzędzia, tj. parametry zużycia powierzchni przyłożenia VB są mniejsze w przypadku chłodzenia z MQL 3 w porównaniu do chłodzenia z MQL 2, MQL 1 i obróbki na sucho, jak pokazano na rysunku 9. Obserwacje SEM wskazują również, że w warunkach chłodzenia z MQL 3 obserwuje się mniej zabudowane formacje krawędziowe z mniejszą ilością śladów ścierania i przylegania. Ta zmiana zjawisk spowodowana jest generowaniem wysokiej temperatury skrawania, pękaniem krawędzi skrawającej itp. w warunkach obróbki na suchych [23]. Obserwowane w tej pracy mikrostruktury i wartości mikrotwardości przedstawiono na rysunku 10 i 11. Metoda MQL jest odpowiedzialna za przyrost ziaren ferrytu, ponieważ przedmiot obrabiany oprócz szybkiego chłodzenia jest narażony na działanie wysokiej temperatury. Sytuacja ta powoduje, że obrabiane przedmioty są bardziej miękkie niż po obróbce na sucho, a dodatkowo w warunkach chłodzenia z MQL 3 zaobserwowano mniejsze wartości mikrotwardości.

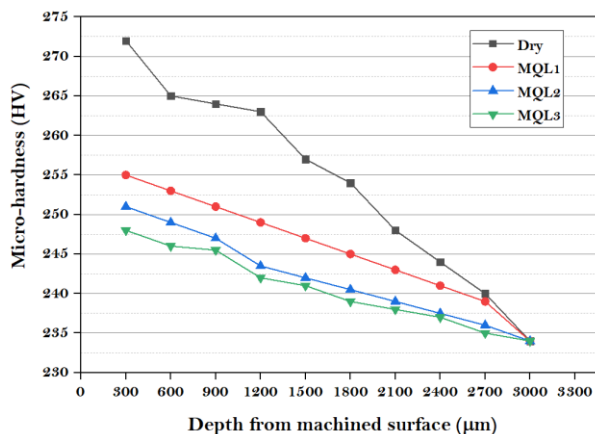




**Rysunek 9.** Wartość zużycia dla różnych warunków chłodzenia podczas obróbki stali nierdzewnej duplex 2205



**Rysunek 10.** Mikrostruktura obrabianych powierzchni dla różnych warunków chłodzenia podczas obróbki stali nierdzewnej duplex 2205 po drodze skrawania 3000 mm.



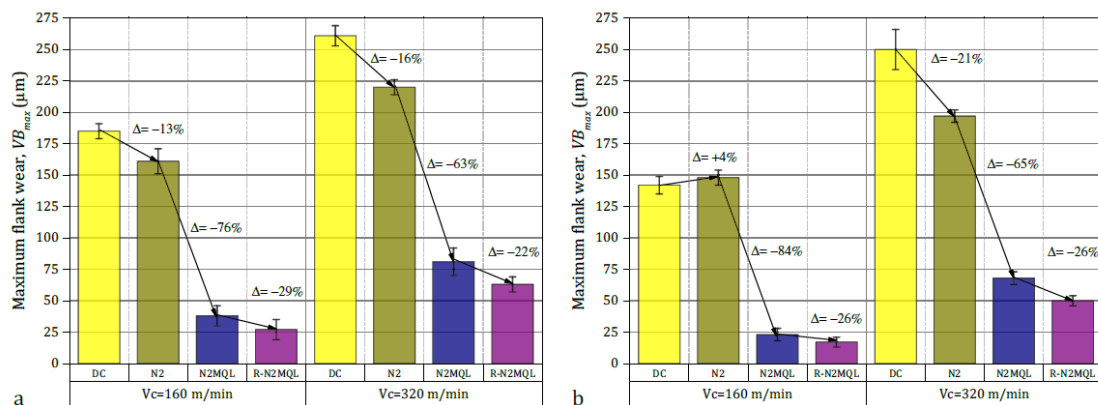
**Rysunek 11.** Wyniki wartości mikrotwardości obrabianych powierzchni po drodze skrawania 3000 mm.

Analiza wiórów dostarcza również istotnych informacji o wydajności i jakości obróbki. Dwa rodzaje wiórów tj. krótkie i długie wióry zostały zaobserwowane w warunkach chłodzenia z MQL i podczas obróbki na sucho. Ogólnie rzecz biorąc, krótkie wióry są korzystne dla obróbki i są one najczęściej wytwarzane z chłodzeniem typu MQL 3. Dzieje się tak dlatego, że zastosowanie powietrza z odpowiednim olejem pomaga rozbić wióry na małe kawałki, a w rezultacie zaobserwowano solidną charakterystykę obróbki w warunkach chłodzenia z MQL 3 [24]. Przedstawione w pracy obecne wyniki mają pewne ograniczenia, ale można je rozważyć w przyszłości, aby uzyskać lepsze wyniki eksperymentów. Wpływ różnych pozycji dyszy doprowadzającej strumień MQL w strefę obróbki z dodatkiem nanopłynów (ang. nanofluids) nadal nie jest dostatecznie zbadany i przedstawiony w literaturze tematu. Podobnie, wpływ różnych parametrów geometrycznych narzędzi skrawających może być rozważany w przyszłych badaniach.

#### **[A7] Hybrid cooling-lubrication strategies to improve surface topography and tool wear in sustainable turning of Al 7075-T6 alloy**

We omawianej pracy badawczej, aby trwale poprawić wydajność obróbki stopu aluminium Al7075-T6, zastosowano różne nowatorskie metody chłodzenia i smarowania oraz przeprowadzono analizę chropowatości powierzchni i zużycia narzędzia. Zastosowane metody chłodzenia/smarowania tj. chłodzenie azotem, smarowanie minimalną ilością azotu oraz chłodzenie rurką wirową Ranque-Hilscha okazały się wystarczające jak również niezbędne do zrównoważonej obróbki Al7075-T6. W porównaniu z obróbką na sucho, każda metoda chłodząco-smarująca poprawiała jakość powierzchni, minimalizowała zużycie narzędzia i zmieniała morfologię wióra w różnym stopniu. Przede wszystkim, wspomaganie MQL na bazie cieczy w stosunku do gazowego chłodzenia i smarowania spowodowało znaczną poprawę wydajności obróbki. W zależności od odpowiedniego doboru technologicznych parametrów skrawania, procentowa redukcja chropowatości powierzchni przez zastosowane metody chłodząco-smarującej może wynosić od 28% do 77% jak w [25,26]. Ta znacząca poprawa powoduje oszczędność zasobów w ujęciu ekonomicznym, tj. materiału, narzędzia, zastosowanej mocy obrabiarki czy czasu obróbki. Wyniki eksperymentalne wykazały, że zużycie narzędzia może być zredukowane od 101% do 118% poprzez zastosowanie odpowiedniej metody chłodząco-smarującej i

odpowiednich parametrów skrawania, jak pokazano na rysunku 12. W porównaniu z silnym ścieraniem występującym przy skrawaniu na sucho, nitrogen minimum quantity lubrication (N<sub>2</sub>MQL), i Ranque–Hilsch vortex tube NMQL (R-N<sub>2</sub>MQL) spowodowały zmniejszenie zjawisk zużycia ściernego i powstawania narostu na powierzchniach natarcia narzędzia [27]. Dzięki tej poprawie możliwe jest obniżenie kosztów narzędzia nawet o połowę. Wygenerowany profil powierzchni wykazał, że w odniesieniu do gazowej metody chłodząco-smarującej powierzchnia obrabiana uzyskała dla metody MQL dużo mniejsze wartości wybranych parametrów chropowatości i obserwuje się mniejsze przyleganie materiału. Na poziomie mikro, ze względu na użycie substancji chłodząco-smarującej, nie stwierdzono istotnych zmian w strukturze wióra. Obróbka wspomagana przez chłodzenie rurką wirową Ranque-Hilscha zapewniła większą możliwość recyklingu, regeneracji i mniejszy problem z utylizacją wiórów - prowadząc do zrównoważonej i czystszej obróbki [28]. Połączone równoważenie termiczne przez wymuszoną konwekcję, przewodzenie i parowanie w R-N<sub>2</sub>MQL może być powiązane z jego doskonałą wydajnością. Ponadto, chłodzenie rurką wirową Ranque-Hilscha jest mniej kosztowne w porównaniu z innymi technologiami chłodzenia i smarowania strefy skrawania i działa z małym zużyciem energii. Dlatego metoda ta ma duży potencjał, aby zastąpić konwencjonalne metody chłodząco-smarujące do osiągnięcia zrównoważonej obróbki. W rzeczywistości, może być stosowany do obróbki innych materiałów, aby sprawdzić jego opłacalność.

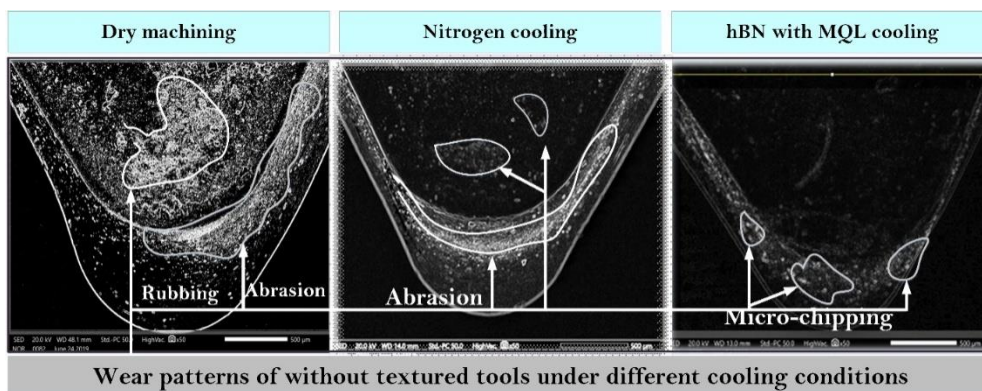


**Rysunek 12.** Wpływ prędkości skrawania i warunków chłodzenia/smarowania na zużycie powierzchni przyłożenia (VB<sub>max</sub>): a) dla posuwu  $f = 0,05$  mm/obr i b) dla posuwu  $f = 0,15$  mm/obr.

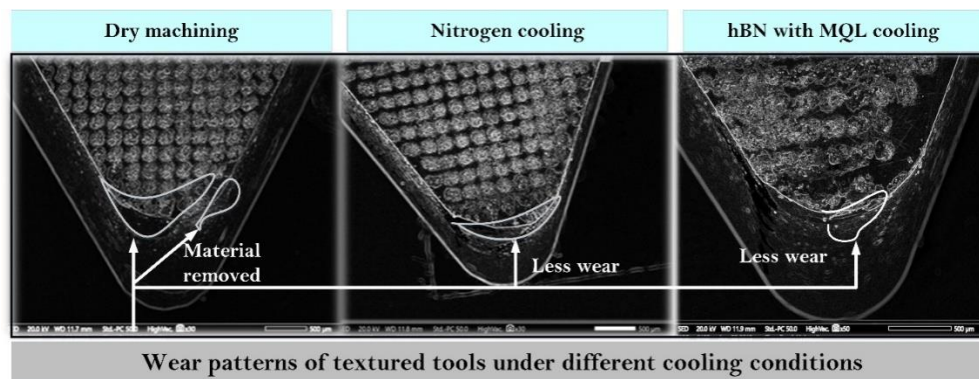
#### [A8] Tribological behavior of textured tools in sustainable turning of nickel based super alloy

W tej publikacji przedstawiono badania wykonane narzędziem teksturowanym, które zastosowano do obróbki w różnych warunkach chłodzenia. Obróbka teksturowanym narzędziem zmniejszyła zużycie dla wszystkich przypadków warunków chłodzenia. Pod względem maksymalnych wartości zużycia powierzchni przyłożenia, nanopłynny oparte na hBN (z ang. hexagonal boron nitride – hexagonalny azotek boru) wraz z teksturowanym narzędziem zapewniają najlepsze wyniki spośród wszystkich badanych przypadków warunków chłodzenia, co potwierdzają obserwacje dokonane przez Arulkirubakaran i innych [29]. Rysunek 13 przedstawia zdjęcia SEM obszarów zużycia narzędzia dla różnych warunków toczenia przy prędkości skrawania 75 m/min, prędkości posuwu 0,10 mm/obr i głębokości skrawania 0,5 mm dla narzędzi bez tekstury i narzędziami z teksturą. Zaobserwowano

ścieranie, wyraźne efekty starcia i mikrowyszczerbienia dla narzędzi nieteksturowanych po obróbce na sucho, jak również z chłodzeniem azotowym i hBN z chłodzeniem MQL. Na rysunku 13a można zaobserwować, że istniała wyraźna różnica w wpływie mediów chłodzących na uszkodzenia narzędzi. W przypadku skrawania na sucho nadmierne uszkodzenia narzędzia spowodowane zużyciem wystąpiły zarówno na powierzchni natarcia narzędzia jak i na powierzchni przyłożenia. Choć uszkodzenia te są częściowo zredukowane przy obróbce wspomaganej azotem w porównaniu z obróbką na sucho, to nadal można je zauważyć w obu obszarach. Jeśli chodzi o MQL na bazie nanopłynów hBN, to na rysunku 13 można zauważyć, że dzięki takiemu rozwiązaniu uszkodzenia wywołane zużyciem zostały znacznie zredukowane.



(a)



(b)

**Rysunek 13.** Analiza zużycia narzędzia dla różnych warunków chłodzenia, dla prędkości skrawania 75 m/min, posuwie 0,10 mm/obr i głębokości skrawania 0,5 mm: (a) narzędzia bez tekstury (b) narzędzia teksturowane.

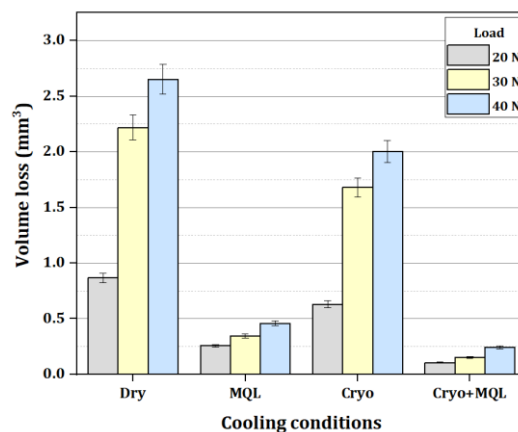
Na wartości chropowatości powierzchni miały również wpływ warunki chłodzenia i teksturowanie narzędzia. Stwierdzono, że obróbka na sucho daje największe wartości chropowatości powierzchni ze względu na zmiękczenie termiczne powierzchni przedmiotu w obszarze styku z narzędziem skrawającym. Chłodzenie azotem oraz chłodzenie hBN redukuje to zjawisko i pozwala uzyskać gładką powierzchnię [30]. Ponadto, zastosowanie narzędzia teksturowanego, dodatkowo



poprawiało chropowatość powierzchni, ponieważ zagłębienia zapewniały ciągłe dostarczanie oleju chłodzącego i nanocząstek, zmniejszając w ten sposób tarcie, zużycie i temperaturę skrawania, a co za tym idzie, obserwowano odpowiednią jakość powierzchni po obróbce [31]. Analiza temperatury skrawania również zakończyła się takimi samymi wynikami. Teksturowane narzędzie wraz nanopłynami z chłodzeniem MQL zapewnia niską temperaturę w strefie skrawania. Można to tłumaczyć wg koncepcji, że wgłębienia na powierzchni natarcia narzędzia skrawającego pomagają zwiększyć zdolność do rozpraszania ciepła, a tym samym tłumaczy to zaobserwowaną niską temperaturę skrawania [32]. Wartości mikrotwardości zmieniały się drastycznie wraz ze zmianą warunków chłodzenia. Nanopłyny podczas obróbki narzędziami teksturowanymi wpływały na uzyskanie największych wartości mikrotwardości, a następnie pozostałe warunki chłodzenia [33]. Dla przykładu, obróbka na sucho bez narzędzi teksturowanych wykazuje najmniejsze wartości. Główną przyczyną tego zjawisko może być temperatura skrawania generowana w obszarze obróbki stopu Inconel-718. Morfologia wióra dowodzi, że krótsze, zakrzywione i o małym promieniu wióry są tworzone przez narzędzia teksturowane [34]. Ponadto w porównaniu z toczeniem na sucho widać, że wióry powstałe w warunkach chłodzenia azotem i hBN-MQL są nieciągłe i zakrzywione. Mały promień wygięcia wiórów tworzonych w warunkach chłodzenia azotem i hBN-MQL przy użyciu narzędzi teksturowanych zapewnia lepsze smarowanie i penetrację płynu w strefie kontaktu wióra z ostrzem.

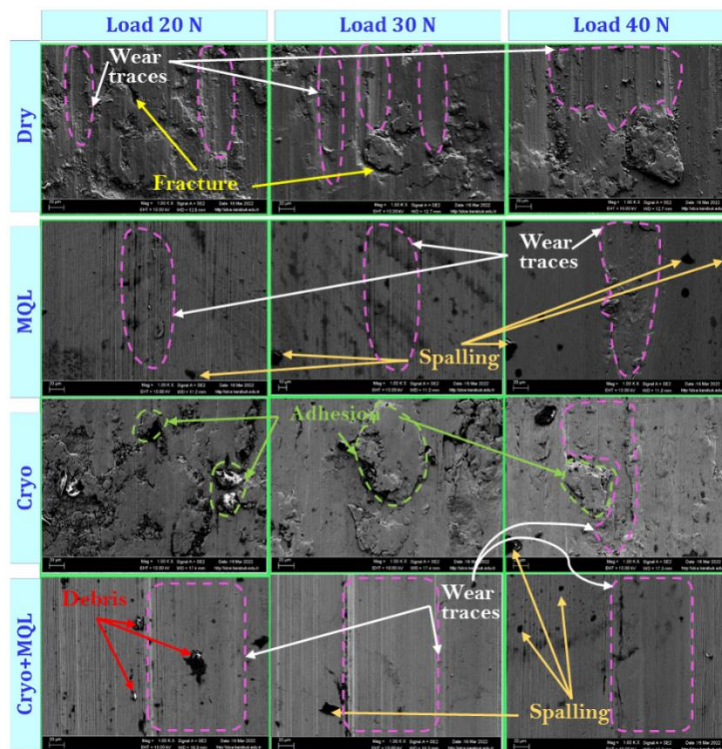
#### [A9] A Novel Use of Hybrid Cryo-MQL System in Improving the Tribological Characteristics of Additively Manufactured 316 Stainless Steel against 100 Cr6 Alloy.

Celem badań przedstawionym w tej publikacji jest ustalenie aspektów tribologicznych wytwarzanej addytywnie stali nierdzewnej 316L w stosunku do stopu 100Cr6. Zastosowano warunki chłodzenia suchego, MQL, chłodzenia kriogenicznego oraz hybrydowego cryo-MQL i dokonano analizy wyników zużycia. Najmniejsze straty objętościowe występują w warunkach smarowania Cryo-MQL jak w artykule El-Tayeb i inni [35]. Widać, że minimalny ubytek materiału wynosi 0,1040 mm<sup>3</sup> przy obciążeniu 20N, w przeciwieństwie do największego ubytku materiału, który zaobserwowano w dla badań przeprowadzonych w środowisku suchym, co przedstawiono na rysunku 14.



**Rysunek 14.** Wartości ubytku materiału dla różnych warunków chłodzenia i obciążenia.

Maksymalna wartość głębokości zużycia została uzyskana na poziomie 180  $\mu\text{m}$  dla eksperymentu na sucho przy wartości obciążenia 40N. Najmniejsza wartość głębokości zużycia dla warunków smarowania MQL wyniosła 37  $\mu\text{m}$  dla obciążenia 20N. Najmniejsza wartość głębokości krateru zużycia, dla warunków chłodzenia Cryo, wyniosła 66  $\mu\text{m}$  przy obciążeniu 20 N. Najmniejsza wartość głębokości krateru zużycia wyniosła 20  $\mu\text{m}$  dla warunków smarowania Cryo-MQL i została zmierzona na podstawie śladu zużycia uzyskanego z eksperymentów przeprowadzonych przy wartości obciążenia 20N. Na podstawie głębokości krateru zużycia uzyskanego w badaniach zużycia najlepsze warunki tarcia uzyskano dla Cryo-MQL. Najniższą wartość siły tarcia uzyskano przy obciążeniu 20N w warunkach smarowania Cryo-MQL, a wartość ta wyniosła 0,37N. Wartości siły tarcia badano przy sile normalnej 20N, 30N i 40N w warunkach smarowania MQL i wyniosły odpowiednio 0,43; 0,76 i 1,14 N. W warunkach badania na sucho siły tarcia są najwyższe w odniesieniu do innych warunków chłodzenia i smarowania układu tribologicznego, co przypisuje się między innymi generowaniu zbędnego ciepła, a tym samym pogorszeniu warunków tarcia [36,37]. Więcej pęknięć widocznych w warunkach tarcia suchego wynika z większej ilości materiału, który został usunięty z powierzchni. Pęknięcia i osadzone addytywnie materiały pary trącej są minimalizowane w wyniku zmiany warunków smarowania [38]. Zastosowanie hybrydowych warunków smarowania i chłodzenia określonych jako Cryo-MQL wykazało lepsze zachowanie tribologiczne dla wytworzonej addytywnie stali nierdzewnej 316L względem stopu 100Cr6 w porównaniu do innych warunków skrawania, co przedstawiono na rysunku 15. Jest to wynikiem połączzonego efektu chłodzenia i smarowania w warunkach cryo + MQL.



**Rysunek 15.** Analiza SEM powierzchni próbki w zależności od obciążenia i warunków chłodzenia.

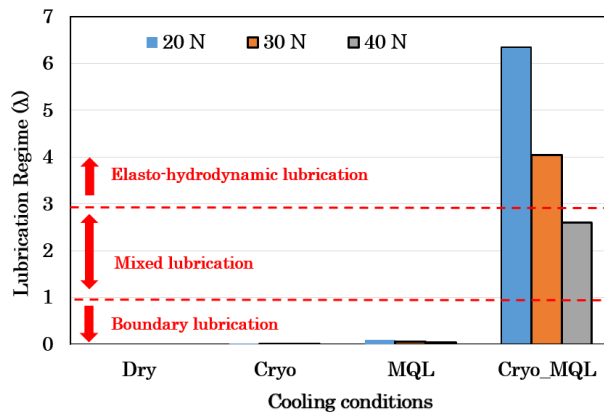
### **[A10] A State of the Art on Simulation Modelling Methods in Machining: Future Prospects and Challenges.**

W niniejszej pracy oceniono możliwości zastosowania modeli symulacyjnych w podstawowych operacjach obróbkowych. W tym celu wyselekcjonowano metody modelowania bazujące na elementach skończonych (MES) i są one omawiane w aspekcie oceny ich wykorzystania do wydajnego modelowania procesu skrawania. Wiele cech jakościowych zostało do tej pory szeroko zbadanych przy użyciu kilku podejść do modelowania [39,40]. Można je podzielić na właściwości oparte na przedmiocie obrabianym, takie jak technologiczna warstwa wierzchnia, dokładność wymiarowa oraz specyfikacje oparte na narzędziu skrawającym, takie jak: trwałość narzędzia i mechanizm zużycia. Ponieważ obróbka skrawaniem jest zazwyczaj ostatnim etapem wytwarzania produktu, dlatego charakteryzuje się wysoką jakością i wymogami. Z tego punktu widzenia, popularność tych podejść powinna być dogłębnie zbadana. Jednym z istotnych problemów rozwoju modeli MES w procesach obróbki jest brak wiedzy o modelach konstytutywnych materiałów. Istnieje potrzeba stworzenia kompleksowych danych typu big-data o ważnych przemysłowo materiałach do takich zastosowań [41-43]. Zniekształcenia i deformacje siatki MES są powszechne podczas symulacji materiałów twardych i kruchych metodami elementów skończonych w warunkach dynamiki molekularnej. Z drugiej strony, podejście SPH (ang. Smoothed-particle hydrodynamics) ma przewagę nad metodą elementów skończonych tym, że nie wymaga określenia kryterium ziszczenia materiału (dekohezji), aby doprowadzić do wygenerowania wióra i w dalszej kolejności do jego usunięcia z strefy obróbki [44]. Patrząc na wcześniejsze prace w zebrane w ramach przeglądu literatury, modele hybrydowe, takie jak analityczne /numeryczne, są skuteczne w porównaniu z pojedynczymi typami, szczególnie ze względu na ich zdolność do zmniejszenia całkowitego czasu obliczeń. Zapewnia to szybkie wyniki i poprawia ich niezawodność w osiąganiu wiarygodnych wyników dla materiałów zastosowanych po raz pierwszy [45]. W związku z tym, analiza oparta na symulacji jest skuteczna, gdy jest badana przez ekspertów w tej dziedzinie.

### **[A11] Understanding the Lubrication Regime Phenomenon and Its Influence on Tribological Characteristics of Additively Manufactured 316 Steel under Novel Lubrication Environment**

Wyprodukowana addytywnie stal nierdzewna 316L była testowana za pomocą tribometru typu "ball-on-flat" w różnych warunkach tarcia (na sucho, z chłodzeniem kriogenicznym, z zastosowaniem MQL oraz cryo-MQL), aby określić, jak warunki smarowania wpływają na właściwości tribologiczne testowanej pary tarciowej. Dodatkowo, badano promień krzywizny śladów zużycia (wskazany przez długość kontaktu) oraz charakterystyki zużycia. Na koniec oceniono wpływ promienia krzywizny i warunki smarowania (parametr  $\lambda$ ). W rezultacie najniższa wartość współczynnika zużycia dla warunków testowych smarowania Cryo-MQL wynosi 0,0010 mm<sup>3</sup>/m, natomiast współczynniki zużycia wynoszą 0,0087 mm<sup>3</sup>/m, 0,0063 mm<sup>3</sup>/m i 0,0026 mm<sup>3</sup>/m odpowiednio dla warunków Cryo, MQL i suchych. Jak wskazują Grützmacher i inni [46] oraz Lu i inni [47], środki smarne są stosowane w celu zmniejszenia tarcia pomiędzy współpracującymi powierzchniami i mają prowadzić do częściowego lub całkowitego zapobiegania zużyciu. Najniższą wartość chropowatości powierzchni uzyskano w warunkach smarowania Cryo-MQL jako 0,11x10<sup>-3</sup> μm, natomiast warunki MQL, Cryo i

suche mają wartości chropowatości powierzchni odpowiednio  $0,16 \times 10^{-3}$ ,  $1,29 \times 10^{-3}$  i  $1,90 \times 10^{-3}$   $\mu\text{m}$ . Jeśli nacisk na stykające się powierzchnie jest wystarczająco duży, aby wywołać lokalne odkształcenia plastyczne, bardzo duże ciśnienie działa na małe piki chropowatości, co stwierdził również Tiwari i inni [48]. Gdy naprężenia w tych punktach przekroczą granicę plastyczności, następuje odkształcenie plastyczne, zarysowanie powierzchni i rozpoczyna się uplastycznienie materiału i proces tarcowego zgrzewania. Podczas ruchu ślizgowego elementy te odrywają się i powodują zużycie. Ten rodzaj ubytku materiału powoduje powstanie zużycia adhezyjnego [49]. Zaleca się utwardzenie powierzchni styku metodami hartowania powierzchniowego przed zużyciem adhezyjnym oraz stosowanie środków smarnych, co sugerują również Aguilera-Camacho i inni [50]. Najmniejsza wartość współczynnika tarcia dla warunków smarowania Cry-MQL wynosi 0,019, natomiast dla warunków MQL, Cryo i dla tarcia suchego wynosi odpowiednio 0,022, 0,121 i 0,138. Na przykład mniejsze współczynniki tarcia zaobserwowano w badaniach [51,52] z powodu zmniejszenia chropowatości spowodowanej chłodzeniem i wspomaganie smarowaniem. Ze względu na większy promień krzywizny, współczynniki tarcia zmniejszają się. Spadek nacisku na styku elementów trących, generowany przez zwiększenie powierzchni styku, wpływa na zmniejszenie intensywności oddziaływań ciernych i może odpowiadać za zmniejszenie oddziaływań ciernych, na co wskazuje również Larsson [53]. W przypadku zastosowania układu smarowania/chłodzenia Cryo-MQL następuje wzrost lepkości, ponieważ temperatura środka smarnego jest obniżana przez chłodzenie kriogeniczne. Ponieważ ta metoda smarowania/chłodzenia zmienia warunki smarowania z granicznego na mieszany i elasto-hydrodynamiczny poprzez zwiększenie parametru  $\lambda$  ze względu na rosnącą lepkość środka smarnego, temperatura i chropowatość powierzchni uległy zmniejszeniu, co zostało również stwierdzone przez Chena i inni [54], jak pokazano na rysunku 16.

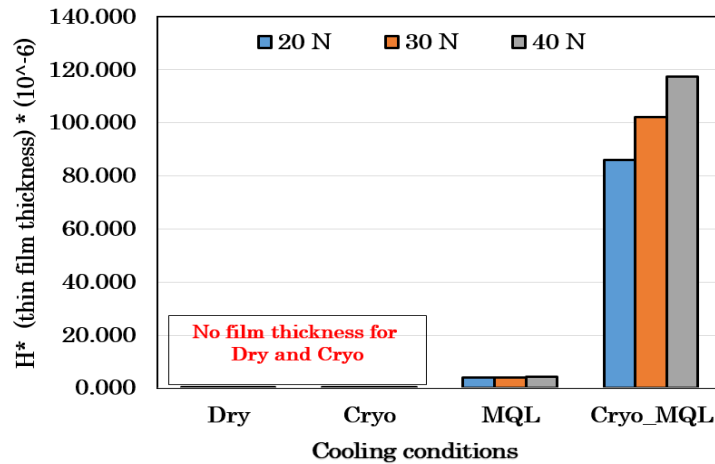


**Rysunek 16.** Zmienność warunków smarowania w zależności od różnych środowisk zużycia.

Z rysunku 17 wynika, że najmniejsza grubość cienkiego filmu dla warunków smarowania MQL wynosiła  $3,92 \times 10^{-6}$  mm przy wartości obciążenia 20N. Wyniki pomiarów grubości cienkiej warstwy filmu smarnego dla wartości obciążenia 30N i 40N wynosiły odpowiednio  $4,14 \times 10^{-6}$  mm. Grubość cienkiej warstwy wzrasta o 5,61% przy zwiększeniu obciążenia z 20N do 30N. Ten wzrost o 7,65% i 1,93% występuje, gdy obciążenie przechodzi z 20N do 40N i z 30N do 40N. W ustawieniach testu smarowania Cry-MQL uzyskano najmniejszą grubość cienkiej warstwy  $85,96 \times 10^{-6}$  mm przy wartości



obciążenia 20N. Dla obciążeń 30N i 40N stwierdzono, że grubość cienkiego filmu wynosi odpowiednio  $102,08 \times 10^{-6}$  mm i  $117,51 \times 10^{-6}$  mm.



**Rysunek 17.** Zmiana grubości cienkiej warstwy w zależności od różnych środowisk zużycia

#### 4.2. Kierunki badań na przyszłość

Możliwe przyszłe kierunki badań:

- Wytwarzanie różnych materiałów zwanych również Meta-materiałami za pomocą wytwarzania przyrostowego,
- Efekt hybrydowych warunków chłodzenia będzie badany bardziej szczegółowo,
- Nowe chłodziwa/środki smarne będą badane w obszarze obróbki oraz zachowania podczas zużycia,
- Analiza powierzchni przy użyciu wysokiej klasy urządzeń, takich jak: maszyny wytrzymałościowe, Electron Backscatter Diffraction (EBSD), Field emission scanning electron microscopy (FESEM) będzie badana w sposób bardziej szczegółowy.

#### 4.3. Referencje

- [1] Şirin Ş, Sarıkaya M, Yıldırım ÇV, Kıvak T. Machinability performance of nickel alloy X-750 with SiAlON ceramic cutting tool under dry, MQL and hBN mixed nanofluid-MQL. Tribol Int 2021;153:106673. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106673>.
- [2] Sarıkaya M, Güllü A. Multi-response optimization of minimum quantity lubrication parameters using Taguchi-based grey relational analysis in turning of difficult-to-cut alloy Haynes 25. J Clean Prod 2015;91:347–57. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.020>.
- [3] Sharma VS, Dogra M, Suri NM. Cooling techniques for improved productivity in turning. Int J Mach Tools Manuf 2009;49:435–53. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2008.12.010>.
- [4] Yıldırım ÇV, Kıvak T, Sarıkaya M, Şirin Ş. Evaluation of tool wear, surface roughness/topography

- and chip morphology when machining of Ni-based alloy 625 under MQL, cryogenic cooling and CryoMQL. *J Mater Res Technol* 2020;9:2079–92. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.069>.
- [5] Yip WS, To S. Tool life enhancement in dry diamond turning of titanium alloys using an eddy current damping and a magnetic field for sustainable manufacturing. *J Clean Prod* 2017;168:929–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.100>.
- [6] Luo Y, Yang L, Tian M. Influence of Bio-Lubricants on the Tribological Properties of Ti6Al4V Alloy. *J Bionic Eng* 2013;10:84–9. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(13\)60202-4](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(13)60202-4).
- [7] Dearnley PA, Dahm KL, Çimenoğlu H. The corrosion-wear behaviour of thermally oxidised CP-Ti and Ti-6Al-4V. *Wear* 2004;256:469–79. [https://doi.org/10.1016/s0043-1648\(03\)00557-x](https://doi.org/10.1016/s0043-1648(03)00557-x).
- [8] Demirsöz R, Korkmaz ME, Gupta MK, Collado AG, Krolczyk GM. Erosion characteristics on surface texture of additively manufactured AlSi10Mg alloy in SiO quartz added slurry environment. *Rapid Prototyp J* 2021;ahead-of-p. <https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2021-0283>.
- [9] Demirsöz R, Polat R, Türk A, Erdoğan G. Investigation of erosive wear behavior of granulated blast furnace slag on hard coated and uncoated steels. *J Fac Eng Archit Gazi Univ* 2019;34:103–13. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416467>.
- [10] Gupta K, Laubscher RF. Sustainable machining of titanium alloys: a critical review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 2017 Dec;231(14):2543-60.
- [11] Wood RJK, Ramkumar P, Wang L, Wang TJ, Nelson K, Yamaguchi ES, et al. Electrostatic monitoring of the effects of carbon black on lubricated steel/steel sliding contacts. In: Dowson D, Priest M, Dalmaz G, Lubrecht AABT-T and IES, editors. *Life Cycle Tribol.*, vol. 48, Elsevier; 2005, p. 109–21. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8922\(05\)80013-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8922(05)80013-6).
- [12] Bogdan-Chudy M, Niesłony P, Gupta MK, Wojciechowski S, Maruda RW, Gawlik J, et al. Tribological and thermal behavior with wear identification in contact interaction of the Ti6Al4V-sintered carbide with AlTiN coatings pair. *Tribol Int* 2022;167:107394.
- [13] Hou J, Zhou W, Duan H, Yang G, Xu H, Zhao N. Influence of cutting speed on cutting force, flank temperature, and tool wear in end milling of Ti-6Al-4V alloy. *Int J Adv Manuf Technol* 2014;70:1835–45. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5433-8>.
- [14] Shi Q, Li L, He N, Zhao W, Liu X. Experimental study in high speed milling of titanium alloy TC21. *Int J Adv Manuf Technol* 2013;64:49–54. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-3997-3>.
- [15] Pusavec F, Deshpande A, Yang S, M'Saoubi R, Kopac J, Dillon OW, et al. Sustainable machining of high temperature Nickel alloy - Inconel 718: Part 1 - Predictive performance models. *J Clean Prod* 2014;81:255–69. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.040>.
- [16] Hong SY, Ding Y, Jeong W cheol. Friction and cutting forces in cryogenic machining of Ti-6Al-4V. *Int J Mach Tools Manuf* 2001;41:2271–85. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(01\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(01)00029-3).
- [17] He H-B, Li H-Y, Yang J, Zhang X-Y, Yue Q-B, Jiang X, et al. A study on major factors influencing dry cutting temperature of AISI 304 stainless steel. *Int J Precis Eng Manuf* 2017;18:1387–92. <https://doi.org/10.1007/s12541-017-0165-6>.
- [18] Özel T, Sima M, Srivastava AK, Kaftanoglu B. Investigations on the effects of multi-layered coated inserts in machining Ti–6Al–4V alloy with experiments and finite element simulations. *CIRP Ann* 2010;59:77–82. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.055>.

- [19] Wang C, Ding H, Wang H. Thermodynamic Model and Dynamic Temperature Compensation in Positive-Pressure-Based Sonic Nozzle Gas Flow Standard. *IEEE Trans Instrum Meas* 2013;62:1154–65. <https://doi.org/10.1109/TIM.2012.2234599>.
- [20] Danish M, Ginta TL, Habib K, Carou D, Rani AMA, Saha BB. Thermal analysis during turning of AZ31 magnesium alloy under dry and cryogenic conditions. *Int J Adv Manuf Technol* 2017;91:2855–68. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9893-5>.
- [21] Özel T, Ulutan D. Prediction of machining induced residual stresses in turning of titanium and nickel based alloys with experiments and finite element simulations. *CIRP Ann* 2012;61:547–50. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.03.100>.
- [22] Gaurav G, Sharma A, Dangayach GS, Meena ML. Assessment of jojoba as a pure and nano-fluid base oil in minimum quantity lubrication (MQL) hard-turning of Ti–6Al–4V: A step towards sustainable machining. *J Clean Prod* 2020;272:122553. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122553>.
- [23] Szczotkarz N, Mrugalski R, Maruda RW, Królczyk GM, Legutko S, Leksycki K, et al. Cutting tool wear in turning 316L stainless steel in the conditions of minimized lubrication. *Tribol Int* 2020:106813.
- [24] Kumar Mishra S, Ghosh S, Aravindan S. Machining performance evaluation of Ti6Al4V alloy with laser textured tools under MQL and nano-MQL environments. *J Manuf Process* 2020;53:174–89. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.02.014>.
- [25] Pu Z, Outeiro JC, Batista AC, Dillon OW, Puleo DA, Jawahir IS. Enhanced surface integrity of AZ31B Mg alloy by cryogenic machining towards improved functional performance of machined components. *Int J Mach Tools Manuf* 2012;56:17–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2011.12.006>.
- [26] Mark Benjamin D, Sabarish VN, Hariharan M V, Samuel Raj D. On the benefits of sub-zero air supplemented minimum quantity lubrication systems: An experimental and mechanistic investigation on end milling of Ti-6-Al-4-V alloy. *Tribol Int* 2018;119:464–73. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.11.021>.
- [27] Dhar NR, Kamruzzaman M. Cutting temperature, tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4037 steel under cryogenic condition. *Int J Mach Tools Manuf* 2007;47:754–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2006.09.018>.
- [28] Badurdeen F, Shuaib MA, Lu T, Jawahir IS. Sustainable Value Creation in Manufacturing at Product and Process Levels: Metrics-Based Evaluation. In: Nee AYC, editor. *Handb. Manuf. Eng. Technol.*, London: Springer London; 2015, p. 3343–75. [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4670-4\\_52](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4670-4_52).
- [29] Arulkirubakaran D, Senthilkumar V, Chilamwar VL, Senthil P. Performance of surface textured tools during machining of Al-Cu/TiB<sub>2</sub> composite. *Measurement* 2019;137:636–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.013>.
- [30] Yıldırım ÇV, Sarıkaya M, Kıvak T, Şirin Ş. The effect of addition of hBN nanoparticles to nanofluid-MQL on tool wear patterns, tool life, roughness and temperature in turning of Ni-based Inconel 625. *Tribol Int* 2019;134:443–56. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.02.027>.
- [31] Darshan C, Jain S, Dogra M, Gupta MK, Mia M. Machinability improvement in Inconel-718 by

- enhanced tribological and thermal environment using textured tool. *J Therm Anal Calorim* 2019. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08121-y>.
- [32] Sivaiah P, Guru Prasad M, Singh M M, Uma B. Machinability evaluation during machining of AISI 52100 steel with textured tools under Minimum Quantity Lubrication – A comparative study. *Mater Manuf Process* 2020;1–8. <https://doi.org/10.1080/10426914.2020.1802034>.
- [33] Dinesh S, Senthilkumar V, Asokan P. Experimental studies on the cryogenic machining of biodegradable ZK60 Mg alloy using micro-textured tools. *Mater Manuf Process* 2017;32:979–87. <https://doi.org/10.1080/10426914.2016.1221096>.
- [34] Bordin A, Bruschi S, Ghiotti A. The Effect of Cutting Speed and Feed Rate on the Surface Integrity in Dry Turning of CoCrMo Alloy. *Procedia CIRP* 2014;13:219–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.04.038>.
- [35] El-Tayeb NSM, Yap TC, Brevern P V. Wear characteristics of titanium alloy Ti54 for cryogenic sliding applications. *Tribol Int* 2010;43:2345–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.triboint.2010.08.012>.
- [36] Agrawal C, Wadhwa J, Pitroda A, Pruncu CI, Sarikaya M, Khanna N. Comprehensive analysis of tool wear, tool life, surface roughness, costing and carbon emissions in turning Ti–6Al–4V titanium alloy: Cryogenic versus wet machining. *Tribol Int* 2021;153:106597. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106597>.
- [37] Khanna N, Shah P, Suri NM, Agrawal C, Khatkar SK, Pusavec F, et al. Application of Environmentally-friendly Cooling/Lubrication Strategies for Turning Magnesium/SiC MMCs. *Silicon* 2020. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00588-x>.
- [38] Perfilyev V, Moshkovich A, Lapsker I, Rapoport L. Friction and wear of copper samples in the steady friction state. *Tribol Int* 2010;43:1449–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.triboint.2010.01.022>.
- [39] Maximov JT, Duncheva G V., Dunchev VP, Anchev AP. Different strategies for finite element simulations of static mechanical surface treatment processes—a comparative analysis. *J Brazilian Soc Mech Sci Eng* 2021;43:1–18. <https://doi.org/10.1007/s40430-021-03085-3>.
- [40] El-Wardany TI, Kishawy HA, Elbestawi MA. Surface integrity of die material in high speed hard machining, Part 1: Micrographical analysis. *J Manuf Sci Eng Trans ASME* 2000;122:620–31. <https://doi.org/10.1115/1.1286367>.
- [41] Li L, Yan J, Xing Z. Energy requirements evaluation of milling machines based on thermal equilibrium and empirical modelling. *J Clean Prod* 2013;52:113–21. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.039>.
- [42] Huh H, Kang WJ, Han SS. A tension split Hopkinson bar for investigating the dynamic behavior of sheet metals. *Exp Mech* 2002 421 2002;42:8–17. <https://doi.org/10.1007/BF02411046>.
- [43] Gambirasio L, Rizzi E. An enhanced Johnson-Cook strength model for splitting strain rate and temperature effects on lower yield stress and plastic flow. *Comput Mater Sci* 2016;113:231–65. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2015.11.034>.
- [44] Khodaii J, Adibi H, Barazandeh F, Solhtalab A, Rezaei M, Sarhan AAD. Improvement of surface integrity in the grinding of bioceramic partially stabilized zirconia using analytical, numerical, and experimental methods. *Ceram Int* 2020;46:13784–97.

<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.02.168>.

- [45] Zhao P, Wu J, Chen H, Liu H, Li D, Tan J. Molecular dynamics simulation study of interaction mechanism between grain boundaries and subgrain boundaries in nano-cutting. *J Manuf Process* 2021;67:418–26. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.04.075>.
- [46] Grützmacher PG, Profito FJ, Rosenkranz A. Multi-Scale Surface Texturing in Tribology—Current Knowledge and Future Perspectives. *Lubr* 2019;7. <https://doi.org/10.3390/lubricants7110095>.
- [47] Lu Q, Zhang T, He B, Xu F, Liu S, Ye Q, et al. Enhanced lubricity and anti-wear performance of zwitterionic polymer-modified N-enriched porous carbon nanosheets as water-based lubricant additive. *Tribol Int* 2022;167:107421. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107421>.
- [48] Tiwari A, Almqvist A, Persson BNJ. Plastic Deformation of Rough Metallic Surfaces. *Tribol Lett* 2020;68:129. <https://doi.org/10.1007/s11249-020-01368-9>.
- [49] Güneş A, Salur E, Aslan A, Kuntoğlu M, Giasin K, Pimenov DY, et al. Towards analysis and optimization for contact zone temperature changes and specific wear rate of metal matrix composite materials produced from recycled waste. *Materials (Basel)* 2021;14:5145.
- [50] Aguilera-Camacho LD, Hernández-Sierra MT, García-Miranda JS, Moreno KJ. On the Influence of Tribological Properties of AISI 4140 Annealed Steel against Ceramic Counterparts under Dry and Lubricated Conditions and Their Effect on Steel Microstructure. *Met* 2021;11. <https://doi.org/10.3390/met11081275>.
- [51] Li C, Deng X, Wang Z. Friction behaviour and self-lubricating mechanism of low alloy martensitic steel during reciprocating sliding. *Wear* 2021;482–483:203972. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203972>.
- [52] Maruda RW, Krolczyk GM, Wojciechowski S, Powalka B, Klos S, Szczotkarz N, et al. Evaluation of turning with different cooling-lubricating techniques in terms of surface integrity and tribologic properties. *Tribol Int* 2020;148:106334. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106334>.
- [53] Larsson R. EHL Film Thickness Behavior. In: Wang QJ, Chung Y-W, editors. *Encycl. Tribol.*, Boston, MA: Springer US; 2013, p. 817–27. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5\\_639](https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5_639).
- [54] Chen Z, Jiang Y, Li S, Tong Z, Tong S, Tang N. Effect of lubricant viscosity on dynamics of high-precision gear considering lubricant-induced backlash reduction. *Tribol Int* 2022;168:107447. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107447>.

**5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.**

Moja działalność naukowa dotyczy współpracy z naukowcami krajowymi i zagranicznymi. Nawiązanie tej współpracy było możliwe dzięki mojemu aktywnemu udziałowi w międzynarodowych sympozjach i konferencjach naukowych, oprócz realizacji zadań dydaktycznych, brałem również udział w seminariach naukowych, w których miałam możliwość zaprezentowania wyników swoich badań, zachęcając tym samym innych do pracy zespołowej.

***Mam bardzo duże doświadczenie w prowadzeniu działalności badawczej w różnych jednostkach naukowych. Po ukończeniu doktoratu w 2018 roku, rozpocząłem pracę w Ludhiana College of Engineering and Technology i Chandigarh University, Indie jako Assistant Professor. Podczas moich obowiązków zawodowych nawiązałem współpracę z badaczami z różnych jednostek. W rezultacie opublikowałem ponad 30 artykułów w renomowanych czasopismach takich jak Journal of cleaner production, Precision Engineering, International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Poniższy artykuł jest wynikiem współpracy międzynarodowej, a jego znaczący wpływ na naukę został potwierdzony między innymi poprzez uzyskanie ponad 200 cytowań:***

1. Mia M, Gupta MK\*, Singh G, Królczyk G, Pimenov DY. An approach to cleaner production for machining hardened steel using different cooling-lubrication conditions. Journal of Cleaner Production. 2018 Jun 20;187:1069-81.

Podobnie, poniższe prace są przykładami opublikowanych prac w renomowanych czasopismach:

1. Gupta MK, Mia M, Singh G, Pimenov DY, Sarikaya M, Sharma VS. Hybrid cooling-lubrication strategies to improve surface topography and tool wear in sustainable turning of Al 7075-T6 alloy. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019 Mar 17;101(1-4):55-69.
2. Mia M, Gupta MK\*, Lozano JA, Carou D, Pimenov DY, Królczyk G, Khan AM, Dhar NR. Multi-objective optimization and life cycle assessment of eco-friendly cryogenic N<sub>2</sub> assisted turning of Ti-6Al-4V. Journal of Cleaner Production. 2019 Feb 10;210:121-33.
3. Gupta K, Gupta MK\*. Developments in nonconventional machining for sustainable production: A state-of-the-art review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2019 Jun;233(12):4213-32.
4. Raju M, Gupta MK\*, Bhanot N, Sharma VS. A hybrid PSO–BFO evolutionary algorithm for optimization of fused deposition modelling process parameters. Journal of Intelligent Manufacturing. 2019 Oct 1;30(7):2743-58.
5. Mangat AS, Singh S, Gupta MK, Sharma R. Experimental investigations on natural fiber embedded additive manufacturing-based biodegradable structures for biomedical applications. Rapid Prototyping Journal. 2018 Oct 8;24:1221–1234.
6. Pérez M, Medina-Sánchez G, García-Collado A, Gupta MK, Carou D. Surface quality enhancement of fused deposition modeling (FDM) printed samples based on the selection of critical printing parameters. Materials. 2018 Aug;11(8):1382.
7. Singh G, Gupta MK, Mia M, Sharma VS. Modeling and optimization of tool wear in MQL-assisted milling of Inconel 718 superalloy using evolutionary techniques. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018 Jul 1;97(1-4):481-94.

8. Mia M, Singh G, Gupta MK, Sharma VS. Influence of Ranque-Hilsch vortex tube and nitrogen gas assisted MQL in precision turning of Al 6061-T6. Precision Engineering. 2018 Jul 1;53:289-99.

***W 2019 roku wygrałem konkurs na stanowisko post doctoral research fellow na Shandong University w Chinach z Prof Qinghua Song i Prof Zhanqiang Liu. Podczas mojej działalności badawczej byłem zaangażowany w obszary badawcze związane z obróbką skrawaniem i wytwarzaniem przyrostowym. W 2020 roku zostałem wybrany jako starszy personel badawczy w South Ural State University, Rosja na jeden rok. Te badania i moje stanowisko były całkowicie realizowane w ramach pracy zdalnej, a ich wynikiem są następujące prace opublikowane w renomowanych czasopismach:***

9. Gupta MK, Khan AM, Song Q, Liu Z, Khalid QS, Jamil M, Kuntoğlu M, Usca ÜA, Sarikaya M, Pimenov DY. A review on conventional and advanced minimum quantity lubrication approaches on performance measures of grinding process. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021 Aug 5:1-22.
10. Gupta MK, Song Q, Liu Z, Sarikaya M, Mia M, Jamil M, Singla AK, Bansal A, Pimenov DY, Kuntoğlu M. Tribological Performance Based Machinability Investigations in Cryogenic Cooling Assisted Turning of  $\alpha$ - $\beta$  Titanium Alloy. Tribology International. 2021 Apr 1:107032.
11. Gupta MK, Song Q, Liu Z, Singh R, Sarikaya M, Khanna N. Tribological behavior of textured tools in sustainable turning of nickel based super alloy. Tribology International. 2020 Nov 21:106775.
12. Gupta MK, Song Q, Liu Z, Sarikaya M, Jamil M, Mia M, Singla AK, Khan AM, Khanna N, Pimenov DY. Environment and economic burden of sustainable cooling/lubrication methods in machining of Inconel-800. Journal of Cleaner Production. 2020 Nov 12:125074.
13. Gupta MK, Song Q, Liu Z, Sarikaya M, Jamil M, Mia M, Khanna N, Krolczyk GM. Experimental characterisation of the performance of hybrid cryo-lubrication assisted turning of Ti-6Al-4V alloy. Tribology International. 2020;153:106582.
14. Gupta MK, Song Q, Liu Z, Sarikaya M, Jamil M, Mia M, Kushvaha V, Singla AK, Li Z. Ecological, economical and technological perspectives based sustainability assessment in hybrid-cooling assisted machining of Ti-6Al-4 V alloy. Sustainable Materials and Technologies. 2020 Sep 3:e00218.
15. Gupta MK, Singla AK, Ji H, Song Q, Liu Z, Cai W, Mia M, Khanna N, Krolczyk GM. Impact of layer rotation on micro-structure, grain size, surface integrity and mechanical behaviour of SLM Al-Si-10Mg alloy. Journal of Materials Research and Technology. 2020 Sep 1;9(5):9506-22.

16. Gupta MK, Mia M, Jamil M, Singh R, Singla AK, Song Q, Liu Z, Khan AM, Rahman MA, Sarikaya M. Machinability investigations of hardened steel with biodegradable oil-based MQL spray system. *Int J Adv Manuf Technol*. 2020 May 21; 108:735–748.
17. Gupta MK, Mia M, Pruncu CI, Khan AM, Rahman MA, Jamil M, Sharma VS. Modeling and performance evaluation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub> and graphite nanoparticle-assisted MQL in turning titanium alloy: an intelligent approach. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2020 Apr;42:1-21.
18. Gupta MK, Song Q, Liu Z, Pruncu CI, Mia M, Singh G, Lozano JA, Carou D, Khan AM, Jamil M, Pimenov DY. Machining characteristics based life cycle assessment in eco-benign turning of pure titanium alloy. *Journal of Cleaner Production*. 2020 Apr 1; 251:119598.
19. Gupta MK, Jamil M, Wang X, Song Q, Liu Z, Mia M, Hegab H, Khan AM, Collado AG, Pruncu CI, Imran GM. Performance evaluation of vegetable oil-based nano-cutting fluids in environmentally friendly machining of inconel-800 alloy. *Materials*. 2019 Jan;12(17):2792.

***W 2021 roku moje dwa wnioski zgłoszone do konkursu NCN i NAWA zostały zaakceptowane i dzięki temu uzyskałem możliwość pracy z prof. Grzegorzem Królczykiem na Politechnice Opolskiej w Polsce. Wynikiem moich badań w Polsce są następujące prace:***

20. Gupta MK\*, Niesłony P, Sarikaya M, Korkmaz ME, Kuntoğlu M, Królczyk GM, Jamil M. Tool Wear Patterns and Their Promoting Mechanisms in Hybrid Cooling Assisted Machining of Titanium Ti-3Al-2.5 V/grade 9 Alloy. *Tribology International*. 2022 Jul 8:107773.
21. Gupta MK\*, Etri HE, Korkmaz ME, Ross NS, Krolczyk GM, Gawlik J, Yaşar N, Pimenov DY. Tribological and surface morphological characteristics of titanium alloys: a review. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2022 May;22(2):1-23.
22. Gupta MK\*, Korkmaz ME, Sarikaya M, Krolczyk GM, Günay M. In-process detection of cutting forces and cutting temperature signals in cryogenic assisted turning of titanium alloys: An analytical approach and experimental study. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2022 Apr 15;169:108772.
23. Gupta MK\*, Korkmaz ME, Sarikaya M, Krolczyk GM, Günay M, Wojciechowski S. Cutting Forces and Temperature Measurements in Cryogenic Assisted Turning of AA2024-T351 alloy: An Experimentally Validated Simulation Approach. *Measurement*. 2021 Dec 13:110594.
24. Gupta MK\*, Boy M, Korkmaz ME, Yaşar N, Günay M, Krolczyk GM. Measurement and Analysis of Machining Induced Tribological Characteristics in Dual Jet Minimum Quantity Lubrication Assisted Turning of Duplex Stainless Steel. *Measurement*. 2021 Oct 24:110353.



## 6. Przegląd innych osiągnięć naukowych

Ukończyłem studia licencjackie z inżynierii mechanicznej w 2011 roku na Uniwersytecie Państwowym im. Shaheeda Bhagata Singha w Ferozepur, Indie. Po ukończeniu studiów, zacząłem studia magisterskie na kierunku Inżynieria Produkcji na uczelni Guru Nanak Dev Engineering College, Ludhiana, Indie. Podczas moich studiów magisterskich otrzymywałem stypendium od rządu Indii przez sześć miesięcy. Po ukończeniu studiów magisterskich w roku 2013 rozpocząłem studia doktorskie w Narodowym Instytucie Technologii, Hamirpur, Indie. Moją dyscypliną była inżynieria mechaniczna i ten program doktorancki był również w pełni finansowany przez rząd Indii. Ukończyłem mój doktorat w 2018 roku; jednocześnie w tym okresie pracowałem jako asystent badawczy. Prowadziłem zajęcia i laboratoria ze studentami studiów licencjackich. Obszarem mojego doktoratu była obróbka superstopów. Podczas mojego doktoratu miałem okazję odwiedzić wiele przedsiębiorstw związanych z zastosowaniami superstopów w branży lotniczej. Te wizyty przemysłowe były bardzo pomocne w prowadzeniu moich badań. W trakcie mojego doktoratu byłem również odpowiedzialny za realizację zadań badawczych moich kolegów pod kierunkiem mojego promotora. Po ukończeniu doktoratu pracowałem jako asystent profesora w Kolegium Inżynierii i Technologii Ludhiana, Punjab, Indie. Prowadziłem zajęcia z takich przedmiotów jak Procesy produkcyjne, Dynamika pojazdów, Pomiar mechaniczny i metrologia, Drgania mechaniczne. Byłem również opiekunem prac licencjackich oraz kierownikiem laboratorium procesów produkcyjnych. Następnie zmieniłem pracę i pracowałem jako adiunkt w Uniwersyteckim Centrum Badań i Rozwoju, Chandigarh University, Punjab, Indie na stanowisku badawczo-dydaktycznym. Prowadziłem zajęcia z takich przedmiotów jak Projektowanie i rozwój produktu, Cięcie metali, Teoria maszyn oraz byłem promotorem kilku prac magisterskich.

Podczas mojej pracy uniwersyteckiej jako pracownik naukowy, zostałem wybrany do prestiżowego Post-Doctoral Fellowship z Shandong University (QS Ranking: 280), Chiny w 2019 roku. To była naprawdę wielka szansa dla mnie, aby odkryć nowe rzeczy w mojej karierze badawczej. Przez 2 lata pracowałem pod nadzorem prof. Qinghua Song i prof. Zhanqiang Liu. W tym czasie byłem również zaangażowany w różne działania badawcze prowadzone przez moich kolegów z laboratorium.

Głównymi tematami w podczas mojej pracy jako post-doc były m.in.:

- Techniki postprocesowe poprawiające technologiczną warstwę wierzchnią drukowanych 3D stopów tytanu do zastosowań biomedycznych.
- Metalurgiczne i mechaniczne charakterystyki drukowanych 3D części metalowych.
- Mikroobróbka części metalowych drukowanych w 3D.
- Badania metalurgiczne technologicznej warstwy wierzchniej w zrównoważonej obróbce materiałów trudno skrawalnych.
- Przyjazna środowisku obróbka materiałów trudno skrawalnych.

W tym czasie zostałem również wybrany na stanowisko Starszego pracownika technicznego ds. badań (praca na odległość) na uczelni Department of Automated Mechanical Engineering, South Ural State University Russia. Byłem zaangażowany w działalność badawczą, taką jak publikacje, patenty,

konferencje. Następnie otrzymałem zatrudnienie na stanowisku profesora uczelnianego na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej.

Do tej pory opublikowałem ponad 200 publikacji indeksowanych w WOS i SCOPUS, 11 rozdziałów w monografiach, 6 artykułów konferencyjnych, 3 redagowane książki i 2 monografie. Pracuję nad 2 projektami finansowanymi z dotacji krajowej, a wcześniejsze 3 projekty zostały zakończone. Szczegóły podane są w dalszych rozdziałach.

### **6.1. Autorstwo i współautorstwo w publikacjach naukowych**

Jestem autorem lub współautorem następujących liczby publikacji:

- 204 prace zindeksowane w WOS i SCOPUS,
- 11 rozdziałów książkowych,
- 3 redagowane książki i 2 monografie.

### **6.2. Udział w konferencjach**

- Sharma, V.S.; Kumar, A.; Gupta, M.K.; Bhanot, N. Process parameter optimization for Abrasive Water Jet machining of Titanium Alloy using Meta-Heuristic Algorithms. 3rd International Conference on Design and Manufacturing Engineering, (ICDME2018), Melbourne, Australia, July 16-18, 2018.
- Gupta, M.K.; Sood, P.K. Evaluation of Surface Roughness During Turning of Titanium Alloy Under Minimum Quantity Lubrication Condition by Using Response Surface Methodology. (December 19-21, 2016) IVth International Conference On Production and Industrial Engineering, CPIE-2016, Dr. B.R. Ambedkar NIT Jalandhar.
- Sood, P.K.; Gupta, M.K. Investigation for Cutting Parameters of Hypereutectic Aluminium-Silicon Alloys (Al-20Si, 0.5Mg, 1.2Fe) Produced by Stir Casting. (December 19-21, 2016) IVth International Conference On Production and Industrial Engineering, CPIE-2016, Dr. B.R. Ambedkar NIT Jalandhar.
- Singh, G.; Gupta, M.K. Surface Roughness Evaluation in Turning of En31 Steels by Using Different Cooling Methods. (October 7-8, 2016) National Conference on production engineering, COPE-2016, Guru Nanak Dev Engineering College Ludhiana (Punjab).
- Gupta, M.K.; Sood, P.K. Modeling and Optimization of En 31 Steel for Tool Wear and Surface Roughness Using Taguchi Approach and Regression Analysis. 2014 NIT-MTMI International Conference on Emerging Paradigms and Practices in Global Technology, Management & Business Issues December 22-24, ISSN 1941-9414. NIT Hamirpur.
- Singh, R.; Gupta, M.K. Experimental Investigations for Use of Abs Replicas in Investment Casting Applications. (October 3-6, 2013) International Conference on Advancements and Futuristic Trends in Mechanical and Materials Engineering. PTU

Jalandhar

### 6.3. Udział i kierownictwo w projektach badawczych

1. Modelling On Metallurgical, Tribological and Sustainability Aspects in Energy-Efficient Machining of New Metastable Beta Titanium Alloy for Aircraft Engine Components Application, projekt badawczy nr 2020/37/K/ST8/02795 (POLN, NCN), kwota projektu: 606 250,00 PLN – w trakcie;
2. Metrological approach to sustainability manufacturing in the cutting process of Lightweight Alloys for Aerospace Applications. Polish National Agency For Academic Exchange (NAWA) No. PPN/ULM/2020/1/00121, kwota projektu 305 000,00 PLN – w trakcie;
3. High performance Clean Cutting technology of  $\beta$  21S Ultra high strength Titanium Alloy Shandong Provincial Department of Human Resources and Social Security, kwota projektu: 100 000,00 RMB – zakończony;
4. Study on surface integrity of clean cutting for difficult to cut materials, Special Post-Doctoral Project Funding - 2019TQ0186 (Ministry of Education, Government of China), kwota projektu: 180 000,00 RMB – zakończony;
5. Indo-U.S. bilateral workshops/symposia/conferences being supported under IUSSTF Awarded. Total Cost: 14.5 Lakh Indian Rupee (Sponsored by Govt of India, Grant No.: MAR/WS/ 128/2019) , Indian Partner: Chandigarh University & USA Partner: Dr. M.S. Bakshi, University of Wisconsin, Green Bay, USA – zakończony.

### 6.4. Nagrody i stypendia

- 14th October 2013- 16th November 2018: Ministry of Human Resource Development (MHRD) Scholarship, Govt. of India for PhD research work.
- 1st January 2013- 31st June 2013: TEQIP Scholarship funded by Govt. of India for Masters research

### 6.5. Wygłoszone wykłady

- King Mongkuts University of Technology, Thailand, Bangkok (załączniku 6.1)
- University of Jaen, Spain (załączniku 6.2).

### 6.6. Redaktor gościnny i członek Rady Redakcyjnej

- Redaktor pomocniczy dla sekcji Wytwarzanie (ang. Manufacturing) czasopisma: “Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science” (Impact Factor: 1.758).
- Redaktor gościnny: Special Issue “Application of Cooling and Lubrication Methods in Sustainable Machining of Different Materials” (Lubricants- MDPI Publications)
- Redaktor gościnny: Special Issue “Additive and subtractive manufacturing of super alloys: A

new approach of Industry 4.0" (Frontiers of Mechanical Engineering- Springer)..

- Redaktor gościnny: Special Issue "Recent Trends on the Mechanical Properties of Additive Manufacturing" (Applied Sciences- MDPI Publications).
- Redaktor gościnny: Special Issue "Additive and Subtractive Manufacturing of Advanced Materials: Applications, Future Trends and Perspectives of Industry 4.0" (Materials- MDPI Publications).
- Redaktor gościnny: Special Issue "Optimization and Analysis of Metal Cutting Processes" (Metals- MDPI Publications).
- Redaktor gościnny: Special Issue "Application of Advanced Sensors Systems and Artificial Intelligence in Machining"" (Sensors- MDPI Publications).
- Redaktor gościnny: Special Collection on Sustainable Manufacturing - Advances in Mechanical Engineering (AIME- Sage Publications).
- Członek Rady Redakcyjnej: Annals of Engineering (Manufacturing Engineering Section).

#### **6.7. Recenzent w czasopismach**

- Materials and Manufacturing Processes
- Measurement (Elsevier)
- Journal of Intelligent Manufacturing (Springer)
- Journal of Mechanical Engineering Sciences: Part C (Sage)
- Inderscience Journals etc.
- Materials (MDPI)
- The International Journal of Advanced Manufacturing technology (Springer)
- Journal of Cleaner Production (Elsevier)
- Journal of Engineering Manufacture: Part B (Sage)
- Journal of Manufacturing Processes (Elsevier)
- Tribology International (Elsevier)
- Measurement and Control (Sage)
- Journal of Polymers (Tailor and Francis)
- Machining Science and Technology (Tailor and Francis)

## 6.8. Informacje o liczbie cytowań i indeksie Hirsha

### Scopus:

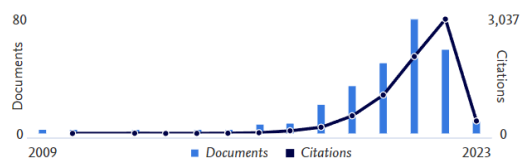
## Gupta, Munish Kumar

Opole University of Technology, Opole, Poland 57072254700 <https://orcid.org/0000-0002-0777-1559> [View more](#)

7,268 Citations by 4,379 documents | 419 Co-authors | 46 h-index [View h-graph](#)

[Set alert](#) [Edit profile](#) [Potential author matches](#) [Export to SciVal](#)

### Document & citation trends



[Analyze author outlet](#) [Citation overview](#)

### Most contributed Topics 2017–2021

**Cutting Fluids; Lubrication; Cutting Process**  
[80 documents](#)

**Heat Transfer; Heat Transfer Enhancement; Automobile Radiators**  
[16 documents](#)

**Surface Roughness; Carbide Tools; Inconel (Trademark)**  
[11 documents](#)

[View all Topics](#)

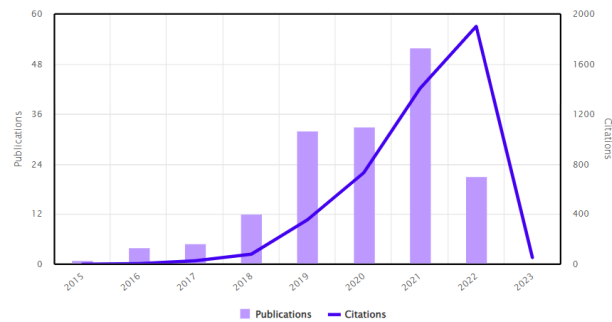
### WOS:

#### Web of Science Core Collection metrics

Citation counts are from Web of Science Core Collection.

**160** Publications in Web of Science | **4,555** Sum of Times Cited | **38** H-Index

#### Times Cited and Publications Over Time



#### Author Impact Beamplot

Niniejszym potwierdzam, że wyżej wymienione informacje są poprawne i aktualne.

.....  
(podpis wnioskodawcy)