

dr inż. Joanna Kowalczyk

Department of Mechanical Design
Kielce University of Technology,
Al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Poland
jkowalczyk@tu.kielce.pl

dr hab. inż. Monika Madej Prof. PŚK

Department of Mechanical Design
Kielce University of Technology,
Al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Poland
mmadej@tu.kielce.pl

prof. dr hab. inż. Dariusz Ozimina

Department of Mechanical Design
Kielce University of Technology,
Al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Poland
ozimina@tu.kielce.pl

Ocena właściwości eksploatacyjnych proekologicznej cieczy chłodząco-smarującej zawierającej asparaginian cynku

Słowa kluczowe: proekologiczna ciecz chłodząco-smarująca, asparaginian cynku, zużycie narzędzia, topografia powierzchni, badania mikrobiologiczne

Abstract: W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu cieczy chłodząco-smarującej z asparaginianem cynku na jakość technologiczną warstwy wierzchniej obrabianych elementów. Asparaginian cynku dotychczas nie był stosowany w takich rozwiązaniach, głównie wykorzystywany był w medycynie i farmakologii. W badaniach przeprowadzono analizę porównawczą proekologicznego chłodziwa zawierającego asparaginian cynku z klasycznym chłodziwem opartym na bazie oleju mineralnego. Ciecze chłodząco-smarujące poddano badaniom toksyczności oraz wykonano kontrolowany proces eksploatacji narzędzi w czasie toczenia poprzecznego. Wyniki badań wskazują, że zastosowanie chłodzenia cieczą na bazie asparaginianu cynku redukuje parametry chropowatości obrabianego materiału nawet o 35%, korzystnie wpływając na jakość finalną detalu.

1. Wstęp

Obróbka skrawaniem jest najczęściej stosowaną metodą kształtowania przedmiotów praktycznie we wszystkich technologiach produkcyjnych [18, 20], w czasie której stosowane są ciecze chłodząco-smarujące [2, 23]. Spełniają one szereg funkcji eksploatacyjnych, spośród których najważniejsze są: chłodzenie, smarowanie oraz poprawa stanu obrabianej powierzchni [22], transportowanie wiórów ze strefy obróbki [3] i czasowa ochrona wyrobu przed korozją [6, 21]. Płyny chłodząco-smarujące, aby mogły spełnić wyżej oczekiwane funkcje muszą mieć określony skład chemiczny, który nie może oddziaływać niekorzystnie na ludzi oraz środowisko [2, 6, 24]. Podczas obróbki skrawaniem stosuje się zazwyczaj ciecze chłodząco-smarujące na bazie wody lub oleju. Substancje smarujące na bazie oleju mineralnego są szeroko stosowane ze względu na niskie koszty. Największą ich wadą jest zanieczyszczanie środowiska, wynikające z trudnej do kontroli degradacji i toksyczności [18,

20]. Dodatkowo płyny te wzbogacane są dodatkami funkcyjnymi, takimi jak modyfikatory tarcia, wysokociśnieniowe EP, przeciwzużyciowe AW, inhibitory korozji, przeciwutleniacze, itp. [1, 3, 10, 16].

Yadav i in. [21] zbadali wpływ dodatków wysokociśnieniowych EP oraz przeciwzużyciowych AW w nowych i zużytych olejach silnikowych klasy SAE 15W40 oraz SAE 20W50 na zużycie badanych kulek. Testy przeprowadzono na czterokulowym testerze Ducom TR-30L, badania realizowano przy następujących parametrach: temperaturze 75°C, obciążeniu 392 N i przy stałej prędkości 1250 obr/min. Uzyskane wyniki wskazały, że średnica wytarcia po testach wzrasta stopniowo wraz ze zwiększaniem czasu eksploatacji olejów silnikowych. Stwierdzono, że działanie dodatków EP i AW determinowane jest przede wszystkim warunkami eksploatacji olejów silnikowych.

Maruda i in. [9] przeprowadzili badania wpływu dodatków wysokociśnieniowych i przeciwzużyciowych (EP/AW) na topografię powierzchni stali podczas toczenia z wykorzystaniem różnych środków chłodzących w zmiennych warunkach prędkości przepływu. Wyniki wykazały, że dodanie dodatków na bazie estru fosforanowego do ośrodka aktywnego spowodowało tworzenie się tribofilmu na styku narzędzie/wiór, który wpłynął na zmniejszenie tarcia. Wykorzystanie metody smarowania minimalną ilością chłodziwa z dodatkami EP/AW doprowadziło do poprawy parametrów topografii powierzchni.

W innym artykule Maruda i in. [10] porównali toczenie: na sucho z chłodzeniem sprężonym powietrzem, mgłą emulsyjną, mgłą emulsyjną + Crodafos O4A-LQ- (MH) i mgłą emulsyjną + Crodafos EHA-LQ- (MH). Wyniki badań wskazały, że użycie podczas toczenia mgły emulsyjnej z modyfikatorami obniżają parametry chropowatości obrabianego materiału nawet o 80%.

Ponadto Maruda i in. [8] zbadali możliwość wprowadzenia dodatków AW i AS we mgłę emulsyjnej podczas smarowania najpierw na obrabianej powierzchni elementu maszyny, a następnie do strefy kontaktu pary cieiernej. W wyniku tak przeprowadzonych testów uzyskano poprawę jakości powierzchni obrabianej – uzyskano mniejszą chropowatość obrabianej powierzchni stali nierdzewnej, dodatkowo wprowadzone do emulsji dodatki na bazie estrów fosforanowych intensyfikowały to działanie. Wykazano, że dodatek na bazie fosforanów pozostaje na obrabianej powierzchni w znacznych ilościach, nawet po 30 minutach pracy przy dużych obciążeniach, zmniejszając chwilowo współczynnik tarcia i temperaturę w strefie kontaktu.

Na rynek wprowadzane są środki smarowe na bazie oleju roślinnego ze względu na ich biodegradowalność oraz nietoksyczność. Stanowią one potencjalną alternatywę do przygotowania smarów eliminujących pochodne ropy naftowej [15, 17].

Wiele prac poświęcono badaniom cieczy obróbkowych opartych na olejach roślinnych. Ozelik i współautorzy [14] badali chłodziwa na bazie oleju słonecznikowego oraz rzepakowego z dodatkiem wysokociśnieniowym EP o zawartości 8% i 12%. Wyniki tych badań dowodzą, że ciecz obróbkowa zawierająca olej rzepakowy wykazała lepszą jakość powierzchni obrobionego detalu w porównaniu z olejem słonecznikowym o ponad 11% i 4%, odpowiednio dla zawartości 8% dodatku EP oraz 12% dodatku EP. Kumar i jego zespół [5] badali chłodziwo z olejem kokosowym z dodatkami wysokociśnieniowymi EP. Wykazali, że olej kokosowy zmniejszył siłę posuwu o 31%, siłę nacisku o 28%, siłę skrawania o 20%, temperaturę narzędzia skrawającego o 7% oraz zużycie powierzchni przyłożenia narzędzia o 34% w porównaniu do innych cieczy obróbkowych. Z kolei Zhang i in. [24, 25] badaniom poddali chłodziwa na bazie soi, którą porównano do ropopochodnych cieczy obróbkowych oraz obróbką na sucho. Wykazali, że chłodziwo na

bazie soi działało podobnie, jak ropopochodna ciecz obróbkowa. Jednocześnie uzyskano znacznie lepszą chropowatość powierzchni detalu i mniejsze zużycie narzędzia niż po obróbce bez chłodziwa.

Trajano oraz współautorzy [19] przeprowadzili badania tribologiczne oleju słonecznikowego i sojowego zawierającego dodatki CuO oraz nanocząsteczki ZnO. W przypadku nanopłynów sojowych o stężeniu 0,5% wag. CuO i ZnO współczynnik tarcia zmalał odpowiednio o 11% oraz 18%. Natomiast dla oleju słonecznikowego z tą samą frakcją wypełniacza współczynnik tarcia zmalał o 22% i 20%, odpowiednio dla CuO i ZnO.

Z przeprowadzonej powyżej analizy literatury stwierdzono, że w obszarze badań chłodziw istnieją duże luki badawcze. Dotychczas nie prowadzono badań w celu określenia wpływu asparaginianu cynku jako biodegradowalnego dodatku modyfikującego do cieczy chłodziwo-smarujących. Analiza bibliometryczna wskazała na zastosowanie asparaginianu cynku jedynie w medycynie i farmakologii. Wykorzystanie asparaginianu cynku jako dodatku do cieczy obróbkowych powinno wpłynąć na poprawę właściwości smarowych oraz utrzymanie w odpowiednim stanie eksploatacyjnym maszyn i urządzeń [4].

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań uzyskane podczas procesu obróbki skrawaniem z zastosowaniem nietoksycznej cieczy chłodziwo-smarującej zawierającej asparaginian cynku. Określono również wpływ na wybrane wskaźniki i jakość powierzchni obrabianego detalu.

2. Materiały stosowane do badań

2.1. Ciecze obróbkowe

Do badań użyto nieobciążającej środowisko cieczy chłodziwo-smarującej zawierającej asparaginian cynku o stężeniu 5%, opartej na bazie wody demineralizowanej DEMI. W skład chłodziwa wchodzi, m.in.:

- boran alkanoloaminy;
- biodegradowalny oligomer na bazie poli (kwasu-asparaginowego) (PKA);
- woda demineralizowana.

Podstawą biostabilności cieczy chłodziwo-smarującej są poliasparaginiany cynku. Właściwości fizyczne i chemiczne zastosowanej cieczy chłodziwo-smarującej zawierającej asparaginian cynku przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości cieczy chłodziwo-smarującej zawierającej asparaginian cynku

Kolor	Zapach	pH, 3%	Gęstość, g/cm ³	Rozpuszczalność w wodzie
od pomarańczowej do czerwonej	specyficzny	9,2 ÷ 9,7	1,20 ÷ 1,25	rozpuszczalna

Chłodziwo zawierające asparaginian cynku porównano z komercyjną cieczą obróbkową. W jej skład wchodzi głównie olej mineralny, a ponadto: alkohole o długości łańcucha alifatycznego C16÷18, etoksylowane, kwas borowy, dicykloheksyloaminę, 3-Iodo-2-propynylbutylkarbaminian, 1,2-benzoizotiazol-3(2H)-jeden. Stosowana jest od ogólnej do ciężkiej obróbki skrawaniem aluminium, stali, żeliwa, metali nieżelaznych, stopów aluminium, mosiądzu oraz miedzi. Chłodziwo to przyczynia się do powstawania dobrej jakości obrabianych powierzchni. Podstawowe parametry cieczy chłodziwo-smarującej zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowe parametry porównywanej cieczy chłodząco-smarującej na bazie oleju mineralnego

Kolor	Zapach	Zawartość oleju mineralnego	pH, 5%	Gęstość, g/cm ³	Rozpuszczalność w wodzie
żółto-brązowa	jak olej mineralny	56%	9,1	0,92 ÷ 0,96	rozpuszczalna

2.2. Narzędzie i materiał obrabiany

Do toczenia powierzchni czołowych wykorzystano narzędzie wykonane ze stali HS6-5-2C. Stal ta charakteryzuje się bardzo dobrą ciągliwością, udurowieniem oraz odpornością na ścieranie. Przeznaczona jest ona do pracy na gorąco i może być poddawana obróbce cieplnej w podwyższonych temperaturach: hartowania – 1190 ÷ 1230°C oraz odpuszczania – 550 ÷ 650°C. Jej twardość po ulepszeniu cieplnym w temperaturach 500 ÷ 550°C wynosi 65 HRC. Skład chemiczny stali HS6-5-2C zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Skład chemiczny stali wolframowo-molibdenowej HS6-5-2C

Pierwiastek	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	W	V	Co	Cu
Udział, %	0,82÷ 0,92	max 0,4	max 0,5	max 0,03	max 0,03	3,5÷ 4,5	max 0,4	4,5÷ 5,5	6 ÷ 7	1,7÷ 2,1	max 0,5	max 0,3

Wybór narzędzi ze stali HS6-5-2C był podyktowany tym, że narzędzia te są powszechnie stosowane w obróbce skrawaniem. Szacuje się, że ich udział w produkcji wynosi ok. 40%. Mimo zwiększania się popytu na narzędzia z węglików spiekanych, które można stosować przy dużych prędkościach w obróbce skrawaniem na obrabiarkach CNC, narzędzia ze stali szybko tnących są nadal ekonomiczną alternatywą, biorąc pod uwagę ich cenę oraz łatwość ostrzenia. Coraz częściej na narzędzia wykorzystywane są stale szybko tnące otrzymywane metodą spiekania proszków, a na ich ostrza nanoszone są złożone powłoki dedykowane do konkretnych zastosowań.

Materiałem obrabianym był wałek o średnicy 38 mm wykonany ze stali C45. Jest to stal niestopowa, do ulepszenia cieplnego, trudno spawalna, łatwa w obróbce, której skład chemiczny przedstawiono w tabeli 4. Stal C45 stosowana jest na średnio obciążone elementy maszyn i urządzeń. Wyroby z tego materiału mogą być hartowane powierzchniowo, uzyskując twardość 50 ÷ 60 HRC.

Tabela 4. Skład chemiczny stali C45

Pierwiastek	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Cu
Udział, %	0,42÷ 0,5	0,5÷ 0,8	0,1÷ 0,4	max 0,04	max 0,04	max 0,3	max 0,3	max 0,3	max 0,1	max 0,3

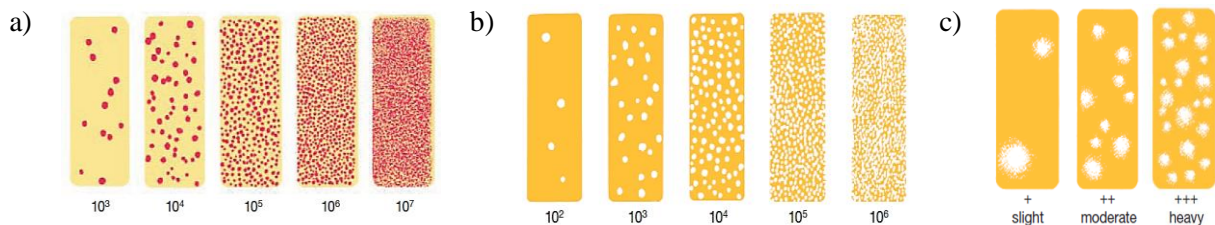
3. Metodyka badań

Do badań kinetyki termooksydacyjnej płynów eksploatacyjnych zastosowano spektrometr podczerwieni FTIR Spectrum Two z przystawką ATR firmy Perkin Elmer. Wykonano pomiary próbek czystego oligomeru oraz po przeprowadzonych modelowych badaniach tribologicznych. W czasie badań spektralnych stosowano następujące parametry analityczne:

- zakres spektralny: 4000 ÷ 400 cm⁻¹;
- liczba skanów tła: powietrze oraz próbki – 4.

Do oceny mikrobiologicznej – toksyczności chłodziwa użyto specjalny zestaw Microbiology Cult Dip Combi, umożliwiający ustalenie obecności drobnoustrojów. Składał

się on z pojemników z przytwierdzonymi płytkami testowymi pokrytymi odpowiednimi pożywkami. Jedna ze stron płytek testowych była jaśniejsza i służyła do wykrywania obecności bakterii, a druga strona – ciemniejsza do wykrywania obecności drożdży i grzybów. Wszystkie części zestawu do badań były sterylne. Testom toksyczności zgodnie z instrukcją [12] poddano chłodziwo zawierające asparaginian cynku oraz konwencjonalne chłodziwo na bazie oleju mineralnego. Pierwsze sprawdzenie próbek nastąpiło po 48 godzinach, drugie po 96 godzinach, a trzecie – po 7 dniach. Po upływie 7 dni próbki poddano ocenie organoleptycznej i porównano ze wzorcami kolonii mikroorganizmów (Rys. 1).



Rys. 1. Wzorce kolonii mikroorganizmów: a) bakterii, b) drożdży, c) pleśni [12]

Proces toczenia poprzecznego przeprowadzono na tokarce sterowanej numerycznie CTX 310 ECO produkcji DMG MORI z wykorzystaniem sterowania Sinumerik 810. Zastosowanie stałej prędkości obrotowej 400 m/min podczas toczenia poprzecznego, spowodowało, że prędkość skrawania v_c dla każdego przejścia zmieniała się cyklicznie w zakresie $47,5 \div 0$ m/min. W celu porównania właściwości cieczy chłodziwo-smarującej zawierającej asparaginian cynku z chłodziwem na bazie oleju mineralnego wykonano toczenie poprzeczne przy użyciu obu cieczy. Po procesie toczenia badano zużycie oraz obserwowano narosty na narzędziach. Parametry toczenia przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Parametry skrawania

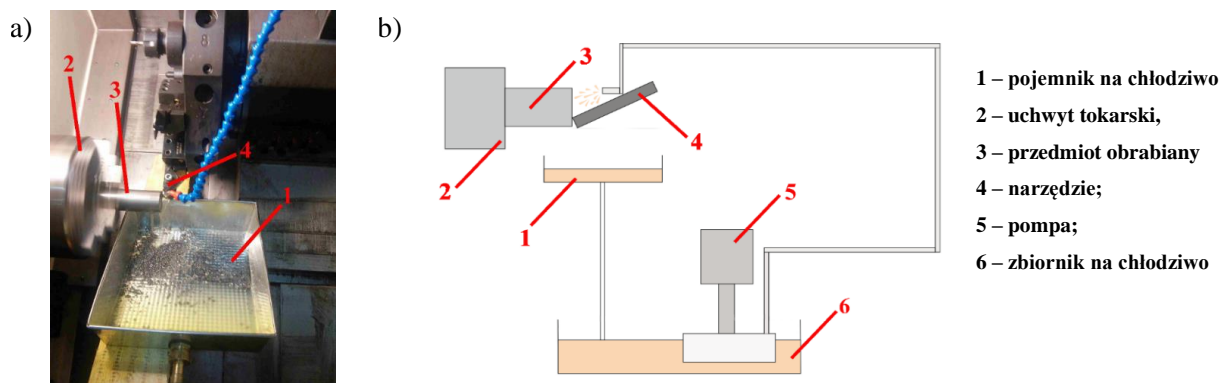
Prędkość skrawania, v_c , m/min	Posuw na obrót, f , mm/obr	Głębokość skrawania, a_p , mm
47,5 ÷ 0	0,098	0,5

Do badań zastosowano wymienne narzędzia skrawające – noże oprawkowe „stalki” o przekroju kwadratowym o wymiarach 10 mm x 10 mm, które mocowano w oprawce do stalek. Stalki wykonane były ze stali szybko tnącej HS6-5-2C. Charakteryzowały się one następującą geometrią:

- kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej $K_r = 36,6^\circ$ w płaszczyźnie podstawowej P_r ,
- pomocniczy kąt przystawienia $K_r' = 53,4^\circ$,
- dodatni kąt natarcia $= 5,3^\circ$,
- kąt naroża $\varepsilon_r = 90^\circ$,
- kąt podchylenia krawędzi skrawającej $\lambda_s = 7^\circ$ w płaszczyźnie krawędzi skrawającej P_s ,
- kat przyłożenia $\alpha = 5,3^\circ$,
- kąt natarcia $\gamma = 7^\circ$,
- kąt ostrza $\beta = 77,7^\circ$,
- promień naroża $r_s = 0,04$ mm.

Materiałem obrabianym był wałek ze stali C45 o średnicy 38 mm.

Podczas toczenia zastosowano konwencjonalne chłodzenie zalewowe na powierzchnię natarcia narzędzia. Widok oraz schemat systemu doprowadzania i odprowadzania chłodziwa przedstawiono na Rysunku 2.



Rys. 2. Zewnętrzny system obiegu chłodziwa podczas toczenia poprzecznego na tokarce CTX 310 ECO: a) widok, b) schemat

Wykonano 10 etapów toczenia poprzecznego, z czego pierwszy liczył 10 przejść, a każdy następny był zwiększany o 10 przejść (Rys. 3). Po każdym etapie odcinano cienki kawałek – „plasterek” materiału obrabianego oraz wymieniano narzędzie skrawające.



Rys. 3. Schemat przebiegu procesu toczenia poprzecznego dla noży skrawających

Celem badań była ocena podstawowych funkcji eksploatacyjnych nowej cieczy chłodząco-smarującej zawierającej asparaginian cynku oraz zużycie noża podczas toczenia powierzchni czołowych.

Do oceny topografii powierzchni elementów obrabianych oraz narzędzi skrawających wykorzystano skaningowy mikroskop elektronowy JSM-7100F firmy JEOL. Mikroanalizator EDS umożliwił identyfikację pierwiastków na powierzchni narzędzi skrawających w miejscu powstania narostu, po 10-tym cyklu toczenia z zastosowaniem chłodziw.

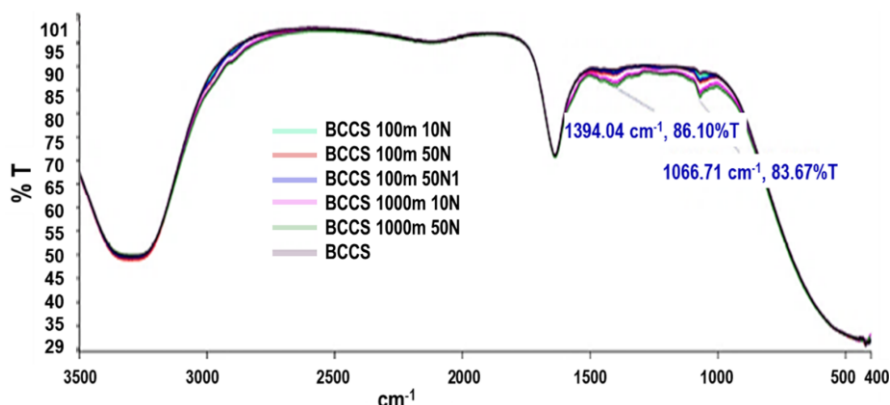
Strukturę geometryczną detali po toczeniu obrazowano przy użyciu mikroskopu konfokalnego DCM8 firmy Leica. Dodatkowo do obserwowania zużycia narzędzi skrawających po obróbce wykorzystano stereoskopowy mikroskop inspekcyjny SX80.

4. Wyniki badań

Na Rysunku 4 przedstawiono zestawienie widm, gdzie zaobserwowano wyraźne nasilenie się dwóch pasm wraz ze wzrostem obciążenia i drogi tarcia. Zarejestrowane sygnały o słabej intensywności z maksimum pików przy około 1394 oraz 1066 cm^{-1} , które odpowiadają drganiom rozciągającym wiązania grupy C-O (COH). Świadczy to o zainicjowaniu procesów degradacji chłodziwa i utworzeniu grupy karboksylowej. Obserwacje cieczy chłodząco-smarującej zawierającej asparaginian cynku po testach tribologicznych wskazują zmianę jej

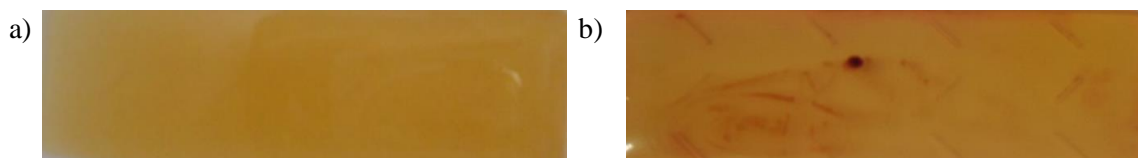
barwy. Wraz ze wzrostem obciążenia oraz drogi tarcia staje się ona coraz ciemniejsza, od jasnożółtej do brązowej.

Ciecz chłodząco-smarującą można poddać regeneracji poprzez uzupełnienie składnika podstawowego – asparaginianu cynku oraz kontrolę pozostałych parametrów eksploatacyjnych.

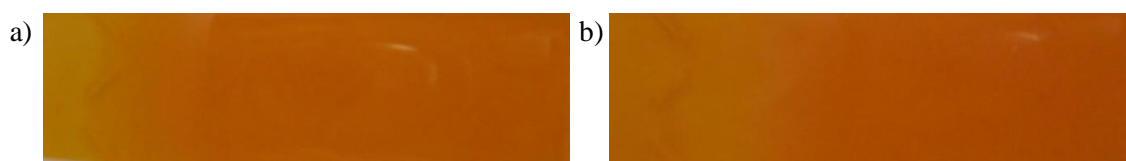


Rys. 5. Zestawienie widm FTIR dla chłodziwa przed i po testach

Przy użyciu zestawu Microbiology Cult Dip Combi wykonano ocenę toksyczności chłodziwa zawierającego asparaginian cynku i dla porównania cieczy obróbkowej opartej na bazie oleju mineralnego. Do badań użyto po dwie próbki testowe dla chłodziw poddawanych ocenie. Po upływie 7 dni próbki testowe poddano obserwacjom (Rys. 5 i 6).



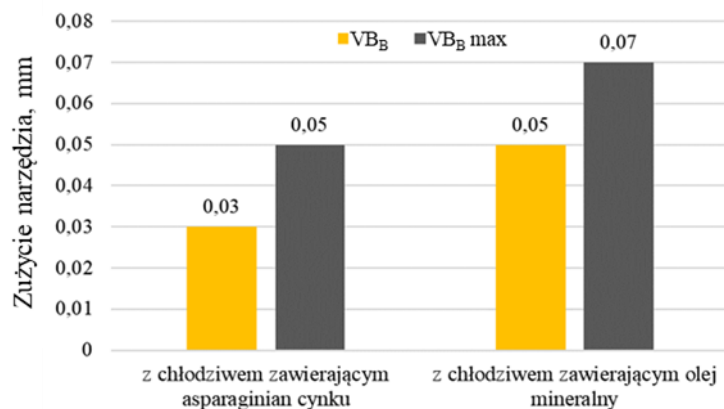
Rys. 5. Widok próbek testowych po upływie 7 dni – bakterie dla chłodziwa: a) zawierającego asparaginian cynku, b) na bazie oleju mineralnego



Rys. 6. Widok próbek testowych po upływie 7 dni – drożdże i pleśń dla chłodziwa: a) zawierającego asparaginian cynku, b) na bazie oleju mineralnego

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że ciecz chłodząco-smarująca zawierająca asparaginian cynku jest nietoksyczna. Nie doszło do powstania choćby najmniejszej kolonii bakterii (Rys. 5a), drożdży ani pleśni (Rys. 6a). Natomiast na jednej z próbek testowych, które zanurzone były w chłodziwie na bazie oleju mineralnego zaobserwowano kilka plamek po stronie bakterii (Rys. 5b). Zgodnie z instrukcją [12] powstałe plamki świadczą o powstaniu niewielkiej infekcji. Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki chłodziwo zawierające asparaginian cynku okazało się lepsze niż chłodziwo na bazie oleju mineralnego.

Przy użyciu oprogramowania z mikroskopu inspekcyjnego przeprowadzono pomiary zużycia na powierzchni przyłożenia narzędzi skrawających zgodnie z normą [13], które przedstawiono na Rysunku 7.

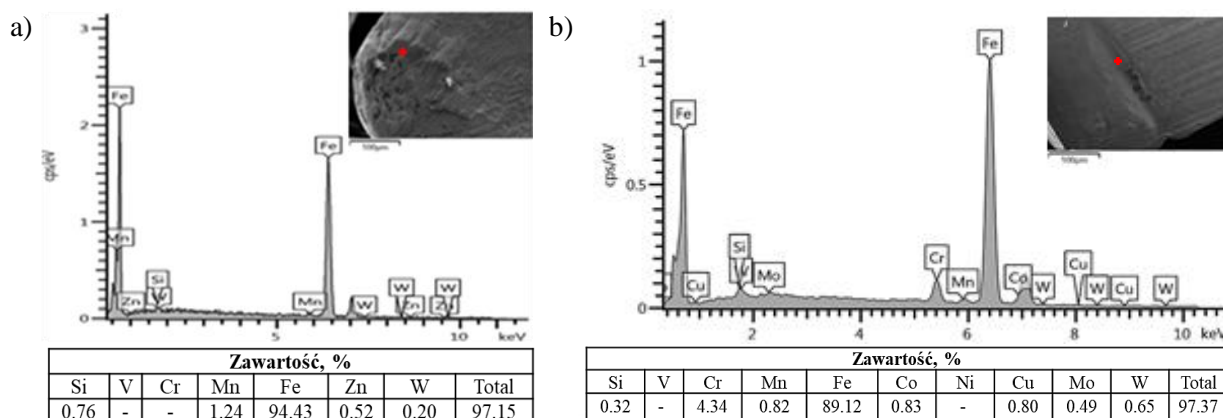


Rys. 7. Wskaźniki zużycia narzędzi skrawających ze stali HS6-5-2C po toczeniu z chłodziwami

Z otrzymanych wykresów wynika, że wartość średniej VB_B oraz maksymalnej $VB_B \max$ szerokości pasma zużycia osiągnęła niższą wartość równą odpowiednio 0,03 mm i 0,05 mm po obróbce z chłodziwem zawierającym asparaginian cynku. Większe wartości parametrów opisujących zużycie narzędzi otrzymano po toczeniu z zastosowaniem chłodziwa zawierającego olej mineralny.

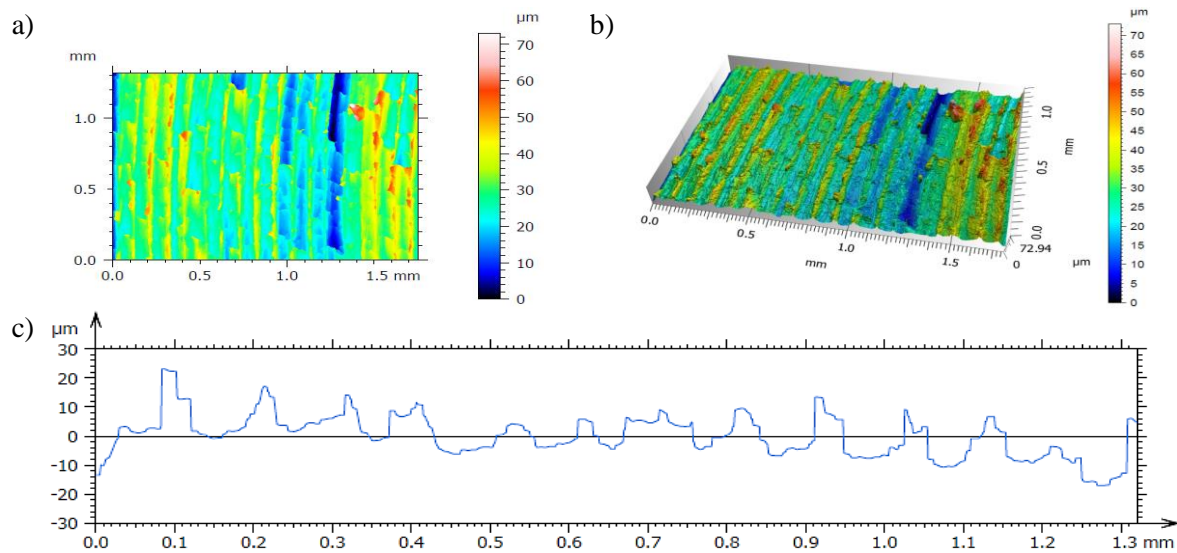
Na Rysunku 8 zaprezentowano obrazy śladów zużycia ostrzy skrawających po obróbce na sucho i z zastosowaniem chłodziw uzyskane na skaningowym mikroskopie elektronowym oraz wyniki analiz składu chemicznego w mikroobszarach wykonanych metodą EDS. Po ostatniej 10 próbie toczenia z chłodziwami na narzędziach skrawających w miejscu zużycia powstały narosty, których skład chemiczny zbadano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego.

Po toczeniu z cieczą chłodziwo-smarującą zawierającą asparaginian cynku w analizowanym punkcie zarejestrowano oprócz pierwiastków wchodzących w skład narzędzia dodatkowo koncentrację atomów cynku. Oznacza to, że powstała cienka warstwa powierzchniowa związków cynku o właściwościach przeciwzużyciowych. Powstała ona jako rezultat procesów tribochemicznych, które zachodzą głównie między dodatkami uszlachetniającymi, zawartymi głównie w środkach smarowych a powierzchniami trącymi. Szybkość i rodzaj reakcji chemicznych jest uzależniony od warunków pracy węzła tarcia. Wytworzona w taki sposób powierzchniowa warstwa reakcyjna zmienia warunki pracy elementów współpracujących tarcio, co wywołuje kolejne reakcje tribochemiczne. Taka powierzchniowa warstwa wpływa na obniżenie tarcia, a także przedłużenie trwałości eksploatacyjnej elementów współpracujących tarcio [16].

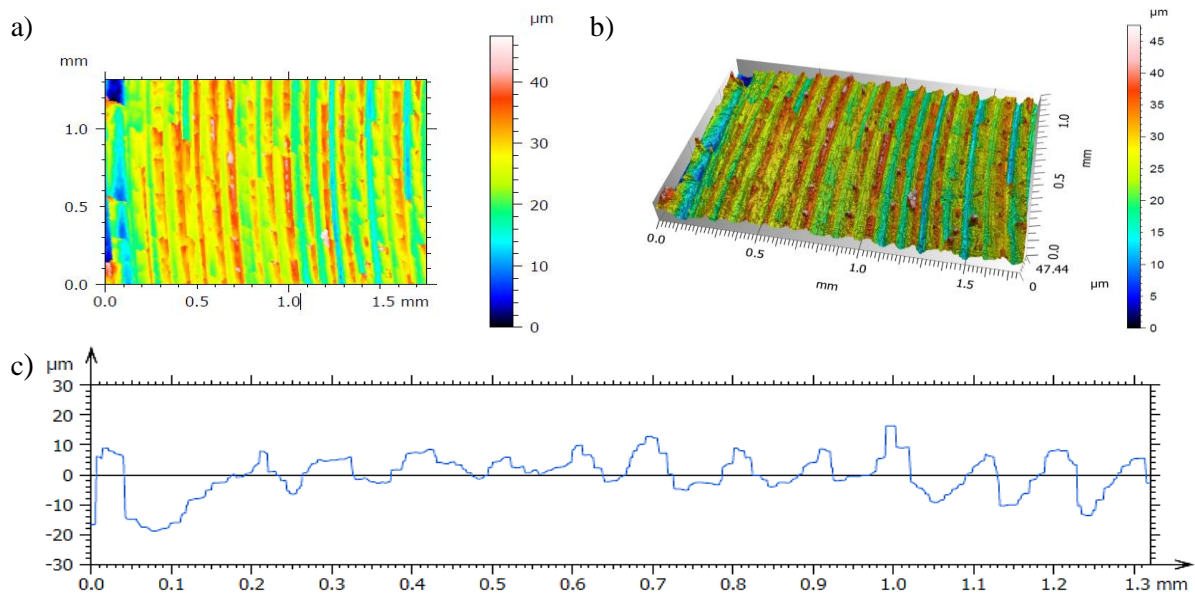


Rys. 8. Widmo charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego z obszaru śladu zużycia ostrza skrawającego po toczeniu z chłodziwem zawierającym: a) asparaginian cynku, b) olej mineralny

Na Rysunkach 9 i 10 przedstawiono topografię oraz profile chropowatości powierzchni obrabianych przedmiotów w wybranych obszarach, otrzymanych po 10 etapie toczenia na sucho oraz z cieciami chłodząco-smarującymi.



Rys. 9. Struktura geometryczna brzegu obrabianego przedmiotu po toczeniu z chłodziwem zawierającym olej mineralny: a) mapa warstwicowa, b) widok izometryczny, c) profil pierwotny



Rys. 10. Struktura geometryczna brzegu obrabianego przedmiotu po z chłodziwem zawierającym asparaginian cynku: a) mapa warstwicowa, b) widok izometryczny, c) profil pierwotny

Porównując mapy warstwicowe, widoki izometryczne i profile pierwotne zaobserwowano w obu przypadkach równomierne rozłożenie wierzchołków [7] prawie co 1 mm (posuw wynosił 0,098 mm). Najniższe wzniesienia ok. 16 μm oraz najpłytsze wgłębienia ok. 15 μm powstały na elemencie po toczeniu z zastosowaniem cieczy chłodząco-smarującej zawierającej asparaginian cynku. Natomiast najwyższe wzniesienia i wgłębienia sięgały ok. 20 μm odnotowano po toczeniu z zastosowaniem chłodziwa zawierającego olej mineralny.

W tabeli 6 przedstawiono parametry struktury geometrycznej powierzchni materiałów obrabianych powstałych po toczeniu z zastosowaniem cieczy chłodząco-smarującej zawierającej asparaginian cynku i chłodziwa zawierającego olej mineralny.

Tabela 6. Parametry struktury geometrycznej powierzchni materiałów obrabianych po toczeniu

Warunki toczenia	Parametry struktury geometrycznej powierzchni						
	Sa	Sq	Sp	Sv	Sz	Ssk	Sku
	μm	μm	μm	μm	μm	-	-
z chłodziwem zawierającym olej mineralny	6,41	8,44	44,32	28,62	72,94	0,26	4,06
z chłodziwem zawierającym asparaginian cynku	5,00	6,31	22,12	25,32	47,44	-0,22	3,34

Zestawiając wartości parametrów chropowatości powierzchni obrabianych elementów po procesie toczenia poprzecznego z zastosowaniem chłodziwa zawierającego asparaginian cynku odnotowano niższe wartości niż z użyciem chłodziwa z olejem mineralnym. Świadczy to o tym, że ciecz chłodząco-smarująca wpływa na poprawę jakości powierzchni elementów obrabianych.

4. Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Zastosowane w procesie toczenia poprzecznego chłodziwo z asparaginianem cynku wpłynęło na zmniejszenie zużycia elementów systemu tribologicznego poprzez tworzenie warstw zawierających związki cynku o dobrych właściwościach przeciwzużyciowych.
2. Najniższe wzniesienia oraz najpłytsze wgłębienia powstały na elemencie po toczeniu z zastosowaniem cieczy chłodząco-smarującej zawierającej asparaginian cynku.
3. Morfologia powierzchni w procesie toczenia zależy od kierunku ruchu oraz wielkości posuwu.
4. Nietoksyczne chłodziwo z asparaginianem cynku w procesie obróbki ulegało reakcyjnej przemianie uzależnionej od warunków eksploatacji.
5. Stwierdzono, że ciecz chłodząco-smarująca zawierająca asparaginian cynku nie wykazuje właściwości toksycznych i może być poddawana prostej regeneracji.
6. Badana ciecz chłodząco-smarująca ze względu na dobre właściwości proekologiczne może być stosowana podczas eksploatacji na konwencjonalnych tokarkach, gdzie bezpośredni kontakt operatora z chłodziwem jest większy niż na tokarkach sterowanych numerycznie.
7. Ciecz obróbkowa z asparaginianem cynku zagwarantowała lepszą jakość technologiczną warstwy wierzchniej obrabianych elementów oraz wydłużyła czas pracy narzędzia ze stali szybko tnącej w porównaniu do klasycznego chłodziwa. Wartości parametrów chropowatości powierzchni obrabianych elementów były niższe (dla parametru Sa o 22%, Sq o 25%, Sp o połowę, Sv o 11%, Sz o 35%, Ssk ponad 2 razy, a Sku o 17%) niż z użyciem chłodziwa z olejem mineralnym.

References

1. Brinksmeier E, Meyer D, Huesmann-Cordes A G, Herrmann C. Metalworking fluids – Mechanisms and performance. CIRP Annals – Manufacturing Technology 2015; 64(2): 605–628.
2. Jain A, Kumar S, Bajpai V, Wook Park H. Replacement of Hazard Lubricants by Green Coolant in Machining of Ti6Al4V: A 3D FEM Approach. The International Journal of Precision Engineering and Manufacturing 2019; 20 (6): 1027–1035.

3. Kępczak N, Rosik R, Pawłowski W, Sikora M, Witkowski B, Bechciński G, Stachurski W. The dynamics of wear of cutting inserts during turning of non-homogeneous material on the example of polymer concrete. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2018; 3 (20): 478–483.
4. Kowalczyk J. Ocena właściwości wybranych proekologicznych cieczy chłodząco-smarujących w systemach tribologicznych z powłokami przeciwzużyciowymi. Rozprawa doktorska, Kielce: PŚk Publisher, 2019.
5. Kumar B S, Padmanabhan G, Krishna P V. Experimental Investigations of Vegetable Oil Based Cutting Fluids with Extreme Pressure Additive in Machining of AISI 1040 Steel. *Manufacturing Science and Technology* 2015, 3: 1–9.
6. Li K M, Liang S Y. Performance profiling of minimum quantity lubrication in machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2007; 35: 226–233.
7. Maruda R, On the surface roughness of 316L austenitic stainless steel after turning when cooling with MQCL method. *Mechanik* 2016; 8-9: 1058–1059.
8. Maruda R W, Feldshtein E E, Legutko S, Królczyk G M. Improving the efficiency of running-in for a bronze-stainless steel friction pair. *Journal of Friction and Wear* 2015; 36 (6): 548–553.
9. Maruda R W, Królczyk G M, Wojciechowski Sz, Żak K, Habrat W, Niesłony P. Effects of extreme pressure and anti-wear additives on surface topography and tool wear during MQCL turning of AISI 1045 steel. *Journal of Mechanical Science and Technology* 2018; 32 (2): 1585–1591.
10. Maruda R W, Legutko S, Królczyk G M, Hloch S, Michalski M. An influence of active additives on the formation of selected indicators of the condition of the X10CrNi18-8 stainless steel surface layer in MQCL conditions. *International Journal of Surface Science and Engineering* 2015; 9 (5): 452–465.
11. McNutt J, He Q. Development of biolubricants from vegetable oils via chemical modification. *Journal of Industrial Engineering Chemistry* 2016; 36: 1–12.
12. Microbiology – 100778 Cult-Dip combi – instrukcja badania toksyczności, test bakteriologiczny.
13. Norma PN-ISO 3685 Badanie trwałości noży tokarskich punktowych.
14. Ozcelik B, Kuram E, Huseyin C M, Demirbas E. Experimental investigations of vegetable based cutting fluids with extreme pressure during turning of AISI 304L. *Tribology International* 2011, 44: 1864–1871.
15. Park K H, Yang G D, Lee D Y. Tool wear analysis on coated and uncoated carbide tools in inconel machining. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 2015; 16(7): 1639–1645.

16. Płaza S, Margielewski L, Celichowski G. Wstęp do tribologii i tribochemia, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2005.
17. Sartori S, Taccin M, Pavese G, Ghiotti A, Bruschi S. Wear mechanisms of uncoated and coated carbide tools when machining Ti₆Al₄V using LN₂ and cooled N₂. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2018; 95(1 – 4): 1255–1264.
18. Styp-Rekowski M, Matuszewski M, Oborski I L. Possibilities of some constructional materials cutting by means of water-abrasive jet. Journal of Polish CIMAC 2012; 7 (3): 293–300.
19. Trajano M F, Moura E I F, Ribeiro K S B, Alves S M. Study of oxide nanoparticles as additives for vegetable lubricants. Journal of Materials Research 2014, 17, 1124–1128.
20. Wartacz A, Świć A, Zubrzycki J. The waste of tool blade, and a change of turning parameters in next cuts. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2004; 4 (24): 58–61.
21. Yadav G, Tiwari S, Jain M L. Tribological analysis of extreme pressure and anti-wear properties of engine lubricating oil using four ball tester. Materials Today: Proceedings 2018; 5: 248–253.
22. Yoon H S, Kim M S, Jang K H, Ahn S H. Future perspectives of sustainable manufacturing and applications based on research databases. The International Journal of Precision Engineering and Manufacturing 2016; 17(9): 1249–1263.
23. Zaleski K. The metod of investigations of lubricating properties of cutting fluids, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2004; 4 (24): 62–65.
24. Zhang J L, Rao P N. Green/Sustainable Manufacturing–Evaluation of a Soybean-Based Metal Cutting Fluid in Turning Operation. Applied Mechanics and Materials 2013, 392: 925–930.
25. Zhang J, Rao P N, Eckman M. Evaluation of bio-based cutting fluids in using multiple quality characteristics through Taguchi design method. International Journal Modern Engineering 2012, 12: 35–44.