

# Biodegradowalne ciecze chłodząco-smarujące w systemach tribotechnologicznych z elementami stalowymi

mgr inż. Joanna Kowalczyk\*, mgr inż. Krystian Milewski\*, dr inż. Tomasz J. Katdoński\*\*

\* Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

\*\* Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny

W artykule przedstawiono wyniki badań tribologicznych ze smarowaniem biodegradowalną cieczą chłodząco-smarującą zawierającą dodatek uszlachetniający – asparginian cynku. Badania tribologiczne przeprowadzono na testerze T-01 M pracującym w skojarzeniu trącem kula-tarcza w ruchu ślizgowym. Analizę struktury geometrycznej powierzchni próbek oraz przeciwpróbek przed i po testach tribologicznych wykonano profilometrem optycznym Talysurf CCI Lite. Pomiar kąta zwilżania wykonano za pomocą urządzenia KSV CAM 100 wraz z przyrządem chłodniczym. Badania wykazały, że ciecz obróbkowa doskonale spełnia swoje funkcje chłodzące i smarujące. Wpłynęła ona na powstanie przeciwтарыowych warstw granicznych, które zabezpieczyły przed bezpośrednim kontaktem powierzchni współpracujących tarczo, co spowodowało zmniejszenie oporów ruchu w czasie prowadzenia testów.

## 1. Wprowadzenie

W trakcie obróbki skrawaniem oprócz narzędzi skrawających ważną rolę odgrywają ciecze chłodząco-smarujące (CCS). Pełnią one wiele funkcji, między innymi zmniejszają tarcie, chłodzą obrabiany przedmiot oraz odprowadzają wióry. Ponadto ciecze obróbkowe zmniejszają zużycie narzędzi dzięki czemu przedłużają jego trwałość, jak również poprawiają jakość obrabianych powierzchni, chronią je przed korozją oraz minimalizują siły tnące oszczędzając energię [1-5].

Główne składniki chłodziwa to olej podstawowy, emulgatory, inhibitory: korozji, smarowania, przeciwozrywcze, wysokiego ciśnienia i przeciwpienne, ponadto dodatki neutralizujące, biocydy, środki grzybobójcze oraz stabilizujące dodawane w celu uzyskania korzystnych właściwości oraz zmniejszenia szkodliwych skutków [4].

W pracy o charakterze dyskusyjnym zaproponowano wprowadzenie dwóch pojęć związanych z tribologią i technologią, tzn.: – tribotechnologia – oznaczająca operacje technologiczne w budowie maszyn wykorzystujące do realizacji

swojej funkcji procesy tribologiczne (tarcie toczne, ślizgowe, mieszane, z udarem i spoczynkowe) wraz z odpowiednim ich różnicowaniem, – technotribologia – obejmująca różnorodne operacje technologiczne stosowane do konstytuowania powierzchni systemów tribologicznych. Operacje te można



Rys. 1. Widok wiertarko-frezarki BFKP 130 w czasie wykonywania otworów z zastosowaniem cieczy chłodząco-smarującej

podzielić na: zmniejszające współczynnik tarcia, zwiększające współczynnik tarcia lub zwiększające odporność na zużycie obrabianych powierzchni systemu tribologicznego. Zaproponowano również uściślenie zakresu pojęcia tribotechnika, do którego zaliczono: tribochemię, technotribologię, projektowanie ukierunkowane na potrzeby tribologiczne (DFT) oraz planowanie i projektowanie eksperymentów tribologicznych (DoET).

Obecnie używane ciecze obróbkowe są niebezpieczne dla ludzi oraz środowiska. Podczas obróbki tworzą one mgły, które mogą wywoływać reakcje alergiczne, zapalenie skóry, podrażnienie oczu, a nawet nowotwory. Odpady cieczy obróbkowych mogą zanieczyszczać wody powierzchniowe i gruntowe. Poważnym wyzwaniem jest utylizacja i/lub recykulacja zużytego płynu obróbkowego. W związku z czym, nowoczesne ciecze obróbkowe powinny być całkowicie bezpieczne, biodegradowalne, a także posiadać dobrą zdolność do smarowania porównywalną z syntetycznymi [3-6].

Biodegradowalne ciecze chłodząco-smarujące mogą być wykorzystywane w centrach obróbkowych np. CNC wiertarko-frezarka BFKP 130. Na rysunku 1 przedstawiono proces wiercenia otworów w przegrodzie sitowej wykonanej ze stali węglowej normalizowanej SA-516 Gr.70 N. Element był spawany do wewnątrz wymiennika ciepła. Wymiar całkowity przegrody: grubość 13 mm, średnica 2279 mm. Ciecz chłodząco-smarująca była podawana przez wiertło. Zadaniem chłodziwa oprócz chłodzenia i smarowania, było zapewnienie ochrony przed korozją, zabezpieczenie przed powstawianiem zadziorów oraz zmniejszenie chropowatości obrabianych przedmiotów.

Obróbka skrawaniem jest bardzo złożonym procesem. Podczas obróbki zachodzi wiele zjawisk i reakcji fizycznych, chemicznych oraz tribotechnologicznych [7].

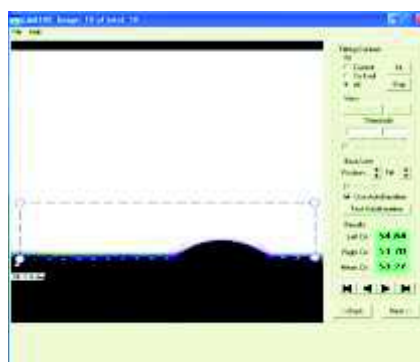
### Aparatura i metodyka badań

Pomiar kąta zwilżania wykonano za pomocą urządzenia KSV CAM 100 wraz z urządzeniem chłodniczym JULABO (rys. 2). Badanie polegało na umieszczaniu kropli cieczy (o objętości ok. 5  $\mu$ l) przy użyciu mikrostrzykawki Hamiltona na powierzchni metalowej próbki. Zdjęcia były wykonywane za pomocą kamery po upływie ok. 5 sekund od chwili nałożenia kropli na powierzchni badanej próbki (Rys. 3). Do badań użyto wody destylowanej oraz biodegradowalnej cieczy chłodząco-smarującej o różnych stężeniach vol. 1%, 5%, 10% oraz 100% (koncentrat badanej cieczy obróbkowej). Wykorzystana ciecz chłodząco-smarująca jest stosowana do obróbki metali, w skład której wchodzi m.in.: boran alkanolaminy, biodegradowalny polimer – zawierający asparginian cynku oraz woda. Krople nakładano na metalowe próbki ze stali HS6-5-2C.

Badania tribologiczne przeprowadzono na testerze T-01M pracującym w skojarzeniu kula-tarcza. Parę trącą stanowiła próbka ze stali narzędziowej HS6-5-2C oraz kula ze stali 100Cr6 o średnicy 10 mm. Testy zrealizowano przy stałej prędkości ślizgania równej 0,1 m/s, obciążeniu  $P = 10$  N oraz



Rys. 2. Urządzenie do pomiaru kąta zwilżania KSV CAM 100 z komorą pomiarową termostatową



Rys. 3. Widok okna programu z przykładowym pomiarem kąta zwilżania

50 N, na drodze tarcia równej 1000 m. Badania przeprowadzono w warunkach tarcia ze smarowaniem z zastosowaniem biodegradowalnej cieczy chłodząco-smarującej na bazie wody demineralizowanej DEMI zawierającej dodatek 5% vol. wodnego roztworu asparginianu cynku. Badania przeprowadzono w atmosferze laboratoryjnej przy wilgotności względnej  $50 \pm 5\%$  i temperaturze  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ . Do badania użyto wagi laboratoryjnej firmy Ohaus realizującej pomiar z dokładnością 0,0001 g.

Przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego JSM 7100F obserwowano przekroje poprzeczne powłok DLC, a identyfikację pierwiastków będących składnikami powłoki wykonano za pomocą analizy EDS. Analizę struktury geometrycznej powierzchni powłok DLC przed oraz po testach tribologicznych przeprowadzono profilometrem optycznym Talysurf CCI Lite.

### Wyniki badań

Kąt zwilżania ( $\psi_b$ ) jest to ilościowy pomiar zwilżania ciała stałego przez ciecz. Jest on określany geometrycznie, jako kąt uformowany przez ciecz, na granicy trzech faz, gdzie ciecz, gaz i ciało stałe przecinają się. Niskie wartości  $\psi_b$ , a mianowicie mniejsze niż  $90^\circ$  wskazują, że płyn dobrze smaruje lub nawilża, natomiast wysokie wartości oznaczają słabe zwilżenie [4].

Na rysunku 4 przedstawiono kąt zwilżania powierzchni trzyczęściowej ze stali HS6-5-2C. Najmniejszy kąt zwilżania odnotowano dla

LUBRICANTS.  
TECHNOLOGY.  
PEOPLE.



## Środki smarne dla przemysłu

[www.fuchs-oil.pl](http://www.fuchs-oil.pl)

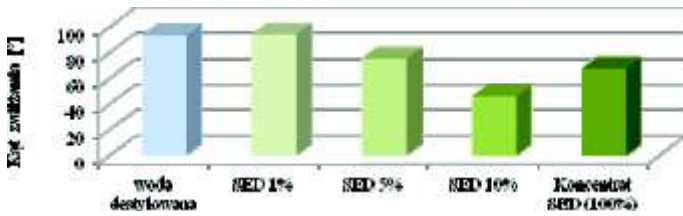
### Co nas wyróżnia:

- oferujemy najbardziej **innowacyjne** środki smarne, wszystkie nasze działania i projekty badawcze koncentrujemy na ich rozwoju,
- opracowujemy środki smarne **dopasowane** do wymogów i procesów produkcyjnych naszych Klientów,
- tworzymy **indywidualne** rozwiązania dla konkretnych zastosowań,
- dbamy, aby nasze produkty były **przyjazne środowisku** naturalnemu,
- naszym Klientom pomagamy wdrażać **oszczędne** rozwiązania poprzez optymalizację gospodarki smarowniczej.

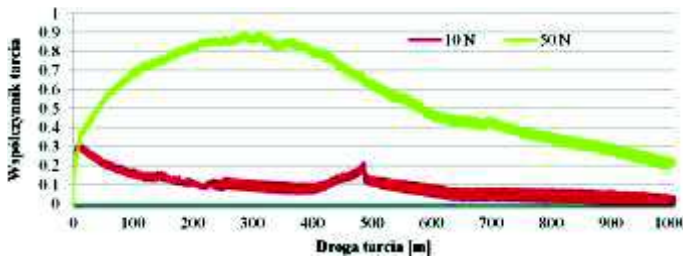
### Kompleksowa oferta:

- analizy serwisowe środków smarnych przeprowadzane w Laboratorium Kontroli Jakości Fuchs,
- stała obsługa logistyczno-doradcza Klienta,
- specjalistyczne doradztwo, wdrożenia i nadzór projektów technicznych,
- usługa outsourcingu gospodarki olejowej,
- budowa baz danych i nadzór nad dokumentacją,
- organizacja szkoleń i branżowych seminariów dla Klientów.





Rys. 4. Kąt zwilżania powierzchni tarcz ze stali HS6-5-2C



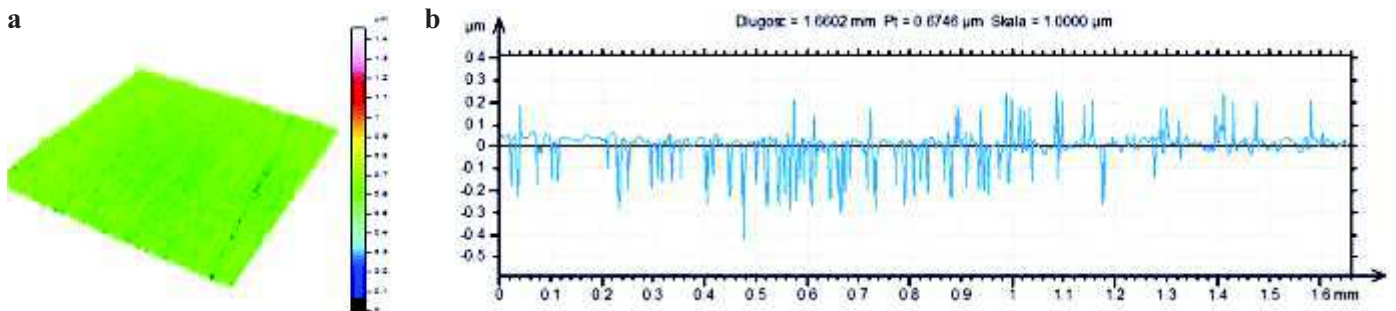
Rys. 5. Współczynniki tarcia z użyciem cieczy chłodziwo-smarującej. Tester T-01M. Obciążenie L= 10 N i 50 N

cieczy obróbkowej o stężeniu 10% vol. Natomiast największy zaobserwowano dla wody destylowanej oraz badanej cieczy obróbkowej o stężeniu 1% vol.

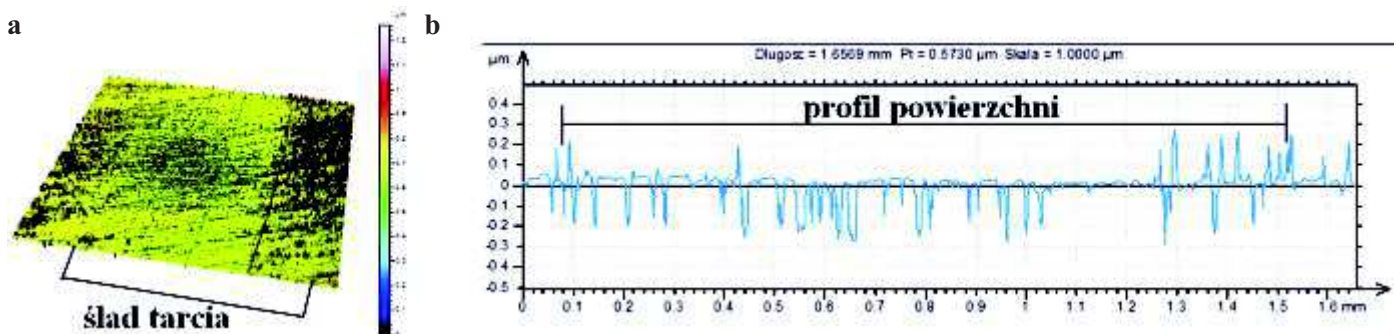
Współczynniki tarcia zarejestrowane podczas badań z użyciem cieczy chłodziwo-smarującej (CCS) o stężeniu 5% dla skojarzenia stal HS6-5-2C – stal 100Cr6 przy obciążeniu 10 N i 50 N przedstawiono na rysunku 5. W tabeli 1 zestawiono wyniki ubytków masowych próbek i przeciwpróbek po testach tribologicznych.

Przy zastosowaniu badanej cieczy obróbkowej dla skojarzenia stal HS6-5-2C – stal 100Cr6 współczynnik tarcia wzrastał gwałtownie na drodze tarcia od  $S = 0$  m do  $S = 1$  m do wartości 0.2. Później wzrastał łagodniej i na drodze tarcia  $S = 28$  m wyniósł 0.3. Po czym malał do końca testu osiągając wartość 0.09.

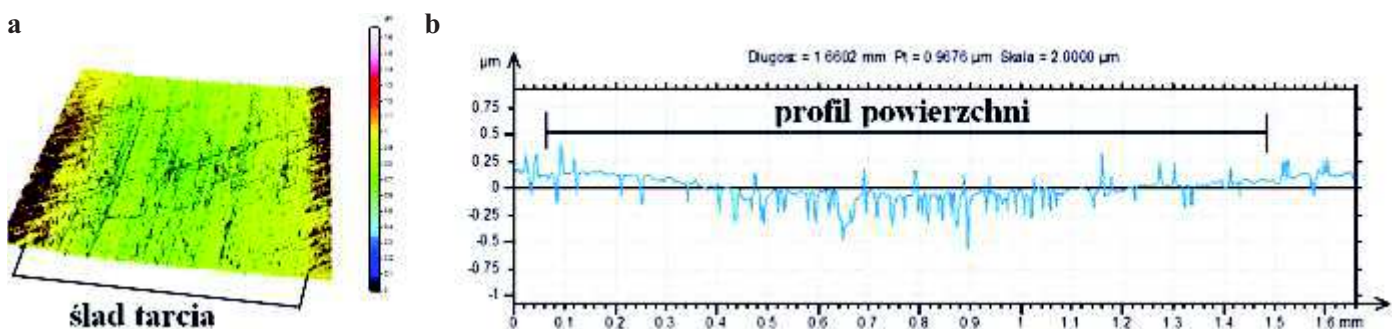
Analizując współczynnik tarcia z użyciem cieczy chłodziwo-smarującej przy obciążeniu 50 N dla skojarzenia stal HS6-5-2C – stal 100Cr6 (rys. 5) zaobserwowano gwałtowny



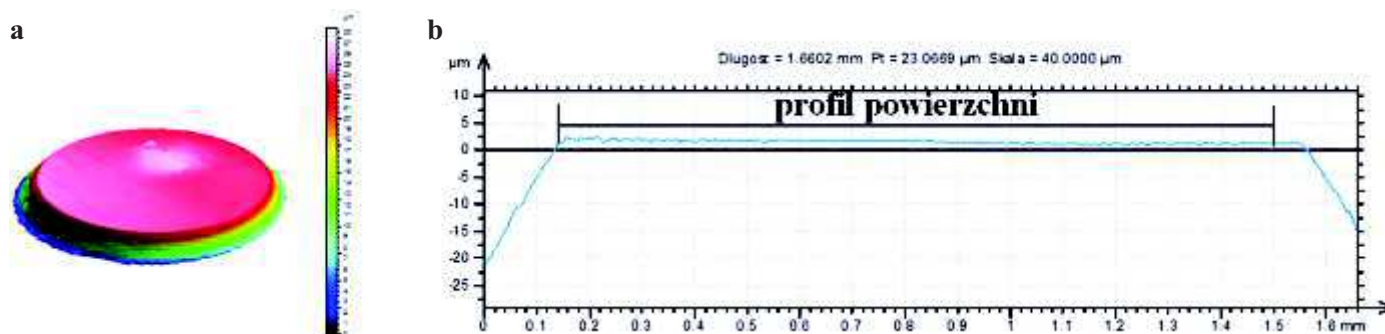
Rys. 6. Struktura geometryczna powierzchni tarczy przed testem tribologicznym: a) topografia powierzchni, b) profil powierzchni



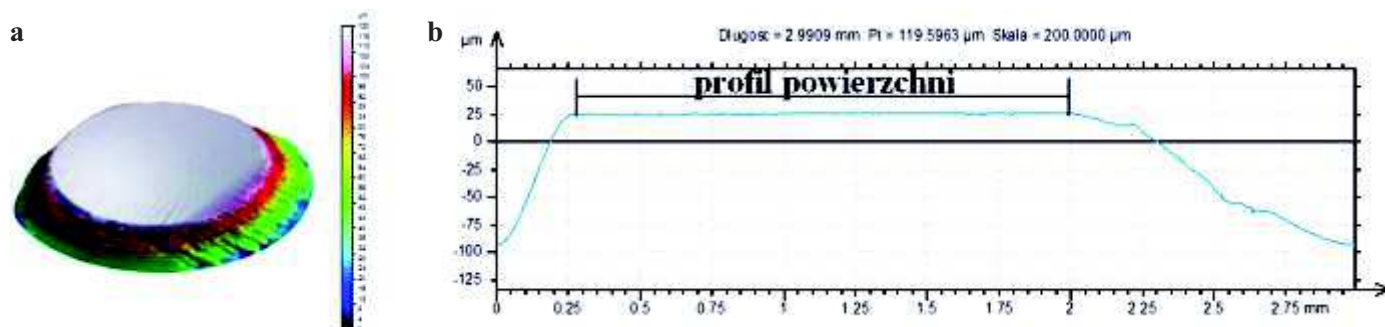
Rys. 7. Struktura geometryczna powierzchni tarczy po teście tribologicznym przy obciążeniu 10N: a) topografia powierzchni, b) profil powierzchni



Rys. 8. Struktura geometryczna powierzchni tarczy po teście tribologicznym przy obciążeniu 50N: a) topografia powierzchni, b) profil powierzchni



Rys. 9. Struktura geometryczna powierzchni kuli po teście tribologicznym przy obciążeniu 10N: a) topografia powierzchni, b) profil powierzchni



Rys. 10. Struktura geometryczna powierzchni kuli po teście tribologicznym przy obciążeniu 50N: a) topografia powierzchni, b) profil powierzchni

wzrost na drodze tarcia od  $S = 0$  m do  $S = 12$  m do wartości 0.4. Później wzrastał łagodniej i na drodze tarcia  $S = 300$  m wyniósł 0.9. Następnie małał do końca testu osiągając wartość 0.23.

Na rysunku 6–8 przedstawiono topografię oraz profil chropowatości powierzchni tarczy oraz kul przed testami tribologicznymi.

Na rysunkach 9–10 przedstawiono strukturę geometryczną powierzchni kul po testach tribologicznych dla badanych skojarzeń tarczowych.

Z analizy porównawczej profilów chropowatości sporządzonych dla tarcz po testach tribologicznych przy obciążeniu 10 N i 50 N wynika, że dla tarczy ze stali HS6-5-2C (SW7M) w skojarzeniu ze stalową kulą zaobserwowano zużycie w postaci wgłębienia o wysokości analogicznie ok.  $3 \mu\text{m}$

i  $25 \mu\text{m}$ . Porównując profile kształtu kul (rys. 10a i 10b) mniejsze wgłębienie odnotowano przy obciążeniu 10N.

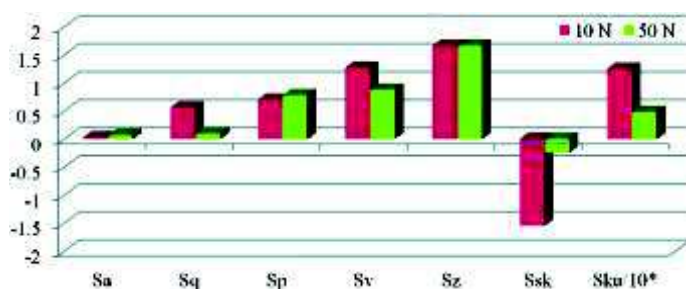
Diagramy na rysunku 11 przedstawiają parametry chropowatości tarcz po testach tribologicznych. Największe rozrzuty wysokości zaobserwowano dla parametrów  $S_q$  – średnie kwadratowe odchylenie powierzchni i  $S_v$  – objętość głębokich wgłębień,  $S_{sk}$  – współczynnik skośności powierzchni (asymetrii) oraz  $S_{ku}$  – współczynnik nachylenia powierzchni. Wartości parametrów  $S_{sk}$ , w przypadku tarcz po testach tribologicznych mają wartości ujemne, świadczy to o płaskowyzowym ukształtowaniu ich powierzchni. Natomiast parametr  $S_{ku}$  – kurtoza jest miarą smukłości krzywej rozkładu rzędnych zwaną także współczynnikiem skupienia. Dla normalnego rozkładu rzędnych  $S_{ku} = 3$ . Uzyskane wartości kurtozy świadczą o tym, że rozkłady rzędnych dla obu tarcz nie są zbliżone do rozkładu normalnego. Na wykresie  $S_{ku}/10^*$  oznacza wartość parametru podzieloną przez 10.

W tabeli 2 przedstawiono najważniejsze parametry chropowatości kul i tarcz przed oraz po testach tribologicznych.

## Wnioski

Zastosowanie biodegradowalnych cieczy obróbkowych stanowi stale rozwijający się obszar naukowo-badawczy. Ciecze te są materiałami nowej generacji, coraz powszechniej stosowanymi w obróbce metali. Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Porównując kąty zwilżania wody destylowanej z badaną cieczą chłodziwo-smarującą mniejszy kąt zwilżania ma ciecz



Rys. 11. Parametry chropowatości tarcz ze stali HS6-5-2C przed i po teście tribologicznym przy obciążeniu 10 N i 50 N

**Tabela 2. Parametry chropowatości powierzchni tarcz – stal HS6-5-2C i kul – stal 100Cr6**

Parametry chropowatości powierzchni		Sa	Sq	Sp	Sv	Sz	Ssk	Sku
Nazwa		µm	µm	µm	µm	µm	–	–
Przed	HS6-5-2C Tarcza	0,04	0,07	0,84	0,62	1,45	-1,03	8,94
	100Cr6 Kula	0,10	0,13	0,32	1,41	1,74	-1,11	4,75
Po 10 N	HS6-5-2C Tarcza	0,03	0,56	0,70	1,27	1,66	-1,55	12,52
	100Cr6 Kula	0,08	0,09	0,40	0,36	0,76	0,00	2,48
Po 50 N	HS6-5-2C Tarcza	0,07	0,10	0,78	0,88	1,66	-0,24	4,83
	100Cr6 Kula	0,09	0,14	1,62	0,77	2,40	0,93	11,06

obróbkowa. Z czego można wnioskować, że badane chłodziwo doskonale spełnia swoje funkcje technologiczne.

2. Najmniejszy kąt zwilżania zaobserwowano dla cieczy obróbkowej o stężeniu 10%, a największy dla wody destylowanej i badanej cieczy obróbkowej o stężeniu 1%.

3. Na badanej powierzchni tarcz i kul po testach tribologicznych większe ślady wytarcia oraz głębsze żłobienia zaobserwowano przy większym obciążeniu równym 50 N. Zostało to zaobserwowane dzięki topografii powierzchni przeprowadzonej za pomocą profilometru optycznego.

4. Zastosowanie, jako substancji smarującej biodegradowalnej cieczy obróbkowej w systemie tribologicznym przyczyniło się do zmniejszenia zużycia oraz zapewniło stabilną pracę systemu tribologicznego.

reklama

5. Użyta do badań biodegradowalna ciecz chłodząco-smarująca zawierająca w swoim składzie asparginian cynku jest bezpieczna dla operatora i środowiska.

**Literatura**

1. Klocke F. „Manufacturing Processes 1”, Springer, Verlag Berlin Heidelberg 2011, Chapter 4 Cutting Tool Materials and Tools, s. 95-97.
2. Miko E., Nowakowski Ł. „Pomiar minimalnej grubości warstwy skrawanej dla procesu frezowania czołowego”, Mechanik, 2013, Nr 7, s. 521-525.
3. Smith G. T. „Cutting Tool Technology”. Industrial Handbook. Springer, London, 2008.
4. Astakhov V. P. i Joksch S.: Metalworking fluids (MWFs) for cutting and grinding”, Fundamentals and recent advances, WP, UK, 2012.
5. Ozcelik B., Kuram E., Demirbas E., Sik E., Effects of vegetable-based cutting fluids on the wear in drilling, Sadhana, Vol. 38, 4, 2013, s. 687–706.
6. Dixit, U.S., Sarma, D.K., Davim, J. P. „Environmentally Friendly Machining”, Springer, London 2012.
7. Ozimina D.: Eksploatacja systemów tribologicznych. Tom I. Znaczenie tribologii w eksploatacji obiektów technicznych M48, Wyd. PŚk, Kielce 2013. ■

**Salon Kooperacji Przemysłowej**

towarzyszący targom **EUROTOOL<sup>®</sup> / BLACH-TECH-EXPO**

- największe spotkanie podwykonawców w Polsce
- w programie: Polsko-Niemieckie Forum Kooperacyjno-Inwestycyjne
- 3 dni intensywnych kontaktów B2B

**13-15 października 2015**

**Targi w Krakowie**

www.kooperacja.krakow.pl • EXPO Kraków ul. Galicyjska 9