

Wpływ dodatku modyfikującego cechy płynu obróbkowego na zmianę temperatury w strefie kontaktu współpracujących powierzchni

JAROSŁAW ROBERT MIKOŁAJCZYK

W artykule przedstawiono rezultaty badań ukazujących wpływ dodatku eksploatacyjnego do płynu roboczego na temperaturę styku powierzchni współpracujących w węźle tarciovym. Stwierdzono zróżnicowany wpływ zależny od stężenia tego dodatku

Wprowadzenie

Na granicy dwóch współpracujących ruchowo ciał stałych zawsze występuje tarcie. W większości przypadków jest ono zjawiskiem niepożądanym, gdyż jest jednym z podstawowych czynników determinujących proces zużywania. Jednym ze sposobów zmniejszenia intensywności tego procesu jest wprowadzanie do strefy kontaktu płynu roboczego i w efekcie obniżanie temperatury w styku.

Reprezentatywnym przykładem takiej współpracy jest obróbka skrawaniem. Duża część energii mechanicznej niezbędnej do realizacji obróbki ulega konwersji na energię cieplną. Ta jej część jest najczęściej bezpowrotnie tracona, dlatego też temperatura w strefie kontaktu współpracujących powierzchni jest wielkością istotną. Z tego powodu przedmiotem badań przedstawionych w niniejszej pracy jest skuteczność oddziaływania płynu roboczego (chłodzi-smarującego). W tym celu obserwowano zmiany temperatury podczas procesu eksploatacji powierzchni, zachodzące w obecności płynów roboczych o zdefiniowanych składach.

Funkcje płynów roboczych w procesach skrawania

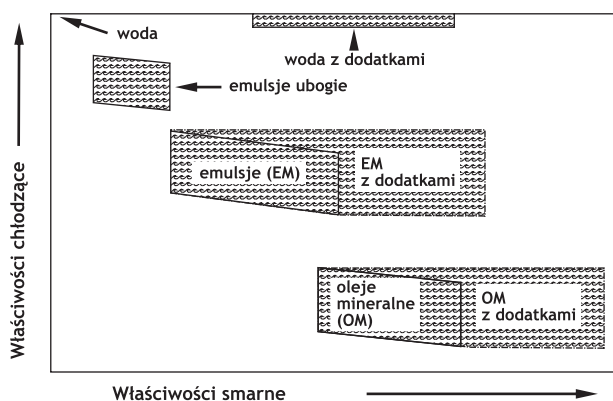
Preparaty eksploatacyjne o działaniu chemicznym przeznaczone są do wprowadzenia ich do olejów handlowych w celu uszlachetnienia warstwy przypowierzchniowej oraz utworzenia „mocnej” warstwy granicznej w wyniku sorpcji fizycznej lub chemicznej. Warstwa ta zwiększa odporność węzłów tarcia na obciążenie dynamiczne i temperaturowe. Polepszają się również właściwości tribologiczne węzłów tarcia. Zmniejszają się opory ruchu, zmniejsza się zużycie współpracujących elementów, co wpływa na zwiększenie ich trwałości i niezawodności.

* Dr inż. Jarosław Robert Mikołajczyk Akademia Nauk Stosowanych im. Stanisława Staszica w Pile, Katedra Inżynierii Mechanicznej; e-mail: jmikolajczyk@ans.pila.pl.

W niniejszej pracy badano wpływ dodatku preparatu eksploatacyjnego Mind M na zmianę temperatury pary ciernej o styku konforemnym.

Zmiany temperatury węzła ciernego wskutek współpracy tarciowej elementów składowych tego węzła, mogą powodować różne skutki, jak np. [8, 14, 18]:

- przemiany fazowe zachodzące w określonych temperaturach,
- zmiany względnych położenia cząstek i atomów,
- zmiany szybkości dyspergowania warstwy wierzchniej,
- powstawanie defektów struktury danych materiałów,
- amorfizację materiału węzła łożyskowego,
- zmianę wartości niektórych cech materiałowych, jak np. twardości, wytrzymałości na rozciąganie, współczynnika sprężystości wzdłużnej,
- zmiany adhezji, zastosowanych na węzeł tarciovym materiałów, co jest związane ze zmianą ich struktury,
- płynięcie współpracujących tarciowo materiałów, występuje to szczególnie w miejscach temperatur o dużej wartości,
- ułatwianie ścinania obrabianego materiału,
- duże naprężenia wewnętrzne pomiędzy współpracującymi elementami, co może skutkować przekroczeniem dopuszczalnych naprężeń, np. na rozciąganie, ściskanie, ścinanie, zginanie, skręcanie,
- powstawanie naprężeń cieplnych mogących być przyczyną mikropęknięć na powierzchniach współpracujących elementów,
- zmiany intensywności dekohezji cząstek danego tworzywa konstrukcyjnego z powierzchni ślizgowych,
- niekontrolowane zmiany fizykochemiczne zastosowanych materiałów,
- efekty akustyczne,



Rys. 1. Właściwości smarne i chłodzące płynów roboczych używanych w obróbce metalu [18]

- być przyczyną procesu zacierania,
- powstawanie mikropęknięć na powierzchniach współpracujących,
- wzajemnego przenoszenia (i to w dwóch kierunkach) materiału z powierzchni współpracujących.

Skutki te mogą występować w zróżnicowanej intensywności, zależnej m.in. od rodzaju zastosowanego płynu roboczego, rodzaju obróbki a także od obrabianych materiałów. Wzajemne relacje między dwoma podstawowymi funkcjami różnych płynów roboczych przedstawiono na rys. 1.

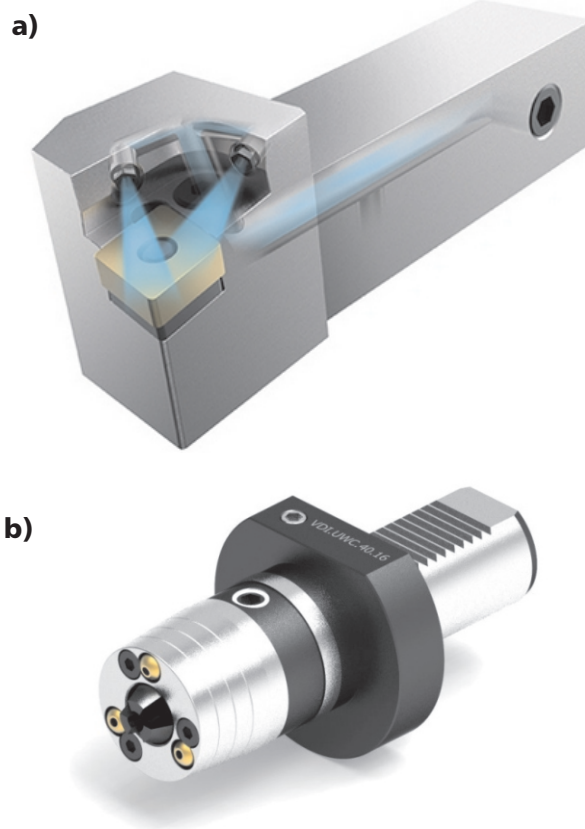
Skuteczność płynów roboczych zależy także od sposobu doprowadzenia ich do obszaru współpracy elementów. Większość nowoczesnych narzędzi tokarskich jest wyposażonych w wewnętrzne doprowadzanie chłodziwa przez narzędzie. Oferowane jest precyzyjne doprowadzanie chłodziwa na powierzchnię natarcia (od góry) – rys. 2a, lub na powierzchnię przyłożenia (od dołu).

Przy konwencjonalnym doprowadzeniu płynu roboczego – rys. 2b, regulowane dysze w większości przypadków mają większą średnicę wylotu niż dysze do precyzyjnego podawania chłodziwa. Ich zadaniem jest kierowanie przepływu chłodziwa na ostrze. Narzędzia takie nie są przeznaczone do pracy przy wysokim ciśnieniu płynu.

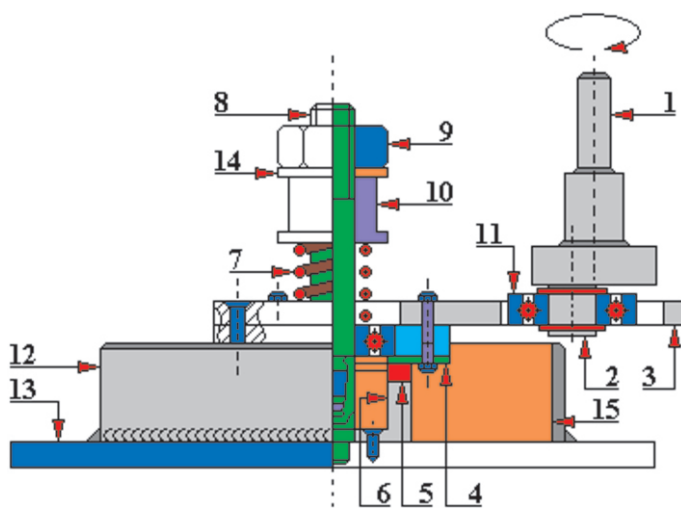
Zmiany temperatury węzła łożyskowego mogą mieć pozytywny wpływ na współpracujące powierzchnie, częściej jednak jest to wpływ negatywny. Dlatego też tak istotne jest zapewnienie pewnego reżimu temperaturowego danego węzła tarcowego. Temperatura współpracujących powierzchni jest równocześnie czynnikiem aktywizującym powstawanie przedstawionych wyżej zjawisk, przy czym nadmierny wzrost temperatury świadczy o złej współpracy tej pary. W celu zmniejszenia tej temperatury, a zarazem polepszenia współpracy pomiędzy powierzchniami węzła ciernego należy zapewnić odpowiednio mały współczynnik tarcia, np. poprzez zastosowanie dodatkowych preparatów eksploatacyjnych (PE). Ogólną zasadę współpracy pary kinematycznej – próbki z przeciwpróbką przedstawiono w pracy [12], natomiast szczegóły konstrukcyjne zaprojektowanego i wykonanego stanowiska badawczego pokazano na rys. 3.

W niniejszej pracy przedstawiono pośrednio wpływ dodatku modyfikującego płyn roboczy oznaczonego symbolem

Mind M, na zmianę temperatury w styku konforemnym próbki i przeciwpróbki. Do pomiaru temperatury w badaniach zastosowano termopary typu K umieszczone w komorze olejowej w odległości 5 mm od współpracujących powierzchni. Badano więc zmiany temperatury płynu roboczego powodowane tarcem w styku współpracujących powierzchni.



Rys. 2. Oprawki narzędzi do precyzyjnego dostarczenia cieczy chłodząco-smarującej w narzędziach o ruchu: a) postępowym [4], b) obrotowym [3]



Rys. 3. Postać konstrukcyjna stanowiska badawczego: 1 - uchwyt mimośrodowy, 2 - mimośród, 3 - dźwignia, 4 - przeciwpróbka, 5 - badane próbki, 6 - tuleja ustalająca próbki, 7 - sprężyna, 8 - śruba centralna, 9 - nakrętka, 10 - tuleja dystansowa, 11 - łożysko kulkowe jednorzędowe, 12 - płaszcz rury, 13 - płyta podstawy, 14 - podkładka, 15 - kompozycja smarowa [9]

Warunki badań

Próbki wykonane były z ulepszonej cieplnie stali C45 o twardości 40HRC, natomiast przeciwpróbka wykonana była ze stali 102Cr6 zahartowanej do twardości 60 HRC. Twardość przeciwpróbki zdecydowanie przewyższała (o 50%) twardość próbek po to, aby zmiany stanu struktury geometrycznej powierzchni występowały przede wszystkim w warstwie wierzchniej próbek.

Stal 102Cr6 (dawniej NC6) charakteryzuje się, m. in. małym rozrzutem twardości po obróbce cieplnej, dlatego też, aby twardość próbek mieściła się w wąskim zakresie wybrano do badań ten materiał. Zastosowane próbki miały kształt sześciangu o wymiarach 10×10×10 mm. Próbki z przeciwpróbką współpracowały przy obciążeniu zewnętrznym wynoszącym 600 N, co przy powierzchni styku próbek z przeciwpróbką wynoszącym 300 mm², odpowiada teoretycznym naciskom w strefie kontaktu 2,0 MPa. Prędkość ruchu względnego podczas badań wynosiła 0,16 m/sek.

Temperatura otoczenia (temperatura, w której zachodził proces zużywania i towarzysząca jemu transformacja warstwy wierzchniej) wynosiła 293 K.

Na podstawie badań wstępnych przyjęto wartość drogi tarcia wynoszącą 2000 m. Dla tej drogi tarcia, w przypadku stosowania jako środka smarnego czystej bazy olejowej SN-150 następuje stabilizacja temperatury współpracujących elementów.

Jako dodatek modyfikujący bazę olejową SN-150 wybrano preparat eksploatacyjny Mind M. Przy jego wyborze kierowano się następującymi kryteriami:

- dostępności,
- mechanizmu działania,
- przeznaczenia.

Preparat Mind M stanowi kompleks węglowodorowy łączący się chemicznie z metalem podłoża, tworząc mikroskopijną jednocząsteczkową niewypłukiwalną warstwę. Rozkłada siły nacisku na większą powierzchnię, tym samym zwiększając trwałość materiałów konstrukcyjnych. Wchodzi w reakcje z podłożem metalicznym (żelaznym lub nieżelaznym) głównie w miejscach o podwyższonej temperaturze procesu tarcia [2, 5, 6, 7].

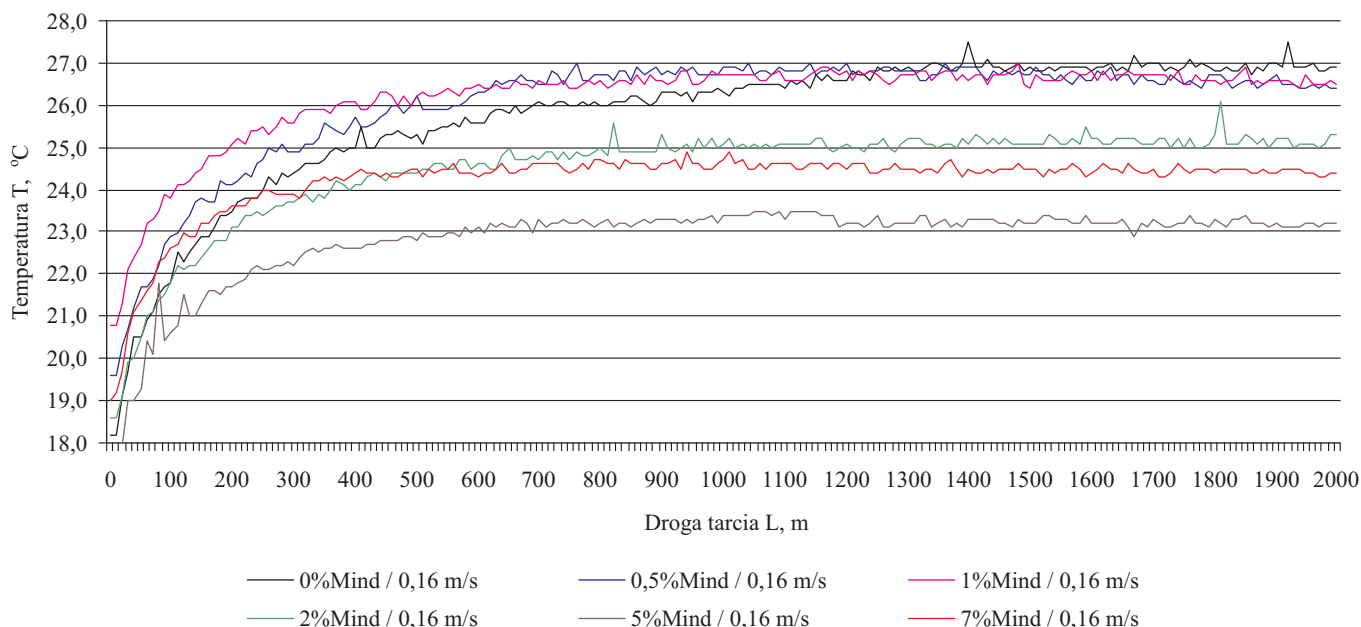
Producent w/w preparatu zaleca stosowanie 5% stężenia w bazie olejowej. W niniejszej pracy przyjęto stężenia zarówno mniejsze od tej wartości jak i większe w celu lepszego poznania ich działania. Przyjęto więc następujące wartości stężenia wagowego: 0,0 (czysta baza olejowa); 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 i 7,0 % badanego dodatku w bazie olejowej.

Warunki w jakich przebiegał monitorowany proces różniły się od procesów obserwowanych podczas procesu skrawania. Wyniki badań pozwoliły jednak na zarejestrowanie spostrzeżeń charakterystycznych dla procesu skrawania, a więc miały one charakter poznawczy.

Wyniki badań

Wyniki badań przedstawiono w formie graficznej na rys. 4. Z przedstawionych wykresów wynika, że istotne zmiany temperatury obserwuje się tylko w początkowym okresie współpracy (do chwili dotarcia się współpracujących powierzchni). Po tym okresie, różnym dla różnych stężeń badanego preparatu eksploatacyjnego Mind M, gradient zmian tego parametru jest stały, a zmiany, w porównaniu do okresu początkowego – małe.

Analiza zarejestrowanych zmian wykazuje, że czas stabilizacji temperatury można przyjąć jako zbliżony dla wszystkich zastosowanych stężeń dodatku jednak wartość tej temperatury jest zróżnicowana. Największą wartość zarejestrowano



Rys. 4. Zmiany temperatury T w funkcji drogi tarcia L dla różnych stężeń preparatu eksploatacyjnego Mind M

dla czystej bazy olejowej (stężenie 0,0%), natomiast najmniejszą – dla stężenia 5,0%. Warto zauważyć, że zwiększenie stężenia do wartości 7,0% nie przynosi pozytywnego efektu.

Wnioski

Temperatura współpracujących powierzchni zanurzonych w całej objętości badanej kompozycji olejowej jest ogólną miarą ich stanu cieplnego, jednak nie odzwierciedla faktycznego stanu cieplnego warstwy wierzchniej i styku mikro nierówności, zwłaszcza dla dużych gradientów temperatury w głąb materiału. Ciepło generowane podczas tarcia może pozostawać w obrębie systemu tribologicznego i generować zmiany w materiałach współpracujących lub może być odprowadzane z systemu na drodze przewodzenia, konwekcji lub promieniowania. Bilans strumieni energii doprowadzonej i wyprowadzonej z systemu tribologicznego wynosi zero, co jest zgodne z pierwszą zasadą termodynamiki. Udział energii przemienionej w ciepło stanowi największą część energii wyprowadzonej z systemu tribologicznego, osiągającą wg niektórych Autorów nawet ok. 95% jej wartości [1, 15, 16, 17]. Z tego też powodu, w celu pełniejszego opisu wpływu badanych dodatków smarowych na intensywność procesu zużycia w parze kinematycznej ze stykiem konforemnym, do jej oceny przyjęto zmiany temperatury w komorze olejowej dla badanych stężeń preparatu eksploatacyjnego.

Powstawanie ciepła i podwyższenie temperatury elementów współpracujących jest skutkiem działania bardzo dużych nacisków jednostkowych w punktach rzeczywistego stykania się powierzchni oraz towarzyszących procesom tarcia ciągłych odkształceń plastycznych nie tylko wierzchołków mikro nierówności, ale nawet warstwy podpowierzchniowej. W pracy [13] wykazano doświadczalnie, że w procesie tarcia metali wskutek wysokich temperatur następuje ciągły proces zgrzewania się i rozrywania zgrzanych ze sobą wierzchołków nierówności. Proces ten przebiega bardzo szybko. Pomiar temperatur tarcia potwierdzają, że prędkość ruchu współpracujących elementów ma większy wpływ na temperaturową charakterystykę tarcia, niż obciążenie [8, 9, 11]. Średnia siła tarcia jest wynikiem sumowania wszystkich składowych (elementarnych) sił tarcia towarzyszących zaczepianiu się nierówności powierzchni, tak też średni przyrost temperatury powierzchni tarcia jest średnią temperaturą mikro styków.

Na podstawie zmian temperatury (rys. 4) można stwierdzić, że:

– zwiększeniu stężenia badanego PE w bazie olejowej SN-150 towarzyszy obniżenie temperatury w końcowym okresie współpracy;

– wraz ze wzrostem stężeń badanego PE punkt, w którym temperatura się stabilizuje, przemieszcza się w lewo, tzn. droga dotarcia (docierania) zmniejsza się i wynosi ona dla bazy olejowej SN-150 ok. 1500 m i ok. 400 m dla 7% PE Mind M;

– najniższe temperatury w końcowym okresie współpracy otrzymano dla stężenia 5% i były one praktycznie równe temperaturze otoczenia;

– zwiększenie stężenia badanego PE z 5% do 7% spowodowało nieoczekiwany wzrost temperatury współpracujących powierzchni; należy stąd wnioskować, że dla badanego za-

kresu stężeń dla wartości 5% występuje ekstremum; aby sprawdzić, czy to jest ekstremum lokalne (tylko dla badanego zakresu stężeń) czy też ekstremum globalne (dla zakresu stężeń od 0% do 100% badanego PE) konieczne byłyby dalsze badania.

Literatura

1. Bowden F.P., Tabor D.: The friction and lubrication of solids. Part I. Clarendon Press, 1964.
2. Godet M.: The third body approach: A mechanical view of wear. *Wear*, Vol. 100, is. 1-3/1984, pp. 437 ÷ 452.
3. Katalog firmy Kammar s.c.
4. Katalog firmy Sandvick Coromant
5. Laber S.: Badania własności eksploatacyjnych i smarnych uszlachetniacza metalu Motor Life Professional. Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2003.
6. Laber S.: Preparaty eksploatacyjne. Wydział Mechaniczny Instytutu Budowy Maszyn i Pojazdów, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2001.
7. Materiały informacyjne PUPH „MIND” Sp. z o.o., Łochowice.
8. Mayer E.: Uszczelnienia czołowe. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1970.
9. Mikołajczyk J.: Badanie wpływu preparatu eksploatacyjnego Mind M na zmianę własności smarnych oleju bazowego SN-150. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* nr 5/2012, s. 235 ÷ 236.
10. Mikołajczyk J.: Maszyny tarciove. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. S. Staszica, Piła 2018.
11. Mikołajczyk J.: Wpływ dodatków smarowych na transformację warstwy wierzchniej. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. S. Staszica, Piła 2017.
12. Mikołajczyk J.R.: Zmiana geometrycznych cech współpracujących powierzchni miarą intensywności procesu zużycia ostrzy skrawających. *Obróbka Metalu*, nr 1/2023, s. 50 ÷ 54
13. Nosal S.: Tribologia. Wprowadzenie do zagadnień tarcia, zużycia i smarowania. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012.
14. Pieluchowski J., Puszyński A.: Wybrane działy z technologii chemicznej organicznej. Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej, Kraków 1987.
15. Rigney D. A., Gleaser W. A.: The significance of near surface microstructure in the wear process. [W:] *Wear*, Vol. 46, Is. 1/1978, pp. 241 ÷ 250.
16. Sadowski J.: Nowa interpretacja i ocena zużycia tribologicznego. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2006.
17. Sadowski J.: Termodynamiczne aspekty procesów tribologicznych. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 1997.
18. Wójcik R., Zaborowski T., Stachurski W.: Doskonalenie metod chłodzenia i smarowania w procesie szlifowania. Wydawnictwo Poznańskiego Oddziału PAN, Poznań 2019. ■