



Wybrane aspekty badania jakości emulsyjnych cieczy chłodząco-smarujących stosowanych w obróbce skrawaniem

Some aspects of quality evaluation of emulsion coolants used in machining

KAZIMIERZ CZECHOWSKI
DANIEL TOBOŁA
IWONA WRONSKA *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.223

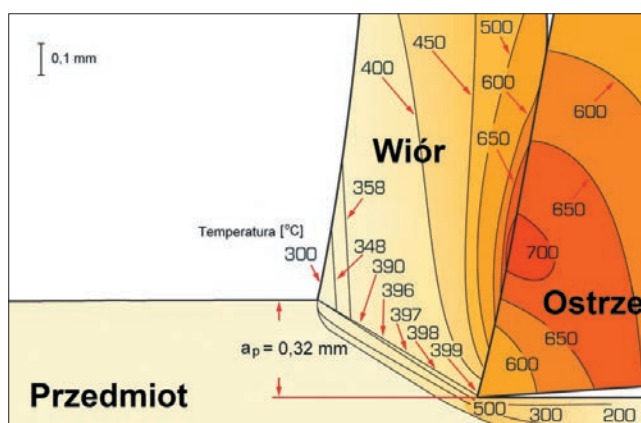
Ciecze obróbkowe często są stosowane w procesie skrawania metali, aby zapewnić chłodzenie i smarowanie w strefie skrawania. W artykule omówiono metody badań wybranych właściwości emulsyjnych cieczy chłodząco-smarujących, a także sposób testowania korodującego działania tych cieczy oraz ich wpływu na opory skrawania i intensywność zużycia się ostrza. Zamieszczono przykładowe wyniki badań.

SŁOWA KLUCZOWE: emulsyjne ciecze chłodząco-smarujące, obróbka skrawaniem

Metalworking fluids are often used in metal machining for cooling and lubrication of the cutting zone. Test methods to evaluate some properties of emulsion coolants are discussed. Testing of the corrosive effects of cutting fluids is discussed in greater detail. In particular an investigation of the effect of cutting fluids on cutting forces and intensity of wear of the cutting edge is presented. Examples of test results are given.
KEYWORDS: emulsion coolants, machining

Podczas wydajnej obróbki wiórowej stali i stopów metali, prowadzonej z możliwie dużą prędkością skrawania, wytwarza się duża ilość ciepła – przykładowy rozkład temperatury przedstawiono na rys. 1 [1]. Ocenia się, że w przypadku obróbki stali ok. 75% energii przetworzonej w ciepło pochłania wiór, ok. 18% energii ulega przetworzeniu w ciepło na styku wiór – narzędzie i ok. 2% na styku przedmiot – narzędzie, a ok. 5% ciepła zostaje pochłonięte przez przedmiot [2]. W przypadku obróbki materiałów trudnoobrabialnych – np. żaroodpornych stopów niklu i kobaltu – temperatura w strefie skrawania osiąga $750 \div 1020^\circ\text{C}$ [3]. Tak wysoka temperatura może prowadzić do przyspieszonego zużycia się narzędzia i mieć niekorzystny wpływ na stan przedmiotu obrobionego (ze względu na procesy utleniania na powierzchni, zmiany w strukturze warstwy wierzchniej).

W celu obniżenia temperatury w strefie skrawania stosuje się ciecze obróbkowe (zwane też cieczami chłodząco-smarującymi), które oprócz funkcji chłodzenia mają też zapewnić:



Rys. 1. Przykładowy rozkład temperatury w ostrzu skrawającym, wiórze i przedmiocie obrabianym podczas toczenia stali z głębokością skrawania $a_p = 0,32$ mm [1]

- smarowanie miejsca styku ostrza narzędzia skrawającego z materiałem obrabianym i wiórem,
- usuwanie wiórów z obszaru obróbki,
- ochronę powierzchni obrobionego materiału przed korozją.

Najczęściej wykorzystuje się chłodzenie zewnętrzne przez kierowanie strugi cieczy do strefy skrawania, rzadziej – chłodzenie wewnętrzne, które polega na podawaniu cieczy do strefy skrawania poprzez narzędzie skrawające. W obróbce wiórowej materiałów trudnoobrabialnych (takich jak stopy tytanu czy wspomniane wcześniej żaroodporne stopy niklu i kobaltu) ciecz chłodząco-smarująca często jest podawana zarówno z zewnątrz, jak i wewnątrz (w tym przypadku pod wysokim ciśnieniem, tj. rzędu 50 bar) [1÷4].

Smarowanie miejsc styku ostrza narzędzia z wiórem i przedmiotem obrabianym ma na celu zmniejszenie współczynnika tarcia i tym samym oporów skrawania, co spowalnia zużywanie się ostrza narzędzia i poprawia jakość powierzchni obrobionej. Procesy tarcia towarzyszące skrawaniu istotnie różnią się od procesów tribologicznych występujących w typowych węzłach tarcia. Najistotniejsze różnice sprowadzają się do tego, że:

* Dr inż. Kazimierz Czechowski, dr inż. Daniel Toboła, mgr inż. Iwona Wronska (ios@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania

- powierzchnia ostrza jest w kontakcie z wyjątkowo aktywnymi chemicznie powierzchniami wióra i obrabianego przedmiotu,
- podczas skrawania występują zmienne naciski jednostkowe o dużych wartościach,
- temperatura w strefie skrawania zmienia się,
- ciecz obróbkowa ma utrudniony dostęp do obszaru kontaktu tarcowego.

Z tych względów ciecz chłodząco-smarująca używana w obróbce wiórowej różni się od środków smarowych stosowanych w typowych węzłach tarcia, a ich głównymi składnikami (zależnie od rodzaju cieczy) są: woda, oleje bazowe i dodatki uszlachetniające. Jako oleje bazowe wykorzystuje się oleje mineralne (otrzymywane z ropy naftowej) albo syntetyczne (otrzymywane na drodze syntezy chemicznej) [5].

Ogólnie ciecz do obróbki skrawaniem można podzielić na następujące grupy [2, 5]:

- ciecz olejowa,
- ciecz emulsyjna,
- mikroemulsja,
- ciecz syntetyczna,
- pasty,
- środki chłodzące lotne.

Zasadniczo emulsje otrzymywane z olejów emulgujących różni się od mikroemulsji rozmiarem cząstek fazy olejowej, który ma również wpływ na niektóre właściwości tych substancji. W emulsjach olejowych cząstki oleju mają średnicę powyżej 1 μm , a w mikroemulsjach – rzędu 0,01÷0,1 μm . Z kolei średnicę cząstek cieczy syntetycznych ocenia się na mniej niż 0,01 μm [2].

Klasyfikację cieczy obróbkowych szczegółowo reguluje w Polsce norma PN-ISO 6743-7:2009 – zgodnie z nią ciecz obróbkowa są zaliczane do klasy L (środki smarne – *lubricants*), natomiast według normy PN-ISO 6743-99:2009 należą do grupy M (obróbka metali – *metalworking*) i są podzielone na 17 rodzajów. Każdy rodzaj ma kod składający się z ciągu liter [2, 5], przy czym:

- pierwsza (M) oznacza symbol grupy,
- druga określa zakres zastosowania cieczy: H – do operacji wymagających głównie smarowania (oleje obróbkowe używane w stanie nierozcieńczonym), A – do operacji wymagających głównie chłodzenia (emulsje olejowe rozcieńczane wodą),
- trzecia (od A według alfabetu) wskazuje na wyróżniającą właściwość cieczy obróbkowej.

Metody oceny jakości emulsji chłodząco-smarujących

Na etapie kontroli jakości koncentratów wykonuje się typowe badania dla olejów smarnych, mające na celu sprawdzenie znormalizowanych parametrów, takich jak [2, 6]: barwa, gęstość w temperaturze 15 °C, lepkość kinematyczna w temperaturze 40 °C, temperatura zapłonu, liczba kwasowa, liczba zmydlenia, właściwości smarne, działania korodujące na miedź, odporność na pienienie.

Aby skontrolować te parametry emulsji chłodząco-smarujących, które są istotne ze względów eksploatacyjnych, wykonuje się badania umożliwiające m.in. określenie [2, 5÷7]:

- stężenia jonów wodorowych pH (według PN-C-04963 lub DIN 51369),
- stężenia koncentratu w emulsji – na podstawie pomiaru współczynnika załamania światła (według PN-C-04952) lub przez pomiar metodą wysalania (według DIN 51368),

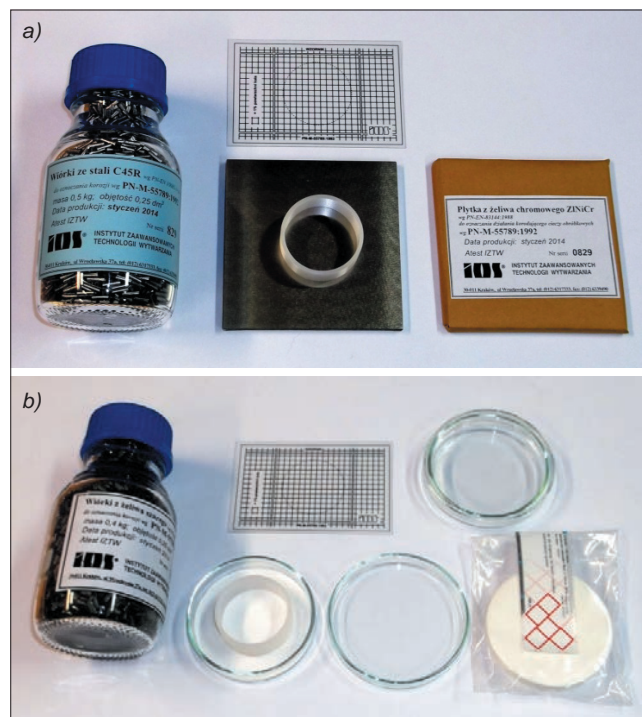
- oddziaływania korodującego cieczy na stopy żelaza (według PN-M-55789 lub DIN 51360) – metodą Herberta lub metodą Ford-Test, nazywaną w normie DIN metodą wiór/papier filtrujący (*Späne/Filtrierpapier-Verfahren*),
- stopnia skażenia mikrobiologicznego (stanu skażenia bakteriami, drożdżami i grzybami),
- stężenia azotynów (według PN-ISO 6059 lub DIN 38405).

Obszerne omówienie tych i innych metod badania cieczy obróbkowych można znaleźć w [6] – opracowanie obejmuje zarówno metody badań laboratoryjnych podstawowych właściwości cieczy, jak i metody badań zanieczyszczeń mikrobiologicznych (istotnych z tego względu, że wpływają na okres trwałości eksploatowanych cieczy i stwarzają zagrożenie dla zdrowia i środowiska w miejscu pracy [6÷8]).

Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania (IZTW) wykonuje zestawy do badań – omówionymi dalej metodami Herberta i Ford-Test – korodującego działania cieczy obróbkowych na stopy żelaza. Ponieważ celem stosowania emulsyjnych cieczy obróbkowych jest chłodzenie i smarowanie strefy skrawania, aby m.in. zmniejszyć opory skrawania i intensywność zużywania się ostrza narzędzia, w dalszej części przedstawiono również metody pozwalające na szybką ocenę porównawczą cieczy pod tym względem.

Badanie działania korodującego cieczy technologicznych na stopy żelaza

Istotną właściwością cieczy chłodząco-smarujących stosowanych w obróbce skrawaniem jest brak korodującego oddziaływania na materiał przedmiotu obrabianego, narzędzia, elementów obrabiarki i oprzyrządowania technologicznego. Ocena jakości cieczy obróbkowej wymaga więc określenia jej oddziaływania korodującego na stopy żelaza. Takie badania najczęściej przeprowadza się metodami Herberta lub Ford-Test. Zestawy do badań tymi metodami przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Zestawy do badania działania korodującego emulsyjnych cieczy obróbkowych metodami: a) Herberta, b) Ford-Test

W skład zestawu do badań metodą Herberta wchodzi:

- pojemnik zawierający 0,5 kg wiórków stalowych,
- pierścień plastikowy o wymiarach $\varnothing 40 \times 15$ mm,
- płytkę żeliwną o wymiarach ok. $100 \times 100 \times (3 \div 10)$ mm,
- wzornik.

W metodzie tej wiórki stalowe są nakładane na płytkę żeliwną (równomiernie rozmieszczone za pomocą pierścienia z tworzywa w każdej ćwiartce powierzchni płytki, w ilości po 2 g), zwilżane badaną cieczą (w ilości po 2 ml na każde skupisko wiórków) i przetrzymywane przez 24 h w określonych warunkach w szczelnie zamkniętej komorze, w której wewnątrz wilgotność względna wynosi $50 \div 60\%$, a temperatura $18 \div 28^\circ\text{C}$. Po tym czasie oraz po usunięciu z płytki żeliwnej wiórków i pozostałości badanej cieczy (przez zmycie acetonem, a następnie cykloheksanem lub toluenem), należy w ciągu 10 min obejrzeć powierzchnię płytki i zmierzyć powierzchnię plam rdzawych (R) w % za pomocą wzornika siatkowego. Następnie, po przetarciu powierzchni tamponem nasyconym cykloheksanem lub toluenem w celu usunięcia plam rdzawych, należy zmierzyć – za pomocą tego samego wzornika – powierzchnię plam czarnych (H) w %. Ocenę za pomocą wzornika siatkowego przeprowadza się oddzielnie dla każdej ćwiartki powierzchni płytki żeliwnej, a następnie oblicza wartość średnią z czterech pomiarów. Wynik badania podaje się w postaci H4R3–WL, gdzie: H – symbol metody i występowania plam czarnych, 4 – stopień skorodowania plam czarnych, R – symbol występowania plam rdzawych, 3 – stopień skorodowania plam rdzawych, W – symbol występowania rdzy na wiórkach, L – symbol występowania wżerów. Stopień skorodowania określa się według tabl. I.

TABLICA I. Ocena stopnia skorodowania w metodzie Herberta

Stopień skorodowania	Ocena słowna	Uwagi, powierzchnia zaplamiona w %
0	Brak korozji	Brak śladów korozji
1	Śladowa korozja	Najwyżej 3 plamki o średnicy do 1 mm
2	Lekka korozja	Do 10%
3	Umiarkowana korozja	Powyżej 10% do 25%
4	Znaczna korozja	Powyżej 25% do 50%
5	Silna korozja	Powyżej 50% do 75%
6	Bardzo silna korozja	Powyżej 75%

W skład zestawu do badań metodą Ford-Test wchodzi:

- pojemnik zawierający 0,4 kg wiórków żeliwnych,
- dwie szalki Petry'ego,
- pierścień plastikowy $\varnothing 40 \times 15$ mm,
- 100 szt. bibuły filtracyjnej (krążki $\varnothing 70$ mm),
- wzornik.

W tej metodzie wiórki żeliwne nakładane są na bibuły filtracyjne umieszczone w dwóch szalkach Petry'ego (za pomocą krążka z tworzywa sztucznego w każdej szalce umieszcza się po 3 g wiórków, które muszą być równomiernie rozłożone w obrębie pierścienia), nasączone badaną cieczą (w ilości po 2 ml) i przetrzymywane przez 2 h w określonych warunkach w przykrytych szczelnie naczyniach Petry'ego, w pomieszczeniu o temperaturze $18 \div 28^\circ\text{C}$, w miejscu osłoniętym przed działaniem promieni słonecznych. Po tym czasie i usunięciu wiórków bibułę filtracyjną przemywa się bieżącą wodą i zanurza w acetonie na 5 s, a następnie osusza w temperaturze pokojowej oraz poddaje oględzinom i pomiarom. Za po-

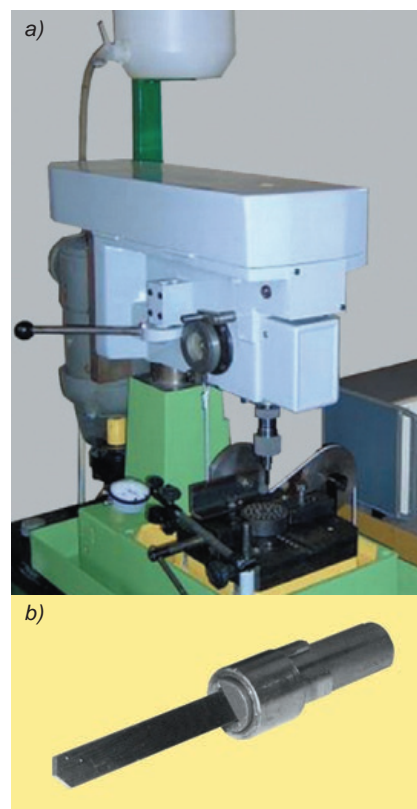
TABLICA II. Ocena stopnia skorodowania w metodzie Ford-Test

Stopień skorodowania	Ocena słowna	Uwagi, powierzchnia zaplamiona w %
0	Brak korozji	Brak śladów korozji
1	Śladowa korozja	Najwyżej 3 plamki korozyjne o średnicy do 1 mm
2	Lekka korozja	Nie więcej niż 1%, ale plamy większe niż dla stopnia 1
3	Umiarkowana korozja	Powyżej 1% do 5%
4	Znaczna korozja	Powyżej 5% do 20%
5	Silna korozja	Powyżej 20% do 50%
6	Bardzo silna korozja	Powyżej 50%

mocą wzornika siatkowego mierzy się powierzchnię plam rdzy w % i wyznacza stopień skorodowania według tabl. II. Wynik badania podaje się w postaci F3/4, gdzie: F – symbol metody, 3/4 – stopnie skorodowania.

Metoda szybkiej oceny porównawczej wpływu emulsyjnych cieczy obróbkowych na opory skrawania i intensywność zużywania się ostrza narzędzia

W IZTW metoda powiercania przy stałej sile posuwowej jest z powodzeniem rozwijana i stosowana do oceny wpływu cieczy obróbkowych na skrawalność materiału obrabianego. W tym przypadku wyznaczane są wskaźniki określające wpływ cieczy obróbkowej na intensywność tępienia się ostrza skrawającego oraz na opory skrawania. Możliwe jest porównywanie cieczy obróbkowych, aby wskazać tę, która lepiej chroni ostrze narzędzia przed zużyciem lub zmniejsza opory skrawania. Omawiane badania polegają na powiercaniu w próbkach ze stali C45E otworów o średnicy $\varnothing 3$ mm specjalnym wiertłem piórkowym o średnicy $\varnothing 5$ mm (rys. 3b), dociskany do przedmiotu obrabianego ze stałą siłą osiową w zakresie



Rys. 3. Stanowisko do określania wpływu cieczy obróbkowych na intensywność tępienia się ostrza i opory skrawania (a) oraz stosowane do tego celu specjalne wiertło piórkowe (b)

50÷300 N (zależnie od potrzeb). Prosta konstrukcja wiertła piórkowego oraz stosunkowo duża łatwość jego wielokrotnego ostrzenia zapewniają utrzymanie praktycznie jednakowej geometrii ostrza. Proces powiercania upodabnia się w tym szczególnym przypadku do wytaczania dwoma ostrzami przy głębokości skrawania $a=1$ mm. Na specjalnym stanowisku (rys. 3a) do strefy obróbki są kolejno dostarczane (w sposób grawitacyjny) porównywane ciecze obróbkowe.

Przy określaniu wskaźników wpływu cieczy obróbkowej na intensywność tępienia się ostrza skrawającego oraz na opory skrawania prędkości obrotowe mają wartości w zakresie 300÷3000 obr/min. Wspomniane wskaźniki są obliczane na podstawie zmierzonych czasów skrawania kolejnych odcinków o jednakowej długości. Aby uniknąć przypadkowych błędów i ograniczyć do minimum wpływ niejednorodności materiału, a także umożliwić przeprowadzenie analizy statystycznej uzyskanych wyników, wykonuje się przynajmniej po 10 prób dla badanego wariantu. Wskaźniki można obliczyć metodą J. Dagnella, na podstawie zmierzonych czasów powiercania t_i kolejnych 20 odcinków i , z których każdy ma długość $l_0 = 1$ mm (rys. 4a) [9]. W wyznaczonej funkcji $t_i = L i + \tau_0$, aproksymującej liniowo wyniki pomiarów, występują parametry stanowiące wskaźniki: L (w ms/mm) – z uwagi na intensywność tępienia się ostrza, τ_0 (w ms/mm) – ze względu na opory skrawania. Wskaźniki można obliczyć również metodą A. Bułata, na podstawie zmierzonych dwóch kolejnych odcinków o długości 10 mm każdy (rys. 4b) [10]. Zmierzone czasy t_1 i t_2 (w ms) pozwalają na wyznaczenie funkcji $t = A s + \frac{B}{2} s^2$, w której parametr B (w ms/mm²) stanowi wskaźnik określający intensywność tępienia się ostrza (równy co do wartości wskaźnikowi L w metodzie J. Dagnella), natomiast parametr A (w ms/mm) opisuje opory skrawania. Obie metody wyznaczania wskaźników

wplywu cieczy obróbkowych na intensywność zużywania się ostrza skrawającego oraz na opory skrawania stali opierają się na tej samej interpretacji fizycznej procesu obróbki skrawaniem wywołanego przyłożeniem stałej siły posuwowej.

Teoretycznie w przypadku, kiedy podczas skrawania ostrze nie ulega stępieniu, czasy powiercania kolejnych odcinków są jednakowe i zależne jedynie od oporów skrawania, co obrazuje pozioma linia aproksymująca na rys. 4a (im wyżej jest ona położona od osi odciętych, tym większe są opory skrawania) i prosta nachylona na rys. 4b (im większe jest jej nachylenie, tym większe są opory skrawania). Uwzględnienie zużywania się ostrza powoduje wydłużenie czasów powiercania kolejnych odcinków, co skutkuje nachyleniem linii aproksymującej na rys. 4a oraz krzywą na rys. 4b [11].

Dokładność wyznaczania wskaźników skrawalności omówionymi metodami zależy przede wszystkim od dokładności geometrii ostrza narzędzia i jakości jego powierzchni, w tym m.in. od szczyrłowatości i promienia zaokrąglenia krawędzi skrawających.

Analiza statystyczna przeprowadzana na podstawie uzyskanych wartości wskaźników skrawalności L (lub B) i τ_0 (lub A) z co najmniej 10 prób polega na obliczeniu wartości średnich i przedziałów ufności oraz na ich porównaniu za pomocą testu istotności dla dwóch średnich wartości uzyskanych dla bazowych i badanych cieczy technologicznych. Wynik testu dla przyjętego poziomu istotności (najczęściej 0,05 lub 0,10) decyduje o tym, czy badaną ciecz obróbkową można uznać za istotnie różniącą się (na korzyść lub niekorzyść) od cieczy bazowej.

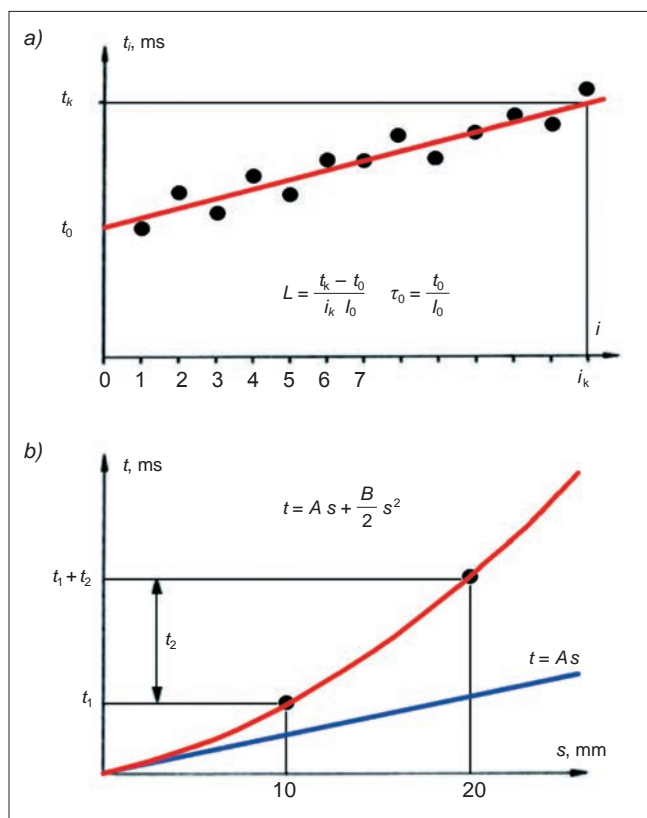
Z badań i analiz przeprowadzonych w IZTW wynika, że istnieje duża korelacja opisanego sposobu wyznaczania wpływu cieczy obróbkowych na intensywność zużywania się ostrza narzędzia (L lub B) i na opory skrawania (τ_0 lub A) z klasyczną metodą toczenia wzdłużnego, co wynika z podobieństwa procesu powiercania prostym wiertłem piórkowym do wytaczania dwoma ostrzami. W związku z tym można w przybliżeniu określić, jak należy zmienić prędkość skrawania przy zmianie cieczy obróbkowej z bazowej na badaną, aby została zachowana dotychczasowa trwałość narzędzi. Z uwagi na złożoność zjawisk występujących w procesie skrawania i konieczność stosowania uproszczeń przyjęto – w celu zminimalizowania błędów oszacowania zmiany okresowej prędkości skrawania v_{T1} – zależność empiryczną w postaci równania:

$$v_{T2}/v_{T1} = (L_{sr1}/L_{sr2})^m \text{ lub } v_{T2}/v_{T1} = (B_{sr1}/B_{sr2})^m$$

Przykładowo: w przypadku powiercania stali konstrukcyjnej węglowej C45E w stanie normalizowanym założono, że $m = 0,28$.

W IZTW i innych ośrodkach badawczych przedstawioną metodę rozwijano w kierunku zwiększenia sżywności układu obróbkowego, m.in. przez: zwiększenie średnicy wiertel specjalnych, stosowanie tłumienia drgań w układzie posuwu oraz zastąpienie powiercania toczeniem [11].

Dalej przedstawiono wyniki badań porównawczych (wykonanych na komercyjne zlecenie) dotyczących wpływu emulsyjnych cieczy obróbkowych na intensywność zużywania się ostrza i opory skrawania. Ciecz bazową oznaczono jako I, a ciecze badane – jako II i III. Testy prowadzono metodą powiercania z prędkością obrotową $n = 1000$ obr/min przy stałej sile posuwowej $F = 200$ N. Materiałem ostrza była stal HS6-5-2 według PN-EN-ISO



Rys. 4. Określanie wskaźników wpływu cieczy obróbkowych na intensywność zużywania się ostrza oraz na opory skrawania według metody: a) J. Dagnella [9], b) A. Bułata [10]

4957:2004 o twardości $64 \pm 0,5$ HRC, a materiałem obrabianym – stal C45E według PN-EN 10083-2:2008 w stanie normalizowanym, o twardości 174 ± 7 HB. Badane cieczki były dostarczane do strefy skrawania w sposób grawitacyjny, ze zbiornika umieszczonego o 1 m wyżej.

W tabl. III zamieszczono określone w badaniach wskaźniki wpływu cieczy I, II i III na opory skrawania) oraz intensywność tępienia się ostrza narzędzia, a w tabl. IV – wyniki sprawdzenia (za pomocą testu t-Studenta) hipotezy o równości wartości średnich tych wskaźników określonych dla badanych cieczy.

Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że najmniejsze opory skrawania występowały w przypadku zastosowania cieczy III, która pod tym względem istotnie różniła się od cieczy bazowej i drugiej badanej cieczy. Można też stwierdzić, że w przypadku badanych cieczy II i III intensywność zużywania się ostrza była mniejsza w porównaniu z zastosowaniem cieczy bazowej (różnica była istotna przy przyjętym poziomie istotności $\alpha = 0,10$).

TABLICA III. Określone w badaniach wskaźniki wpływu cieczy I, II i III na opory skrawania (wskaźnik A) i intensywność zużywania się ostrza narzędzia (wskaźnik B)

Wskaźnik	A, ms/mm			B, ms/mm			
Oznaczenie cieczy	I	II	III	I	II	III	
Nr pomiaru	1	1313	1529	1160	126	59	75
	2	1578	1508	1021	70	75	92
	3	1517	1498	1196	89	33	71
	4	1512	2273	1102	155	13	100
	5	2279	1767	1557	39	28	61
	6	1674	1409	1460	108	39	10
	7	1592	1579	1418	145	50	17
	8	2280	1718	1134	24	14	44
	9	1699	1436	974	77	59	75
	10	2324	1858	1099	96	33	45
Wartość średnia	1777	1658	1212	93	40	59	
Odchylenie standardowe	372	262	197	43	20	30	
Przedział ufności ($\alpha = 0,10$)	± 216	± 152	± 114	± 25	± 12	± 17	

TABLICA IV. Wyniki sprawdzenia (za pomocą testu t-Studenta) hipotezy o równości wartości średnich wskaźników A i B określonych dla badanych cieczy I, II i III

Wskaźnik	A, ms/mm			B, ms/mm		
Oznaczenie cieczy	I	II	III	I	II	III
I	X	0,828	4,239	X	3,505	2,064
II	$ t < t_{(\alpha,r)}$	X	4,302	$ t > t_{(\alpha,r)}$	X	1,625
III	$ t > t_{(\alpha,r)}$	$ t > t_{(\alpha,r)}$	X	$ t > t_{(\alpha,r)}$	$ t < t_{(\alpha,r)}$	X

Poziom istotności $\alpha = 0,10$; $t_{(\alpha=0,10; r=18)} = 1,734$. Dla $|t| \geq t_{(\alpha,r)}$ można odrzucić hipotezę o równości wartości średnich, dla $|t| < t_{(\alpha,r)}$ nie można odrzucić hipotezy o równości wartości średnich.

Podsumowanie

Badania jakości cieczy obróbkowych stosowanych w procesach obróbki wiórowej są istotne ze względu na funkcje (tj. zmniejszenie zużycia ostrzy narzędzi i polepszenie jakości powierzchni obrabianych przedmiotów) i trwałość tych cieczy oraz wyeliminowanie stwarzanych przez nie zagrożeń dla zdrowia i środowiska w miejscu pracy.

Przedstawiona metoda szybkiej oceny porównawczej wpływu emulsyjnych cieczy obróbkowych na opory skrawania i intensywność zużywania się ostrza narzędzia w wielu przypadkach stanowi dobrą alternatywę dla bardziej pracochłonnych i energochłonnych badań klasycznych.

LITERATURA

- Dobrzański L.A. „Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo”. Warszawa: WNT, 2006.
- „Ciecze do obróbki metali”. W: *Wiedzieć więcej – Poradnik* (rozdział 12). Materiały informacyjne firmy Total, 2016; www.total.com.pl/pro/B2B-produkty-dla-przemyslu/li-materiały-informacyjne.html.
- „Przewodnik po zastosowaniach: Superstopy żaroodporne”. Sandvik Coromant, 2010.
- Denkena B., Dege J.H., Groppe M., Grove T. „Zerspanbarkeit von b-Titanlegierungen”. *VDI-Z Special Werkzeuge*. Mai 2010: pp. 24÷27.
- Polowski W. „Ciecze obróbkowe”. W: *Obróbka skrawaniem w praktyce* (rozdział 2.10), red. J. Stós. Warszawa: Wyd. Verlag Dashofer, 2010.
- Byers J.P. „Metalworking Fluids”. New York: CRC Taylor & Francis, 2006.
- Schwarz M., Dado M., Hnilica R., Veverkova D. „Environmental and Health Aspects of Metalworking Fluids Use”. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 24, No. 1 (2015): pp. 37÷45.
- Cyprowski M. „Zanieczyszczenia mikrobiologiczne cieczy obróbkowych”. *Bezpieczeństwo Pracy*. Nr 9 (2012): s. 16÷18.
- Dagnell J. „Machinability ranking by a constant feed force method”. *Annals of the CIRP*, 1969, Vol. XVII, No. 3, s. 233÷242.
- Musiłek K., Czechowski K. „Wskaźniki skrawalności jako elementy ustalania lub weryfikacji procesu obróbki skrawaniem”. *TPP'2001 – Projektowanie Procesów Technologicznych*, Poznań, 2001: s. 233÷241.
- Czechowski K., Wronska I., Tobiła D. „Metody szybkiej oceny skrawalności materiałów obrabianych i skrawalności ostrzy narzędzi oraz wpływu cieczy obróbkowych na te właściwości”. *Mechanik*. Nr 8–9 (2013): s. 680÷683. ■