

# Analiza wpływu warunków chłodzenia i smarowania na kształtowaną strukturę powierzchni

MAŁGORZATA SŁOMION, ANDRZEJ WOJCIECHOWSKI, MACIEJ MATUSZEWSKI, OLEG POLISHCHUK\*

W artykule przedstawiono wstępną weryfikację wpływu cieczy chłodząco-smarującej lub jej braku na strukturę geometryczną powierzchni elementów maszyn poddanych obróbce skrawaniem. Do oceny jakości elementów obrabianych w różnych warunkach chłodzenia i smarowania, oprócz powszechnie stosowanych parametrów chropowatości, zaproponowano wykorzystanie stopnia izotropowości powierzchni. Stwierdzono przydatność tego parametru do wyznaczania charakterystyki struktury geometrycznej powierzchni.

## Wprowadzenie

Funkcjonalne właściwości par kinematycznych, np. odporność na zużywanie, opory ruchu, trwałość zmęczeniowa, w dużym stopniu zależą od cech warstwy wierzchniej, a w szczególności od struktury geometrycznej powierzchni, która jest kształtowana podczas procesu wytwarzania. Dlatego istotne jest, aby w jak największym stopniu określić wpływ warunków i parametrów procesu technologicznego na te cechy. Struktura geometryczna powierzchni kształtowana w procesie wytwarzania, zależy w dużym stopniu od techniki obróbki, która z kolei determinuje rodzaj i kształt narzędzia, kinematykę procesu – ruch względny narzędzia i przedmiotu obrabianego, oraz warunki obróbki [4, 12].

Dzięki dużej uniwersalności i dokładności kształtowania, wśród obróbek ubytkowych najbardziej rozpowszechnione jest skrawanie oparte na modelu usuwania warstw materiału w formie wiórow przez ostrze skrawające narzędzia. Łączny udział obróbki skrawaniem w

przemśle maszynowym jest oceniany obecnie na ok. 50% i według prognoz Międzynarodowego Stowarzyszenia Badań Procesów Wytwórczych (CIRP) udział ten, chociaż malejący – jeszcze długo będzie znaczny. Wynika to ze zwiększających się możliwości stosowania skrawania i uzyskiwanych dużych dokładności [4].

Efekt oddziaływania wymuszeń kinematycznych widoczny jest głównie w strukturze geometrycznej powierzchni. Na rezultaty tych wymuszeń wpływają sposób oraz parametry obróbki. Od wartości parametrów oraz relacji między ruchami narzędzia i przedmiotu obrabianego zależą, m.in. kształt i rozmieszczenie śladów obróbki po każdej operacji technologicznej. Jak już wcześniej zasygnalizowano, stereometria powierzchni w dużej mierze wpływa na charakterystyki trybologiczne i cechy użytkowe par kinematycznych.

Podczas procesów obróbkowych na kształtowaną strukturę geometryczną powierzchni oddziałują również uży-

wane cieczy chłodząco-smarujące oraz ewentualne ich zanieczyszczenie. Wywierają one wpływ na trwałość ostrzy narzędzi skrawających, dokładność wymiarowo-kształtową obrabianych powierzchni przedmiotów, a także oddziałują na proces kształtowania wiórow i zjawiska występujące w strefie skrawania [6, 11].

Szkodliwe oddziaływanie wielu procesów technologicznych na środowisko, w tym zwłaszcza obróbki ubytkowej, implikuje dążenie do ograniczenia w jak największym stopniu lub całkowitego wyeliminowania czynników negatywnie wpływających na otoczenie pracy. W przypadku obróbki skrawaniem czynnikiem o największym znaczeniu ekologicznym jest stosowana ciecz chłodząco-smarująca. W ostatnich latach pomimo wielu zalet wynikających ze stosowania cieczy chłodząco-smarujących coraz częściej uznaje się je za czynnik niepożądany w procesie skrawania. Ocena taka wynika nie tylko ze względów ekonomicznych, gdyż szacuje się, że stosowanie cieczy obróbkowych stanowi prawie 20% ogółu kosztów wytwarzania, ale również z uwagi na aspekty ekologiczne i konieczność dostosowania się do coraz bardziej rygorystycznych przepisów związanych z ochroną środowiska i BHP. Składowanie i utylizacja

\* Mgr inż. Małgorzata Słomion, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Zarządzania, mgr inż. Andrzej Wojciechowski, ODEKA – Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, Bydgoszcz, dr hab. inż. Maciej Matuszewski Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, prof. Oleg Polishchuk, Narodowy Uniwersytet Techniczny, Chmielnicki, Ukraina.

zużytych cieczy obróbkowych stanowią również potencjalne zagrożenie dla środowiska naturalnego [5, 7].

Coraz większe znaczenie ze względów ekonomicznych, ekologicznych, technologicznych i ochrony zdrowia uzyskuje obróbka na sucho – bez stosowania cieczy chłodząco-smarującej. Jej wprowadzaniu również sprzyjają doskonalenie właściwości użytkowych nowych materiałów narzędziowych i powłok oraz zmiana konstrukcji obrabiarek i narzędzi. Podczas obróbki na sucho powstające ciepło gromadzi się w narzędziu, w materiale obrabianym i wiórach. Część tego ciepła bezpośrednio odprowadzana jest do otoczenia, a pozostała część jak najszybciej powinna być usunięta ze strefy skrawania. W konwencjonalnych metodach chłodzenia (na mokro) ciepło to usuwane jest wraz z cieczą chłodząco-smarującą. W obróbce na sucho następuje to poprzez zastosowanie narzędzia o odpowiednim kształcie, które w ten sposób częściowo przejmuje dotychczasowe funkcje cieczy chłodząco-smarującej [10, 13].

W obróbce na sucho funkcje realizowane przez ciecz chłodząco-smarującą oprócz narzędzia przejmuje również obrabiarka. Konstrukcja obrabiarki, a w szczególności układ przestrzeni roboczej, powinna przeciwdziałać oddziaływaniu ciepła zawartego w wiórach na dokładność obrabianego przedmiotu [3].

Obróbka na sucho ma wiele zalet: redukuje szoki termiczne, zmniejsza koszty związane z zakupem i eksploatacją cieczy obróbkowych, redukuje koszty systemu zasilania, wytwarzania i oczyszczania wiórów, zmniejsza koszty materiałowe,

ogranicza zagrożenia zdrowotne obsługujących pracowników, zmniejsza zanieczyszczenie otoczenia stanowiska pracy i środowiska naturalnego. Jednak z uwagi na warunki skrawania, w których często występuje duża adhezja wióra do narzędzia, intensywne zużycie ostrza czy deformacje cieplne przedmiotu obrabianego wykraczające poza tolerancje wymiarowo-kształtowe, możliwości całkowitego wyeliminowania cieczy obróbkowych ze wszystkich procesów technologicznych są ograniczone [8, 10, 13].

Kolejnym sposobem ograniczania ilości cieczy chłodząco-smarujących w procesie skrawania jest obróbka z minimalnym wydatkiem cieczy obróbkowej (MQL – *Minimum Quantity Lubrication*). Istota jej polega na doprowadzeniu w określonym czasie możliwie najmniejszej ilości płynu obróbkowego, najczęściej wynoszącej mniej niż  $50 \text{ ml}\cdot\text{h}^{-1}$ , jak najbliższej miejsca styku ostrza narzędzia z obrabianym materiałem. Metoda ta jest coraz częściej stosowana w praktyce przemysłowej, czemu sprzyjają rozwój materiałów narzędziowych i ich powłok, zwiększających wytrzymałość ostrza w trudnych warunkach skrawania, a także nowe rozwiązania konstrukcyjne obrabiarek, narzędzi i oprzyrządowania [1, 2, 5, 9].

### Badania doświadczalne

W celu weryfikacji wpływu – bądź jego braku – warunków chłodzenia i smarowania podczas obróbki na kształtowaną strukturę geometryczną powierzchni przeprowadzono wstępne, uproszczone badania doświadczalne. Przeprowadzono je dla obróbki szlifowaniem jako dominującej obróbki wykończeniowej

przy następujących zmiennych niezależnych:

- obróbka bez udziału cieczy obróbkowej – na sucho (S),
- obróbka z minimalnym smarowaniem mgłą olejową przy wydatku  $50 \text{ ml}\cdot\text{h}^{-1}$  (MQL),
- obróbka z konwencjonalnym chłodzeniem i smarowaniem 5% emulsją przy wydatku  $4 \text{ dm}^3\cdot\text{min}^{-1}$  (E).

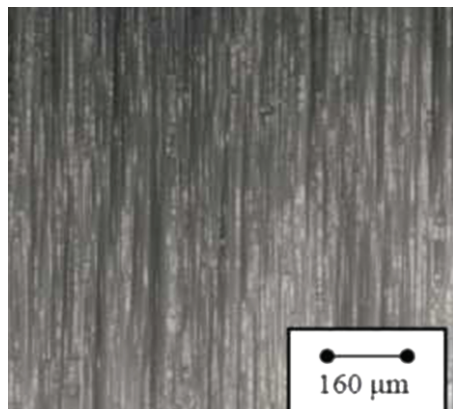
Kontrolowanymi wielkościami wyjściowymi były czynniki opisujące uzyskaną strukturę geometryczną powierzchni. Do czynników tych – poza powszechnie stosowanymi parametrami chropowatości ( $R_a$ ,  $R_q$ ) – zaliczono również stopień izotropowości tych struktur ( $I_z$ ), który jest miarą uporządkowanego rozmieszczenia ukształtowania struktury.

Jako czynnik stałą przyjęto rodzaj materiału próbek – stal 102Cr6 o twardości  $30\pm 2$  HRC. Natomiast do niekontrolowanych, losowych czynników wejściowych – zakłóceń, zaliczono różnicowanie struktury powierzchni próbek wynikające z zakłóceń obróbki:

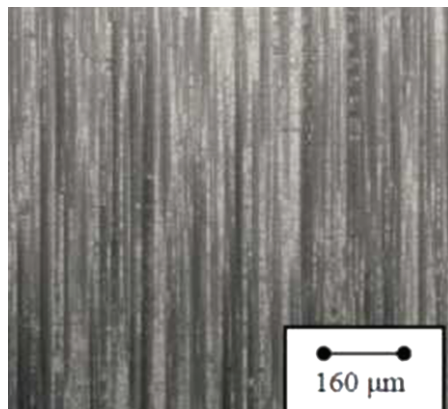
- geometrycznych spowodowanych geometrią ostrza (zużywanie narzędzia),
- kinematycznych wynikających z łańcucha kinematycznego, z odchyłek wykonawczych elementów tworzących ten łańcuch,
- dynamicznych wynikających z drgań spowodowanych, m.in. biciem elementów.

Na rys. 1 przedstawiono topografię powierzchni uzyskanych przy różnych warunkach chłodzenia i smarowania podczas szlifowania. Obrazy zostały

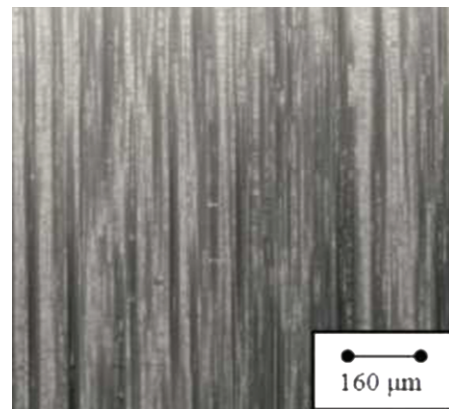
MQL



E



S



Rys. 1. Obrazy struktur powierzchni uzyskanych obróbkami przy różnych warunkach chłodzenia i smarowania: MQL, E – z udziałem emulsji, S – na sucho

Tabela 1. Zestawienie uśrednionych rezultatów badań dla różnych warunków obróbki związanych z ilością lub brakiem cieczy chłodząco-smarującej

Sposób chłodzenia i smarowania	Parametr chropowatości Ra, $\mu\text{m}$	Parametr chropowatości Rq, $\mu\text{m}$	Stopień izotropowości Iz, %
S	1,72	2,04	11,80
E	1,37	1,73	9,27
MQL	1,16	1,64	8,01

uzyskane poprzez skanowanie na maszynie pomiarowej Talyscan 150 Taylor Hobson, przy użyciu programu komputerowego TalyMap Expert. Obszar powierzchni skanowanej wynosił  $3 \times 3$  mm przy próbkowaniu 0,05 mm.

Obrazy uzyskanych powierzchni nie pozwalają na szczegółową analizę jakościową. Wydaje się, że ze względu na kształt charakterystycznych elementów powierzchni są one takie same lub bar-

dzo podobne i były uzyskane w tych samych warunkach. Jednak po analizie ilościowej można rozróżnić uzyskane struktury powierzchni.

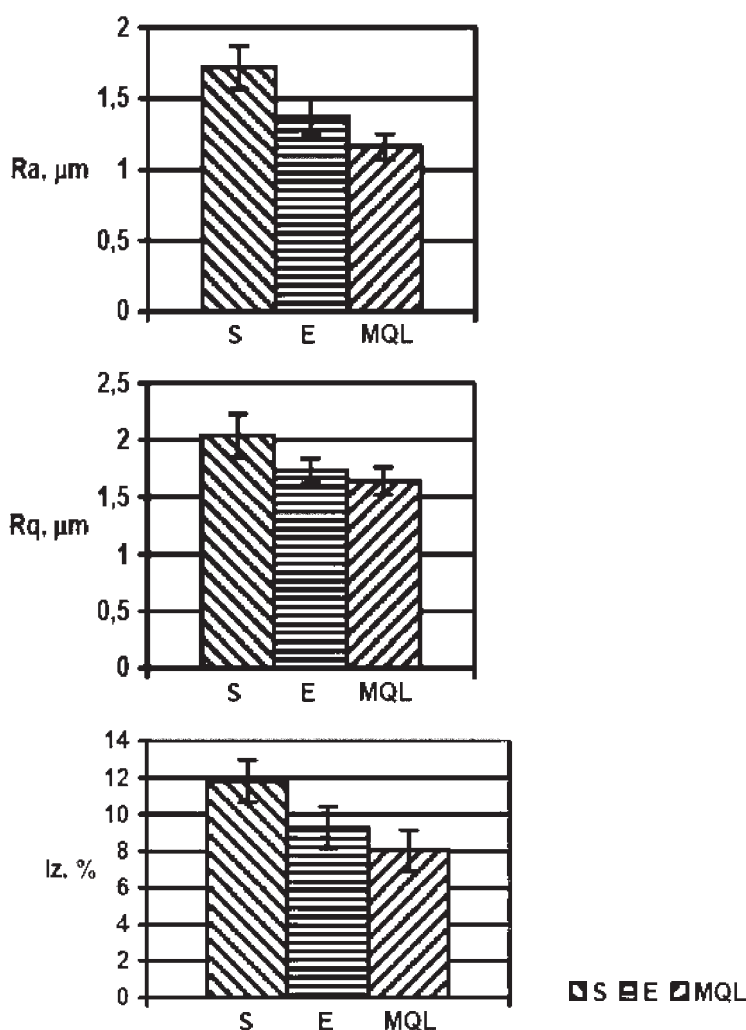
Badania związane z aspektem minimalnego chłodzenia i smarowania strefy obróbkowej przeprowadzono za pomocą urządzenia Minibooster II firmy Accu-Lube Manufacturing GmgH. Dozownik ten wytwarza mgłą olejową z mieszaniny powietrza i oleju roślinnego LB8000

firmy Accu-Lube o lepkości kinematycznej  $37 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  w  $40^\circ\text{C}$ . W celu wytworzenia mgły olejowej doprowadzane jest sprężone powietrze (0,6 MPa), które przepływa przez generator częstotliwości. Jego zadaniem jest generowanie impulsów powietrza o określonej częstotliwości, wynikającej z wymaganych właściwości mgły olejowej. Wytworzone impulsy powietrza przepływają do pompy oleju, która w zależności od ustawionego skoku cylindra pobiera określoną ilość oleju ze zbiornika i przesyła ją, zgodnie z ustaloną częstotliwością impulsów powietrza, do komory mieszania. Doprowadzone w ten sposób do komory mieszania powietrze powoduje atomizację oleju i wytworzenie mgły olejowej, która następnie kierowana jest do zbiornika oleju. Zmagazynowana w tym zbiorniku mgła olejowa przepływa następnie węzłem do dysz dozujących ją do strefy obróbkowej.

W tabeli 1 przedstawiono uzyskane rezultaty dla obróbki na sucho (S), z konwencjonalnym chłodzeniem i smarowaniem emulsją (E) oraz z minimalnym chłodzeniem i smarowaniem mgłą olejową (MQL).

Na rysunku 2 przedstawiono graficznie rezultaty przeprowadzonych badań.

Na podstawie przedstawionych rezultatów badań można stwierdzić, że sposób chłodzenia i smarowania wpływa na konstytuowaną strukturę geometryczną, a więc również na cechy użytkowe elementów pary kinematycznej. W przypadku obróbki MQL uzyskuje się najmniejsze wartości parametrów opisujących ukonstytuowaną strukturę powierzchni. Największe wartości występują natomiast w przypadku obróbki na sucho. Dla obróbki z chłodzeniem i smarowaniem konwencjonalną emulsją, kontrolowane parametry przyjmują wartości pośrednie. Taki charakter zmian zaobserwowano dla wszystkich ocenia-



Rys. 2. Wpływ sposobu chłodzenia i smarowania na strukturę geometryczną powierzchni opisaną kolejno: parametrem Ra, parametrem Rq oraz stopniem izotropowości Iz

nych parametrów opisujących strukturę powierzchni. Z wykresów wynika również, że wartości ocenianych wielkości, w przypadku udziału w obróbce cieczy lub mgły są do siebie zbliżone, a dla obróbki na sucho wartości są wyraźnie większe.

### Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań potwierdziły, że metoda chłodzenia i smarowania ma wpływ na strukturę obrabianej powierzchni, a więc również na jej cechy funkcjonalne. Ponieważ badania eksperymentalne zweryfikowały ogólnie wpływ ilości płynu chłodząco-smarującego na strukturę konstituowanej powierzchni, należałoby przeprowadzić bardziej szczegółowe badania doświadczalne, w których zarówno zbiór i zakres zmiennych niezależnych jak i zależnych byłby rozszerzony. Zbiór zmiennych niezależnych powinien zawierać wszystkie zidentyfikowane czynniki, które wpływają na konstituowanie się technologicznej warstwy wierzchniej. Zestaw zmiennych zależnych należałoby

również uzupełnić o inne parametry charakteryzujące strukturę powierzchni.

### Literatura

- [1] Benes J.: Cutting the coolant. *American Machinist* No. 8/2007, p. 36.
- [2] Dyrbuś G.: Obróbka z minimalnym smarowaniem. *Pr. Nauk. Katedry Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej* nr 2/1998, s. 135–140.
- [3] Giessler J.: Cut and dried technology. *Machinery* No. 162/2004, pp. 6–7.
- [4] Grzesik W.: Podstawy skrawania materiałów metalowych. WNT, Warszawa 1998.
- [5] Hussain M.I., Taraman K.S., Filipovic A.J., Garrn I.: Experimental study to analyse the workpiece surface temperature in deep hole drilling of aluminium alloy engine blocks using MQL technology. *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.* No. 2/2008, pp. 485–490.
- [6] Jemielniak K.: Obróbka skrawaniem. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2004.

[7] Kuttkat B.: Trockenbearbeitung senkt die Fertigungskosten. *Maschinenmarkt* No. 36/2001, pp. 68–73.

[8] Landgraf G.: Dry goods. *Cutting Tool Engineering* No. 1/2004, pp.44–48.

[9] Liao Y.S., Lin H.M.: Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* No. 47/2007, pp. 1660–1666.

[10] Oakham M.: Tails you win. *Metalwork. Prod.* No. 11/2000, pp.67–70.

[11] Oczko K.E.: Postęp w obróbce skrawaniem II. Obróbka na sucho i ze zminimalizowanym smarowaniem. *Mechanik* nr 5–6/1998, ss. 307–318.

[12] Oczko K.E., Lubimow W.: Struktura geometryczna powierzchni. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2003.

[13] Weinert K., Inasaki I., Sutherland J.W., Wakabayashi T.: Dry machining and minimum quantity lubrication. *Ann. CIRP* No. 53/2004, pp. 511–537. ■