

Wpływ warunków chłodzenia i smarowania podczas obróbki na konstytuowaną strukturę geometryczną powierzchni

dr inż. Maciej Matuszewski, dr inż. Andrzej Wojciechowski

W artykule przedstawiono wstępną weryfikację wpływu ilości lub braku cieczy chłodząco-smarującej na konstytuowaną podczas szlifowania strukturę geometryczną powierzchni. Przeprowadzona analiza potwierdziła ten wpływ. Do oceny zmian cech w ukształtowaniu struktur obrabianych elementów przy różnych warunkach chłodzenia i smarowania przyjęto parametry chropowatości w tym krzywej nośności, które determinują proces zużywania powierzchni podczas ich eksploatacji.

1. Wprowadzenie

Na cechy użytkowe elementów par ciernych tworzących zespoły funkcyjne różnych obiektów technicznych wpływ mają własności i właściwości warstwy wierzchniej (WW), a w szczególności struktury geometrycznej powierzchni (SGP). Warstwa wierzchnia, w tym struktura powierzchni, konstytuowana jest w sposób dynamiczny przez cały proces wytwórczy. Z tego powodu istotne jest określenie wpływu warunków i parametrów procesu wytwarzania na cechy struktury geometrycznej powierzchni. Kształtowana w procesie technologicznym struktura geometryczna powierzchni w istotnym stopniu zależy od rodzaju obróbki, która z kolei determinuje kształt narzędzia, kinematykę ruchów względnych przedmiotu obrabianego i narzędzia oraz środowisko w jakim odbywa się obróbka.

Bardzo duża liczba operacji i zabiegów procesów technologicznych, zwłaszcza opartych na obróbce ubytkowej, ma szkodliwe oddziaływanie na otoczenie pracy. Z tego względu należy dążyć do

ograniczenia w jak największym stopniu lub całkowitego wyeliminowania, czynników negatywnie wpływających na to otoczenie. W przypadku obróbki skrawaniem, która jest dominującą obróbką ubytkową w przemyśle maszynowym, czynnikiem o największym znaczeniu ekologicznym jest stosowana ciecz chłodząco-smarująca. Z informacji literaturowych dotyczących tego zagadnienia, można stwierdzić, że większość badań naukowych obróbki wiórowej w warunkach obróbki: na sucho, z minimalnym chłodzeniem i smarowaniem oraz z konwencjonalnym stosowaniem cieczy obróbkowych, koncentruje się na analizie zjawisk występujących w strefie skrawania w odniesieniu do dokładności kształtowo-wymiarowej obrabianych powierzchni, zużycia ostrza, czy procesu kształtowania się wiórów [6, 7]. Nowe tworzywa konstrukcyjne obrabianych elementów, a także coraz to doskonalsze obrabiarki i narzędzia skrawające powodują, że badania dotyczące skutków wyeliminowania lub ograniczenia ilości cieczy chłodząco-smarującej w aspekcie uzyskiwanych cech użytkowych, determi-

nowanych głównie uzyskaną strukturą geometryczną powierzchni, są uzasadnione i celowe.

Podstawowym celem przedstawionych w niniejszej pracy badań była wstępna ocena wpływu ilości lub braku cieczy chłodząco-smarującej na konstytuowaną podczas obróbki strukturę geometryczną powierzchni.

2. Warunki chłodzenia i smarowania obróbki a kształtowana SGP

W trakcie obróbki do czynników wpływających na kształtowaną strukturę geometryczną powierzchni jak już wspomniano należą stosowane cieczy chłodząco-smarujące oraz ewentualne ich zanieczyszczenie.

W ostatnich latach pomimo wielu zalet wynikających ze stosowania cieczy chłodząco-smarujących coraz częściej uznaje się je za czynnik niepożądany podczas skrawania i dąży się do ich ograniczenia lub całkowitego wyeliminowania. Wyni-



ka to przede wszystkim z dwóch powodów. Jednym z nich są względy ekonomiczne – szacuje się, że stosowanie cieczy obróbkowych stanowi około 16,8% ogółu kosztów wytwarzania. Drugim czynnikiem są aspekty ekologiczne i konieczność dostosowania się do coraz bardziej rygorystycznych przepisów związanych z ochroną środowiska i BHP [1].

Jednym ze sposobów ograniczania negatywnego wpływu cieczy chłodząco-smarującej na otoczenie, co jest oczywiste, jest całkowite wyeliminowanie cieczy, czyli prowadzenie obróbki na sucho. Zastosowaniu takiego sposobu obróbki, sprzyjają właściwości użytkowe nowych materiałów narzędziowych i powłok oraz zmiana konstrukcji obrabiarek i narzędzi [13, 15]. Istota tego sposobu obróbki polega na tym, że powstające ciepło gromadzi się w narzędziu, w materiale obrabianym i wiórach. Część tego ciepła odprowadzana jest bezpośrednio do otoczenia, a pozostała powinna być jak najszybciej usunięta ze strefy skrawania. Możliwe jest to poprzez zastosowanie narzędzia o odpowiednim kształcie [7], które częściowo przejmuje dotychczasowe funkcje cieczy chłodząco-smarującej. Drugim elementem przemijającym w obróbce na sucho funkcje realizowane przez ciecz chłodząco-smarującą jest obrabiarka. Konstrukcja obrabiarki, a w szczególności układ przestrzeni roboczej, powinna przeciwdziałać oddziaływaniu ciepła zawartego w wiórach na dokładność obrobionego przedmiotu [4].

Możliwość ograniczenia negatywnego wpływu cieczy chłodząco-smarującej na środowisko, istnieje również poprzez zastosowanie minimalnego wydatku cieczy w czasie obróbki (MQL – *Minimum Quantity Lubrication*). Istota tego sposobu 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 oraz nowe rozwiązania konstrukcyjne obrabiarek, narzędzi i oprzyrządowania [5, 8, 13].

Na podstawie analizy źródeł literaturowych – jak już zaszyfrowano – stwierdzono, że ocena wpływu cieczy obróbkowej dotyczy przede wszystkim dokładności kształtowo-wymiarowej obrobionych powierzchni, aspektów zużycia ostrza oraz procesu kształtowania się wiórów. Spostrzeżenia dotyczące wpływu ilości lub braku cieczy chłodząco-smarującej na cechy kształtowanej struktury geometrycznej powierzchni – a pośrednio na cechy użytkowe – są ogólnikowe i brak jest szczegółowych analiz. Ogólnie, na podstawie istniejących informacji literaturowych można stwierdzić, że w przypadku zastosowania minimalnego chłodzenia i smarowania w postaci mieszanki powietrza z olejem lub wodą uzyskuje się mniejsze wartości chropowatości niż w przypadku obróbki na sucho lub z konwencjonalnym podawaniem emulsji [2, 3, 12, 14]. W przypadku obróbki na sucho oraz z konwencjonalnym chłodzeniem i smarowaniem strefy skrawania, następuje wzrost chropowatości powierzchni w wyniku większych temperatur i naprężeń działających na ostrze.

3. Badania doświadczalne

Ocenę wpływu ilości lub braku cieczy chłodząco-smarującej na SGP dokonano dla obróbki szlifowaniem, dominującej obróbki wykończeniowej w procesie wytwórczym, w następujących warunkach stanowiących podstawowe zmienne niezależne:

- 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 $4 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ (E).

Badania wykonano dla próbek ze stali 102Cr6 o twardości $30 \pm 2 \text{ HRC}$. Szlifowanie przeprowadzono ściernicą z elektrokorundu 99A o wymiarach $\varnothing 350 \times 50$ z następującymi parametrami: prędkość obwodowa ściernicy $v_s = 26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; prędkość posuwu stołu $v_f = 13,4 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$; głębokość szlifowania $a_p = 0,04 \text{ mm}$. Próbkę w kształcie prostopadła przed szlifowaniem były wstępnie obrobione frezem walcowo-czołowym.

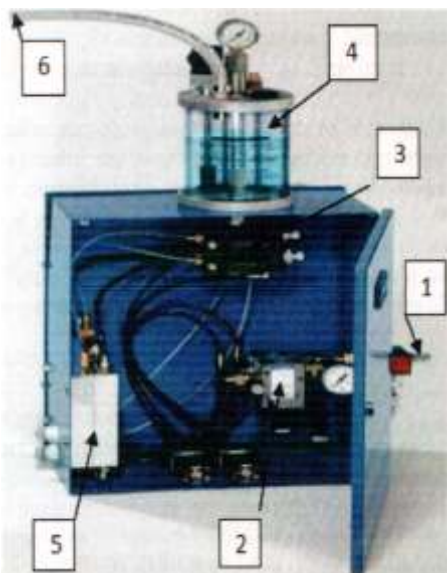
Kontrolowanymi wielkościami wyjściowymi były wielkości opisujące uzyskaną SGP [10, 11]. Do wielkości tych przyjęto amplitudowy parametr chropowatości R_a

(średnia arytmetyczna rzędnych profilu) oraz parametry krzywej nośności R_{pk} i R_{vk} , które dobrze charakteryzują SGP pod kątem ich cech użytkowych [9, 16]. Parametr R_{pk} (zredukowana wysokość wzniesień) jest to średnia wysokość wzniesień wystających ponad profil rdzenia chropowatości. Parametr ten jest zatem średnią wysokością górnej części profilu powierzchni. Determinuje on zachowanie struktury geometrycznej powierzchni podczas docierania elementów. Małe wartości parametru R_{pk} informują o dużej odporności SGP na ścieranie.

Parametr R_{vk} – zredukowana głębokość wgłębień – jest średnią głębokością wgłębień występujących poniżej profilu rdzenia chropowatości. Jest on zatem średnią głębokością najniższej części profilu powierzchni. Na podstawie wartości tego parametru można wnioskować o zdolności utrzymywania warstewki oleju smarującego przez powierzchnie, przy czym te, które wymagają dobrego smarowania, powinny odznaczać się dużymi wartościami R_{vk} .

Realizację weryfikacji oddziaływania na SGP minimalnego smarowania mgłą olejową, przeprowadzono za pomocą dozownika przedstawionego na rysunku 1.

Dozownik minimalnego chłodzenia i smarowania Minibooster II firmy Accu-Lube Manufacturing GmgH 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°C . W celu wytworzenia mgły olejowej zawór zasilający (1) podłączono do źródła sprężonego powietrza (0,6 MPa). Doprowadzone powietrze przepływa następnie przez generator częstotliwości (2), którego zadaniem jest generowanie impulsów powietrza o określonej częstotliwości, wynikającej z wymaganych właściwości mgły olejowej. Wytworzone impulsy powietrza przepływają do pompy oleju (3), która w zależności od ustawionego skoku cylindra pobiera określoną ilość oleju ze zbiornika oleju (4) i przesyła ją, zgodnie z ustaloną częstotliwością impulsów powietrza, do komory mieszania – minibooster (5). 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 (6) do dysz dozujących ją do strefy obróbkowej.



Rys. 1. Dozownik minimalnego chłodzenia i smarowania Minibooster II (opis w tekście)

Obrazy uzyskanych struktur uniemożliwiają przeprowadzenie szczegółowej analizy jakościowej. Wydaje się, że ze względu na ukształtowanie charakterystycznych elementów struktury są one takie same lub bardzo zbliżone i zostały ukonstytuowane w takich samych warunkach. Dopiero analiza ilościowa pozwala różnicować uzyskane struktury.

Na rysunku 3 przedstawiono graficznie uśrednione z sześciu powtórzeń rezultaty przeprowadzonych badań dla obróbki na sucho (S), z konwencjonalnym chłodzeniem i smarowaniem emulsją (E) oraz z minimalnym chłodzeniem i smarowaniem mgłą olejową (MQL).

Z uzyskanych wyników badań ogólnie wynika, że sposób chłodzenia i smarowania oddziałuje na konstytuowaną

zaobserwowano dla wszystkich ocenianych parametrów opisujących SGP. Jednak na podstawie tych wyników trudno określić miarodajne relacje i zależności, szczególnie w aspekcie cech użytkowych tak obrabianych elementów powierzchni. Z tego powodu należałoby przeprowadzić pełniejsze badania eksperymentalne, w których zbiór zmiennych zależnych byłby rozszerzony o inne parametry struktury geometrycznej powierzchni, które bardziej kompleksowo mogłyby charakteryzować uzyskaną strukturę powierzchni.

4. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych wyników badań wykazano, że warunki chłodzenia i smarowania (ilość cieczy lub jej brak)

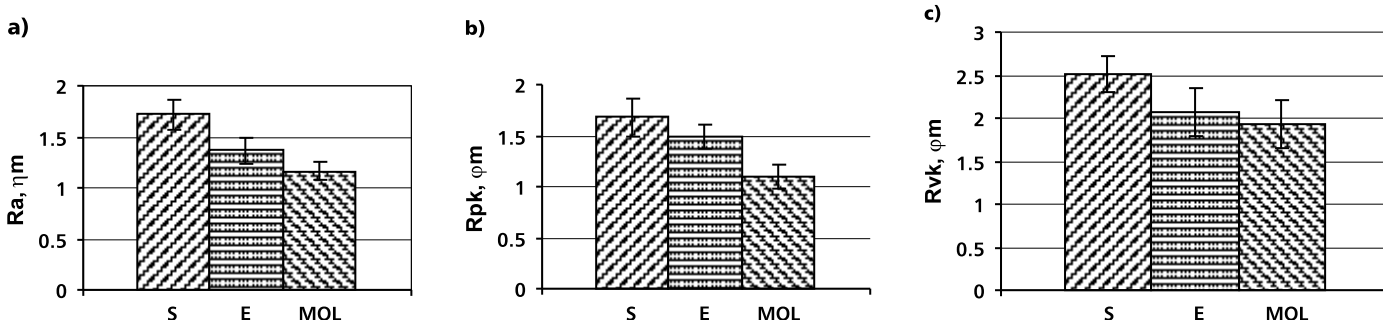


Rys. 2. Obrazy SGP w zależności od sposobu chłodzenia i smarowania w czasie obróbki: a) E – z udziałem emulsji, b) MQL, c) S – na sucho

Na rysunku 2 przedstawiono topografię powierzchni obrabianych w poszczególnych badanych warunkach szlifowania. Obrazy uzyskano poprzez skanowanie na maszynie pomiarowej Talyscan 150 firmy Taylor Hobson, używając programu TalyMap Expert. Skanowany był obszar powierzchni o wymiarach 3 × 3 mm przy kroku próbkowania wynoszącym 0,05 mm.

strukturę geometryczną powierzchni. 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 wartości

wpływają na cechy kształtowanej podczas obróbki struktury geometrycznej powierzchni, a więc i na cechy użytkowe. Na podstawie tych wyników trudno określić szczegółowe relacje i zależności, dlatego celowe wydaje się kontynuowanie badań eksperymentalnych, rozszerzonych o zbiór zmiennych niezależnych i zależnych. Zbiór zmiennych niezależnych powinien obejmować wszystkie



Rys. 3. Wpływ sposobu chłodzenia i smarowania na SGP opisaną parametrami chropowości: a) amplitudowym R_a , b) nośności R_{pk} , c) nośności R_{vk}

czynniki, które determinują sposób chłodzenia i smarowania – różny wydatek cieczy, dodatki do płynów, parametry technologiczne. Natomiast zbiór zmiennych zależnych należałoby poszerzyć o inne parametry charakteryzujące strukturę geometryczną powierzchni, szczególnie pod kątem cech użytkowych.

Literatura

1. Benes J.: Cutting the coolant. *American Machinist* 8/2007, 36.
2. Dhar N.R., Ahmed M.T., Islam S.: An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel. *International Journal of Machine Tools Manufacture* 47/2007, 748753.
3. Dhar N.R., Kamruzzaman M., Ahmed M.: Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel. *Journal of Materials Processing Technology* 172/2006, 299304.
4. Giessler J.: Cut and dried technology. *Machinery* 162/2004, 67.
5. Hussain M.I., Taraman K.S., Filipovic A.J., Garrn I.: Experimental study to analyses the workpiece surface temperature in deep hole drilling of aluminium alloy engine blocks using MQL technology. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 2/2008, 485490.
6. Jemielniak K.: Obróbka skrawaniem. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2004.
7. Landgraf G.: Dry goods. *Cutting Tool Engineering* 1/2004, 4448.
8. Liao Y.S., Lin H.M.: Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 47/2007, 16601666.
9. Nyc R.: Ocena zużycia współpracujących powierzchni elementów maszyn na podstawie krzywych nośności. *Tribologia* nr 3/2001, 349355.
10. Oczóś K.E., Lubimow W.: Struktura geometryczna powierzchni. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2003.
11. Pawlus P.: Topografia powierzchni: pomiar, analiza, oddziaływanie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2006.
12. Stachurski W., Sawicki J., Kaczmarek Ł.: Wpływ czynnika chłodząco-smarującego na stan warstwy wierzchniej zębów kół frezowanych obwiedniowo. *Tribologia* 1/2012, 147165.
13. Styp-Rekowski M.: Zagadnienia trybologiczne w budowie obrabiarek skrawających. Wydawnictwo Uczelniane ATR Bydgoszcz 2004.
14. Wakabayashi T., Suda S., Inasaki I., Terasaka K., Musha Y., Toda Y.: Tribological Action and Cutting Performance of MQL Media in Machining of Aluminium. *CIRP Annals* 56/2007, 97100.
15. Weinert K., Inasaki I., Sutherland J.W., Wakabayashi T.: Dry machining and minimum quantity lubrication. *Annals of the CIRP* 53/2004, 511537.
16. Wiczerowski M., Cellary A., Chajda J.: Przewodnik po pomiarach nierówności powierzchni czyli o chropowatości i nie tylko. Politechnika Poznańska, Poznań 2003.

reklama

Wesołych Świąt i Szczęśliwego Nowego Roku!

Dziękując za dotychczasową współpracę i okazane naszej firmie zaufanie, pragniemy złożyć Państwu życzenia zdrowych, rodzinnych i ciepłych Świąt Bożego Narodzenia oraz wszelkiej pomyślności i sukcesów w nadchodzącym Nowym Roku.

Wszystkiego co najlepsze, życzy

Zespół SCHUNK Intec Polska

