

Piotr WOLSZCZAK¹
Paweł SZALCZYŃSKI²
Stanisław PŁASKA²

CHŁODZENIE NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH

Zadaniem substancji chłodzącej podczas obróbki skrawaniem jest odprowadzanie ciepła, smarowanie powierzchni narzędzia i transport wiórów. W artykule przedstawiono wyniki pomiaru chropowatości powierzchni obrabianej z chłodzeniem cieczą i obrabianej bez chłodzenia, o łącznej liczbie 120 pomiarów. Pomiar chropowatości ukazały znaczenie ilościowe znanego zjawiska stosowania chłodziwa podczas obróbki stali. Zastosowanie chłodzenia cieczą wpłynęło na obniżenie chropowatości wyrażonej przez Ra o 23,5 %, a o 37,4 % w przypadku miary Rz , w porównaniu do obróbki bez chłodzenia. Przedstawiono szczegółową interpretację wyników pomiarów chropowatości wzdłuż kolejnych przejść narzędzi, różnic między przejściami oraz różnic między obszarami pomiarowymi rozmieszczonymi poprzecznie do kierunku przejścia narzędzia.

CUTTING FLUIDS

During machining process, cutting fluids are used to transfer heat, lubricate the tool surface and transport the chips. The article presents the roughness of the surface machined with a cutting fluid and without it, wherein the total number of measurements is equal 120. The results show the quantitative description of the effect caused by the application of coolant in machining. Comparing to the dry machining, liquid cooling decreased the roughness Ra by 23.5 % and Rz by 37.4 %. Detailed interpretation of the results is presented, including the the roughness measurements along the tool path, the differences between the cutting tool transitions and the differences between the areas of measuring arranged transversely to the toolpaths.

1. WSTĘP

W procesach polegających na wysokowydajnej obróbce skrawaniem chłodzenie narzędzi odgrywa bardzo istotną rolę. Rozwój systemów chłodzenia dotyczy metod i konstrukcji układów oraz substancji chłodzących. Zadaniem substancji chłodzącej, prócz odprowadzania ciepła, jest również smarowanie powierzchni natarcia i przyłożenia, które stykają się z obrabianą powierzchnią materiału i spływającym wiórem. W efekcie smarowanie przyczynia się do obniżenia temperatury w strefie skrawania. Ciecz chłodząca, poza odprowadzaniem ciepła i zmniejszeniem tarcia będącego źródłem ciepła, wykorzystywana jest również do transportu wiórów, na przykład podczas operacji głębokiego wiercenia. Zastosowanie specjalistycznego systemu chłodzenia wpływa na zwiększenie trwałości narzędzia skrawającego przez zmniejszenie sił skrawania oraz obciążenia cieplnego.

Z podanych powodów dobór postaci i rodzaju chłodziwa może poprawnie wpłynąć na warunki procesu skrawania, jakość obróbki oraz żywotność narzędzi. Możliwości doboru chłodziwa zależą od rodzaju obróbki i gatunku skrawanego materiału. Dobór ten wymaga wiedzy z teorii tarcia i zużycia ostrzy narzędzi skrawających oraz znajomości podstawowych zjawisk fizycznych wynikających z mechanicznego oddziaływania ostrza narzędzia na materiał obrabiany [1].

Poza wymienionym zaletami, stosowanie cieczy smarująco-chłodzących wiąże się ze szkodliwymi skutkami, które ograniczają ich stosowanie. Przykładami takich skutków są:

- konieczność stosowania zamkniętych komór skrawania ograniczających rozpryskiwanie cieczy chłodzącej,
- powstawanie dużych ilości pyłu metalicznego podczas skrawania żeliwa lub brązu, który po wymieszaniu z cieczą chłodzącą znacząco zanieczyszcza obrabiarkę,
- zagrożenie zanieczyszczeniem środowiska oraz konieczność utylizacji cieczy wymaga budowania oczyszczalni ścieków i w dużym stopniu podnosi koszty produkcji.

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Automatykacji, ul. Nadbystrzycka 36a, 20-618 Lublin, Poland, tel. 81 5384267, e-mail: p.wolszczak@pollub.pl

² Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Zamościu, ul. Pereca 2, 22-400 Zamość

W niewielkich warsztatach narzędziowych posiadających doświadczenie w obróbce za pomocą maszyn konwencjonalnych, a które nabierają doświadczenia w obróbce za pomocą maszyn sterowanych numerycznie, kluczową decyzją może być decyzja o zastosowaniu chłodzenia cieczą.

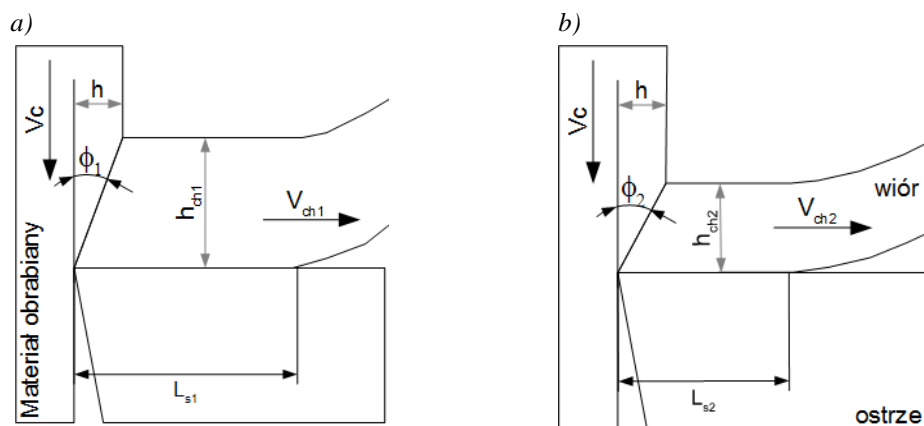
W pracy przedstawiono wyniki frezowania stali z zastosowaniem cieczy chłodzącej oraz wyniki frezowania bez chłodzenia w postaci uzyskanej chropowatości powierzchni.

2. WARUNKI W STREFIE OBRÓBKII

Podczas obróbki bez chłodzenia, w strefie skrawania nie występują pozytywne zjawiska związane z cieczą chłodząco-smarującą, czyli smarowanie, chłodzenie i wypłukiwanie. Dlatego nasilone są zjawiska tarcia i adhezji między narzędziem a materiałem obrabianym. W takich warunkach większość energii odprowadzana jest przez ostrze narzędzia, obrabiany przedmiot lub wiór. Dodatkowo gromadzące się w przestrzeni roboczej obrabiarki rozgrzane wióry podnoszą temperaturę otoczenia strefy skrawania. Część powstającej energii cieplnej jest odprowadzana przez przewodnictwo i promieniowanie.

W przypadku obróbki z cieczą chłodzącą i obróbką bez cieczy chłodzącej około 70 % ilości ciepła odprowadzane jest z wiórami, przedmiot obrabiany przejmuje około 10 % ciepła, a narzędzie przejmuje około 20 %. Istotna różnica w bilansie ciepła dotyczy strefy skrawania, natomiast w samej strefie styku proporcje ciepła są zbliżone. Przyczyną tego są wysokie naciski występujące w sąsiedztwie ostrza skrawającego, które uniemożliwiają cieczy chłodząco-smarującej dotarcie w strefę skrawania.

Przedstawione w książce [2] porównanie parametrów geometrycznych stref styku w warunkach skrawania z chłodzeniem i bez chłodzenia (rys. 1) wyjaśnia związek prędkości spływu wióra z V_{ch} z wartością temperatury w tej strefie. Z porównania wynika, że wyższa temperatura w przypadku obróbki bez chłodzenia wpływa na zwiększenie prędkości spływu wióra V_{ch} , co wiąże się ze skróceniem długości styku wióra z powierzchnią natarcia, zmniejszeniem zgrubienia h_{ch} , a także zwiększeniem wartości kąta poślizgu ϕ [2].



Rys. 1. Porównanie stref styku ostrza z materiałem obrabianym z cieczą chłodzącą i bez cieczy chłodzącej [2]

Obróbka skrawaniem na przy braku wymuszonego chłodzenia powoduje:

- wzrost temperatury w strefie skrawania,
- intensywne zużycie ostrza,
- powstanie wysokich naprężeń własnych w materiale obrabianym,
- nadtapianie i przyklejanie wiórów do przedmiotu i ostrza,
- zapychanie rowków wiórowych narzędzi,
- powstawanie narostu na ostrzu narzędzia i powierzchni przedmiotu,
- powstawania błędów wymiarów oraz kształtu,
- uszkodzenie powierzchni obrobionej poprzez złe odprowadzanie wiórów.

Mimo powyższych wad, obróbka bez chłodzenia stosowana może być w celu:

- wyeliminowania przeszkód w tworzeniu i odprowadzaniu wiórów ich ze strefy skrawania,
- zastosowania materiałów narzędziowych o podniesionej twardości i odporności chemicznej,
- zapewnienia lepszej izolacji cieplnej ostrza narzędzia lub
- zapewnienia lepszej ochrony przez zanieczyszczeniami [3].

Natomiast stosowanie chłodziw wiąże się w dużym stopniu z polepszeniem warunki pracy narzędzi oraz jakości obrabianego przedmiotu. Ich rola nie ogranicza się jedynie do chłodzenia również poprawy innych wa-

runków skrawania, którymi są: transport wiórów ze strefy obróbki, smarowanie powierzchni trących, czy zmniejszenie zapylenia cząstkami stałymi [4].

Transport wiórów ze strefy obróbki za pomocą cieczy chłodzącej jest szczególnie przydatny podczas operacji wytaczania, gwintowania, przeciągania, wiercenia czy rozwiercania. Wykorzystuje się wówczas działanie wysoko-ciśnieniowej strugi (2,5-10 MPA), która kierowana jest przez kanały w wiertle. Ciecz przepływając przez wiertło do strefy skrawania wypływa na zewnątrz wzdłuż zewnętrznych rowków wiórowych wiertła unosząc materiał odpadowy. Również w przypadku szlifowania podawanie chłodziwa w formie strugi na powierzchni ściernic i oselek zapobiega ich zalepianiu drobnymi cząstkami materiału powstałymi w skutek tarcia. W ten sposób wydłuża się okres eksploatacji narzędzi [4].

Niebagatelną rolę chłodziwa w procesie skrawania jest smarowanie powierzchni trących w strefie obróbki. Chłodziwo posiadające właściwości smarne sprzyja tworzeniu się na powierzchniach ostrza bardzo dobrze przylegającej błonki, która ma podobną budowę molekularną do podłoża, dzięki czemu nie jest usuwana nawet przy naciskach o znacznej wartości. Zjawisko to zachodzi na obszarze zewnętrznym (płaszczyzny natarcia i przyłożenia) oraz wewnętrznym (strefa poślizgu i tworzenia wióra). Dotarcie chłodziwa w te obszary powoduje obniżenie tarcia.

Jednocześnie może jednak zachodzić efektem Rabindera polegający na obniżeniu energii powierzchniowej materiału na skutek adsorpcji cząstek w mikroszczelinach (zwłaszcza w wierzchołkach pęknięć) i propagacji mikropęknięć pod wysokim ciśnieniem. Adsorpcyjne obniżenie wytrzymałości znacznie ułatwia to deformację materiału.

W przypadku stanowisk, na których skrawane jest żeliwo lub części pokryte grubą warstwą tlenków, występuje wysoka emisja cząstek stałych do atmosfery. Oczyszczenie powietrza w strefie obróbki jest utrudnione dla urządzenia wentylujących. Chłodziwo absorbuje cząstki stałe powstające na stanowiskach obróbki skrawania i obróbki ścierniej zmniejszając zapylenie o 50 %, a nawet o 80 % [4].

3. ZUŻYCIA NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH

Zastosowanie chłodzenia i smarowania strefy skrawania ogranicza różne formy zużycia narzędzi skrawających.

Ścieranie **mechaniczne** polegające na usuwaniu cząstek materiału ostrza w wyniku tarcia wiórów o powierzchnię natarcia oraz tarcia powierzchnię przyłożenia o obrabiany materiał. Jego oddziaływanie jest proporcjonalne do prędkości oraz drogi skrawania. Ścieranie tego typu ma istotne znaczenie podczas obróbki materiałów twardych oraz takich, które zawierają twarde cząstki, na przykład: piasek, węgliki, krzemki i azotki. Narzędzia wykonane z węglików spiekanych są mniej narażone na tę formę zużycia niż narzędzia ze stali szybko tnących [5].

Na powierzchni natarcia, po której pod dużym naciskiem przemieszcza się wiór, w wyniku wzrostu temperatury powstają warunki sprzyjające **dyfuzji**. Wnikające w ostrze atomy materiału obrabianego osłabiają jego odporność na zużycie, a jednocześnie cząstki materiału ostrza dyfundują do wióra. Tego rodzaju zużycie chemiczne zależy od rozpuszczalności materiałów ostrza i przedmiotu obrabianego, lecz nie zależy od ich twardości. Intensywność zjawiska rośnie ze wzrostem temperatury. Przekroczenie wartości połowy temperatury topnienia ostrza powoduje inicjację reakcji dyfuzji, która w warunkach dużych prędkości posuwu i skrawania zwiększa zużycie narzędzia. Przejawem dyfuzji jest obecność wgłębienia na powierzchni natarcia [5].

W podobnych warunkach skrawania, które prowadzą do dyfuzji następuje też **utlenianie**. Poza wysoką temperaturą do utleniania metali przyczynia się dostęp powietrza. Powstające w wyniku tej reakcji miękkie i porowate tlenki, są łatwo unoszone przez wiór. Zjawisko to dotyczy zwłaszcza metali zawartych w stalach szybko tnących (żelaza oraz składników węglików spiekanych takich jak kobalt czy wolfram) i zachodzi na granicach kontaktu wióra z materiałem ostrza. Skutkiem utleniania są wąskie wyżłobienia na powierzchniach natarcia i przyłożenia, zwane zużyciem wrębowym.

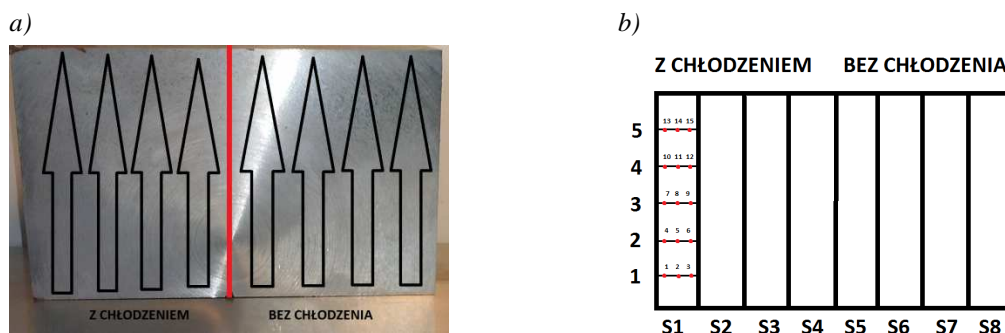
Przy małych prędkościach skrawania i posuwu występuje zjawisko **adhezji** polegające na przywieraniu cząstek materiału obrabianego do ostrza i powstanie narostu. Z powodu nacisku spływającego po ostrzu wióra narost wrywany jest wraz z materiałem ostrza. Oderwany narost przesuwając się wzdłuż ostrza powoduje zarysowania powierzchni i zwiększa zużycie ostrza [5].

Wysokie temperatury panujące w strefie skrawania przyczyniać się mogą do **deformacji plastycznej**, prowadzącej do szybszego zużycia powierzchni przyłożenia. Deformacje plastyczne częściej występują podczas obróbki narzędziami ze stali szybko tnących niż z węglików spiekanych. Jednak w przypadku węglików spiekanych deformacje mogą doprowadzić do poważnego pęknięcia ostrza [5].

4. METODYKA I WYNIKI EKSPERYMENTALNE

W celu przybliżenia wpływu chłodzenia na geometrię powierzchni obrabianego przedmiotu, wykonano obróbkę zgrubną z chłodzeniem i obróbkę zgrubną bez chłodzenia frezem trzpieniowym dwóch części tej samej powierzchni, a następnie zmierzono chropowatość obu części powierzchni.

Materiałem obrabianym była stal konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia gatunku S235JR, stosowana na konstrukcje spawane, nośne i obciążone dynamicznie. Do przeprowadzenia frezowania wykorzystano frez trzpieniowy o średnicy 20 mm firmy ATORN 2625400200 z wymiennymi płytkami Duracarb APKT 1604PD-R DC725 oraz pionowe centrum obróbkowe Haas Automation VF2.

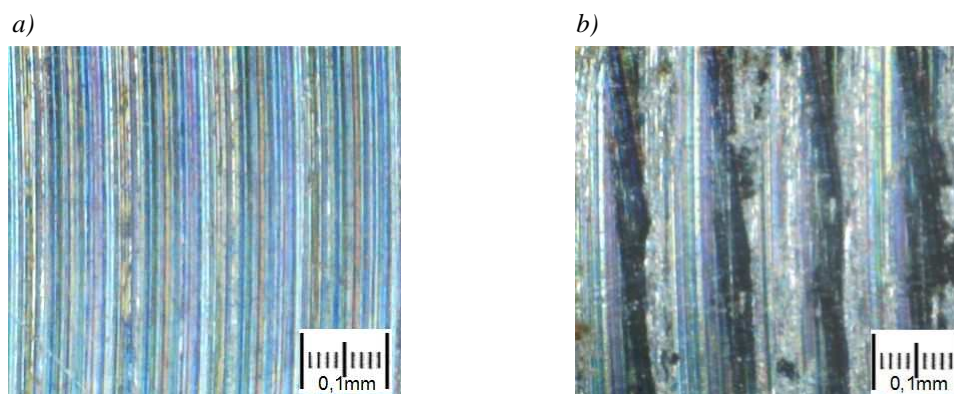


Rys. 2. Kierunek frezowania stalowej próbki z chłodzeniem i bez chłodzenia (a) i rozmieszczenie odcinków testowych do pomiaru chropowatości (b)

Przyjęto następujące parametry frezowania: posuw 300 mm/min, obroty wrzeciona 1500 obr/min, głębokość frezowania = 1,5 mm i szerokość przejścia = 18 mm. Materiał o wymiarach: 87,5 × 49 × 134 [mm] umieszczony został w imadle, z którego nie był wyjmowany między frezowaniem z chłodzeniem i frezowaniem bez chłodzenia. Parametry pracy narzędzia i kierunek przejść również nie ulegał zmianie. Wykonano po 4 przejścia freza na każdej z dwu części materiału P1 i P2. Kierunek przejść przedstawiono na rysunku 2a.

Na każdym z ośmiu przejść (S1 - S8) rozmieszczono w równych odstępach pięć poprzecznych obszarów pomiarowych, wzdłuż których zlokalizowano po 3 odcinki pomiarowe, co przedstawiona na rysunku 2b. Łączna liczba wykonanych pomiarów wynosiła 120, po 60 po stronie obrabianej z chłodzeniem i 60 bez chłodzenia.

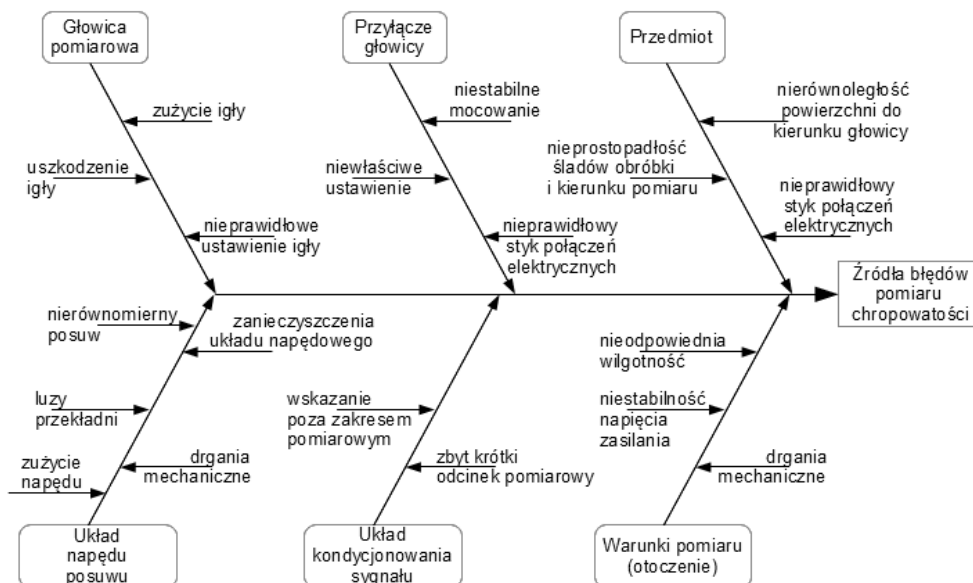
Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe zdjęcia powierzchni przejść numer 4 oraz 5 przy 400-krotnym powiększeniu. Na zdjęciach widoczne są różnice w strukturze powierzchni obrabianej z chłodzeniem oraz bez chłodzenia.



Rys. 3. Powierzchnia materiału po obróbce a) z chłodzeniem (przejście nr 4), b) bez chłodzenia (przejście nr 5)

Pomiary chropowatości wykonano w zakładzie produkcji narzędzi skrawających, w odpowiednich do tego celu warunkach laboratoryjnych. Do pomiaru wykorzystano profilografometr DIAVITE DH-8/PC o zakresie pomiarowym Ra 0 – 20.00 [μm].

Przed przystąpieniem do pomiaru określono źródła błędów związane z urządzeniem pomiarowym, mierzonym przedmiotem i warunkami przeprowadzania pomiaru. Przedstawiono je formie diagramu przyczynowo-skutkowego na rysunku 4.

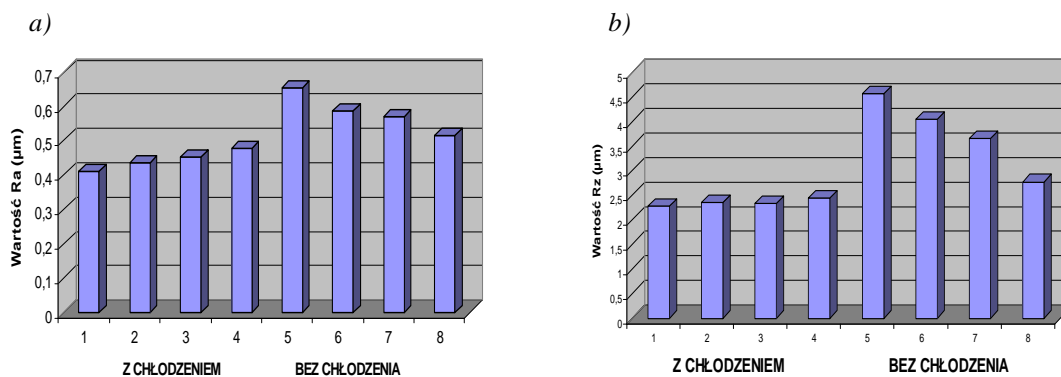


Rys. 4. Diagram Ishikawy potencjalnych czynników wpływających na niepewność pomiaru chropowości

5. OPRACOWANIE I ANALIZA WYNIKÓW

Zgromadzone wyniki obejmowały średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej chropowości R_a (μm) oraz wysokość chropowości według dziesięciu punktów profilu R_z (μm).

Na rysunku 5 przedstawiono średnie wartości chropowości, wyrażone miarą R_a [μm] i R_z [μm], wyznaczone dla kolejnych ośmiu przejść narzędzia. Przedstawione wyniki pozwalają zaobserwować różnicę wartości średnich chropowości między powierzchniami, które obrabiano stosując chłodziwo i obrabiano bez chłodzenia.



Rys. 5. Średnia chropowość R_a (a) i R_z [μm] (b) wzdłuż przejść narzędzi (S1-S8)

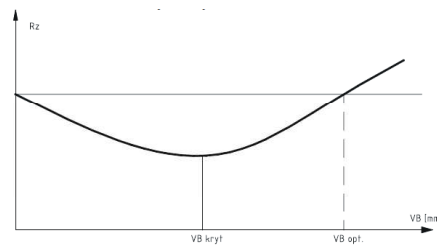
Analizując średnie wartości R_a i R_z , zarejestrowane na powierzchni P1 czyli z zastosowaniem chłodzenia, zaobserwować można, że wraz z upływem czasu pracy frezu, chropowość powierzchni nieznacznie, ale stopniowo wzrastała, co mogło być spowodowane wzrostem temperatury, a w efekcie zmianą warunków skrawania i wzrostem chropowości powierzchni.

Z porównania średnich wartości powierzchni P1 i P2 (bez chłodzenia) wynika, że chropowość powierzchni P2 jest wyraźnie wyższa niż średnia chropowość wzdłuż ścieżek narzędzi na P1. Przyczyną różnicy jest oczywiście wpływ obecności cieczy chłodzącej, która poprawiała smarowania, odprowadzenie ze strefy skrawania ciepła i drobinek materiału obrabianego, których obecność pogarsza chropowość powierzchni.

Na uwagę zasługuje jednak to, że po początkowym gwałtownym wzroście chropowości będącym wynikiem wyłączenia chłodzenia następuje stopniowy spadek średniej chropowości.

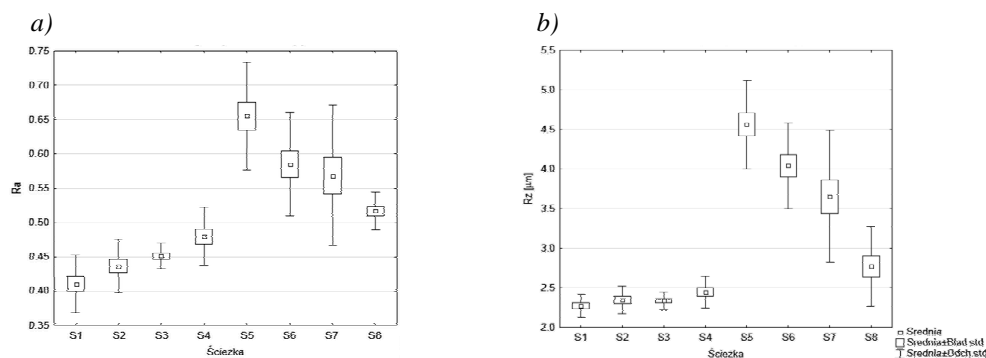
Wyjaśnienia dostarczyć może być analiza wpływu stopnia stępienia ostrza na chropowość, który zależy od materiału ostrza. Mianowicie w przypadku ostrzy wykonanych ze stali szybko tnących, w początkowym okresie pracy obserwuje się polepszenie chropowości powierzchni. Spowodowane to jest zwiększeniem promienia zaokrąglenia naroża wywołanego zużyciem. Kiedy wysokość starcia V_B na powierzchni przyłożenia przekracza

pewną wartości krytyczną wówczas następuje wzrost chropowatości spowodowanej rysami na powierzchni przyłożenia i drobnymi wykruszeniami krawędzi ostrza. Opisane zjawisko przedstawia wykres na rysunku 6 [6].

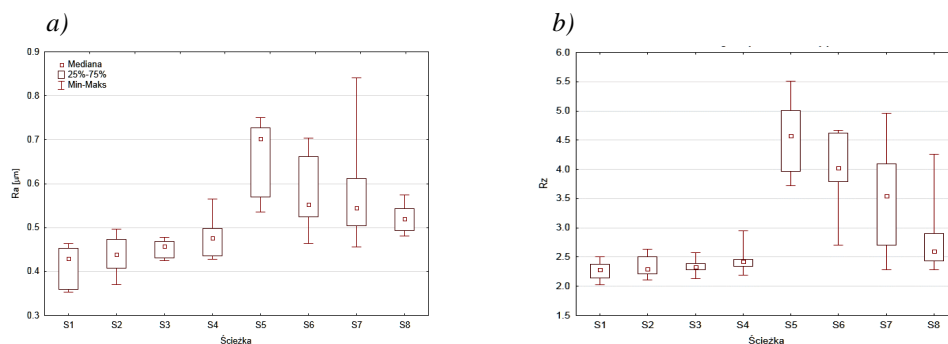


Rys. 6. Wpływ stopnia ostrza na chropowatość powierzchni [6]

Na rysunku 7 przedstawiono wartości średnie R_a i R_z wyznaczone w kolejnych przejściach S1-S8 oraz ich przedziały zmienności wyrażone za pomocą odchylenia standardowego. Wartości średnie R_a w przejściach od S1 do S4 stopniowo wzrastają od wartości $0,41 \mu\text{m}$, przez $0,43 \mu\text{m}$ i $0,45 \mu\text{m}$ aż do osiągnięcia wartości $0,48 \mu\text{m}$ w przejściu S4. Natomiast na powierzchni drugiej części próbki, gdzie podczas obróbki nie stosowano chłodzenia, wartości średnie są o znacznie wyższe i w przeciwieństwie do poprzedniej powierzchni stopniowo maleją. W przejściu S5 wartość średnia R_a wynosi $0,655 \mu\text{m}$, w kolejnym przejściu ulega ona obniżeniu do $0,58 \mu\text{m}$, a w przejściu S7, które wyróżnia wzrost zmienności nastąpił nieznaczny spadek średniej R_a do $0,56 \mu\text{m}$ i w ostatnim przejściu wyniosła ona $0,52 \mu\text{m}$. Nieco wyraźniej zmiany chropowatości w przejściach S5-S8 wyraża średnia wartość R_z przedstawiona na rysunku 7b.



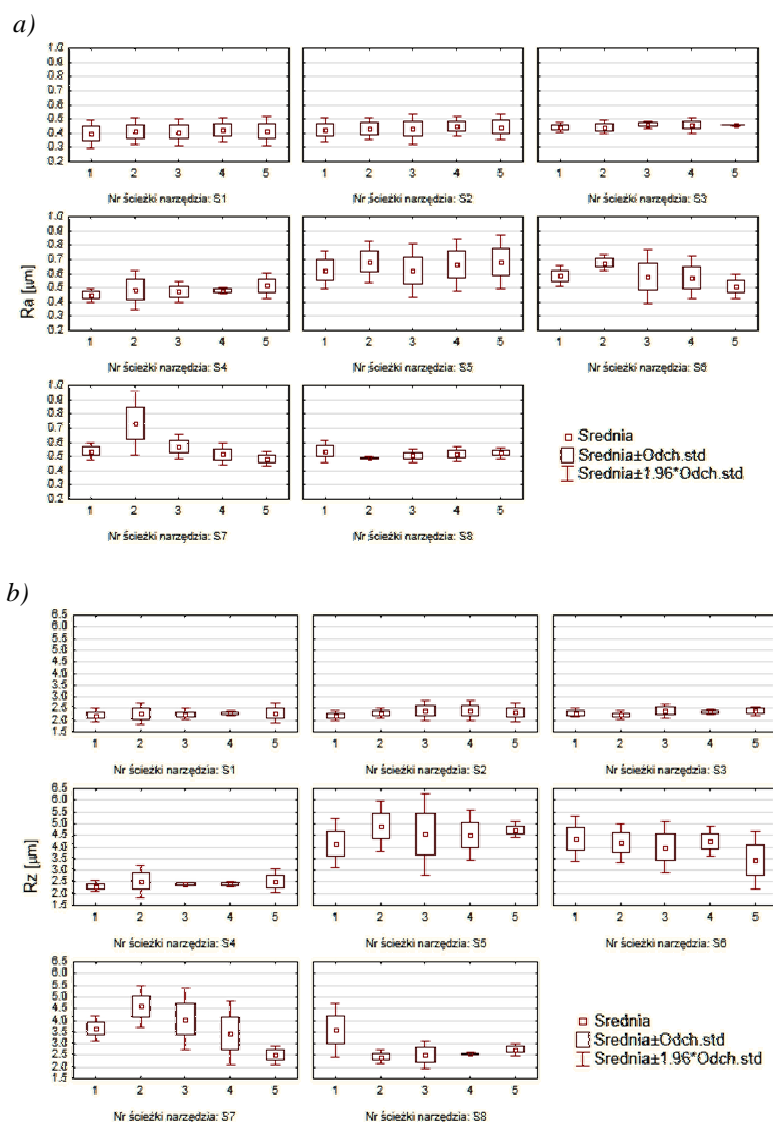
Rys. 7. Wartości średnie oraz zakresy zmienności R_a [μm] (a) oraz R_z [μm] (b) w kolejnych przejściach narzędzia. Legenda: punkt (□) – wartość średnia, skrzynka ([]) – średnia \pm błąd odchylenia standardowego, wąsy (|) – średnia \pm odchylenie standardowe



Rys. 8. Wartości mediany oraz zakresy zmienności R_a [μm] (a) oraz R_z [μm] (b) w kolejnych przejściach narzędzia. Legenda: punkt (□) – mediana, skrzynka ([]) – przedział 25% – 75% wyników, wąsy (|) – rozstęp

Na rysunku 8 przedstawiono wartości mediany Ra i Rz w kolejnych przejściach S1-S8. Położenie wartości mediany na tle skrzynek wskazujących na położenie przedziałów 25÷75% wyników oraz wąsów wskazujących rozstęp (zakres od minimum do maksimum) wartości Ra i Rz pozwala na przybliżenie kształtów rozkładów w poszczególnych grupach wyników (od S1 do S8). Obserwacja wykresów dostarcza podobnych spostrzeżeń jak w przypadku analizy zmian wartości średnich Ra i Rz .

Analiza wyników podzielonych na grupy według obszarów pomiarowych wzdłuż przejść (po 5 obszarów dla każdego z przejść S1-S8) potwierdziła obserwacje średnich dla ośmiu przejść narzędzia. Średnie obszarów przedstawiono na rysunku 9. W obu seriach wyników, czyli S1-S4 i S5-S8 zauważyć można stopniowe zawężanie przedziałów zmienności. Wiązać się to może z docieraniem narzędzia pracującego w nowych warunkach: podczas frezowania z chłodzeniem i frezowania bez chłodzenia.



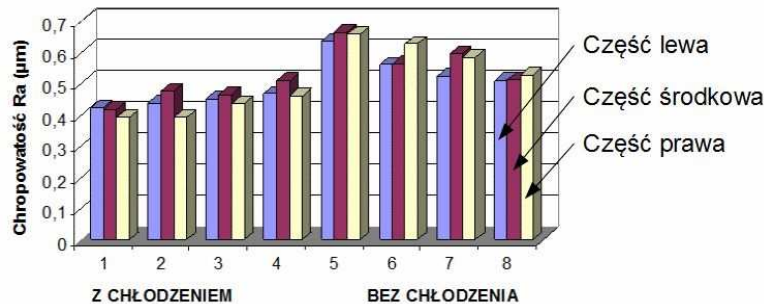
Rys. 9. Średnie wartości Ra (a) i Rz (b) dla pięciu obszarów pomiarowych rozmieszczonych wzdłuż przejść S1-S8 narzędzia

Na rysunku 9 przedstawiono wartości średnie Ra i Rz na tle skrzynek o wysokości 2 razy odchylenie standardowe i wąsów oznaczających przedział o wysokości 3,92 odchylenia standardowego. Szerokość przedziału $\pm 1,96$ odchylenia standardowego w przypadku próbki o małej liczebności pomiarów jest szersza niż rozstęp próbki. W przypadku obszarów pomiarowych wzdłuż ścieżek liczebność próbki wynosi 3. W takim przypadku statystyka ta nie wzmacnia różnice charakterystyk zmienności między próbkami.

Chropowatość powierzchni wyrażona średnią wartością Ra [μm] wzdłuż przejść S1 i S2 zawiera się w przedziale 0,3 – 0,5 [μm]. Na powierzchni przejścia S3 rozrzut Ra spada do 0,053 μm w obszarze nr 3, a nawet 0,04 w obszarze nr 4 μm . Nieco większe różnice zmienności występuje wzdłuż przejścia S4, zwłaszcza w obszarze

numer 2 i 5, gdzie wynosi ona nawet odpowiednio 0,137 i 0,084 [μm]. Jednocześnie na rysunku 9a przedziały $\pm 1,96$ odchylenia standardowego zawierają się w zakresie 0,35 – 0,62 [μm]. Zmienność wyników na kolejnym wykresie S4 wyraźnie wzrasta. W przypadku pierwszego przejścia bez chłodzenia S5 wartości ekstremów osiągniętych przez wąsy w obszarach pomiarowych od 1 do 5 znajdują się w przedziale od około 0,52 do 0,89 [μm].

Pomiary chropowatości wykonywane wzdłuż trzech odcinków pomiarowych rozmieszczonych w każdym z 40 obszarów pomiarowych (po pięć obszarów pomiarowych dla ośmiu przejść narzędzia). Odcinki pomiarowe zlokalizowane były (według rysunku 2b) w środkowej części ścieżki narzędzia i po jej obu stronach. Na rysunku 10 przedstawiono średnie chropowatości R_a wzdłuż przejść od S1 do S8 z podziałem na część lewą, środkową i prawą ścieżki. Na tej podstawie ocenić można różnice chropowatości powstające w obszarach gdzie ostrze narzędzia wchodziło w materiał i kontynuowało skrawanie w kolejnych dwóch częściach. Pamiętać należy, że obszary te miały później ponowny kontakt z ostrzami narzędzia, które wykonywały częściowo jałowy ruch okrężny.



Rys. 10. Średnie wartości chropowatości R_a [μm] w trzech częściach ścieżki narzędzia podzielonej wzdłuż kierunku przejść (kolor niebieski - część lewa, czerwony - część środkowa, żółty - część prawa)

5. WNIOSKI

Uzyskane wyniki potwierdziły znane zjawisko stosowania chłodziwa podczas obróbki stali i ukazały jego znaczenie ilościowe. Pokazano, że stosowane chłodziwo znacząco obniża chropowatość powierzchni obrabianej, a także wpływa korzystnie na żywotność narzędzia. Zauważono dodatkowo, że w trakcie testu chłodziwo pełniło doskonałą funkcję odprowadzania wiórów ze strefy obróbki.

Stosowanie podczas obróbki skrawaniem chłodziwa zmniejsza zużycie narzędzia, co przekłada się również na obniżenie chropowatości obrabianej powierzchni.

Zastosowanie chłodzenia cieczą podczas obróbki skrawaniem wpłynęło na obniżenie chropowatości powierzchni obrabianej wyrażonej przez R_a o 23,5 % i o 37,4 % w przypadku miary R_z , w porównaniu do obróbki bez chłodzenia.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Marzec S., Pytko S.: *Tribologia procesów skrawania metali nowe ciecze chłodząco-smarujące*, Kraków, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Technologii Eksploatacji, 1999.
- [2] Jemielniak K.: *Obróbka skrawaniem*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2012.
- [3] DARMET: *Oprządkowanie i narzędzia do obrabiarek*. <http://www.darmet.com.pl/pl/informacje-techniczne/59-obrobka-otworow/1799-wiertla-monolityczne-z-weglika-se-zastosowanie-wg-kennametal.html> (dostęp 2014.03.11).
- [4] Grzesik W.: *Podstawy skrawania materiałów metalowych*. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1998.
- [5] Słupik. H.: *Obróbka skrawaniem podstawy teoretyczne*. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013.
- [6] Pytko S.: *Konstrukcje w budowie maszyn oraz ich wpływ na rozwój budowy maszyn w Polsce*. Polskie i światowe osiągnięcia nauki : nauki techniczne, Gliwice, Fundacja im. Wojciecha Świetosławskiego, 2010.