

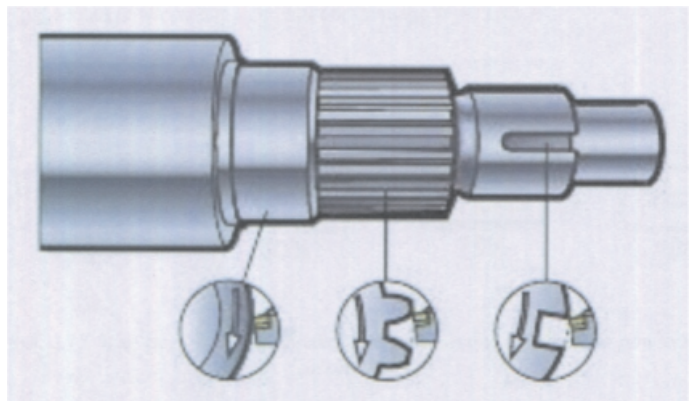
Nieciągłości geometryczne obrabianych elementów a cechy struktury geometrycznej powierzchni

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

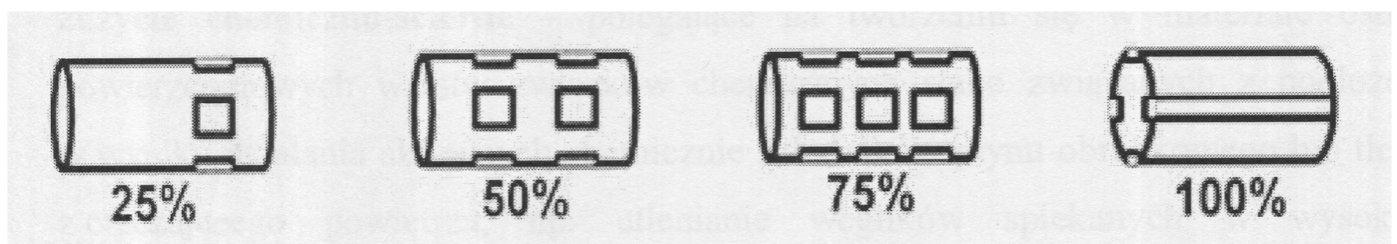
Struktura geometryczna powierzchni w dużym stopniu determinuje cechy użytkowe elementów maszyn i ich charakterystyki tribologiczne. W artykule przedstawiono wpływ nieciągłości geometrycznych typu otwór oraz rowek na cechy struktury geometrycznej powierzchni. Ocenę tego wpływu dokonano w oparciu o pomiary chropowatości powierzchni. Przeprowadzona weryfikacja doświadczalna wykazała wpływ nieciągłości geometrycznych na parametry opisujące strukturę geometryczną powierzchni.

Wprowadzenie

Ze względu na to, że cechy struktury geometrycznej powierzchni (SGP) determinują w istotny sposób proces zużywania elementów maszyn, podczas konstruowania i projektowania procesu technologicznego tych części, należy również uwzględnić te cechy. Uzyskanie w procesie wytwarzania stałych, oczekiwanych cech SGP jest szczególnie trudne przy obróbce elementów z nieciągłościami geometrycznymi. W literaturze rozróżnia się dwa rodzaje nieciągłości: geometryczne oraz strukturalne. Do pierwszej grupy zalicza się nieciągłości powstałe na skutek wytwarzania elementu, bądź będące efektem zaprojektowania. Do grupy tej należą otwory, gwinty,



Rys. 1. Przykład wałka z powierzchniami nieciągłymi geometrycznie [3]



Rys. 2. Względny udział skrawania przerywanego w stosunku do powierzchni całkowitej [3]

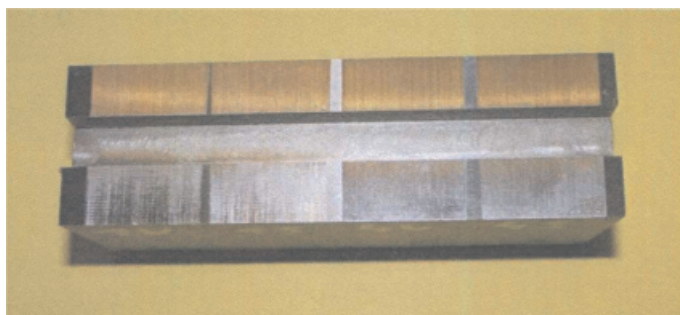
* Mgr inż. Małgorzata Słomion, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Zarządzania, mgr inż. Andrzej Wojciechowski, ODEKA – Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, Bydgoszcz, dr hab. inż. Maciej Matuszewski, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej,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



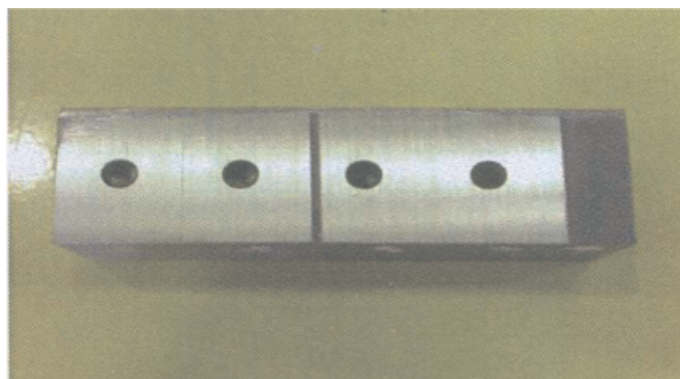
rowki itp. Natomiast nieciągłościami strukturalnymi są wszelkiego rodzaju wtrącenia niemetaliczne, pory, połączenia spawane oraz zgrzewane itp. [1, 4, 7].

W nieciągłościach geometrycznych podczas rozciągania i zginania powierzchni elementu na dnie występują złożone stany naprężeń i naprężenia te przekraczają naprężenia wynikające z obciążenia. Przyczynia to się do tego, że miejsca te są osłabione i najczęściej w nich występują uszkodzenia, co w rezultacie prowadzić może do utraty zdatności całej maszyny [6].

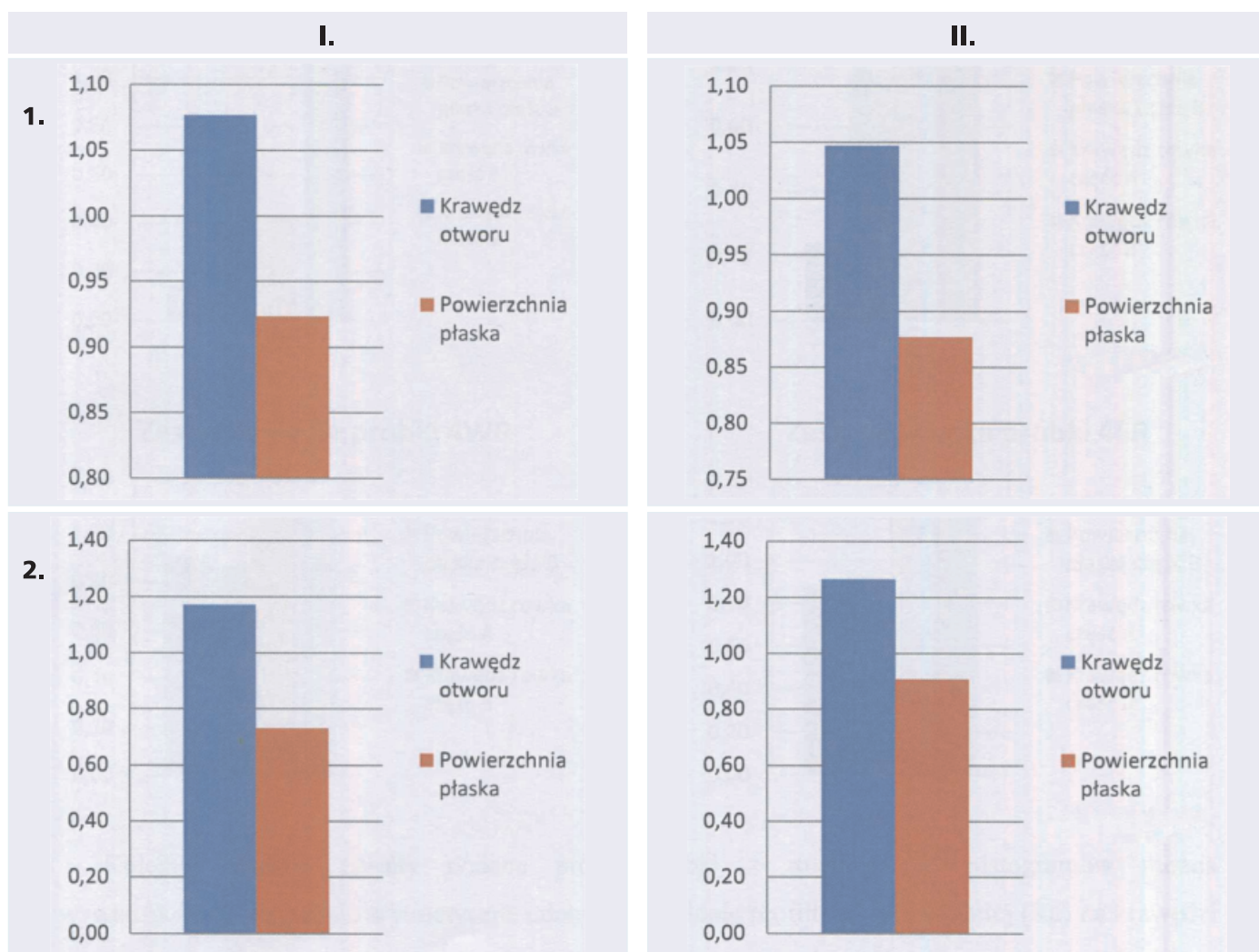
Występujące w czasie obróbki siły tarcia, naprężenia oraz opór jaki stawia element obrabiany względem ostrza, przyczyniają się do dużego wzrostu temperatury. Wpływa to wszystko na zmiany warstwy wierzchniej, a w szczególności na cechy struktury geometrycznej powierzchni, obrabianych elementów oraz na ostrza narzędzi. Aby sprostać tym warunkom, ostrza muszą posiadać odpowiednie właściwości, być poprawnie dobrane do danej obróbki oraz muszą być właściwie ustalone warunki obróbki (parametry technologiczne, chłodzenie i smarowanie strefy obróbki, itp.). Dodatkowo podczas obróbki części z nieciągłościami geometrycznymi dochodzą obciążenia dynamiczne, które oddziałują na krawędź skrawającą, co prowa-



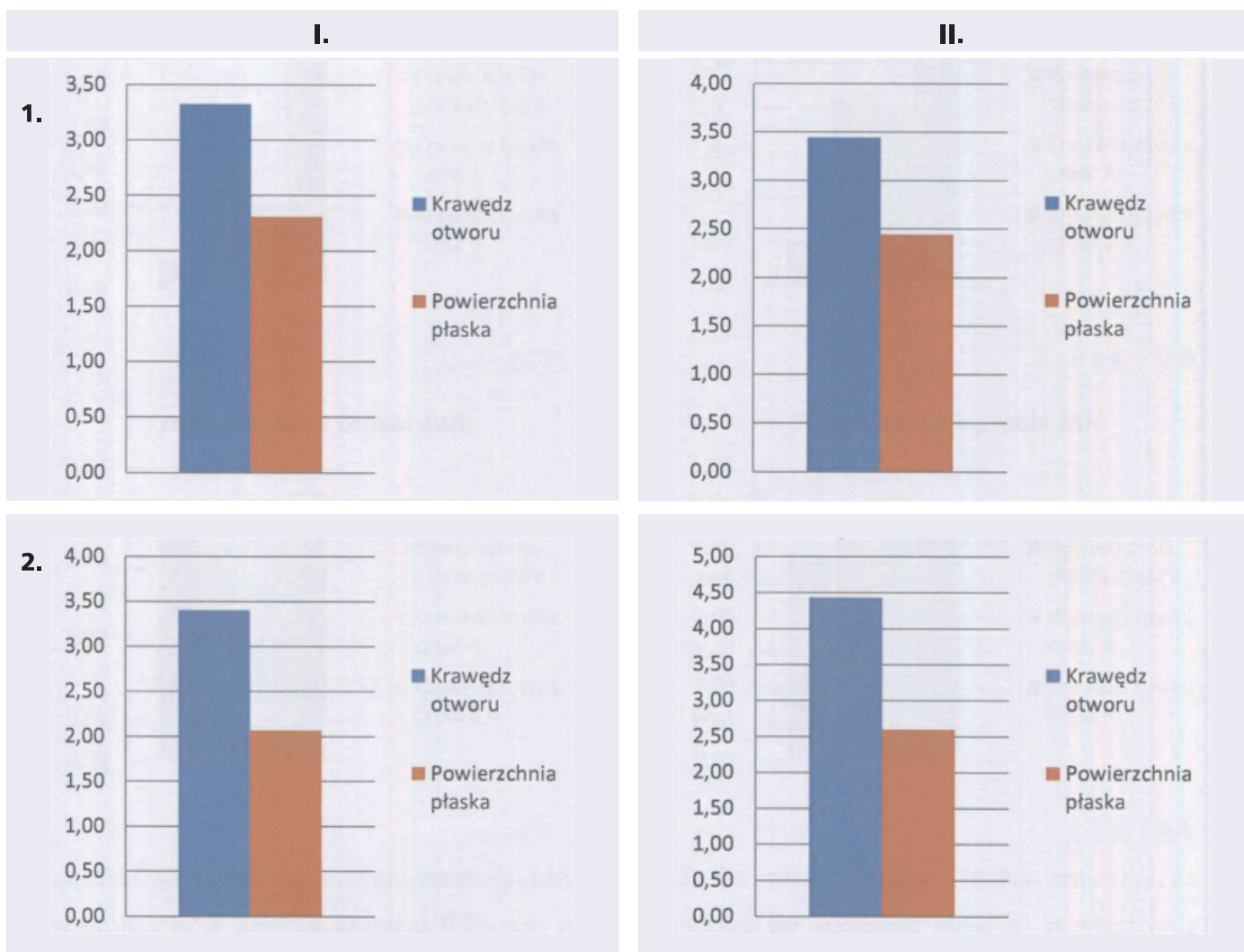
Rys. 3. Próbkę do badań z wykonanym rowkiem



Rys. 4. Próbkę do badań z wykonanymi otworami



Rys. 5. Zmiany parametru chropowatości Ra w µm dla próbek z otworami, przy następujących parametrach technologicznych: 1 - głębokość skrawania $a_p = 0,01$ mm; 2 - głębokość skrawania $a_p = 0,04$ mm; I - posuw wzdłużny $f = 8$ m/min; II - posuw wzdłużny $f = 20$ m/min



Rys. 6. Zmiany parametru chropowatości R_k w μm dla próbki z otworami, przy następujących parametrach technologicznych: 1 – głębokość skrawania $a_p = 0,01 \text{ mm}$; 2 – głębokość skrawania $a_p = 0,04 \text{ mm}$; I – posuw wzdłużny $f = 8 \text{ m/min}$; II – posuw wzdłużny $f = 20 \text{ m/min}$

dzi do szybszego zużycia ostrza. Zużycie ostrza przejawia się w formie zmian geometrycznych krawędzi skrawającej, zazwyczaj jako ubytek jego materiału w wyniku starcia, wykruszenia, wyszczerbienia lub wyłamania ostrza. Warunki pracy przy nieciągłościach geometrycznych i zużycie ostrza przekładają się z kolei na stan warstwy wierzchniej [1, 6, 9] oraz kształtowaną strukturę geometryczną powierzchni elementów maszyn [2, 5, 7, 8].

Przykłady powierzchni nieciągłych geometrycznie podlegających obróbce skrawania jest wiele, są to na przykład koła zębate, wałki wpustowe i wielowypustowe, wałki z otworami poprzecznymi, tarcze, piasty itp. (rys. 1).

Obróbka w takich warunkach jest wykonywana głównie podczas regeneracji, gdy dany element podlega przetoczeniu na inny wymiar nominalny. Przy produkcji nowych elementów problem ten nie występuje gdyż w prawidłowo zaprojektowanym procesie technologicznym, np. wałka, elementy takie jak otwory, wpusty wykonuje się w końcowym etapie.

Istotną rzeczą przy tego rodzaju obróbce jest także udział skrawania przerywanego, który uzależniony jest

od wymiarów powierzchni oraz liczby elementów nieciągłych występujących na powierzchni elementu obrabianego (rys. 2).

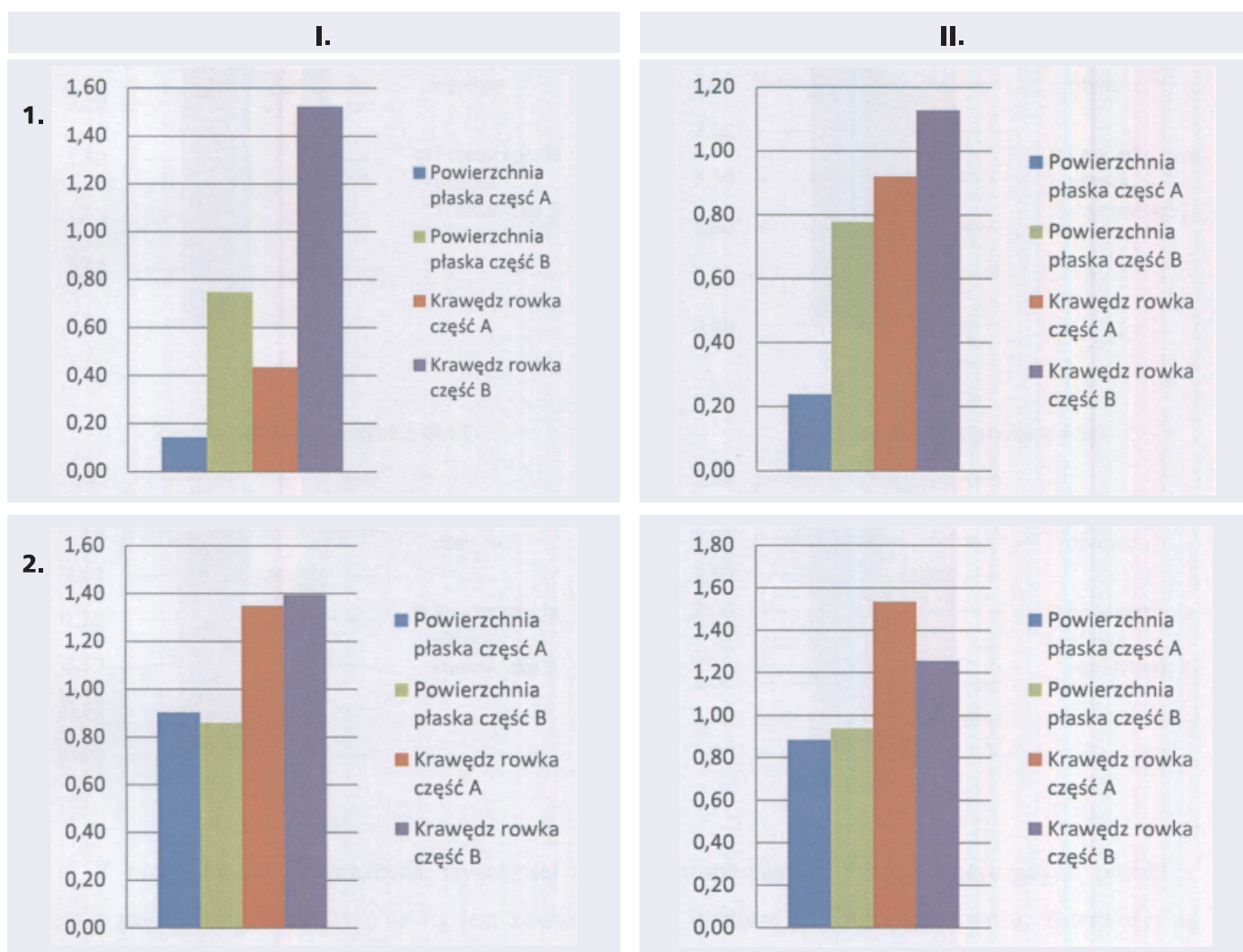
Badania doświadczalne

W celu weryfikacji wpływu nieciągłości geometrycznych na cechy kształtowanej struktury geometrycznej powierzchni przeprowadzono badania doświadczalne. Zostały one przeprowadzone dla próbek wykonanych ze stali konstrukcyjnej C45 ulepszonej cieplnie o twardości powierzchni $40 \pm 2 \text{ HRC}$, z wykonanymi nieciągłościami geometrycznymi.

Próbka 1 miała kształt prostopadłościanu o wymiarach $111 \times 34 \times 36 \text{ mm}$, w której przez całą długość wykonano na powierzchni górnej rowek o szerokości 10 mm i głębokości 5,5 mm. Próbka przedstawiona została na rysunku 3.

Próbka 2 również miała kształt prostopadłościanu o wymiarach $111 \times 34 \times 36 \text{ mm}$, w której na powierzchni górnej nawiercono 4 otwory o średnicy 7 mm i głębokości 12 mm oddalone od siebie o 19 mm. Próbka przedstawiona została na rysunku 4.





Rys. 7. Zmiany parametru chropowatości R_a w μm dla próbki z rowkiem, przy następujących parametrach technologicznych: 1 – głębokość skrawania $a_p = 0,01$ mm; 2 – głębokość skrawania $a_p = 0,04$ mm; I – posuw wzdłużny $f = 8$ m/min; II – posuw wzdłużny $f = 20$ m/min

W ramach badań próbki były szlifowane, a podczas obróbki chłodzone koncentratem cieczy syntetycznej do obróbki metali ARTESol Ultra EP (producent Atrefakt) w formie emulsji wodnej o stężeniu 4%. Obrabiane były one z jednakową prędkością obrotową wrzeczona wynoszącą 2740 obr/min, bez posuwu poprzecznego. Pozostałe parametry technologiczne były następujące: głębokość skrawania $a_p = 0,01$ i $0,04$ mm oraz posuw wzdłużny $f = 8$ i 20 m/min. Ściernica wykonana była z elektrokorundu zwykłego ze spoiwem żywicznym o wymiarach $250 \times 25 \times 76$, wymiar ziarna: 46, o średniej twardości.

Ocenę cech struktury geometrycznej powierzchni wyznaczono na podstawie pomiaru parametrów chropowatości – parametru amplitudowego R_a i nośności R_k . Pomiarzy zostały wykonane za pomocą profilometru stykowego MARSURF XR 20 MIT GD 120 firmy Mahr.

Próbki z otworami zostały podzielone na dwa obszary pomiarów. Pierwszy pomiar został wykonany na powierzchni płaskiej. Natomiast drugi w możliwie najbliższej odległości od krawędzi otworu.

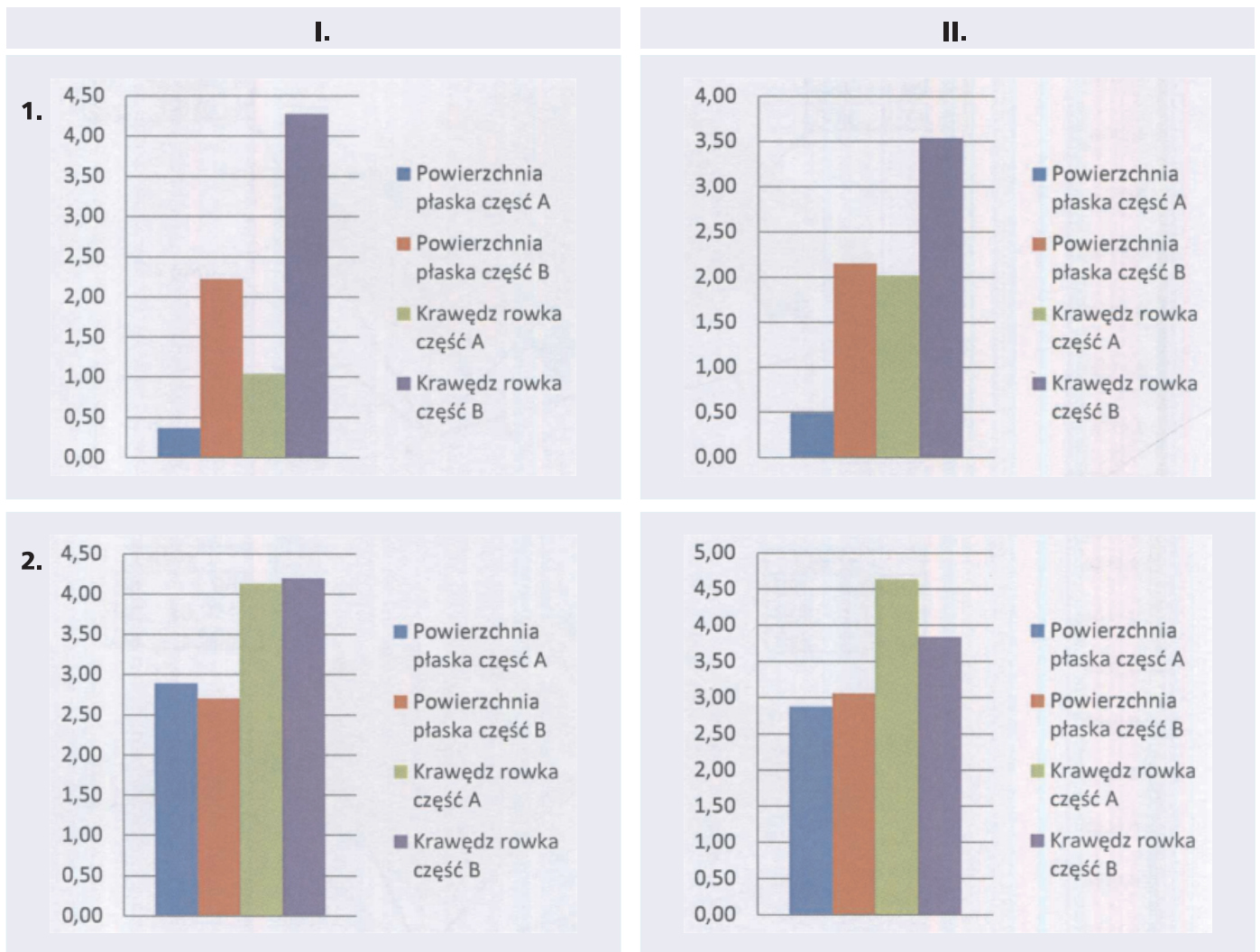
Na wykresach – rys. 5 i 6, przedstawiono wyniki badań dla próbki z nieciągłościami geometrycznymi w postaci otworów (średnia arytmetyczna z pięciu pomiarów).

Analizując histogramy dla próbek z otworami można zauważyć, że średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej R_a na krawędzi otworu jest większe niż na powierzchni płaskiej bez względu na ilość usuniętego materiału oraz bez względu na zastosowany posuw. Porównując chropowatość powierzchni płaskiej do chropowatości w obszarze przy krawędzi otworu można zaobserwować, że różnice są znaczące przy głębokości skrawania $a_p = 0,01$ mm, natomiast przy wartości parametru $a_p = 0,04$ mm, różnice te są mniejsze.

Z analizy histogramów dotyczących parametru nośności R_k , można zauważyć, że jego wartość jest zawsze większa na krawędzi otworu niż na powierzchni płaskiej. Zależności związane z głębokością skrawania są odwrotne niż w przypadku parametru R_a . W próbkach szlifowanych przy $a_p = 0,04$ mm wartość parametru R_k na powierzchni płaskiej jest zdecydowanie większa niż przy $a_p = 0,01$ mm.

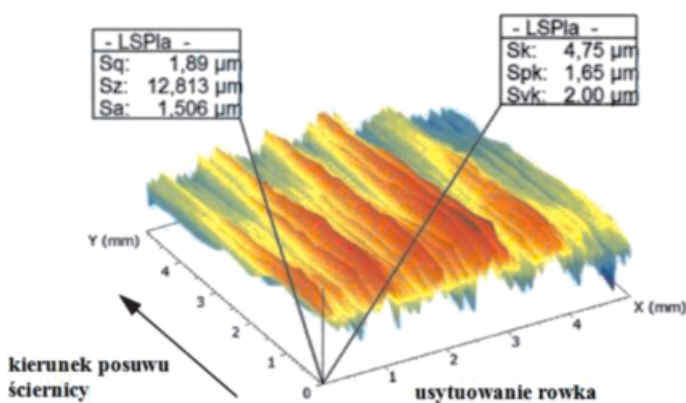
Kolejne wykresy, rys. 7 i 8, przedstawiają wyniki badań próbek z nieciągłościami geometrycznymi w formie rowka (średnia arytmetyczna z pięciu pomiarów).

W celu wykonania pomiarów próbek z rowkiem, powierzchnię próbek podzielono na dwie części – przed rowkiem (na rys. 7 i 8 oznaczona jako A), czyli część, od której zaczy-



Rys. 8. Zmiany parametru chropowatości Ra w µm dla próbki z rowkiem, przy następujących parametrach technologicznych: 1 – głębokość skrawania $a_p = 0,01$ mm; 2 – głębokość skrawania $a_p = 0,04$ mm; I – posuw wzdłużny $f = 8$ m/min; II – posuw wzdłużny $f = 20$ m/min

nał się proces szlifowania, oraz za rowkiem (na rys. 7 i 8 oznaczona jako B). W każdej części wyodrębniono również dwa obszary pomiarów. Jeden dotyczył powierzchni płaskiej, a drugi obszar pomiarów to krawędź rowka. Chropowatość została wyznaczona w możliwie najbliższej odległości od krawędzi.



Rys. 9. Topografia powierzchni próbki z rowkiem na powierzchni B (za nieciągłością geometryczną), w której głębokość skrawania a_p wynosiła 0,01 mm, a posuw wzdłużny $f = 20$ m/min

W wyniku analizy histogramów można stwierdzić, że wartość parametru chropowatości Ra przy krawędzi rowka jest zawsze większa niż na przylegającej do krawędzi powierzchni płaskiej. Kolejną cechą, którą można zauważyć jest to, że wartość Ra jest największa na krawędzi za nieciągłością. Jedynie przy głębokości skrawania $a_p = 0,04$ mm oraz posuwie $f = 20$ m/min nie wystąpiła ta zależność. Najmniejsza wartość parametru Ra zawsze występuje na powierzchni płaskiej, od której zaczynał się proces szlifowania.

Porównując wartość parametru chropowatości Rk dla próbki z rowkiem można zauważyć, że dla $a_p = 0,01$ mm najniższą chropowatość posiada powierzchnia płaska A, natomiast najwyższą – obszar przy krawędzi rowka od strony powierzchni B. W próbkach szlifowanych z parametrem $a_p = 0,04$ mm można zauważyć, że powierzchnia płaska posiada mniejszą chropowatość niż przy krawędzi.

Dodatkowym potwierdzeniem zaobserwowanych stanów jest przykładowa topografia powierzchni dla próbki z rowkiem przedstawiona na rys. 9. Wykonano ją przy krawędzi rowka od strony powierzchni B („wyjście” z nieciągłości geometrycznej).

Na rysunku 9 wyraźnie widać, że przy krawędzi rowka chropowatość jest zdecydowanie większa niż w głębi powierzchni B. Dodatkowo można zaobserwować, że ślady obróbki są typowe dla szlifowania powierzchni i charakteryzują się dużą anizotropowością (ukierunkowaniem).

Podsumowanie

Z otrzymanych wyników wynika, że cechy struktury geometrycznej powierzchni, określone parametrami chropowatości, przy krawędzi nieciągłości geometrycznej różnią się od cech struktury powierzchni płaskiej próbki. Z reguły wyznaczone parametry chropowatości miały większą wartość niż dla powierzchni płaskiej bez nieciągłości geometrycznej. Z przeprowadzonych badań można więc wywnioskować, iż takie czynniki jak obciążenia dynamiczne oraz zmienność temperatury podczas obróbki mają wpływ na kształtowaną strukturę geometryczną powierzchni.

Na podstawie badań eksperymentalnych zweryfikowano również ogólnie wpływ parametrów technologicznych na konstituowanie struktury powierzchni przy nieciągłościach geometrycznych. W celu uszczegółowienia zaobserwowanych zależności, należałoby przeprowadzić bardziej rozbudowane badania doświadczalne, w których zarówno zbiór i zakres zmiennych niezależnych jak i zależnych byłby rozszerzony.

Literatura

- [1] Almsyah C., Dillich S., Pettit A.: The effect of surface finish on cam wear. *Wear* 134/1989, 29-47.
- [2] Bernardos P.G., Vosniakos G.C.: 2003. Predicting surface roughness in machining: a review. *International Journal Machine Tools Manufacture* 43/2003, 833-844.
- [3] Biłous P., Rozumek D., Łagoda T.: Trwałość próbek z karbem geometrycznym wykonanym ze stali S355N. *Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, Mechanika* 9, Kraków 2010.
- [4] Burakowski T., Wierzchoń T.: *Inżynieria powierzchni metali*. WNT, Warszawa 1995.
- [5] Grzesik W.: *Podstawy skrawania materiałów metalowych*. WNT, Warszawa 1998.
- [6] Kolman R.: *Mechaniczne wzmacnianie powierzchni części maszyn*. WNT, Warszawa 1965.
- [7] Olszak W.: *Obróbka skrawaniem*. WNT, Warszawa 2009.
- [8] Toh C.K.: Surface topography analysis in high speed finish milling inclined hardened steel. *Precision Engineering* 28/2004, 386-398.
- [9] Wójcik R., Wejman P., Walczak R. Wpływ energii szlifowania powierzchni walcowych na stan naprężeń własnych warstwy wierzchniej stali stopowych. *Obróbka Metalu* nr 3/2014, s. 36-40. ■