

# Zaokrąglanie krawędzi skrawających ostrzy z węglików spiekanych

## Rounding off of machine-cutting blades made of sintered carbides

PIOTR CICHOSZ  
MIKOŁAJ KUZINOVSKI  
MITE TOMOV  
ADAM URYCH\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.7.57>

Prezentowano genezę zaokrąglania krawędzi ostrzy skrawających wykonanych z węglików spiekanych. Zaprezentowano różne obrabiarki i ścierniwa służące do wygładzania krawędzi skrawających. Porównano metody pomiaru promienia zaokrąglenia krawędzi. Zwrócono uwagę na możliwości zwiększenia trwałości narzędzi dzięki zastosowaniu nowych technologii wykańczania powierzchni roboczych narzędzi.

**SŁOWA KLUCZOWE:** skrawanie, narzędzia węglikowe, promień zaokrąglenia krawędzi, obrabiarki

*The paper describes the origins of edge rounding of machine-cutting blades made of sintered carbides. Various processing machines and abrasive materials used to smoothen the cutting edges are presented. Various methods of measurement of the edge radius are compared. Stressed are the possibilities of improvement of tool durability through the use of new finishing process technologies for tool working surfaces.*

**KEYWORDS:** machine cutting, carbide tools, cutting edge radius, machine tools

Do niedawna uważano, że im ostrzejsza jest krawędź narzędzia, tym ma ono lepsze właściwości skrawne. Idea zaokrąglania krawędzi skrawających ostrzy węglikowych prawdopodobnie zrodziła się dość przypadkowo podczas prób poprawiania właściwości eksploatacyjnych wiertel [5]. W trakcie wykonywania otworów, zwłaszcza głębokich, pewnym utrudnieniem zawsze było usuwanie wiórow z strefy skrawania. Radzono sobie z tym na różne sposoby, takie jak: okresowe wycofywanie narzędzia z otworu, podawanie wewnątrz kanałami płynów obróbkowych pod dużym ciśnieniem oraz stosowanie powłok poślizgowych na bazie środków smarnych – np. dwusiarczku molibdenu lub grafitu [2]. Te powłoki dość szybko się wycierały ze względu na stosunkowo niską twardość i niewielką odporność temperaturową, dlatego w końcu z nich zrezygnowano, a ich funkcje smarne zastąpiono polerowaniem rowków wiórowych, co równie skutecznie ułatwiało ewakuację wiórow. W czasie polerowania rowka wiórowego zaokrąglaly się krawędzie skrawające, co było niezamierzonym efektem. Okazało się jednak, że nie pogarszało to właściwości skrawnych narzędzi, a nawet powodowało znaczący wzrost jego trwałości. Zaokrąglanie krawędzi skrawających metodami ściernymi zaczęto więc stosować także w innych narzędziach, np. we frezach trzpieniowych czy w wielostrzowych płytkach skrawających.

Trzeba nadmienić, że zaokrąglanie krawędzi czy wręcz wprowadzanie ścinów ochronnych powierzchni natarcia, zwanych fazkami ochronnymi, od dawna stosuje się w ostrzach z bardzo twardych i kruchych materiałów, takich jak ceramika czy regularny azotek boru. W tych przypadkach chodzi jednak o wyeliminowanie naprężeń rozciągających w ostrzu, które mogą prowadzić do wykruśzania się krawędzi.

Zaokrąglanie krawędzi skrawających często błędnie jest nazywane honowaniem. W języku polskim honowanie, zwane poprawnie gładzeniem, to proces kształtowania powierzchni za pomocą oselek ściernych zamocowanych w głowicach wykonujących dokładnie zdefiniowane ruchy kinematyczne, z kontrolowanym naciskiem na obrabiane powierzchnie. Taki proces nigdy nie był stosowany do kształtowania narzędzi skrawających, a zwłaszcza ich krawędzi.

Zaokrąglanie krawędzi skrawających narzędzi, na które potem nakłada się powłoki przeciwzużyciowe, ma jeszcze jedno zadanie: zapewnienie lepszej przyczepności powłoki do podłoża i zmniejszenie jej skłonności do złuszczenia się w najbardziej newralgicznych miejscach, jakimi są krawędzie ostrzy.

### Obrabiarki do polerowania i zaokrąglania krawędzi

Istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych obrabiarek – do wygładzania, polerowania, usuwania zadziórów, zaokrąglania krawędzi lub czyszczenia powierzchni – które wykorzystują metody obróbki ścierniej [15]. Te procesy często są wspomagane roztworzeniem chemicznym. Zazwyczaj do bębnow obróbkowych wygładzarek załadowywane są wsady zawierające luźne kształtki ściernie, ścierniwo i kształtowane przedmioty. Odpowiednie ruchy bębna powodują rotację i przemieszczanie się względem siebie składników wsadu. W ten sposób następuje obróbka powierzchni, w tym krawędzi przedmiotów.

W przypadku kształtowania w wygładzarkach pojemnikowych narzędzi o bardzo twardych, ostrych krawędziach istnieje duże ryzyko uszkodzeń mechanicznych narzędzi, które bezładnie zderzają się ze sobą. Obrabiane narzędzia muszą być zatem od siebie odseparowane i zamocowane w taki sposób, aby nie uszkadzały się nawzajem lub nie uderzały o ścianki pojemnika. Opracowano wiele technologii i zmodyfikowanych obrabiarek umożliwiających taką obróbkę.

Na rys. 1 przedstawiono **wygładzarkę pojemnikową z nieobraccającym się pojemnikiem**. Pojemnik jedynie się unosi, co powoduje zanurzenie się narzędzi we wsadzie i umożliwia ich obróbkę. Po skończonym procesie pojemnik opuszcza się, aby wymienić partię narzędzi do obróbki. Wygładzarka jest zbudowana z wrzeczona głównego, na którym zamocowane są satelitarnie cztery

\* Prof. dr hab. inż. Piotr Cichosz (piotr.cichosz@pwr.edu.pl) – Katedra Obrabiarek i Technologii Mechanicznych, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej; prof. dr inż. Mikołaj Kuzinovski (mikolaj.kuzinovski@mf.edu.mk), assoc. prof. Mite Tomov, PhD (mite.tomov@mf.edu.mk) – Wydział Mechaniczny Uniwersytetu w Skopje; mgr inż. Adam Urych (adam.urych@kometurpol.pl) – KOMET URPOL

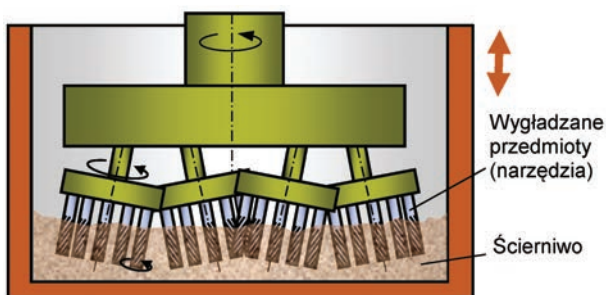
głowice obrotowe o ruchu planetarnym (rys. 2). Każda głowica ma pięć uchwyty wirujących względem własnej osi. Możliwe jest ustawianie wrzecion narzędziowych pod kątem  $0 \pm 20^\circ$  od pionu. Pochylenie narzędzi ma znaczenie z uwagi na ryzyko zapychania przez ścierniwo kanalików doprowadzających media obróbkowe do strefy skrawania. Jeżeli wystąpi takie zjawisko, wtedy po operacji wygładzania należy udrożnić kanaliki, np. metodą przedmuchiwnia sprężonym powietrzem albo przetłaczania cieczy/gorącej pary wodnej.

Omawiana obrabiarka pozwala na zaokrąglanie krawędzi aż 20 narzędzi w jednej operacji. Istnieją też wygładzarki, np. firmy Rösler, wyposażone nawet w 12 wrzecion, w których można mocować kształtowane przedmioty.



Rys. 1. Wygładzarka pojemnikowa PARDUS 6H 30T 2S: a) widok ogólny, b) głowice do mocowania z widocznym jednym zamocowanym narzędziem

Po uruchomieniu obrabiarki wrzeciono główne oraz głowice obrotowe zaczynają się obracać z niewielką prędkością, a zbiornik powoli się unosi, aby uzyskać odpowiednią głębokość zanurzenia narzędzi we wsadzie ściernym (rys. 2). Od tej chwili maszyna odmierza czas obróbki oraz zmienia w zaprogramowany sposób kierunek i czas obrotów. Ruch obrotowy powoduje silne tarcie między narzędziami a ścierniwem.

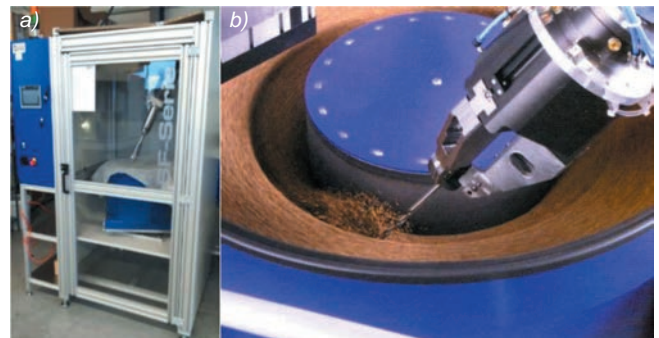


Rys. 2. Schemat ruchów obrotowych wrzecion wygładzarki pojemnikowej PARDUS 6H 30T 2S

W przypadku tej maszyny (i większości innych) na końcowy efekt obróbki można wpływać przez:

- rodzaj ścierniwa;
- prędkość obrotową wrzeciona głównego, na którym zamocowane są głowice;
- prędkość obrotową głowic;
- kierunek, czas i rodzaje cykli obrotów wrzecion;
- głębokość zanurzenia narzędzi we wsadzie;
- kąt pochylenia głowic.

Na rys. 3 przedstawiono **wygładzarkę pojemnikową z wirującym pojemnikiem** do obróbki narzędzi skrawających oraz innych przedmiotów. Tego typu wygładzarki nazywa się niekiedy – niezbyt trafnie – wygładzarkami lub polerkami strumieniowymi [8, 15]. Bęben obracający się z dużą prędkością utrzymuje wsad ścierny – dzięki sile odśrodkowej – przy zewnętrznych ściankach pojemnika. Jednocześnie dzięki tej sile konsystencja wsadu staje się bardziej zwarta i oddziałuje ściernie na umieszczone w nim narzędzia z większą intensywnością, przez co skraca się czas obróbki. Narzędzia są zamocowane w oprawkach wrzecion, które mogą się obracać z regulowaną prędkością i w obu kierunkach. Zmiana kąta pochylenia wrzecion pozwala na uzyskanie różnych profili zaokrąglenia krawędzi (rys. 3). Dość duża prędkość obrotowa pojemnika powoduje, że prędkość oddziaływania wsadu na narzędzie osiąga nawet kilkanaście metrów na sekundę. Inne wygładzarki pojemnikowe nie zapewniają tak intensywnej obróbki. Wadą tych wygładzarek jest stosunkowo mała liczba (do pięciu sztuk) narzędzi możliwych do jednoczesnego kształtowania.



Rys. 3. Obrabiarka SF-1-68-M-D: a) widok ogólny, b) wygląd pojemnika z kształtowanym narzędziem

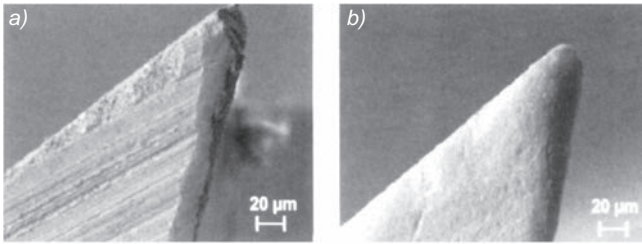
Na rys. 4 pokazano zautomatyzowaną wygładzarkę pojemnikową, wyposażoną w dwa roboty odpowiedzialne za umieszczanie obrabianych przedmiotów w wirującym bębnie.



Rys. 4. Wygładzarka pojemnikowa firmy Rösler

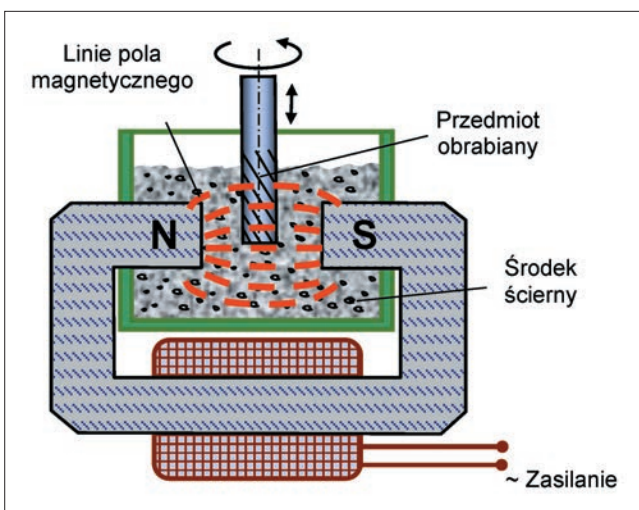
Niewątpliwą zaletą takiego stanowiska jest dość duża bezobsługowość. Ramiona robotów same pobierają i odkładają obrabiane przedmioty według wcześniej zaprogramowanych cykli.

Na rys. 5 przedstawiono naroże ostrza frezu przed obróbką i po ukształtowaniu w wygładzarce pojemnikowej z wirującym bębniem.



Rys. 5. Ostrze frezu: a) przed obróbką, b) po obróbce w wygładzarce pojemnikowej z wirującym bębnem (wg OTEC)

Kolejną metodą, która może służyć do zaokrąglania krawędzi skrawających, jest **obróbka magnetościerna** (rys. 6). Jej istotą jest to, że linie pola magnetycznego utrzymują cząstki konglomeratu magnetyczno-ściernego, a w wyniku złożonych ruchów oscylacyjnych i obrotowych narzędzia następuje delikatne ściernie oddziaływanie na jego powierzchnie i krawędzie.

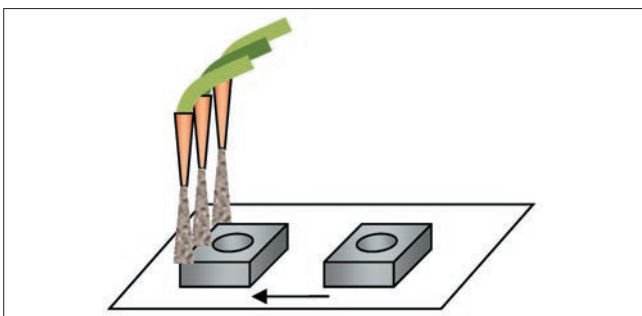


Rys. 6. Obróbka magnetościerna w stałym polu magnetycznym

Wadą tej metody jest konieczność stosowania specyficznego ścierniwa, czyli cząsteczek ze spoiwa o własnościach magnetycznych z zatopionymi w nich ziarnami ściernymi, najczęściej diamentowymi. Ścierany materiał narzędzia zazwyczaj ma właściwości magnetyczne, co może powodować trudne do separacji zanieczyszczenia ścierniwa.

**Obróbka strumieniowo-ścierna** (zwana piaskowaniem – rys. 7) z precyzyjnie sterowanymi parametrami – takimi jak: ciśnienie medium, rodzaj ścierniwa i kierunek jego podawania oraz czas obróbki – nadaje się zwłaszcza do zaokrąglania krawędzi płytek skrawających.

Są dwie odmiany piaskowania – na mokro i na sucho. W pierwszym przypadku ziarna ściernie poruszają się w strumieniu cieczy, a w drugim – w strumieniu powietrza.



Rys. 7. Schemat piaskowania płytek skrawających

Ze względu na zwilżenie ziaren ściernych metoda na mokro często jest wydajniejsza, ale też bardziej kosztowna.

**Szczotkowanie** lub **polerowanie** za pomocą tarcz polerskich bądź szczotek może się odbywać z użyciem robotów albo ręcznie. W przypadku produkcji narzędzi skrawających na szlifierkach wieloosiowych szczotkę można zamocować jak ściernicę, dzięki czemu proces szczotkowania odbywa się bezpośrednio po szlifowaniu na tej samej maszynie, jest precyzyjny i powtarzalny. Przykładową szczotkę ścierną przeznaczoną do polerowania powierzchni i krawędzi roboczych narzędzi pokazano na rys. 8.



Rys. 8. Szczotka do polerowania powierzchni roboczych narzędzi

Tymi sposobami najczęściej się wygładza/poleruje powierzchnie robocze ostrzy i rowków wiórowych (również po nakładaniu powłok ochronnych) oraz zaokrągla krawędzie skrawające.

### Rodzaje środków ściernych

Środki ściernie występują w wielu odmianach i mają różną ziarnistość. Użycie konkretnego produktu zależy od charakteru procesu oraz spodziewanych skutków obróbki ścierniej.

Jeżeli priorytetem jest wysoka wydajność obróbki, natomiast chropowatość obrabianych powierzchni i krawędzi ma mniejsze znaczenie, wtedy jako środek ścierny można zastosować ziarna o ostrych, twardych krawędziach, z klasycznych materiałów ściernych. Na drugim biegunie są ścierniwa o bardzo subtelnym oddziaływaniu, np. kuleczki szklane o średnicach rzędu dziesiątych części milimetra, stosowane do delikatnego usuwania zadziorów i polerowania powierzchni w obróbce strumieniowo-ścierniej, a nawet drobne kulki gumowe z zatopionym proszkiem diamentowym. Wykorzystuje się także organiczne środki ściernie pozyskiwane z mielonych łupin orzechów czy pestek, a także jeszcze bardziej delikatne materiały, np. z mielonych kolb kukurydzy. Materiały organiczne należy co jakiś czas poddawać impregnacji, aby nie ulegały zepsuciu w wilgotnym środowisku pracy. Ścierniwa organiczne należą do najmniej wydajnych objętościowo materiałów, ale zapewniają uzyskanie wyjątkowo gładkich powierzchni.

Ścierniwo może być: podawane luźno w strumieniu powietrza lub wody, swobodnie utwardzone w krążku filcowym do polerowania albo utrzymywane liniami sił pola magnetycznego bądź siłą odśrodkową i grawitacyjną w wirujących bębnach wygładzarek. Ponadto może być składnikiem włókien ściernych szczotek. Niemal każdy z producentów obrabiarek do wygładzania krawędzi oferuje też środki ściernie odpowiednie do danego zastosowania.

Przed wygładzaniem narzędzia skrawające należy starannie oczyścić i odtłuścić, aby zapewnić powtarzalne wyniki obróbki i zapobiec zanieczyszczeniu medium ściernego (zwłaszcza gdy obróbka jest prowadzona na sucho).

## Pomiary zaokrąglenia krawędzi

Należy pamiętać, że powłoki przeciwzużyciowe nakładane na ostrza skrawające zwiększają promień zaokrąglenia ich krawędzi. Ta zmiana bywa znacząca, mimo że grubość typowych powłok ochronnych wynosi zazwyczaj kilka mikrometrów. Optymalny promień zaokrąglenia krawędzi zależy od przeznaczenia narzędzia i może wynosić od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów. Pomiar tej wielkości nie powinien być obciążony zbyt dużym błędem, aby móc precyzyjnie kontrolować końcowe fazy procesu technologicznego wygładzania krawędzi skrawających narzędzi.

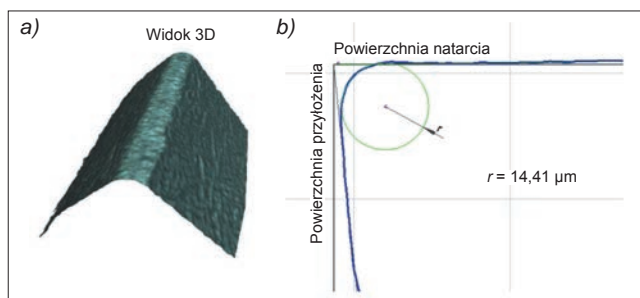
Istnieje wiele metod pomiaru promienia zaokrąglenia krawędzi. Najprostszą jest zastosowanie **profilometru stykowego**. Znormalizowana igła pomiarowa zazwyczaj ma kąt wierzchołkowy ok.  $90^\circ$  i promień zaokrąglenia wierzchołka  $2\ \mu\text{m}$ . To powoduje zakłócenie pomiaru, nawet gdy ustawi się kierunek przesuwu igły z dużą dokładnością, prostopadle do dwusiecznej kąta ostrza  $\beta_n$ . W tej metodzie od zmierzonej wartości promienia zaokrąglenia krawędzi  $r_n$  należy odejść wartość promienia wierzchołkowego igły pomiarowej, która się replikuje na uzyskanym profilogramie.

Inną metodą pomiaru promienia  $r_n$  jest wykonanie **zglądu metalograficznego** prostopadłego do krawędzi ostrza oraz obserwowanie go w dużym powiększeniu. Wśród wad tej metody można wymienić niszczący charakter i czasochłonność, a także fakt, że z uwagi na szczyrbałość krawędzi dokładnie nie wiadomo, w którym miejscu wyszczerbienia wykonywany jest zgląd. To może skutkować dość znacznym rozrzutem wyników pomiarów, natomiast wykonanie kilkunastu zglądów w celu uśrednienia uzyskanych wartości jest bardzo kłopotliwe.

Do pomiaru zaokrąglenia krawędzi najczęściej stosuje się **metody optyczne**, w których prążki cienia rzutuje się – zazwyczaj pod kątem  $45^\circ$  – na krawędź skrawającą. Zależnie od kształtu powierzchni prążki się uginają, co można zaobserwować pod mikroskopem. Ta metoda jest znana od bardzo dawna. Swego czasu ją zarzucono, jednak obecnie, w dobie szybkiej analizy numerycznej obrazów, wróciła do łask. Mikroskopy pozwalające na tego typu pomiary bywają drogie – cena zależy od dokładności, szybkości działania, stopnia automatyzacji czynności, wizualizacji i archiwizacji danych.

Kolejną metodą optyczną służącą do odwzorowywania 3D geometrii ostrza jest **mikroskopia różnicowania ogniskowego** [14]. Polega ona na składaniu tylko wycinków obrazów o dużej ostrości z kolejnych warstw stosu obrazów zarejestrowanych na różnych poziomach. Dzięki temu można bardzo wiernie odtworzyć topografię powierzchni o stosunkowo dużych różnicach głębokości zarysów, w tym także tych o dużych kątach pochylenia. Zarejestrowany obraz można poddawać szczegółowej analizie numerycznej, łącznie z określaniem parametrów chropowatości wzdłuż wybranych kierunków.

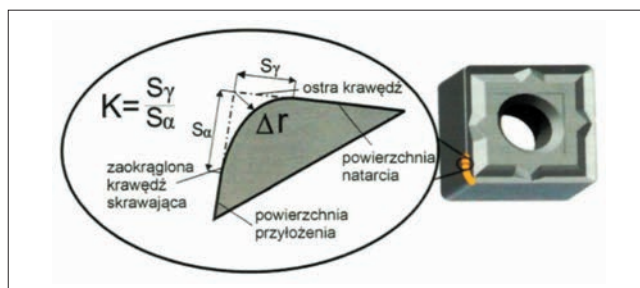
Przykład obserwacji i pomiaru promienia zaokrąglenia krawędzi za pomocą mikroskopu Alicona pokazano na rys. 9. Pomiary wzdłuż krawędzi skrawającej są realizowane automatycznie, np. w 50 przekrojach, a wynik  $r_n$  jest podawany jako wartość średnia. Duża liczba pomiarów, na podstawie których określa się wartość średnią  $r_n$ , jest ważna, ponieważ promień zwykle jest wyznaczany z uwzględnieniem ok.  $\frac{1}{4}$  obwodu koła. Biorąc pod uwagę błąd odwzorowania powierzchni, szczyrbałość krawędzi i niewielką wartość samego promienia (często wynoszącą np. kilka mikrometrów), niepewność pojedynczego pomiaru może być istotna.



Rys. 9. Pomiar promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej: a) widok krawędzi skrawającej, b) graficzne przedstawienie przekroju krawędzi

Bardziej zaawansowaną metodą optyczną jest **mikroskopia konfokalna**, która ma kilka odmian. W uproszczeniu polega ona na tym, że w torze optycznym między badanym obiektem a matrycą rejestrującą obraz znajdują się przesłony o bardzo małej średnicy, umieszczone na stałych bądź wirujących dyskach, służące do ograniczania oświetlonych fragmentów obrazu. Odpowiednio uformowana i odbita od badanego obiektu plamka świetlna wraca przez podobny system kształtujący (również zawierający przesłony) i trafia na matrycę pomiarową. Układ optyczny odseparowuje światło rozproszone, zwłaszcza to pochodzące z innych poziomów, spoza płaszczyzny ostrości. Z bardzo dużą precyzją rejestruje się także położenie płaszczyzny ostrości oraz przypisuje do niej fragmenty obrazu znajdujące się na tym poziomie. Dzięki temu można otrzymywać obrazy 3D o dobrym kontraście i dużej głębi ostrości nawet przy bardzo dużych powiększeniach. Zarejestrowany numeryczny obraz krawędzi można – podobnie jak w poprzedniej metodzie – poddać dowolnej analizie graficznej.

Aby wyeliminować konieczność stosowania drogich mikroskopów do pomiaru promienia zaokrąglenia krawędzi skrawających, można badać nieco inne wskaźniki charakteryzujące to zaokrąglenie. Mogą to być np. wielkości starcia krawędzi  $S_\alpha$  lub  $S_\gamma$ , odniesione do jej pierwotnego zarysu, mierzone odpowiednio wzdłuż powierzchni przyłożenia lub natarcia (rys. 10). Te wskaźniki oraz  $\Delta r$  określają wielkość zaokrąglenia krawędzi, natomiast  $K = S_\gamma/S_\alpha$  jest miarą jego niesymetryczności, która może istotnie wpływać na trwałość narzędzia. Do pomiaru omawianych wskaźników wystarczy nawet zwykły mikroskop warsztatowy.



Rys. 10. Wielkości charakteryzujące niesymetryczność i zaokrąglenie krawędzi [8]

## Podsumowanie

Właściwości eksploatacyjne narzędzi można wyraźnie poprawić dzięki zaokrągleniu krawędzi skrawających w procesie obróbki ściernej (wygładzania i polerowania). Taki sposób końcowego kształtowania ostrzy powoduje nawet kilkukrotne wydłużenie trwałości narzędzi [1, 2, 5–8]. To korzystne zjawisko tłumaczy się m.in. uzyskaniem:

- znacznie mniejszej chropowatości powierzchni roboczych ostrza i tym samym mniejszego tarcia na powierzchniach kontaktu narzędzia z obrabianym przedmiotem;
- mniejszej szczyrbałości krawędzi, czego konsekwencją jest ograniczenie zużycia ściernego oraz adhezyjnego ostrza;
- lepszej przyczepności powłok ochronnych w najbardziej newralgicznym miejscu ostrza, czyli na krawędzi skrawającej;
- większej odporności na udarowe odpryski powłoki z krawędzi skrawającej.

Te korzyści spowodowały, że firmy produkujące i regenerujące narzędzia coraz częściej stosują zaokrąglanie krawędzi ostrzy. Istnieje wiele rozwiązań obrabiarek czy urządzeń służących do tego celu. Różnią się one stopniem zmechanizowania i zautomatyzowania, lecz zazwyczaj umożliwiają programowanie przebiegu całego procesu technologicznego z uwzględnieniem zmiany kierunku i wartości obrotów, głębokości i miejsca zanurzenia narzędzi we wsadzie ściernym, czasów trwania poszczególnych etapów cyklu itp. Niektóre urządzenia pozwalają na uzyskanie bardzo dużej wydajności dzięki opcji jednoczesnej obróbki wielu narzędzi oraz zintensyfikowaniu oddziaływania ścierniwa.

Ze względu na złożoną budowę niektórych narzędzi skrawających istnieją dwa podejścia do mechanizacji czynności polegającej na zaokrągleniu krawędzi ostrzy. Z jednej strony dąży się do pełnej automatyzacji i sterowania tym procesem, aby uzyskać dużą powtarzalność rezultatów obróbki. Z drugiej strony złożoność narzędzi skrawających może utrudniać automatyzację ich obróbki, a niekiedy wręcz wymuszać obróbkę ręczną, której efekty zależą od wprawy i doświadczenia operatorów.

Warto wspomnieć, że wygładzarki do zaokrąglania krawędzi skrawających mogą też służyć do polerowania pozostałych powierzchni narzędzia, aby nadać im bardziej estetyczny, lustrzany wygląd, który ułatwia konserwację i przyciąga uwagę potencjalnych nabywców.

## LITERATURA

1. Baczyński S. „Automatyzacja stanowiska do zaokrąglania krawędzi polerowaniem rotacyjnym wraz z doбором parametrów obróbki”. Praca dyplomowa inżynierska, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2017.
2. Cichosz P. „Narzędzia skrawające”. Warszawa: WNT, 2006.
3. Carlos J.C.R. “Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing”. Praca doktorska, Unidruckerei der Universität Kassel, Kassel 2009.
4. Materiały informacyjne firmy Alicona.
5. Materiały informacyjne firmy Gühring.
6. Materiały informacyjne firmy Komet.
7. Materiały informacyjne firmy MARBAD.
8. Materiały informacyjne firmy OTEC.
9. Materiały informacyjne firmy PARADUS.
10. Materiały informacyjne firmy Rösler.
11. Materiały informacyjne firmy Zoller.
12. Marciniak M., Stefko A., Szyrle W. „Podstawy obróbki w wygładzarkach pojemnikowych”. Warszawa: WNT, 1983.
13. Uhlmann E., Oberschmidt D., Kuche Y. „Zautomatyzowana kontrola krawędzi skrawających narzędzi”. *MM Magazyn Przemysłowy*. 4, 146 (2015).
14. Wieczorowski M. „Metrologia nierówności powierzchni – metody i systemy”. Skórzewo: ITA, 2013.
15. Woźniak K. „Obróbka powierzchni w wygładzarkach pojemnikowych”. Warszawa: WNT, 2017. ■