

Piotr CICHOSZ¹
Maciej KOWALSKI²
Paweł KAROLCZAK³
Marek KOŁODZIEJ⁴
Hubert SKOWRONEK⁵
Kamil WASZCZUK⁶

FAZOWNIK SAMOCZYNNY Z OSTRZEM NAPINANYM SPRĘŻYNĄ PIÓROWĄ

Problemem, który może generować znaczne koszty oraz zwiększać czasochłonność procesów technologicznych, są czynności związane z fazowaniem i gratowaniem krawędzi obrabianych wcześniej przedmiotów. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku obróbki masowej, kiedy ważne jest utrzymanie wysokiej efektywności wytwarzania. Dotychczas stosowane narzędzia do fazowania krawędzi, których konstrukcja opiera się na sprężystości umocowanych ostrzach, mają tę wadę, że wielkość i regularność wykonywanej fazy są uzależnione od zakłóceń losowych, np. zmiennej właściwości materiału półfabrykatu. Problem ten nasila się w przypadku kształtowania przedmiotów z materiałów plastycznych lub kompozytowych w obecności nieregularnych wypływek i zadziorów. W pracy omówiono proces konstrukcji i finalną wersję narzędzia do fazowania, wykonanego w wariacie z ostrzem ze zintegrowaną płożą ślizgową i napinanego sprężyną piórową. Omówiono wybrane wyniki fazowania tym narzędziem.

Słowa kluczowe: narzędzie skrawające, fazowanie, krawędź, element ślizgowy

1. Wprowadzenie

Pojęcie fazy w maszynoznawstwie oznacza ukośne ścięcie krawędzi przedmiotu. Jej wykonanie jest niezbędne z kilku powodów. Można do nich zaliczyć: mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń krawędzi, ułatwienie czynności montażowych, usunięcie zadziorów i gratu. Równie ważnymi zagadnieniami są ochrona operatorów i użytkowników maszyny przed skaleczeniami oraz poprawienie walorów estetycznych obrabianego przedmiotu.

² Autor do korespondencji/corresponding author: Maciej Kowalski, Politechnika Wroclawska, ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław, tel.: 713204181, e-mail: maciej.kowalski@pwr.edu.pl

^{1,3,4,5,6} Piotr Cichosz, Paweł Karolczak, Marek Kołodziej, Hubert Skowronek, Kamil Waszczuk, Politechnika Wroclawska, e-mail: piotr.cichosz@pwr.edu.pl., pawel.karolczak@pwr.edu.pl, marek.kolodziej@pwr.edu.pl, hubert.skowronek@pwr.edu.pl, kamil.waszczuk@pwr.edu.pl

Operację fazowania można wykonywać np. ręcznie lub przez obróbkę plastyczną. Najliczniejszą grupę technik fazowania ostrych krawędzi stanowią jednak różne metody obróbki skrawaniem. Najczęściej stosuje się ich toczenie, ale również frezowanie, pogłębianie czy wytaczanie zarówno narzędziami katalogowymi, jak i specjalnymi [3]. Tak duża liczba metod krawędziowania świadczy o tym, że zabiegi te (wydawałoby się bardzo proste w realizacji) stwarzają technologom czy operatorom obrabiarek skrawających dużo problemów, zwłaszcza podczas obróbki w miejscach trudno dostępnych, takich jak: wielostopniowe otwory z licznymi kanałkami, wyjścia otworów, skośne usytuowanie otworów względem powierzchni, w których są one umiejscowione itp. W przypadku zastosowania do operacji fazowania wiertarek, frezarek czy też niektórych typów wytaczarek, które nie mają sterowanego ruchu promieniowego narzędzi – problemy z wykonaniem fazki znacząco się pogłębiają, powodując wzrost czasu, a tym samym kosztów tego typu operacji.

W większości przypadków duża dokładność wykonania fazy nie ma istotnego znaczenia. Wtedy podczas fazowania można się posłużyć ogólnie dostępnymi narzędziami, które pracują na zasadzie sprężystości zamocowanych ostrzy skrawających. Fazka jest nacinana do momentu, w którym składowa odporna siła skrawania wymusza ich odchylenie od przedmiotu obrabianego i samoczynne przerwanie obróbki. Konstrukcje te mają jednak tę wadę, że wielkość i regularność nacinanej fazy zależą od: zmiennych właściwości warstwy wierzchniej przedmiotu obrabianego, rodzaju półfabrykatu, czy też wielkości i stopnia nieregularności występowania zadziórów oraz wypływek [4]. Występowanie tego typu problemów sprawia, że uzyskiwane na materiałach plastycznych czy kompozytowych fazy bardzo często charakteryzują się niewielką dokładnością wykonania, dużym rozrzutem wymiarów oraz zmienną chropowatością wykonywanych powierzchni. W efekcie wystąpienia tych wad nie jest możliwe zastosowanie jednego typu narzędzia do obróbki materiałów o różnych właściwościach, a w przypadku konieczności wykonania fazy o dużej dokładności wymiarowej i powtarzalnej chropowatości ich użycie wymaga często bardzo czasochłonnych prób związanych z ciągłymi zmianami nastaw elementów sprężystych przed rozpoczęciem obróbki każdej serii wyrobów. W celu uniknięcia tego typu trudności prowadzi się fazowanie narzędziami sterowanymi lub mechatronicznymi, jednak ich użycie wiąże się ze znacznymi kosztami i ma uzasadnienie ekonomiczne tylko w przypadkach produkcji seryjnej i konieczności wykonania fazek o bardzo dużej dokładności wymiarowo-kształtowej [5].

Opisane komplikacje występujące podczas fazowania skłoniły autorów pracy do poszukiwania rozwiązań konstrukcyjnych narzędzi, które przy niewielkich kosztach zakupu i użytkowania pozwoliłyby na dokładne wykonywanie fazek o zadanej dokładności wymiarowo-kształtowej.

2. Konstrukcja narzędzia

Schematy ideowe działania narzędzi skrawających opartych na zgłoszeniach patentowych i późniejszych patentach [1, 2] zostały zaprezentowane w pracach [3, 4]. Przedstawiono tam również pierwsze wyniki badań doświadczalnych wykonywania fazek w materiałach o bardzo zróżnicowanej skrawalności, takich jak żeliwo stopowe, stal C55 i poliuretan. Efekty obróbki potwierdziły hipotezę, że możliwe jest wykonywanie fazek o kontrolowalnych wymiarach narzędziami, których ostrze posiada płożę ślizgową, lub które mają w swej konstrukcji inne elementy oporowe (np. rolki). Wówczas po zetknięciu się z powierzchnią obrabianą wymuszone jest cofnięcie się ostrza skrawającego w głąb korpusu narzędzia i samoczynne zakończenie wykonywania fazy.

Zachęcające wyniki prób skrawaniowych narzędziami prototypowymi wykonanymi na Politechnice Wrocławskiej oraz coraz bardziej odczuwalne zapotrzebowanie firm przemysłowych na proste w użyciu fazowniki samoczynne stały u podstaw rozpoczęcia współpracy Politechniki z Pabianicką Fabryką Narzędzi PAFANA S.A. Wspólne prace koncentrowały się na skonstruowaniu narzędzia do fazowania, które powinno zapewnić większą dokładność kształtowania faz o wymaganych wymiarach niezależnych od twardości materiału obrabianego i nierównomierności rozłożenia nadatku. Oprócz tego założono, że narzędzie to powinno umożliwiać: wykonywanie faz na obu końcach obrabianych otworów w jednym zabiegu, płynną regulację wielkości fazy, wykonywanie faz na powierzchniach wewnętrznych i zewnętrznych oraz wbudowywanie fazownika w inne narzędzia, co pozwoliłoby na skonstruowanie narzędzi wielozadaniowych umożliwiających kompleksowe kształtowanie powierzchni w jednym przejściu narzędzia.

Prace nad fazownikami nowej konstrukcji koncentrowały się na dwóch zagadnieniach: rozwiązaniu problemu elementu oporowego powodującego cofanie się ostrza fazującego po zakończeniu skrawania oraz napinającego elementu sprężystego. Pierwsze założenia konstrukcji fazownika opierały się na koncepcji wykorzystania ostrza w formie wieloostrowej płytki handlowej. Rozwiązanie to ma wiele zalet, m.in.: unifikację, dostępność, niższe koszty wytworzenia narzędzia. Z drugiej strony płytka skrawająca ma przekrój kwadratowy bądź trapezowy, co z kolei utrudnia wykonanie gniazda o takim kształcie w korpusie narzędzia. Jest to spowodowane tym, że w takim rozwiązaniu fazownika ostrze musi się przesuwac w gnieździe, które zostało wykonane z dość dokładnym pasowaniem. W przypadku wersji fazownika z kasetką wykonanie gniazda pod mocowania płytki nie stanowi problemu, gdyż ostrze jest przymocowane „na stałe”, a w czasie pracy przesuwa się kasetka.

W kolejnej koncepcji rozwiązania części skrawającej narzędzia do fazowania zaproponowano połączenie ostrzy skrawających z oporową rolką prowadzącą. Podczas realizacji badań analitycznych konstrukcji fazowników w wersji z ka-

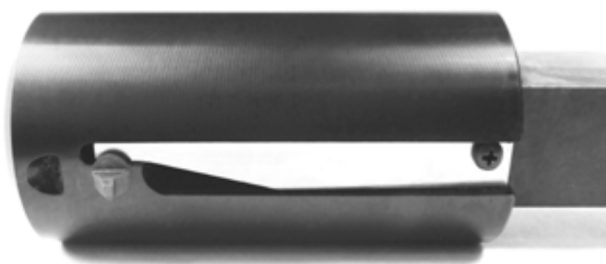
setką prowadzącą i odrębną rolką prowadzącą pojawiła się również koncepcja, aby zamiast rolki prowadzącej użyć kulki spełniającej tę rolę.

Po wykonaniu analiz konstrukcyjnych okazało się, że płoza ślizgowa w formie rolki prowadzącej bądź kulki powoduje znaczne zwiększenie wymiarów fazownika. Wymiar fazownika ma istotne znaczenie, gdyż decyduje on o średnicach kształtowanych otworów. Większość otworów, w których są wykonywane fazki, to otwory o stosunkowo małych średnicach, tworzone najczęściej za pomocą wiertel. Problemem jest tu wykonanie fazki lub choćby tylko usunięcie zadziorów z otworu u jego wylotu. Trudności te pogłębiają się wraz ze zmniejszaniem średnicy wykonywanego otworu. Dość ważnym kryterium w ocenie poprawności konstrukcji fazownika jest zatem możliwość jego miniaturyzacji i to w takim stopniu, aby dało się umieszczać go w korpusach wiertel, tworząc z nich narzędzia wielozadaniowe.

Nawarstwiający się problemy konstrukcyjne i technologiczne związane z wykonaniem narzędzia z płytką handlową o przekroju prostokątnym i dodatkowym elementem oporowym wywołującym samoczynne cofanie się ostrza spowodowały zmianę podejścia do rozwiązania konstrukcji fazownika. Ostatecznie zdecydowano się na wykonanie ostrza z handlowego, okrągłego pręta węglkowego, który ukształtowano w ten sposób, aby element oporowy (ślizgowy) stanowił jego integralną część.

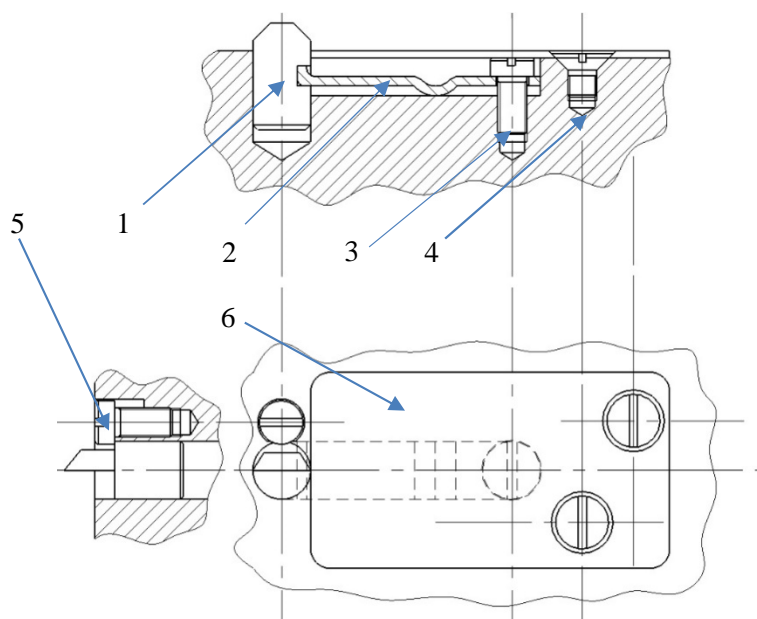
Drugim istotnym zagadnieniem konstrukcyjnym, któremu poświęcono wiele uwagi, był dobór elementu sprężystego napinającego ostrze skrawające. Przeprowadzona analiza wymagań, jakie powinny spełniać takie elementy, pozwoliła stwierdzić, że podczas konstruowania narzędzi do wykonywania faz należy skoncentrować się na rozwiązaniach, w których będą zastosowane sprężyny piórowe, śrubowe lub talerzowe [5]. Sprężyny piórowe były pierwszym wyborem podczas konstrukcji opisywanych fazowników. Ich zasadniczą różnicą funkcjonalną jest to, że mają one prostopadły kierunek odkształcenia sprężystego i wywierania siły do ich wymiaru długościowego, a zatem inny niż sprężyny śrubowe i talerzowe. Jest to istotne, gdyż umożliwia ich wbudowanie w narzędzia o niewielkich średnicach.

Kolejną zaletą sprężyn piórowych jest łatwa modyfikacja ich charakterystyk poprzez zmiany szerokości lub grubości wzdłuż jej długości oraz łatwiejszy dostęp do elementów nastawczych. Dostrzeżonymi mankamentami tego typu sprężyn są: trudność w zachowaniu szczelności między sprężyną a korpusem narzędzia (przy zmiennej szerokości sprężyny), problematyczna konstrukcja, która powinna zapewnić odporność na przeciążenia, mały potencjał jej działania wyrażony możliwością odkształcania się i wywierania siły (w przypadku sprężyn ze stałą szerokością) [5]. Na rysunku 1 pokazano prototyp narzędzia z ostrzem napinanym sprężyną piórową, na rys. 2 – koncepcję konstrukcji fazownika z elementem sprężystym piórowym w wariancie bez kasetki, a na rys. 3 – fazownik z elementem piórowym w wariancie z kasetką.



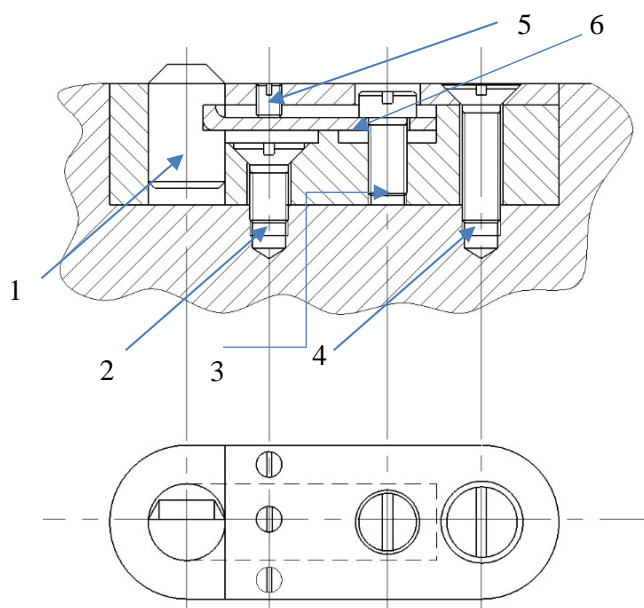
Rys. 1. Narzędzie do fazowania z ostrzem napinanym sprężyną piórową

Fig. 1. Tool for chamfering with blade clamped by the leaf spring



Rys. 2. Fazownik bez kasetki z pokrywą zabezpieczającą przed dostaniem się wiórów w obszar pracy elementu sprężystego; 1 – ostrze fazownika, 2 – element sprężysty, 3 – śruba regulująca napięcie elementu sprężystego, 4 – śruba mocująca osłonę, 5 – śruba regulująca wysunięcie ostrza, 6 – osłona

Fig. 2. Chamfering tool without a cassette with a cover to prevent from chips entering to the working area of the elastic element; 1 – blade of chamfering tool, 2 – resilient element, 3 – screw adjusting the tension of the resilient element, 4 – screw fixing the cover, 5 – screw adjusting blade protrusion, 6 – cover

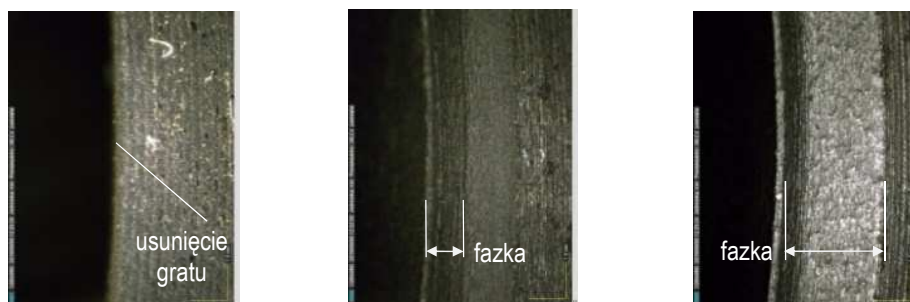


Rys. 3. Fazownik z kasetką montowany do narzędzia poprzez dwie śruby mocujące; 1 – ostrze fazownika, 2 – śruba mocująca kasetkę, 3 – śruba regulująca napięcie elementu sprężystego, 4 – śruba mocująca osłonę, 5 – wkręt bez łba regulujący wysunięcie ostrza fazownika, 6 – element sprężysty

Fig. 3. Chamfering tool with a cassette mounted to the tool with two fixing screws; 1 – blade, 2 – screw fixing the casket, 3 – screw adjusting the tension of the resilient element, 4 – screw fixing the cover, 5 – headless screw adjusting blade protrusion, 6 – resilient element

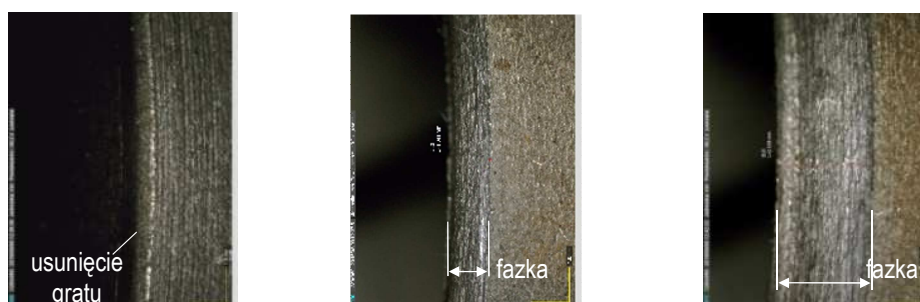
3. Badania doświadczalne wykonywania fazek

Badania możliwości skrawnych fazownika wykonano dla dwóch materiałów obrabianych: stali C55 i żeliwa EN GJL 250. Przed rozpoczęciem prób skrawaniem przeprowadzono obliczenia wielkości napięcia sprężyny i dobrano je tak, aby przewyższało przewidywane opory skrawania. W trakcie wykonywania fazek stwierdzono, że w zależności od zakładanej wielkości fazki siła napięcia sprężyny powinna się zawierać w przedziale 50-150 N. Na rysunkach 4 i 5 pokazano przykładowe fazy wykonane na krawędzi w tulei żeliwnej podczas obróbki na sucho i ze smarowaniem. Z kolei rys. 6 oraz 7 przedstawiają fazy wykonane w tulei stalowej. Obróbkę przeprowadzono z napięciem elementu sprężystego 50; 100 i 150 N, co odpowiadało zakładanym wymiarom fazy: usunięcie gratu (brak fazy); $0,7 \times 45^\circ$ oraz $1,8 \times 45^\circ$. Badania przeprowadzono dla parametrów skrawania charakterystycznych dla obróbki wykończeniowej, tj. posuw $f = 0,08$ mm/obr. oraz prędkość skrawania $v_c = 45$ m/min.



Rys. 4. Fazy wykonane w żeliwie w warunkach obróbki na sucho; wymiary fazek od lewej – brak fazy (usunięcie gratu), $0,65 \times 45^\circ$, $1,68 \times 45^\circ$

Fig. 4. Chamfers made in cast iron under machining with dry conditions; chamfer dimension from left – no chamfer (removal of burr), $0.65 \times 45^\circ$, $1.68 \times 45^\circ$



Rys. 5. Fazy wykonane w żeliwie w warunkach obróbki ze smarowaniem; wymiary fazek od lewej – brak fazy (usunięcie gratu), $0,7 \times 45^\circ$, $1,8 \times 45^\circ$

Fig. 5. Chamfers made in cast iron under machining with lubrication; chamfer dimension from left – no chamfer (removal of burr), $0.7 \times 45^\circ$, $1.8 \times 45^\circ$

W trakcie prób stopniowo zmniejszono prędkość skrawania. Pozwoliło to na wyeliminowanie „falowania” generowanego na powierzchni fazki i jednocześnie dało odpowiedź, jakie maksymalne prędkości skrawania powinny być stosowane podczas pracy narzędzia ze sprężyną piórową. Obrazy otrzymanych faz rejestrowano za pomocą urządzenia DinoLite, a siły występujące podczas skrawania zmierzono siłomierzem tokarskim firmy Kistler.

W efekcie przeprowadzonych badań udało się dla każdego z badanych materiałów uzyskać warunki skrawania, w których otrzymywano powtarzalność wymiarową wykonywanych faz. Dla każdego z badanych przypadków uznano, że otrzymywane fazy są powtarzalne, jeśli ich wymiary mieściły się w przedziale $\pm 0,1$ mm. Należy także zauważyć, że ustawione przed rozpoczęciem skrawania stałe napięcie elementu sprężystego (50, 100 i 150 N) przekładało się na różne wartości nominalne otrzymywanych fazek, których wielkość zmieniała się wraz ze zmianą obrabianego materiału i warunków smarowania. I tak, dla żeliwa EN

GJL 250 przy obróbce na sucho zaobserwowano usunięcie gratu (50 N), fazkę 0,65 mm (100 N) oraz fazkę 1,68 mm (150 N). Po zastosowaniu smarowania było to odpowiednio: usunięcie gratu, fazka 0,7 mm oraz fazka 1,8 mm. Dla stali C55 obrabianej bez smarowania otrzymano odpowiednio: usunięcie gratu, fazkę 0,7 mm i fazkę 1,21 mm. Po zastosowaniu smarowania było to odpowiednio: usunięcie gratu, fazka 0,61 mm oraz fazka 1,42 mm.



Rys. 6. Fazy wykonane w stali w warunkach obróbki na sucho; wymiary fazek od lewej – brak fazy (usunięcie gratu), $0,7 \times 45^\circ$, $1,21 \times 45^\circ$

Fig. 6. Chamfers made in steel under machining with dry conditions; chamfer dimension from left – no chamfer (removal of burr), $0.7 \times 45^\circ$, $1.21 \times 45^\circ$



Rys. 7. Fazy wykonane w stali w warunkach obróbki ze smarowaniem; wymiary fazek od lewej – brak fazy (usunięcie gratu), $0,61 \times 45^\circ$, $1,42 \times 45^\circ$

Fig. 7. Chamfers made in steel under machining with lubrication; chamfer dimension from left – no chamfer (removal of burr), $0.61 \times 45^\circ$, $1.42 \times 45^\circ$

Dokładniejsze obserwacje powierzchni faz pokazały, że ich jakość nie jest tak zadowalająca jak w przypadku narzędzi napinanych sprężyną śrubową. Pogorszenie stanu powierzchni i stopnia powtarzalności wymiarowej występowało podczas dłuższej pracy narzędzia. Stwierdzono, że wstępne napięcie sprężyn siłą 150 N, połączone z dodatkowymi naprężeniami będącymi efektem wsuwania się

ostrza do wnętrza narzędzia, spowodowało wystąpienie odkształceń plastycznych elementu sprężystego, co miało negatywny wpływ na jakość fazowania.

Konsultacje z firmami produkującymi sprężyny pokazały, że komponenty zastosowane w konstruowanym narzędziu są wykonane ze stali sprężynowej o najwyższej dostępnej wytrzymałości. W związku z tym, przed rozpoczęciem kolejnych prób skrawaniowych tego typu fazownika niezbędne okazało się przeprowadzenie obliczeń prowadzących do takich zmian w kształcie i wymiarach sprężyny, które pozwolą na uzyskiwanie warunków pracy ostrza niezbędnych do osiągnięcia poprawy jakości wykonywanych faz. Wyniki tych prac zostaną przedstawione w odrębnym artykule.

4. Podsumowanie

Głównym celem pracy było przedstawienie rozwiązania konstrukcyjnego narzędzia do fazowania z ostrzem napinanym sprężyną piórową oraz sprawdzenie, czy narzędziem tym można efektywnie pracować. Wersja narzędzia przedstawiona w artykule pozwala na regulację wielkości powstającej fazki. Uzyskanie tego efektu wiąże się jednak z dużym nakładem pracy na poprawne ustawienie narzędzia. Można stwierdzić, że przedstawione narzędzie stwarza możliwość uproszczenia technologii usuwania zadziorów i stępiania ostrych krawędzi przy zmniejszeniu liczby zabiegów, jednak jego zastosowanie generuje dłuższe czasy przygotowawczo-zakończeniowe, co w efekcie może ograniczyć obszar jego potencjalnych zastosowań. Przed ewentualnym wdrożeniem należałoby usprawnić mechanizm regulacji, zastosować skorygowane wymiarowo i kształtowo elementy sprężyste, a także przygotować wytyczne ustawienia nastaw fazownika dla szerokiego zestawu wielkości wejściowych procesu.

Literatura

- [1] Cichosz P.: Kasetka z ostrzem do samoczynnego wykonywania fazek, Patent PL 213331, zgłoszono 14.09.2009, udzielono patentu 28.02.2013.
- [2] Cichosz P.: Ostrze do samoczynnego wykonywania fazek, Patent PL 213332, zgłoszono 14.09.2009, udzielono patentu 28.02.2013.
- [3] Cichosz P., Kuzinovski M.: Metody wykonywania fazek i gratowania krawędzi, *Mechanik*, 84 (2011) 674-681.
- [4] Cichosz P., Kuzinovski M., Szymański W.: Możliwości kształtowania fazek i gratowania krawędzi narzędziami z ostrzami sprężystymi, [w:] *Obróbka skrawaniem – współczesne problemy*, red. B. Kruszyński, Łódź 2010.
- [5] Cichosz P., Karolczak P., Kołodziej M., Kowalski M., Kuzinovski M., Skowronek H., Waszczuk K.: Elementy sprężyste fazowników samoczynnych, *Mechanik*, 89 (2016) 1424-1427.

THE SELF-ACTING CHAMFERING TOOL WITH BLADE TENSIONED BY LEAF SPRING

Summary

One of the problems that generate significant costs and increase the time consuming process of the process is the chamfering and deburring the edges of previously machined objects. In the case of mass processing it is particularly important to maintain high efficiency of production. The size and regularity of the made phase subjected to random disturbances such as the variable properties of the material of the semi-finished product are indicated as disadvantages of existing tools for chamfering the edges which design is based on the elastically mounted blades. This problem arises when objects made from plastic or composite materials are machined in the presence of irregular spikes and burrs. This article discusses the construction process and presents the final version of the chamfering tool with a blade with integrated sliding skid tensioned by leaf spring. The selected chamfering results obtained with this tool are discussed.

Keywords: cutting tool, chamfering, edge, sliding element

DOI: 10.7862/rm.2017.43

Przesłano do redakcji: 24.07.2017

Przyjęto do druku: 18.10.2017

Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu: INNOTECH III

