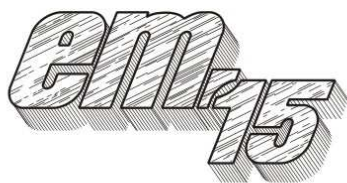


XII Międzynarodowa Konferencja - Electromachining 2015



UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Produkcji
STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
MECHANIKÓW POLSKICH – Koło Uczelniane UTP

85-789 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7
tel. (0 52) 340-87-47, fax. (0 52) 340-82-45,
e-mail: tomasz.paczkowski@utp.edu.pl

Badania usuwania zadziorów metodą obróbki wibrościerniej

Investigation of deburring using vibro-abrasive machining

SŁAWOMIR SPADŁO¹
DAMIAN BAŃKOWSKI²

W artykule przedstawiono analizę możliwości zastosowania obróbki wibrościerniej do usuwania zadziorów. Przedstawiono typowe warunki powstawania zadziorów w obróbce skrawaniem, zdefiniowano typowe kształty zadziorów na krawędziach przedmiotów skrawanych, w miejscu wyjścia narzędzia. Dokonano podziału możliwych sposobów usuwania zadziorów. Przedstawiono wyniki badań wstępnych usuwania zadziorów oraz nadawania pożądanych cech struktury geometrycznej powierzchni metodą obróbki wibrościerniej. Określono wpływ czasu obróbki na końcowy efekt usuwania zadziorów tulei po cięciu piłą taśmową.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka wykończeniowa, obróbka wibrościerna, usuwanie zadziorów.

The article presents the importance of finish machining in today's era of development and the ever-increasing requirements to detail. Attention was drawn to the remains of materials at the corners of machined objects, at the exit point of the tool. Considered in the process of formation of burrs. A division of the possible ways of removing burrs. In the practical part measured burrs on the edges obtained after treatment vibro-abrasive deburring and polishing for different durations of treatment relating them to the initial state after cutting bandsaw.

KEYWORDS: rotofinish vibro-abrasive machining, deburring,

Wprowadzenie

Wraz z rozwojem procesu automatyzacji produkcji i stawianiem coraz wyższych wymagań produkowanym elementom maszyn konieczne jest poszukiwanie skutecznych, ekonomicznych metod obróbki wykończeniowej, w tym usuwania zadziorów po poprzedzających zabiegach techno-

logicznych. W wielu przypadkach możliwe jest ograniczenie zastosowania precyzyjnej obróbki geometrycznej metoda szlifowania, generującej duże koszty wytwarzania. W wielu przypadkach możliwe jest nadawanie pożądanych cech struktury geometrycznej powierzchni oraz jakości warstwy wierzchniej narzędziami ściernymi o niezdefiniowanych kształtach takimi jak narzędzia elastyczne, luźne ścierniwo.

Zastosowanie obróbki ścierniej ma zazwyczaj na celu osiągnięcie dużej dokładności geometrycznej, zmniejszenie chropowatości powierzchni. W wielu przypadkach możliwe jest równocześnie usunięcie zadziorów po obróbce skrawaniem, zaokrąglenie krawędzi, przygotowanie powierzchni do nałożenia powłok, a niekiedy nadanie powierzchni połysku [2]. W artykule przedstawiono wpływ warunków obróbki wibrościerniej na proces usuwania zadziorów.

Nadawanie ostatecznego kształtu przedmiotu, w większości przypadków, odbywa się w wyniku obróbki skrawaniem. Geometria przedmiotu generowana w programach CAD stanowi zwykle połączenie kilku brył o zdefiniowanych kształtach natomiast powstawanie zadziorów, a zwłaszcza ich kształt ma charakter niezdefiniowany.

Typowym niepożądanym elementem, związanym z powstawaniem zadziorów w obróbce skrawaniem, występującym w końcowym etapie frezowania, toczenia, dłutowania itp. jest wyjście narzędzia z obszaru obróbki. W wyniku oddziaływań mechanicznych narzędzia na materiał obrabiany i towarzyszących mu odkształceń plastycznych następuje powstawanie zadziorów. Usuwanie zadziorów w wielu przypadkach jest czasochłonne i kosztowne. Zadziory powinny być usuwane z dwóch ważnych względów. Pierwszym z nich jest estetyka wykonywanych detali i niebezpieczeństwo skażenia się ostrymi krawędziami wystającymi na krawędziach przedmiotów. Drugim ważnym czynnikiem jest dokładność wymiarowa wykonywanych elementów, i związane z tym, dopasowanie części współpracujących ze sobą.

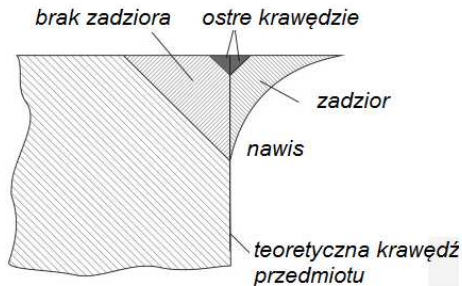
¹dr hab. inż. Sławomir Spadło (sspadlo@tu.kielce.pl)

²mgr inż. Damian Bańkowski (damianbankowski1@gmail.com)

Definicje zadzioru

W nomenklaturze specjalistycznej zadziór definiowany jest jako „ostry występ na powierzchni powstały po obróbce skrawaniem lub szlifowaniem” [10].

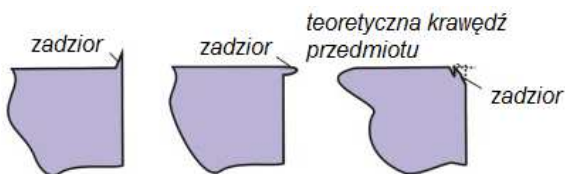
Według normy ISO 13715 [6] zadziór to zewnętrzna odchyłka materiału od nominalnego kształtu zewnętrznej krawędzi.



Rys. 1. Schemat zadzioru wg. ISO 13715 [5]

Schäfer [13] opisywał zadziór jako część przedmiotu obrabianego powstającą na krawędzi lub powierzchni, które leżą poza pożądaną geometrią. Ko [7] definiuje w swoich pracach zadziór, jako „niepożądany występ materiału utworzony w wyniku plastycznego odkształcenia ostrza skrawającego podczas obróbki skrawaniem” [10].

Definicja zadziorów Gillespie [3, 4] jest ograniczona do procesów cięcia i ścinania. Zadziory powstające w tych operacjach obejmują „całość materiału wystającą poza teoretyczny zbieg dwóch powierzchni otaczających zadziór”. Wzorcowy w tym przypadku jest teoretyczny punkt przecięcia dwóch powierzchni oraz niepożądana powierzchnia. Ponadto, definicja Gillespie obejmuje zadziory, które znajdują się wewnątrz przecięcia krawędzi teoretycznej, jak pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Stany integralne wystąpienia zadzioru [3]

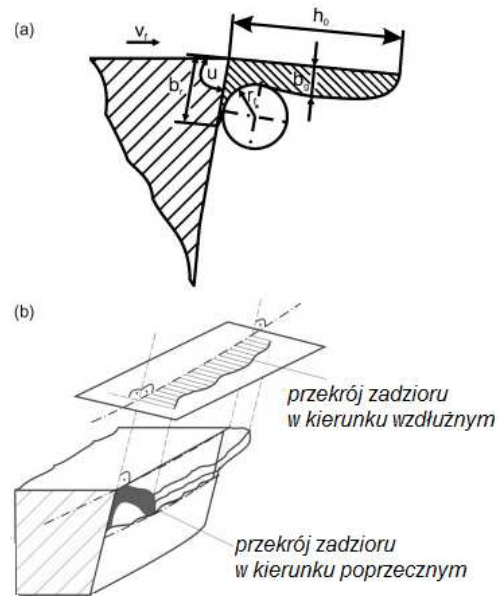
Kształt zadzioru

Każdy zadziór może zostać opisany przez parametry wzdłużne oraz parametry przekroju poprzecznego. Na podstawie tych danych można określić kategorię zadzioru. Parametry takie to [13]:

- grubość główna b_f , jest grubością strefy głównej zadziorów mierzonej w przekroju poprzecznym,
- wysokość zadzioru h_0 jest określona przez odległość pomiędzy idealnymi krawędziami przedmiotu obrabianego, a najwyższym punktem tej powierzchni w przekroju poprzecznym,
- promień główny r_f zadziorów, jak pokazano na rysunku 3 jest określany przez umieszczenie okręgu do głównego zadzioru,
- grubość zadzioru b_g opisuje grubości, równoległe do obszaru głównego zadzioru w odległości r_f , mierzonej w przekroju poprzecznym.

Profile wzdłużne zadzioru w większości przypadków nie są praktycznie stosowane w opisie zadziorów. Jednak długości zadzioru stanowi ważny element jego oceny, ponie-

waż informują jaką część całej długości krawędzi stanowią zadziory, a to z kolei jest bezpośrednio związane z czasem potrzebnym do usuwania zadziorów z obrabianego przedmiotu.

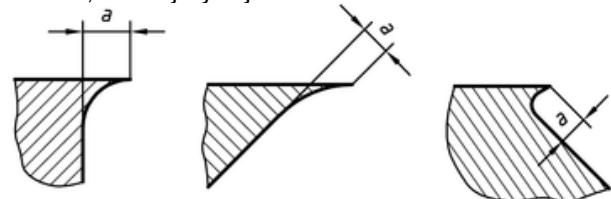


Rys. 3. Wymiary charakterystyczne zadziorów [10]

Na wartość g składają się z cztery parametry geometryczne zadziorów: grubość główna b_f , promień zadzioru r_f , grubość zadziorów b_g i wysokość zadziorów h_0 . Wpływ poszczególnych współczynników wynika z wpływu indywidualnych parametrów na proces gratowania zadziorów [9].

$$g = \frac{4 \cdot b_f + 2 \cdot r_f + b_g + h_0}{8}$$

Norma ISO 13715 [6] wykorzystuje tylko jedną wartość do określenia odchylenia od idealnej geometrii zarysu krawędzi, rysunek 4. Miarą zadzioru jest wielkość a określana jako "zmierzona długość krawędzi a ". Wartość ta jest mierzona od wierzchołka zadziorów do prostopadłej do powierzchni, z której wystaje zadziór.



Rys. 4. Przykłady zadziorów ISO 13715 [6]

Formowanie zadziorów

Z punktu widzenia obróbki skrawaniem, zadziory stanowią odzwierciedlenie krawędzi skrawającej, która jest bezpośrednio związana z powstawaniem zadziorów, a także sposobu i kierunku powstawania zadziorów.

Dotychczasowe badania i przeprowadzone liczne prace badawcze wykazały, że materiał ma tendencję do tworzenia większych i większej ilości zadziorów wraz ze zwiększeniem jego plastyczności. Natomiast intensywność powstawania zadziorów jest mniejsze, jeśli materiał jest odporny na odkształcania w kierunku działania siły skrawania.

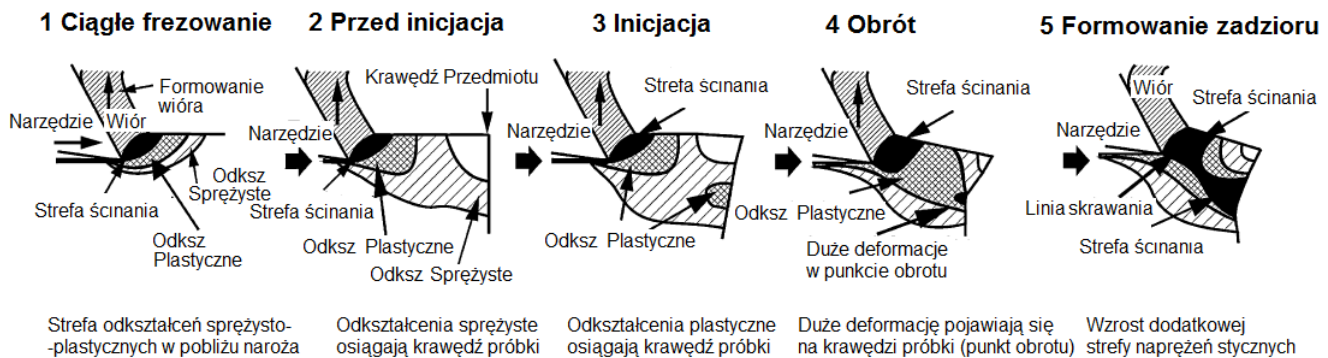
Ze względu na kierunek tworzenia wióra w zależności od siły działania można podzielić na [1].

- przemieszczenie materiału w kierunku siły tworzenia zadziorów
- przemieszczenia materiału w kierunku siły normalnej tworzenia zadziorów.

Prowadzi to do powstawania trwałego odkształcenia na obrabianym przedmiocie, na powierzchni, gdzie materiał nie jest usuwany przez narzędzie. Tworzenie zadziorów następuje poza kontaktem powierzchni narzędzia z przedmiotem obrabianym.

Na rysunku 5 przedstawiono typowy schemat powstawania zadziorów w obróbce skrawaniem.

Schemat formowania zadziorów



Rys. 5. Schemat powstawania zadziorów [10]

Gillespie podjął intensywne badania w mechanizmach powstawania zadziorów. Stwierdził on sześć procesów fizycznych, które formują zadziory [4]:

- boczny przepływ materiału; występuje, gdy ciało stałe jest ściśnięte,
- gięcie materiału (takiego jak wióry rolowania),
- zdzieranie (urywanie) wióra z obrabianego przedmiotu,
- osadzanie się z materiału,
- niekompletne odcięcie materiału,
- przepływ materiału do szczeliny.

Hashimura [5] uwzględnia, iż na mechanizm powstawania zadziorów mają wpływ nie tylko od warunki skrawania takie jak geometria przedmiotu obrabianego i narzędzia, ale także właściwości mechaniczne przedmiotu obrabianego [1].

Rysunek 6 przedstawia schematyczny widok mechanizmów kształtowania zadziorów w sposób opisany w [5]. Klasyfikuje on osiem etapów w procesie tworzenia się zadziorów. W głównym etapie powstawania zadziorów, proces należy rozpatrywać osobno dla materiałów plastycznych i materiałów kruchych. Jest to ważne ze względu na propagację pęknięć i odkształcenia przed wierzchołkiem pęknięcia na końcowy kształt zadziorów dla obróbki materiałów plastycznych lub kruchych [1].

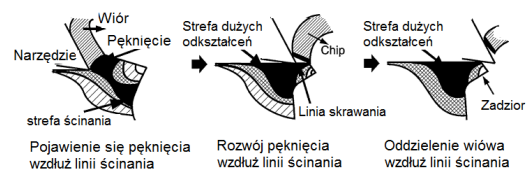
Etap 1 - Skrawanie ciągłe – opisuje ciągłe rozdzielanie materiału z przepływem wiórów typowym dla materiałów plastycznych, lub ścinania i pęknięć wiórów typowych dla materiałów kruchych. W etapie 2, zwanym Przed inicjacją - fazą wzrostu odkształceń, deformacje i rozkład naprężeń wpływają na krawędź obrabianego przedmiotu. Elastyczne strefy deformacji przecinają krawędź obrabianego przedmiotu lub pojawiają się na krawędzi przedmiotu, jako elastycznego zginania. Strefy odkształcenia plastycznego wokół obszaru ścinania pierwotnego jest również przedłużona w kierunku krawędzi. Inicjacja powstania zadzioru następuje w 3 etapie. Odkształcenia plastyczne występuje na krawędzi obrabianego przedmiotu jako plastycznego zginania. Ponadto odkształcenia plastyczne wokół pierwotnej strefy pęk-

nięcia i odkształcenia wokół strefy ścinania są również uważane tutaj za czynniki powodujące powstanie zadzioru. Etap 4 opisuje silne procesy deformacji przez obrót, duże odkształcenia występujące na krawędzi obrabianego przedmiotu. Można zauważyć punkt obrotu, gdzie duże odkształcenia są widoczne gołym okiem. Ujemna strefa odkształceń powstaje w 5 etapie ścinania- formowania zadzioru. Zadziór rozwija się i duże odkształcenia w punkcie obrotu rozchodzą się i powodują deformacje w strefie pierwotnego pęknięcia. Duży obszar odkształcenia poniżej linii cięcia nazywany jest ujemną strefą ścinania. Narzędzie przemieszcza się w kierunku krawędzi przedmiotu obrabianego i wychodząc poza jego granice zwiększa wymiary zadziorów [1].

Na rysunku 6 przedstawione są etapy formowania się zadzioru w przypadku materiałów plastycznych (rys. 6a) oraz materiałów kruchych (rys. 6b).

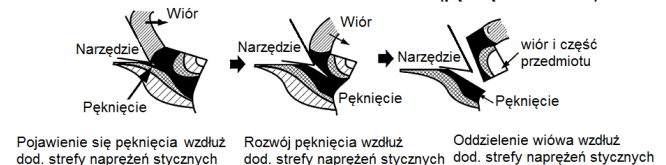
Materiały plastyczne

6a) Powstanie pęknięcia 7a) Rozwój pęknięcia 8a) Pozostający zadziór



Materiały kruche

6b) Powstanie pęknięcia 7b) Rozwój pęknięcia 8b) Brak zadzioru (pęknięcie zadzioru)



Rys. 6. Fazy formowania się zadziorów.[1]

W przypadku materiałów plastycznych pojawia się pęknięcie wzdłuż linii, po której przemieszcza się narzędzie skrawające (6a - Pojawienie się pęknięcia). Pęknięcie to rozwija się aż do momentu osiągnięcia krawędzi materiału skrawanego (7a - Rozwój pęknięcia), po czym następuje separacja warstwy skrawanej i przekształcenie jej w wiór (8a „dodatni zadziór”). W przypadku materiałów kruchych (rys. 6b) pęknięcie pojawia się wzdłuż dodatkowej strefy naprężeń stycznych (6b - Pojawienie się pęknięcia), poniżej linii ścinania. Pęknięcie to rozwija się aż do momentu osiągnięcia krawędzi materiału (7b - Rozwój pęknięcia). Ostatnim etapem jest oddzielenie się wióra wzdłuż dodatkowej strefy naprężeń stycznych (8b tzw. „ujemny zadziór”), czyli wykruszenie się właściwego zadzioru.

Pomiary zadziorów

Bezpieczne wykrywanie pozostałości zadziorów w częściach maszyn jest jednym z istotnych celów badań inżynierii produkcji. Ponadto, pomiary geometrii zadziorów są niezbędne dla każdego badania w celu zminimalizowania lub uniknięcia późniejszego powstawania zadziorów, jak również w wielu zastosowaniach przemysłowych. Obecnie istnieje duża liczba dostępnych metod pomiaru i wykrywania zadziorów. Wybór odpowiedniego systemu zależy od warunków zastosowań, wymaganych dokładności i wartości jakie należy zmierzyć, tj. wysokości, grubości, objętości zadziorów lub twardości zadziorów [8, 9]. W zastosowaniach przemysłowych często ważniejsze jest, aby wiedzieć, który parametr zadziorów jest szczególnie istotny dla oceny jego szkodliwości w warunkach produkcyjnych i usługowych, niż skrupulatny opis całej geometrii zadziorów [1].

■ Klasyfikacja metod pomiarowych zadziorów

Metody wykrywania i pomiaru zadziorów mogą być klasyfikowane według wielu różnych kryteriów. Stosowane są więc metody [8]:

- jedno-, dwu- lub trójwymiarowe,
- niszczące i nieniszczące,
- z kontaktem lub bez niego.

Ponadto, pomiary zadziorów mogą zostać przeprowadzone podczas procesu gdy jest on na bieżąco monitorowany, bądź też przeprowadzane po procesie.

Usuwanie zadziorów

Jednym z niepożądanych zjawisk po obróbce skrawaniem jest występowanie zadziorów, a wymagania stawiane powierzchniom powodują konieczność usunięcia ww. defektów powierzchni.

Istnieje duża liczba procedur usuwania zadziorów, narzędzi i urządzeń dostępnych dzisiaj, często oparte na gratowaniu. Jednak w praktyce przemysłowej wiele operacji gratowania wciąż wykonuje się ręcznie.

Gratowanie obejmuje wszystkie działania, które są używane do usuwania zadziorów, począwszy od prostej strony gratowania do wykańczania powierzchni opracowywanej przez numerycznie sterowane roboty. Gillespie [4] proponuje następujące cztery główne kategorie, w celu grupowania wielu operacji usuwania zadziorów. Liczne operacje usuwania zadziorów mogą być podzielone na następujące cztery główne kategorie:

- usuwania zadziorów mechanicznie,
- gratowania termicznego,
- usuwania zadziorów chemicznie,
- usuwania zadziorów elektrycznie.

Niestety, nie ma jednej operacji gratowania która umożliwia spełnienie wszystkich warunków stawianych dla każdej krawędzi przedmiotu, pozbycia się zadziorów bez jakichś negatywnych skutków ubocznych [1]. Większość procesów usuwania zadziorów i narzędzi jest specjalnie opracowywane dla konkretnych geometrii przedmiotu obrabianego. Z tego powodu nie mogą być stosowane dla szerszego spektrum kształtów obrabianych przedmiotów i rodzaju materiałów.

Najbardziej powszechnym sposobem usuwania zadziorów po frezowaniu jest ręczna obróbka z użyciem pilników i specjalnie zaprojektowanych do tego celu zdzieraków.

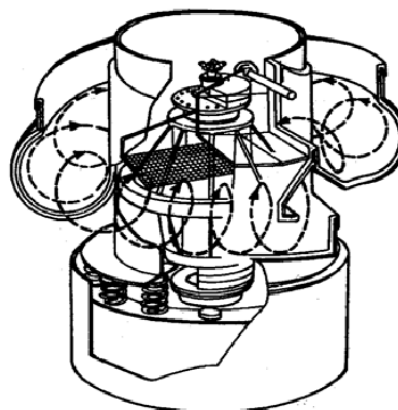
Wymaga to dużego nakładu pracy, przez co zwiększają się koszty obróbki wykończeniowej.

Przedstawiony w artykule proces stanowi alternatywę dla prowadzonych ręcznie procesów wygładzania powierzchni i usuwania zadziorów z krawędzi z zastosowaniem mało efektywnych sposobów z wykorzystaniem gratowników, bądź zmechanizowanych procesów z użyciem szlifierek, szczotek elektrycznych, itp.

■ Obróbka wykończeniowa

Obróbka wibrościerna, w rozumieniu technicznym, stanowi proces wykańczania powierzchni oparty na chemiczno-mechanicznej [11, 14] obróbce z zastosowaniem, jako medium obróbczego kształtek ściernych [2]. Procesy obróbki ścierniwiem luźnym mogą być stosowane w różnych odmianach kinematycznych np. obróbka wibrościerna (określana jest również, jako obróbka wibracyjna), bębnowanie itp. w nomenklaturze angielskiej stosowane są również określenia rotofinish bądź tumbling. Opisujący rodzaj obróbki znajduje szerokie zastosowanie w jubilerstwie do polerowania biżuterii metalowej, do wytłuszczania elementów z tworzyw sztucznych [12], naturalnych kości i kamieni szlachetnych oraz procesach gratowania i odtłuszczania a także w ręcznej elaboracji amunicji do czyszczenia uprzednio użytych tusek.

Zasady obróbki wibrościerniej przedstawiono na rys. 7



Rys. 7. Model 3D wygładzarki wibracyjnej RollWasch SMR- z zaznaczeniem trajektorii ruchu wsadu

Obróbka wibrościerna obok obróbek skrawania i obróbki erozyjnej jest jedną z technik (technologii) wytwarzania gotowych wyrobów o małej chropowatości powierzchni. Polega na usunięciu niewielkiej objętości materiału, zwanej nadładkiem, w celu uzyskania warstwy wierzchniej o wymaganych właściwościach a także uzyskanie detali o wymaganych wymiarach. W wibrujących pojemnikach media obróbcze wykorzystując energię mechaniczną oddziałują na przedmioty obrabiane [3]. Procesowi wygładzanie sprzyjają płyny wspomagające obróbkę wibracyjną. Użycie odpowiednio dobranego środowiska kwasowego lub zasadowego w zależności od obrabianego materiału ma znaczny wpływ na efektywność prowadzenia procesu [15].

■ Przebieg badań

Przedmiot badań

Do badań użyto tulei mosiężnych o średnicy zewnętrznej 15 mm i grubości ścianki 1 mm, które zostały pocięte piłą taśmową na odcinki o długości 51 mm, po czym próbki poddano obróbce wstępnej – gratowaniu.

Media obróbcze

W przeprowadzonych badaniach zastosowano kształtki ceramiczne serii CB 20T – rys. 8. Media posiadają kształty graniastopuła o podstawie trójkątnej o wymiarach 20mm x 20mm x 20mm. Gęstość deklarowana przez producenta wynosi 2,4 – 2,7 Mg/m³.



Rys. 8. Media ceramiczne CB 20T

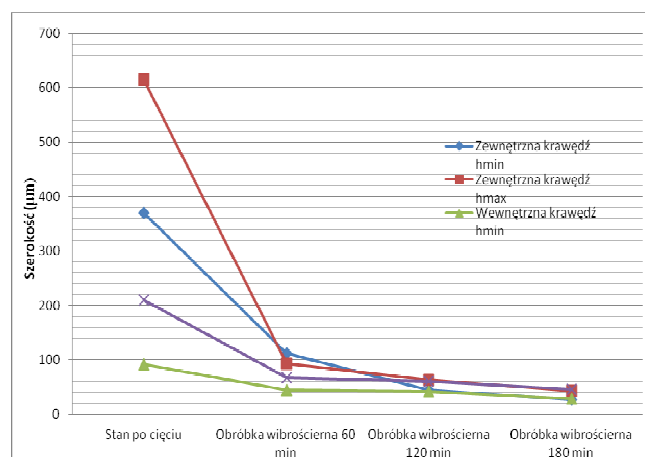
Pierwszym etapem procesu obróbki wibrościerniej było gratowanie powierzchni na sucho przy wykorzystaniu kształtek ceramicznych serii CB 20T w ilości 20 kg. Stopień agresywności kształtek ceramicznych podany przez producenta wynosi 24%. Badania przeprowadzono w wyładowarce SMR-D25 o pojemności pojemnika 25 litrów zawierającego wsad w postaci 20 kg medium obróbczego oraz tuleje miedziane. Czas obróbki wynosił odpowiednio 60, 120 oraz 180 minut. Częstotliwość drgań pojemnika 2500 Hz.

Badanie struktury geometrycznej tulei po cięciu, pomiaru zadziorów

Przeprowadzenie badań było możliwe dzięki wykorzystaniu profilometru optycznego Talysurf CCI Lite - Taylor Hobson. Aby je zilustrować skorzystano z mikroskopu optycznego Nikon MA 200 Eclipse z systemem analizy obrazu NIS 4,20. Sporządzone pomiary pozwoliły na uzyskanie wyników, które zestawiono w tabeli 1. Ważnym parametrem wg autorów jest szerokość zadzioru oznaczoną na rys. 3a jako h_0 . Mając doświadczenie na podstawie przeprowadzonych obserwacji stwierdzono, iż nie występuje jednakowa szerokość zadzioru na całej jego długości. Dlatego zmierzono największe szerokości h_{max} oraz najmniejszej szerokości zadziorów h_{min} dla poszczególnych przypadków. Na podstawie tabeli 1 sporządzono wykres 1, który przedstawia jak zmienia się maksymalna i minimalna szerokość wystającego materiału poza krawędź przedmiotu w zależności od stanu, tj. stan wyjściowy bezpośrednio po cięciu piłą, po 60 minutach w wibrującym pojemniku oraz analogicznie 120 i 180 minutach.

Tabela 1. Wyniki pomiarów zadziorów

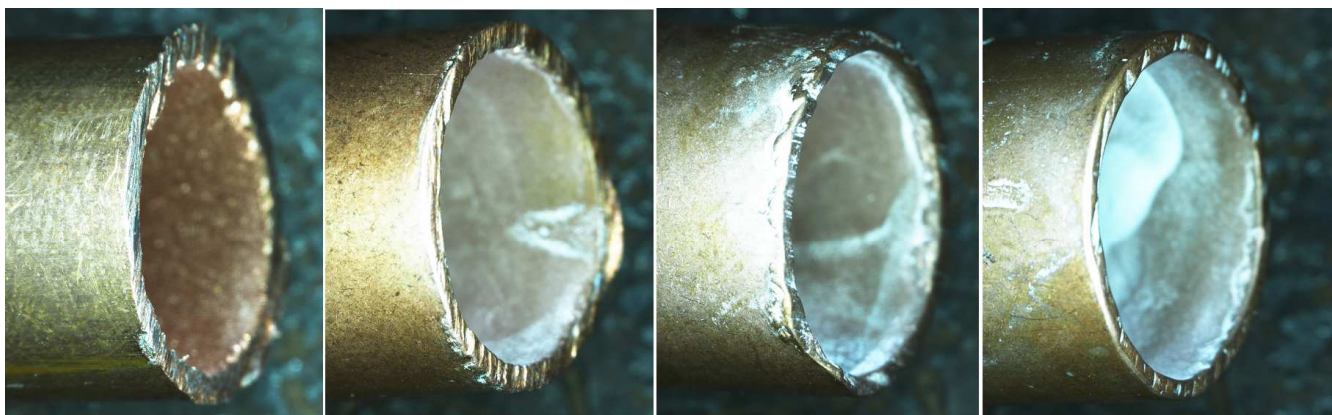
Krawędź	Parametr μm	Stan po cięciu	Obróbka wibrościerna 60 min	Obróbka wibrościerna 120 min	Obróbka wibrościerna 180 min
wewnętrzna	l_0	1541,75	1282,17	1658,29	742,15
	h_{min}	370,11	44,10	112,21	27,26
	h_{max}	614,19	62,93	92,54	42,96
	r	123,09	11,68	44,97	-
zewewnętrzna	l_0	742,85	609,20	1232	1118,76
	h_{min}	92,07	44,65	41,58	28,22
	h_{max}	210,07	67,84	60,65	45,81
	r	96,39	30,45	30,76	-



Rys. 9. Wykres szerokości krawędzi h w zależności od krawędzi i stanu po cięciu i obróbce wibrościerniej 60, 120 i 180 min.

Analizując przebiegi przedstawione na rysunku 9 możemy zaobserwować wpływ czasu obróbki wibrościerniej na usuwanie zadziorów po cięciu piłą taśmową. Przeprowadzone pomiary pozwalają stwierdzić, iż obróbka ścierniwem luźnym może stanowić skuteczną metodę uczuwania zadziorów powstałych po obróbce skrawaniem.

Szczegółowa analiza wykresów na rys. 9 wskazuje, że szerokość zadziorów po 180 min obróbki kształtkami ceramicznymi zmalała (na krawędzi zewnętrznej) z 614 μm do około 100 μm . Natomiast na krawędziach wewnętrznych szerokości zmniejszyły się około czterokrotnie z 210 μm do ok. 50 μm . Większą skuteczność obróbki zadziorów na ściankach zewnętrznych niż wewnętrznych związana jest z wymiarami użytych kształtek. Średnica wewnętrzna tulei wynosząca 13 mm, była zbyt mała aby kształtki w postaci graniastopuła o podstawie trójkątnej o długości boku 20 mm mogły swobodnie przemieszczać się wewnątrz próbek. Stąd też większe efekty widoczne są na krawędziach zewnętrznych. Analizując wpływ czasu obróbki na zmniejszenie długości zadziorów można stwierdzić, że zwiększenie czasu obróbki powoduje zmniejszenie długości zadziorów. Widoczne jest to na rys. 10, na którym przedstawiono rezultaty obróbki w funkcji tego parametru.



Rys. 7. Tuleje, od lewej w stanie bezpośrednio po cięciu, po obróbce gratowaniem 60, 120, 180 min

Podsumowanie

Zastosowanie obróbki wibrościerniej stanowi skuteczną metodę zmniejszenia wymiarów charakterystycznych zadziorów.

Obserwacje makroskopowe zadziorów wykazały, że po obróbce wibrościerniej, po 60 minutach obróbki kształtkami ceramicznymi, krawędzie są lekko zaokrąglone. Stan krawędzi wskazuje, że jest on wystarczający do ochrony dłoni przed skaleczeniem.

Istotnymi elementami determinującymi warunki procesu obróbki wibrościerniej są:

- kształt i rozmiar kształtek ściernych,
- rodzaj materiału ściernego i spoiwa, z jakiego są wykonane,
- intensywność ścierna (agresywność kształtek),
- zastosowanie odpowiednich płynów obróbkowych w zależności od rodzaju materiału.

Należy również zwrócić uwagę na stosunek objętości materiałów ściernych do objętości przedmiotów obrabianych oraz częstotliwość pracy urządzenia. Te wszystkie czynniki wpływają na wymagany czas potrzebny do uzyskania zaplanowanych efektów.

Dobór warunków procesu każdorazowo wymaga przeprowadzenia badań eksperymentalnych.

Większa intensywność obróbki występuje na krawędziach zewnętrznych obrabianych tulejek.

W wyniku procesu wygładzania w wibrujących pojemnikach nastąpiło około sześciokrotnie zmniejszenie szerokości zadziorów na krawędziach zewnętrznych (z 614 μm do średnio 97 μm), i około czterokrotnie na krawędziach wewnętrznych (z 210 μm do średnio 50 μm).

LITERATURA

1. Aurich J.C., Dornfeld D., Arrazola P.J, Franke V. a., Leitz L a, S., Burrs - Analysis, control and removal. CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 58, 519–542, 2009.
2. Filipowski R., Marcinak M.: Techniki obróbki mechanicznej i erozyjnej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 304-308, 2000.
3. Gillespie L.K., The Battle of the Burr: New Strategies and New Tricks. Manufacturing Engineering, vol. 116, No. 2, 69–78, 1996.
4. Gillespie L.K., Deburring and Edge Finishing Handbook. Society of Manufacturing Engineers, 1999.
5. Hashimura M., Hassamont J., Dornfeld D.A., Effect of In-plane Exit Angle and Rake Angles on Burr Height and Thickness in Face Milling

Operation. Transactions of the ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering vol. 121, No. 1, 13–19, 1999.

6. International Standard ISO 13715:2000, Technical drawings – Edges of undefined shape – Vocabulary and indications.
7. Ko S.L., Dornfeld D.A., A study on burr formation mechanism. Transactions of the ASME Journal of Engineering Materials and Technology, vol. 113, No. 1, 75–87, 1991.
8. Leopold J., Schmidt G., Methods of Burr Measurement and Burr Detection. VDI-Berichte 1860: 223–229, 2004.
9. Link R., Gratbildung und Strategien zur Gratreduzierung. Dissertation RWTH Aachen, 1992.
10. Matuszak J., Powstawanie i usuwanie zadziorów w obróbce skrawaniem.,
11. Oryński F., Synajewski R., Bechciński G., Fizyczny model szlifowania wibracyjnego płaszczyzn w kierunku poprzecznym. Mechanik, 1, 30-34, 2013.
12. Rodziewicz M., Wygładzanie luźnym ścierniwem w pojemnikach, Wyd. WNT Warszawa, 1968.
13. Schafer F., Entgraten. Krausskopfverlag, Mainz 1975.
14. Spadło S. Dudek D., Młynarczyk P., Badania wygładzania wibrościernego powierzchni tulei mosiężnych, IZTW Kraków, 285-293, 2012.
15. Spadło S., Pierzynowski R., Zastosowanie obróbki wibrościerniej do polerowania powierzchni elementów amunicji. Machine Engineering vol. 12 No. 1, Electrical Machining Technology, 70-77, 2009.