

Obróbka naroży wewnętrznych o małym promieniu zaokrąglenia

Machining of internal corners with small radius fillets

JÓZEF KUCZMASZEWSKI
PAWEŁ PIEŚKO
ELŻBIETA DOLUK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.5-6.57>

W artykule przedstawiono wyniki eksperymentu mającego na celu sprawdzenie możliwości połączenia operacji wiercenia i frezowania w obróbce płaskich, nieprzelotowych kieszeni wewnętrznych.

SŁOWA KLUCZOWE: wiercenie otworów, frezowanie naroży, kieszeń wewnętrzna

The paper presents practical effects of the combined drilling and milling operations to produce blind extensive hollows with small radius fillets.

KEYWORDS: drilling holes, milling, corners

Współczesne konstrukcje stosowane w przemyśle lotniczym coraz częściej opierają się na cienkościennych elementach kieszeniowych o złożonej geometrii. Obróbka takich elementów jest trudna ze względu na występowanie sprężystych i plastycznych odkształceń konstrukcji [3, 6].

W przypadku skrawania naroży wewnętrznych może dochodzić do istotnej zmiany kąta opasania narzędzia z obrabianym materiałem wskutek nagłej zmiany wektora ruchu i do powstania dodatkowego nacisku na narzędzie. To może się przyczyniać do uszkodzeń narzędzia i intensyfikacji drgań. Zaleca się więc, aby obróbka naroży wewnętrznych przebiegała z dużą prędkością skrawania i według odpowiedniej strategii, aby zmniejszyć siły skrawania i tym samym naciski oraz odkształcenia przedmiotu obrabianego [2, 4, 5].

Niestabilna obróbka generuje drgania w układzie przedmiot–narzędzie oraz odkształcenia i obniżenie trwałości narzędzia, co jest problemem zwłaszcza w przypadku obróbki naroży wewnętrznych o małym promieniu zaokrąglenia. Niestabilność procesu skutkuje: spadkiem dokładności wykonania, podwyższoną chropowatością powierzchni, niedokładnościami kształtu czy wartości promienia zaokrąglenia, a także uszkodzeniami powierzchni obrobionego przedmiotu [1, 5, 7].

Jednym ze znanych sposobów wykonywania naroży wewnętrznych jest połączenie operacji wiercenia i frezowania. W artykule opisano wykorzystanie tej metody do uzyskania naroży o niewielkim promieniu zaokrąglenia w nieprzelotowej, płaskiej kieszeni wewnętrznej.

Analiza stanu wiedzy potwierdza, że obecnie nie istnieją metody efektywnej obróbki naroży wewnętrznych o małych promieniach zaokrąglenia, więc podjęcie tego tematu jest zasadne zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia.

Program i metodyka badań

Badania polegały na połączeniu operacji wiercenia i frezowania w celu uzyskania jak najmniejszych promieni zaokrąglenia naroży nieprzelotowej, płaskiej kieszeni wewnętrznej. Najpierw w odpowiednim miejscu próbki wiercono otwór wiertłem o małej średnicy, a następnie frezowano kieszeń wraz z narożem frezem o innej lub takiej samej średnicy jak średnica użytego wcześniej wiertła.

Celem badań było znalezienie optymalnego stosunku średnic narzędzi skrawających (wiertła i frezów), pozwalającego na takie wykonanie naroża wewnętrznego o małym promieniu zaokrąglenia w elemencie cienkościennym, aby w strefie przejścia powierzchni po wierceniu i frezowaniu uzyskać możliwie najmniejszy błąd zarysu. Część doświadczalną pracy wykonano na stanowisku wyposażonym w pionowe centrum obróbkowe FV-580A, a pomiary – na mikroskopie laboratoryjnym VHX-500 Keyence.

Wartości parametrów obróbki dla poszczególnych operacji zamieszczono w tablicy.

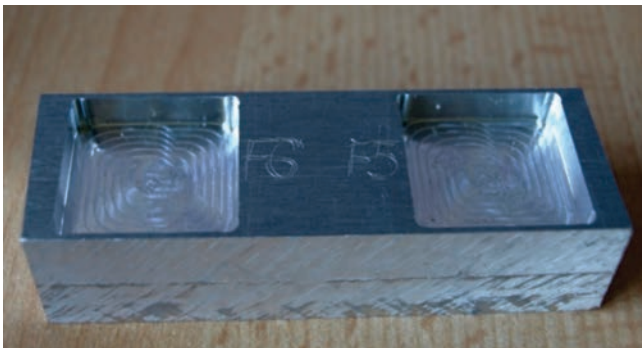
TABLICA. Wartości parametrów obróbki

Rodzaj obróbki	\varnothing , mm	a_p , mm	v_c , m/min	f_z , mm/ostre	n , obr/min
Frezowanie zgrubne	6	5,00	100	0,05	5305
Wiercenie	2	1,00	15	0,02	2387
	2,5	1,25	15	0,03	1910
	3	1,50	15	0,03	1592
	3,5	1,75	15	0,04	1364
	4	2,00	15	0,04	1194
	4,5	2,25	15	0,05	955
	5	2,50	15	0,05	955
Frezowanie naroży, frezowanie wykończeniowe ścianek	5,5	2,75	15	0,06	868
	2	5,00	50	0,02	7958
	3	5,00	50	0,02	5305
	4	5,00	50	0,02	3979
	5	5,00	50	0,02	3183
	6	5,00	50	0,02	2653

Objaśnienia symboli: \varnothing – średnica narzędzia, a_p – głębokość skrawania, v_c – prędkość skrawania, f_z – posuw na ostrze, n – prędkość obrotowa

* Prof. dr hab. inż. Józef Kuczmaszewski (j.kuczmaszewski@pollub.pl), dr inż. Paweł Pieško (p.piesko@pollub.pl), mgr inż. Elżbieta Doluk (elzbieta.doluk@interia.pl) – Politechnika Lubelska

Frezowanie zgrubne wykonano frezem trzpieniowym trójstrzowym $\varnothing 6$ SGS T8876TB z węgla spiekane. Operacje wiercenia otworów w narożach wykonano wiertłami ze stali szybko tnącej NWKa firmy „Wiertła Baildon” o średnicach $\varnothing 2 \pm 0,5$ mm (stopniowanych co 0,5 mm). Podczas frezowania wykończeniowego naroży i ścianek wykorzystano narzędzia firmy Gühring – dwustrzowe frezy trzpieniowe z ostrzem centralnym Din 6627L R-N 3154, wykonane z węglików spiekanych, o średnicach z zakresu $\varnothing 2 \pm 0,6$ mm (co 1 mm). W eksperymencie wykorzystano pięć jednakowych próbek ze stopu aluminium AW2024T351, o wymiarach $80 \times 27 \times 20$ mm. W każdej próbce wykonano dwie kieszenie prostokątne o głębokości 5 mm i grubości ścianki równej 1 mm oraz osiem naroży – wykorzystano do tego wiertła i frezy o różnych średnicach, aby znaleźć optymalny stosunek średnicy wiertła do średnicy frezu. Na rys. 1 przedstawiono geometrię jednej z próbek po obróbce zgrubnej.



Rys. 1. Próбка po obróbce zgrubnej – na zdjęciu widoczne są różne promienie przejścia w kieszeniach wewnętrznych

Procedura eksperymentu

Podczas eksperymentu sprawdzano 40 możliwych stosunków średnic wiertła i frezów. Biorąc pod uwagę średnice użytych wiertła ($\varnothing 2 \pm 0,5$ mm co 0,5 mm) oraz frezów ($\varnothing 2 \pm 0,6$ mm co 1 mm) rozpatrywano trzy przypadki:

- \varnothing wiertła $<$ \varnothing frezu (rys. 2a) – promień naroża był tu odwzorowaniem promienia wiertła, a frez, ze względu na większe rozmiary, skrawał do momentu ograniczenia drogi posuwu ściankami próbki. Taka konfiguracja narzędzi sprzyjała powstawaniu po obu stronach naroża tzw. zęba

(parametr a na rys. 2a) poniżej maksymalnego zasięgu skrawania wiertła oraz frezu;

- \varnothing wiertła $>$ \varnothing frezu (rys. 2b) – tu dochodziło do zjawiska wciągania frezu w głąb materiału obrabianego, w wyniku czego w ściance powstawało wgłębienie (parametr b na rys. 2b);

- \varnothing wiertła $=$ \varnothing frezu (rys. 2c) – teoretycznie nie powinno dochodzić do powstawania zęba bądź wgłębienia w materiale, jednak ze względu na występujące błędy obróbki (rozbitcie wiertła, małą sztywność frezu) w zależności od rozmiarów narzędzi w obrabianej ściance dochodziło do powstania zęba albo wgłębienia.

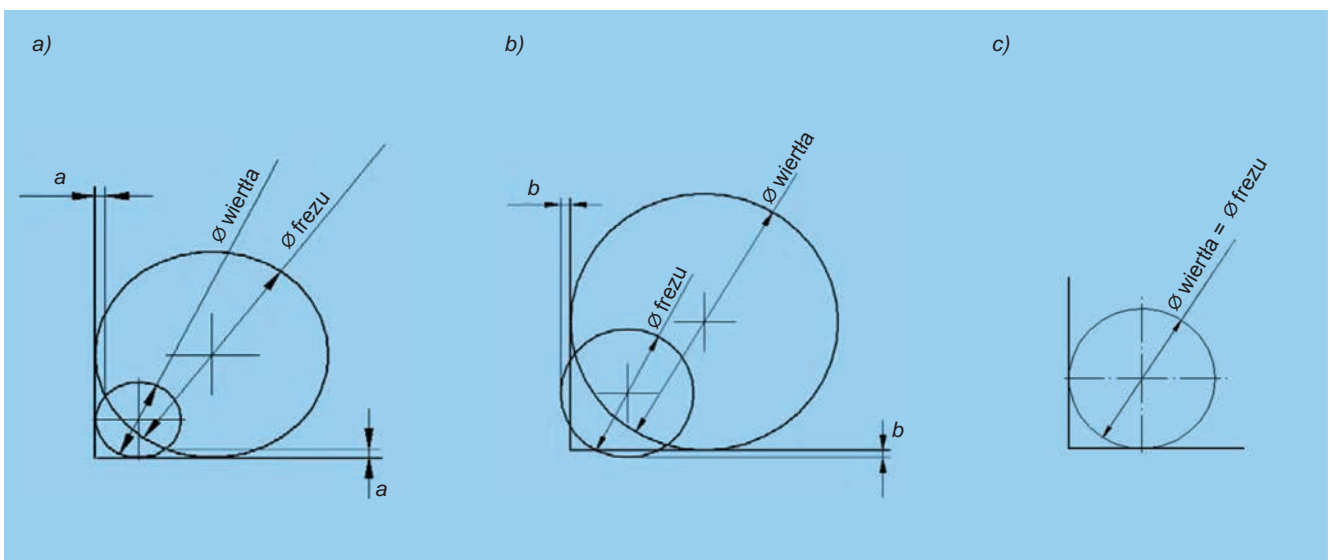
Ekspierymnt składał się z procesu obróbkowego oraz pomiarów każdego naroża. Badania przebiegały w następujący sposób:

- wiercenie otworów w narożach wiertłami o średnicach $\varnothing 2 \pm 0,5$ mm (co 0,5 mm);
- obróbka zgrubna kieszeni prostokątnej frezem trójstrzowym $\varnothing 6$ mm;
- frezowanie w narożach narzędziami o średnicach $\varnothing 2 \pm 0,6$ mm co 1 mm;
- frezowanie wykończeniowe kieszeni tym samym narzędziem co w narożach;
- wykonanie pomiarów naroży mikroskopem VHX-500 Keyence – wyznaczenie zarysu średnicy wiertła i średnicy frezu oraz najwyższego punktu zęba/wgłębienia, a następnie poprowadzenie pomocniczych linii wymiarowych, stycznych do linii zarysów narzędzi.

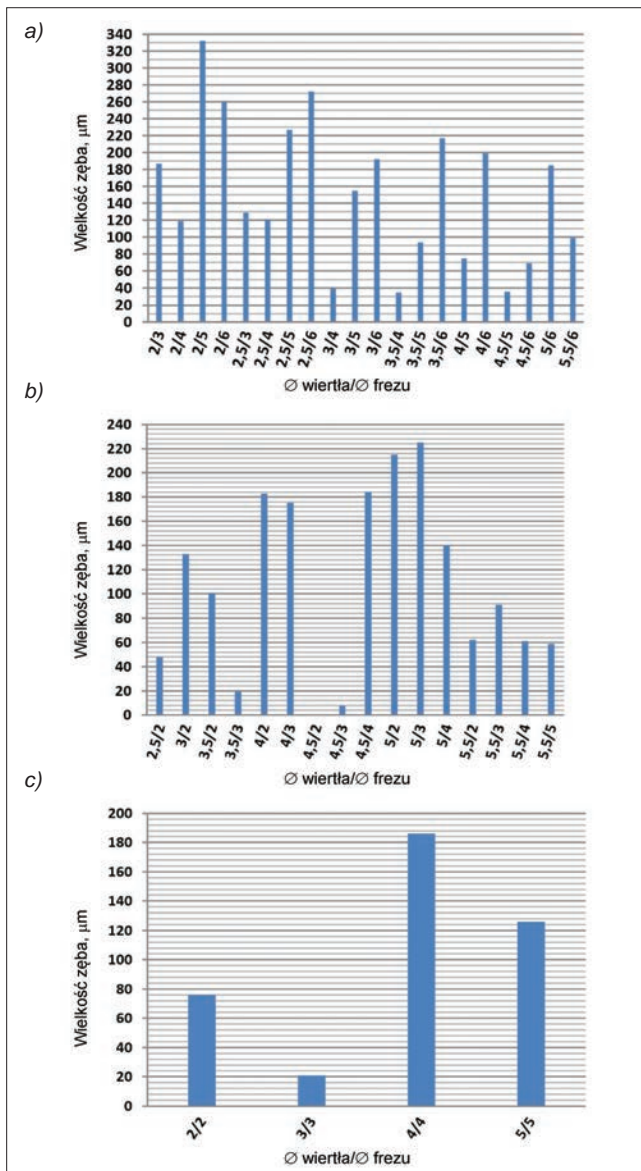
Wyniki badań i wnioski

Wpływ wielkości stosunku średnic wiertła i frezu na dokładność wykonania naroża pokazano na rys. 3, a na rys. 4 – obrazy naroży po obróbce, zarejestrowane za pomocą mikroskopu laboratoryjnego VHX-500 Keyence.

Gdy średnica wiertła była równa średnicy frezu, najgorszą jakość naroża uzyskano dla stosunku $\varnothing 4/\varnothing 4$, a najkorzystniejszą – dla $\varnothing 3/\varnothing 3$. Gdy średnica wiertła była większa od średnicy frezu, największe wgłębienie i tym samym najmniejszą dokładność wykonania otrzymano dla stosunku średnic narzędzi $\varnothing 5/\varnothing 3$, a najmniejsze wgłębienie i największą dokładność – dla $\varnothing 4,5/\varnothing 2$. W ostatnim przypadku – gdy średnica wiertła była mniejsza od średnicy frezu – optymalny okazał się stosunek $\varnothing 4,5/\varnothing 5$, a najmniej korzystny – $\varnothing 2/\varnothing 6$.



Rys. 2. Badane przypadki: a) \varnothing wiertła $<$ \varnothing frezu, b) \varnothing wiertła $>$ \varnothing frezu, c) \varnothing wiertła $=$ \varnothing frezu



Rys. 3. Wpływ stosunku średnicy wiertła do średnicy frezu na dokładność wykonania: a) \varnothing wiertła < \varnothing frezu, b) \varnothing wiertła > \varnothing frezu, c) \varnothing wiertła = \varnothing frezu

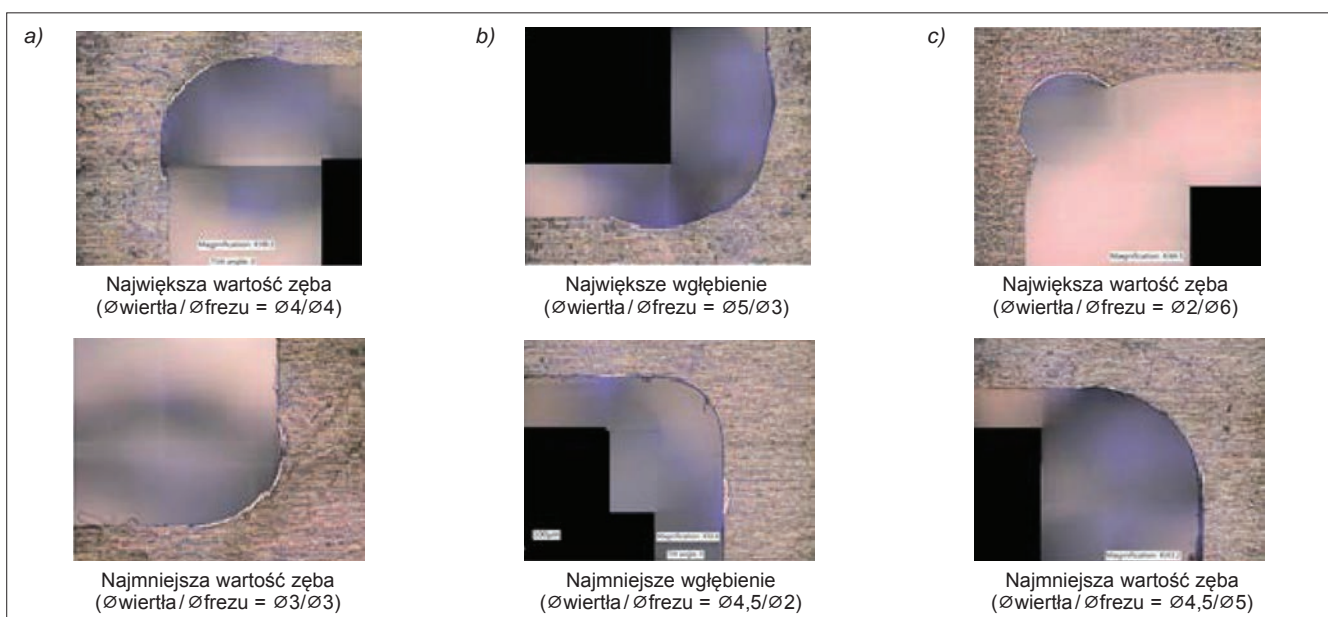
Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Metoda polegająca na wierceniu otworów w narożach, a następnie na ich frezowaniu, umożliwia wykonanie nieprzelotowej, płaskiej kieszeni wewnętrznej o małych promieniach zaokrąglenia naroży.
 - Jakość wykonania każdego z naroży była uwarunkowana wielkością błędów generowanych w procesie wiercenia i frezowania.
 - Po zastosowaniu wiertła o średnicy $\varnothing 4,5$ mm oraz frezu o średnicy $\varnothing 2$ uzyskano najlepszą jakość wykonania naroża. Najmniej dokładne naroże otrzymano w przypadku, gdy stosunek średnicy wiertła do średnicy frezu był równy $\varnothing 2/\varnothing 6$.
 - Relatywnie najlepszą jakość naroży uzyskiwano dla porównywalnych wartości średnic wiertel i frezów.
- Opracowane wyniki badań mogą stanowić bazę do głębszej analizy zagadnienia i dalszego usprawniania strategii obróbki naroży o niewielkich rozmiarach. Należałoby także rozważyć, które efekty zaprezentowanej metody obróbki są bardziej pożądane: wysoka dokładność wykonania naroża uwarunkowana koniecznością zmiany grubości frezowanej ścianki czy gorsza jakość wykonania naroża bez zmiany grubości ścianki obrabianego elementu.

LITERATURA

1. Adamski W. „Wybrane problemy projektowania i wytwarzania CAD/CAM w przemyśle maszynowym”. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2012.
2. Hbaieb M., Othmani R., Bouzid W. “Time modeling in high-speed machining of mold pocket”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 53 (2011): s.113–120.
3. Józwiak J. „Analiza ruchu podczas obróbki frezarskiej przedmiotów cienkościennych z zastosowaniem wizyjnego systemu pomiarowego 3D”. *Mechanik*. 8–9 (2014): s. 551–562.
4. Kuczmazewski J., Pieško P., Zagórski I., Włodarczyk M. „Obróbka elementów cienkościennych wykonanych ze stopów aluminium i magnezu”. Lublin: Politechnika Lubelska, 2015.
5. Morek R. „Stabilność zgrubnej obróbki form”. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie*. 9 (2015).
6. Oczko K.E. „Wybrane aspekty racjonalnego doboru technik kształtowania wyrobów (głównie ubytkowego)”. *Mechanik*. 5–6 (2008): s. 361–379.
7. Skoczylas L., Skoczylas K. „Wpływ głębokości skrawania na czas maszynowy frezowania kieszeni kwadratowej”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1162–1163.



Rys. 4. Wpływ stosunku dobranych średnic narzędzi na dokładność wykonania naroża: a) \varnothing wiertła = \varnothing frezu, b) \varnothing wiertła > \varnothing frezu, c) \varnothing wiertła < \varnothing frezu