

Dr inż. Grzegorz SKORULSKI (Politechnika Białostocka):

OBRÓBKI WYSOKOWYDAJNE NA PRZYKŁADZIE TECHNOLOGII IMACHINING

Streszczenie

W pracy pokazano obecne trendy dotyczące zwiększania produktywności w obróbce skrawaniem. Na przykładzie technologii imachining udowodniono przydatność takich działań. Zbadano uzyskane parametry chropowatości powierzchni po obróbce. Porównano czasy obróbki za pomocą metody standardowej i analizowanej technologii imachining.

Słowa kluczowe: obróbka skrawaniem, technologie wysokowydajne, imachining

HIGH PRODUCT MANUFACTURING ON EXAMPLE OF IMACHINING TECHNOLOGY

Abstract

The work shows the current trends of increasing productivity in machining. For example on imachining technology, the usefulness of such activities is proven. Surface roughness parameters obtained were examined after treatment. Processing times were compared using standard methods and analysed imachining provides technology.

Keywords: machining, high performance technologies, imachining

OBRÓBKIE WYSOKOWYDAJNE NA PRZYKŁADZIE TECHNOLOGII iMACHINING

Grzegorz SKORULSKI¹

1. WPROWADZENIE

Obecnie w obróbce skrawaniem obserwuje się trendy zwiększania wydajności obróbki [1, 2]. Prezentowane i wdrażane są nowe koncepcje obróbki oraz strategie obróbkowe, wspomagane przez systemy CAM. Oczywistą zaletą stosowania takiego podejścia jest skrócenie czasu obróbki. Dodatkowo można również oczekiwać wydłużenia okresu trwałości narzędzia. Obróbka narzędziami zespołowymi, wielozadaniowymi czy mechatronicznymi staje się nieopłacalna ze względu na krótkie partie produkcyjne. Poniżej opisano kilka innych, często branych pod uwagę sposobów zwiększających produktywność obróbki. Z przedstawionego opisu wynika, że skorzystać można ze specjalnych konstrukcji narzędzi lub wybrać strategie obróbkowe, dostępne w systemach CAM. Przed podjęciem decyzji należałoby także sprawdzić dostępny park maszynowy pod kątem rozwijanych prędkości obrotowych wrzeciona i posiadanych mocy. Dodatkowo analizie poddawane są: geometria narzędzia oraz stabilność jego pracy [3, 4].

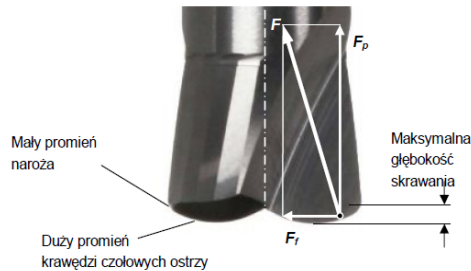
1.1. SKRAWANIE Z DUŻYMI POSUWAMI

Jednym ze sposobów zwiększenia produktywności jest technologia HFM (obróbka z dużymi posuwami). Zgodnie z danymi prezentowanymi przez producentów narzędzi, technologia frezowania z dużym posuwem pozwala nawet trzykrotnie skrócić czas obróbki w porównaniu do tradycyjnych metod [5]. W metodzie tej stosuje się małe głębokości i duże szerokości skrawania. Jedynie w połączeniu z dużymi prędkościami skrawania, ze względu na konieczność zmniejszenia kąta opasania, mającą na celu obniżenie temperatury ostrza, należy wówczas zmniejszyć szerokość frezowania.

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, 15-351 Białystok, ul. Wiejska 45C

Typowy kształt krawędzi skrawających frezu przeznaczonych do skrawania z dużymi posuwami oraz rozkład sił skrawania przedstawiono na rys. 1.

Frezy do tego rodzaju obróbki odznaczają się charakterystyczną, o dużym promieniu, łukową krawędzią na powierzchni czołowej. Powoduje ona wygładzanie obrabianej powierzchni, konieczne ze względu na stosowanie dużych wartości posuwów. Takie ukształtowanie krawędzi wywołuje także korzystny, zbliżony do osi obrotu narzędzia, kierunek siły całkowitej skrawania. Jej składowa F_f , działająca w kierunku promieniowym, ma wówczas małą wartość.



Rys. 1. Typowy kształt krawędzi skrawających freza do skrawania z dużymi posuwami [5]

Siły skrawające są skierowane prawie równoległe do osi narzędzia, co zmniejsza wibracje, a zatem powoduje zwiększenie trwałości ostrza i lepszy zwrot inwestycji przy jego zakupie. Inne sposoby zwiększania produktywności to stosowanie strategii obróbkowych, których przykłady wraz z zestawieniem możliwości podano niżej, w podrozdziałach 1.2. i 1.3.

1.2. EDGE CAM WAVEFORM

Strategia wave dostępna w systemie Edgecam, umożliwia obróbkę z dużymi prędkościami oraz zapewnia stałą szerokość skrawania w każdym położeniu narzędzia. Dzięki temu jest ono poddawane równomiernym obciążeniom. Ścieżki narzędzia układane są w ten sposób, aby unikać ostrych przejść oraz zapewnić stały kąt opasania narzędzia.

Daje to następujące korzyści [6]:

- redukuje czas obróbki,
- zwiększa trwałość narzędzi,
- zwiększa liczbę ciągłych ścieżek narzędzia,
- utrzymuje równomierne obciążenie narzędzia,
- pozwala obrabiać szybciej oraz z większymi głębokościami skrawania.

Strategia obróbki zgrubnej pozwala obrabiać przy stałym zagłębieniu narzędzia w materiale, wykorzystując najefektywniej jego część roboczą oraz utrzymując na

optymalnym poziomie kąta opasania narzędzia w całym cyklu obróbki. Powoduje to znaczne wydłużenia trwałości narzędzia oraz eliminuje ryzyko złamania.

Aby utrzymać stałą objętość usuwanego materiału cykl wykorzystuje filozofię układania ścieżki "od półfabrykatu do części". Zmniejsza to ilość przejazdów do kolejnych regionów obróbki (szczególnie w przypadku zewnętrznych regionów), co oznacza, że narzędzie przez dłuższy czas pozostaje zagłębione w materiale bez wyjazdu na inny poziom. Tradycyjne cykle generalnie układają ścieżki odsunięte od części, aż do granic półfabrykatu. W efekcie może prowadzić to do tworzenia ostrych krawędzi a także nieciągłych ścieżek narzędzia.

Dzięki płynnym ścieżkom narzędzia prędkości posuwu na maszynie mogą być utrzymywane na pożądanym poziomie, następuje redukcja drgań maszyny i przedmiotu obrabianego.

Łączenia ścieżek w strategii Wave są tak dobrane, aby wykorzystać w maksymalnym stopniu prędkość maszyny. Podczas przejazdów do kolejnego obszaru obróbki cykl automatycznie wybiera najszybszą metodę dotarcia do docelowego punktu. Łączenie obszarów położonych blisko siebie narzędzie wykonuje na głębokości, natomiast przy dłuższych przejazdach zostaje wycofane na poziom bezpieczny.

Strategia Wave znacznie podnosi standard obróbki zgrubnej zapewniając stałą objętość usuwanego materiału. Otwiera również drogę do obróbki wysokowydajnej zwłaszcza dla twardych materiałów.

Skrawanie na całej długości części roboczej narzędzia zapewnia równomierne rozłożenie obciążenia na całej długości zamiast na samym tylko wierzchołku. Promieniowa szerokość skrawania jest zredukowana w celu zapewnienia stałej siły skrawania na pożądanym poziomie.

1.3. SOLIDCAM iMACHINING

iMachining jest to opatentowana, innowacyjna technologia obróbki dostępna w SolidCAM (integracja z SolidWorks®) i InventorCAM (integracja z Autodesk Inventor®). Jest to w pełni unikalna technologia, zarówno pod względem ścieżek narzędzia, jak i metody programowania, korzystająca z Kreatora Technologii automatyzującego prędkości i posuwu. iMachining kilkukrotnie wydłuża żywotność narzędzi, redukując tym samym czas obróbki nawet do 70% [7].

Za zalety technologii iMachining można przyjąć następujące:

- krótsze cykle – oszczędność do 70% czasu,
- okres trwałości ostrza narzędzia – do 2-3 razy dłuższy,
- bezkonkurencyjna obróbka twardych materiałów,
- wyjątkowa wydajność pracy z małymi narzędziami,
- krótki czas nauki,
- wysoka produktywność programowania.

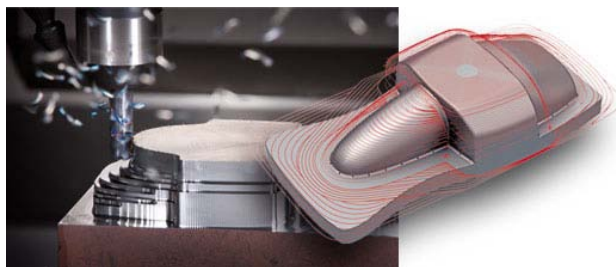
W przeciwieństwie do tradycyjnych ścieżek spiralnych, iMachining używa zaawansowanych spiral morficznych, które stopniowo dopasowują się do geometrii obrabianej funkcji, maksymalizując czas zagłębienia „narzędzia w materiale”.

W procesie zagłębienia wyspy są oddzielane, a duże obszary są dzielone – przy użyciu opatentowanej technologii zagłębienia, by zmaksymalizować ilość obróbek przy użyciu spiral morficznych i zminimalizowania ruchów narzędzia wokół wnętrza kieszeni. Wszystkie przejścia iMachining zbierają materiał, nigdy nie frezują w powietrzu. W ciągu pracy, na bieżąco aktualizowana jest przygotówka, tak aby narzędzie rzeczywiście zagłębiało się w materiał. „Inteligentne pozycjonowanie” pozwala na ograniczenie ruchów wycofujących do niezbędnego minimum. Obróbka wykorzystująca technologię iMachining generuje stały nacisk na materiał i tym samym oprócz oszczędności maszyny i narzędzia – powstaje stała wielkość wióra. Dzięki zastosowaniu iMachining eliminuje się dwa negatywne czynniki wpływające na koszty wytwarzania części [7]:

- konieczność wielokrotnego dobierania głębokości skrawania,
- mało efektywne wykorzystanie części skrawającej narzędzia.

Strategia obróbkowa iMachining 3D do obróbki zgrubnej powierzchni swobodnych pozwala wyeliminować większość ruchów wycofujących, długie pozycjonowanie i przejścia w powietrzu. Jednocześnie tworzy najkrótsze czasy cykli, używając geometrii docelowej i przygotówki do określenia obszarów do obróbki. Główne cechy technologii iMachining 3D są następujące:

- optymalna głębokość obróbki w kierunku Z (przy wykorzystaniu technologii 2D iMachining),
- głębokie frezowanie zgrubne,
- nieznaczna zmiana pozycji — inteligentne zlokalizowanie obróbki.
- brak zbędnych ruchów jałowych,
- automatyczne obróbki zgrubne i półwykańczające części pryzmatycznych,
- dojście/wycofanie realizowane jest za pomocą helis,
- kreator automatycznie określa parametry skrawania.



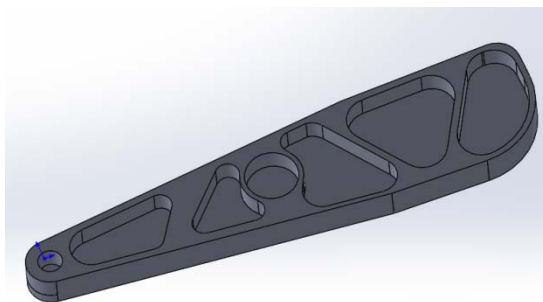
Rys. 1. Przykład obróbki iMachining 3D [7]

W iMachining połączono wiele strategii obróbczych w jedną zwartą całość, dzięki czemu uzyskano narzędzie pozwalające na płynną pracę z całym obszarem obrabianej części bez konieczności dzielenia na poszczególne operacje takie jak:

- wstępne wybieranie kieszeni,
- obróbka naroży,
- wykończenie krawędziowe.

2. ZAŁOŻENIA WSTĘPNE I PROGRAMOWANIE OBRÓBK

W celu porównania oraz sprawdzenia możliwości obróbek wysokowydajnych, opisanych w rozdziale 1, proces obróbki skrawaniem przygotowano w dwóch wariantach: standardowym i z wykorzystaniem technologii iMachining 2D. Model części pokazano na rys. 3. W programowaniu obróbki, włącznie z opcją symulacji, wykorzystano oprogramowanie SolidCam, za pomocą którego wygenerowano programy obróbkowe. Jako półfabrykat wykorzystano profil ze stopu aluminium PA6, o wymiarach 60x60 mm i długości 201 mm. Po wykonaniu obróbki standardowej, półfabrykat został obrócony o 180°, ponownie zamocowany i poddany obróbce iMachining. Obróbkę przeprowadzono na centrum frezarskim Omnis 1020 firmy Hartford.

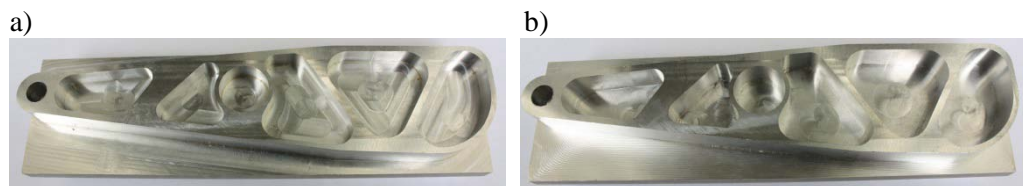


Rys. 3. Model 3D wytwarzanej części (9 punktów)

3. PRÓBY TECHNOLOGICZNE

Obróbkę części, zaprezentowanej w rozdziale 2, wykonano za pomocą technologii standardowej oraz iMachining. Obróbkę profilu zewnętrznego oraz kieszeni wykonano trzyostrzowym frezem ze stali HSS o średnicy 10 mm. W celu doboru parametrów skrawania skorzystano z katalogu producenta narzędzia i przyjęto ostatecznie: $n = 3500$ obr/min., $f = 500$ mm/min. Głębokość skrawania dla pojedynczego przejścia narzędzia określono na 2 mm. Dla obróbki iMachining skorzystano z kreatora automatycznego doboru prędkości obrotowej wrzeciona i posuwu, który w rzeczywistości jest

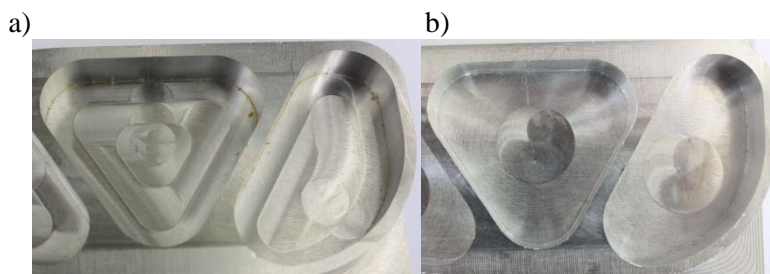
zmienny i dostosowany do aktualnie obrabianej geometrii. Następnym krokiem jest zawsze wybór materiału narzędzia i gatunku materiału obrabianego. Jedynym parametrem technologicznym, jaki można zmieniać, to tzw. stopień intensywności obróbki (standardowo ustawiony na 3 i taki był realizowany), którego wartość można zmieniać w granicach 1-8. Wyniki obróbki pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Część po obróbce: a) część po obróbce standardowej, b) część po obróbce iMachining 2D

4. ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW

Po obróbce obu zaprogramowanych wariantów, otrzymano powierzchnie ze śladami obróbki różniącymi się wyraźnie między sobą. Jest to spowodowane zupełnie inną trajektorią ruchu narzędzia. Pokazano to na rys. 5.



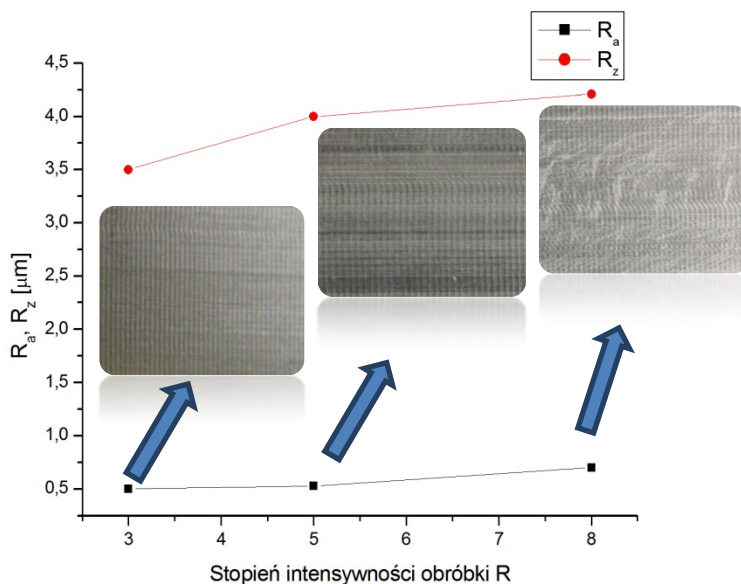
Rys. 5. Ślady ścieżek narzędzia w powiększeniu: a) część po obróbce standardowej, b) część po obróbce iMachining 2D (9 punktów)

Najważniejsze, z punktu widzenia konstruktora są jednak parametry chropowatości powierzchni, świadczące o jakości ich wykonania. Należy tu nadmienić, że strategie iMachining są zarezerwowane zasadniczo do obróbki zgrubnej, istnieje jednak możliwość wyboru alternatywnie zabiegu obróbki wykończeniowej. Zmierzone parametry chropowatości zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie uzyskanych parametrów chropowatości po obróbce

Lp.	Typ obróbki	R_a [μm]	R_z [μm]
1.	standardowa	0,35	3,03
2.	iMachining 2D	0,5	3,50

Interesujące wyniki otrzymano zestawiając ze sobą czasy obróbki. Obróbka zaprogramowana jako standardowa trwała 1:07:47, natomiast iMachining 2D potrzebowała 0:48:07. Wynika stąd, że dla założonego stopnia intensywności (agresywności) obróbki równego 3, parametry chropowatości nie różnią się znacząco, natomiast czas obróbki udało się zredukować o 40%. Wykonano jeszcze dwie próby technologiczne, aby sprawdzić parametry chropowatości i stan powierzchni dla współczynników intensywności obróbki na poziomie 5 i 8 (maksymalnym). Zestawienie i charakter zmian oraz wpływ na jakość obrabianych powierzchni pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Parametry chropowatości powierzchni w funkcji intensywności obróbki

Z przeprowadzonych badań wynika, że zwiększenie stopnia intensywności obróbki z 5 na 8 daje, przy usunięciu takiej samej objętości materiału, oszczędność czasu ok. 27%.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

W powyższej pracy podjęto próbę weryfikacji informacji producenta praktycznymi próbami technologicznymi z wykorzystaniem możliwości strategii obróbkowej iMachining 2D. Podstawowe wnioski z przeprowadzonych prób można przedstawić następująco:

- w przypadku obróbki konkretnej części (rys. 3.) udało się skrócić czas obróbki o 40%, przy akceptacji parametrów obróbkowych zaproponowanych przez kreatora projektu,
- w zakresie parametru intensywności obróbki od 3 do 8 uzyskano parametry chropowatości powierzchni w zakresie $R_a=0,5-0,7 \mu\text{m}$,
- wzrost intensywności obróbki nie powoduje gwałtownych zmian parametru chropowatości R_a ,
- wzrost stopnia intensywności obróbki z 5 do 8 spowodował skrócenie czasu obróbki o ok. 27%, dając jednak zauważalny spadek jakości obrabianej powierzchni.

Jak jednak wspomniano wyżej, technologia iMachining stosowana jest głównie do obróbki zgrubnej, czyli jej zadaniem jest usuwanie dużych ilości nadmiaru obróbkowego w jak najkrótszym czasie. I to zadanie rzeczywiście jest skutecznie realizowane. Można przyjąć, że redukcja czasu obróbki o 70% w stosunku do standardowych obróbek, głównie opartych na cyklach obróbkowych, jest możliwa.

Należy zwrócić uwagę na aspekt dużych głębokości skrawania podczas obróbki. Podczas analizowanych procesów narzędzie od razu zaczynało od założonej głębokości 15 mm. Obróbka przebiegała bezproblemowo. Ciekawą informacją byłoby również sprawdzenie, jak zmienia się okres trwałości narzędzia pracującego technologią iMachining lub Waveform, w stosunku do standardowej obróbki.

Podsumowując, strategia iMachining wydaje się dobrą alternatywą dla obróbki narzędziami przystosowanymi do pracy z dużymi posuwami, narzędziami wielozadaniowymi czy zespołowymi. Wysoki stopień automatyzacji, ale także możliwość definiowania własnych parametrów technologicznych obróbki, czynią ją bardzo uniwersalnym narzędziem zarówno do obróbki zgrubnej prostych profili i kieszeni, jak też do zgrubnej obróbki powierzchni swobodnych.

LITERATURA

- [1] OCZOŚ K.E., *Postęp w obróbce skrawaniem*, cz. I, II, III, Mechanik 3, 5-6, 7/1998.
- [2] OCZOŚ K.E., *Obróbka wysokowydajna - HPC (HIGH PERFORMANCE CUTTING)*, Mechanik nr 11/2004, s.701-709.
- [3] BUREK J., PŁODZIEŃ M., *Wysokowydajna obróbka części ze stopów aluminium o złożonych kształtach*, Mechanik nr 7, 2012.
- [4] BUREK J., ŻYŁKA Ł., GDULA M., PŁODZIEŃ M., *Obróbka wysokowydajna cienkościennych struktur aluminiowych*. W: *Obróbka Skrawaniem 8*. Synergia Nauki z Przemysłem, Wyd. ZAPOL. Międzyzdroje-Szczecin 2014, s. 281-288.
- [5] Poradnik obróbki skrawaniem GARANT (wersja elektroniczna).
- [6] Materiały informacyjne oprogramowania Edgecam.
- [7] Materiały informacyjne oprogramowania SolidCAM.