

Adam ZALEWSKI¹

SKRACANIE CZASU OBRÓBKII NA FREZARKACH CNC NA PODSTAWIE OKRESOWEJ ANALIZY WARUNKÓW SKRAWANIA

Frezowanie tej samej części można realizować różnymi narzędziami, z różnymi parametrami skrawania czy przy użyciu różnych strategii ruchu narzędzia. W każdym z tych przypadków, można uzyskać inny czas i inne warunki obróbki. Oba czynniki wpływają na koszt i efektywność realizacji zlecenia. W artykule zaproponowano wykorzystanie wstępnie zdefiniowanych (predefiniowanych) strategii obróbki (szablonów) do automatycznej oceny różnych wersji realizacji tego samego zabiegu obróbkowego. Zastosowano nowoczesne techniki symulacyjne w programie CAM (Catia) oraz syntezę danych (Excel), co pozwoliło w konkretnym przypadku na odpowiedź na pytania: należy zwiększać promieniową czy osiową głębokość skrawania? Frezować z dużym przekrojem warstwy skrawanej czy zastosować małe a_p i a_e , ale za to większą prędkość posuwu v_f ?

1. WPROWADZENIE

Współczesne systemy CAM są rozwijane już od wielu lat. Trwała ich obecność na rynku projektowania technologii wytwarzania świadczy o prawidłowych metodach programowania obrabiarek sterowanych numerycznie, ponieważ są one na bieżąco weryfikowane w zakładach produkcyjnych. Można zaryzykować stwierdzenie, że zaawansowane programy CAM stanowią swoistą bazę wiedzy nowoczesnego wytwarzania.

Opracowanie technologii obróbki skrawaniem nowej części wymaga nakładu czasu, proporcjonalnego do skomplikowania modelu części. Występują tu dwa aspekty:

- 1) złożony kształt geometryczny, który może zawierać złożone powierzchnie i krzywe opisane z użyciem zaawansowanych modeli matematycznych,
- 2) kształt jest trudny technicznie do wykonania.

Czas potrzebny na opracowanie efektywnego programu CNC obróbki części waha się zwykle od kilku minut, do nawet kilku (i więcej) godzin, co związane jest z doбором właściwych parametrów pracy programu CAM, obliczeniami PC, symulacją off-line obróbki i analizą poprawności realizacji przebiegu obróbki (jeszcze przed uruchomieniem na maszynie), korektą parametrów i powtórny przeliczeniem ścieżki narzędzia. Opracowana technologia w nowoczesnym programie CAM jest parametryczna, co oznacza możliwość zmiany dowolnych parametrów pracy programu CAM bez konieczności definiowania całego zabiegu od początku. Mechanizm ten jest rozbudowany tak daleko, że

¹ Zakład Automatyzacji, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem, Wydział Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej

pozwała na niezależną edycję parametrów zabiegu CAM w „oderwaniu” od modelu CAD części.

Wykorzystane to zostało między innymi do tworzenia „predefiniowanych” technologii CAM (szablonów), które są oferowane przez producenta programu lub mogą być opracowane przez użytkownika. W tym drugim przypadku jest to o tyle cenne, że predefiniowany proces technologiczny wykorzystuje konkretne narzędzia, parametry skrawania, parametry tworzenia zabiegów obróbkowych, które z powodzeniem były już zastosowane w konkretnych warunkach warsztatowych. Opracowanie technologii wykonania nowej części może się zatem sprowadzić do wyboru jednego z wcześniej zastosowanych rozwiązań i powiązaniu go z nowym modelem części.

Korzyści wynikające z zastosowania predefiniowanych technologii będą widoczne jako:

- wykorzystanie bazy „wiedzy technologicznej”, ponieważ predefiniowane procesy technologiczne mogą być ciągle doskonalone,
- zmniejszenie wymagań kompetencji projektanta CAM, ponieważ predefiniowane procesy technologiczne powinny ułatwić programowanie mniej doświadczonym pracownikom,
- lepszą wymianę doświadczeń technologicznych między kadrą projektantów CAM (opracowane procesy mogą być dostępne dla wielu pracowników),
- ujednoczenie programów NC na obrabiarki CNC (szczególnie istotne w dużych zakładach produkcyjnych),
- łatwiejsze szacowanie czasów realizacji obróbki,
- skrócenie czasu programowania obrabiarek CNC,
- łatwiejsze porównanie poziomu stosowanej technologii w różnych działach (zakładach) dla części technologicznie podobnych,
- stworzenia podstaw naukowych do podnoszenia kwalifikacji technologów,
- łatwe porównanie różnych strategii i wariantów obróbki, oraz wybór najlepszego rozwiązania ze względu na przyjęte kryteria.

Ten ostatni aspekt został poddany przez autora szerszej analizie.

2. ANALIZA RÓŻNYCH STRATEGII I WARIANTÓW REALIZACJI ZABIEGU OBRÓBKI SKRAWANIEM

Wraz ze zmieniającą się ofertą materiałów narzędziowych oraz lepszymi właściwościami dynamicznymi obrabiarek CNC, dotychczas realizowane procesy obróbkowe mogą być zastępowane nowymi, bardziej wydajnymi, często tańszymi rozwiązaniami [8]. Szeroka „automatyzacja” programowania obrabiarek CNC umożliwia szybkie opracowywanie wielu strategii i wariantów obróbki tej samej części. Przyjęto tu rozróżnienie, w którym **strategie** charakteryzują się indywidualnym kształtem toru ruchu narzędzia, **warianty** z kolei występują w ramach tej samej strategii, ale stosuje się różne parametry skrawania. Porównanie strategii i wariantów obróbki tej samej części powinno być oparte o precyzyjne kryteria takie jak np.:

- czas obróbki,
- koszt obróbki (koszt narzędzi, zużycie energii, koszt maszynowy, koszt zużycia środków produkcji, itd.),
- jakość powierzchni po obróbce (zmiany w materiale obrabianym na skutek procesu skrawania),
- koszt inwestycji w środki produkcji (zakup nowych narzędzi, oprzyrządowania, wyposażenia obrabiarek CNC itd.),
- charakter procesu skrawania (postać wióra, sposób odprowadzenia wióra, sposób chłodzenia, wpływ zużycia lub uszkodzenia narzędzia, stabilność procesu, odporność na zakłócenia, wpływ sztywności OUPN i drgań, itd.).

Wytypowanie optymalnej strategii i w ramach niej - najlepszego wariantu realizacji zabiegu obróbki wybranej części w oparciu o wszystkie wymienione kryteria jest bardzo trudne [1]. Tym bardziej, że w niektórych przypadkach może brakować dostatecznych danych, aby te kryteria skutecznie analizować. Zaproponowano zatem rozwiązanie oparte o następujące kroki postępowania:

- 1) oszacowanie niezbędnych wartości na poziomie wystarczającym do prowadzenia analiz teoretycznych,
- 2) przeanalizowanie z zastosowaniem metod symulacyjnych (CAM) wszystkich wytypowanych przypadków,
- 3) opracowanie raportów porównujących poszczególne rozwiązania i wybór potencjalnie najlepszego ze względu na przyjęte kryteria (np. minimalny czas obróbki).

Teoretyczny czas przebiegu obróbki wyznaczany jest w programie CAM (w trybie off-line) na podstawie [5],[6]:

- długości toru ruchu narzędzia,
- prędkości różnych faz ruchu narzędzia.

Tor ruchu narzędzia jest związany z kształtem przedmiotu obrabianego. Ten sam kształt przedmiotu obrabianego można uzyskać stosując różne strategie ruchu narzędzia. Związane jest to zwykle z różną drogą przebytą przez narzędzie podczas skrawania. Dla tej samej strategii obróbki tor ruchu narzędzia ma podobny kształt, natomiast zmienna średnica narzędzia D_f , promieniowa głębokość skrawania a_e i osiowa głębokość skrawania a_p [9] będą powodowały, że droga ruchu narzędzia także będzie zróżnicowana. To właśnie zmienna droga ruchu narzędzia związana z kształtem przedmiotu obrabianego (tj. wielkością narzędzia i parametrami skrawania) powoduje, że przy założonej zbliżonej średniej mocy i wydajności objętościowej skrawania, czas obróbki jest inny.

Tor ruchu narzędzia dla danej strategii obróbki jest wyznaczany dość jednoznacznie i stanowi precyzyjny element opisu teoretycznego czasu obróbki. Pewną trudność w fazie projektowania obróbki stanowi natomiast wyznaczenie właściwej prędkości posuwu narzędzia. Tradycyjny dobór parametrów skrawania polega na wykorzystaniu katalogu narzędzi lub odpowiedniego programu komputerowego i pracę według schematu [2],[7]:

- określenie rodzaju obróbki,
- określenie właściwości materiału obrabianego,
- wybór frezu do danej operacji,
- wybór płytki,

- określenie wartości początkowych parametrów skrawania,
- doświadczalne dostosowanie parametrów skrawania do możliwości obrabiarki i warunków obróbki.

W tym znanym podejściu obawę budzi ostatni punkt, ponieważ „doświadczalne dostosowanie parametrów” wymaga dużej wiedzy i praktyki technologa w odniesieniu do posiadanego parku maszyn i narzędzi, oraz przeprowadzenia prób skrawania do weryfikacji dobranych wstępnie parametrów skrawania. O ile wiedza i doświadczenie pracownika nie podlegają tutaj dyskusji, o tyle próby skrawania będą kłopotliwe, zwłaszcza jeżeli w obszarze rozważań znajdzie się wiele strategii obróbki przeprowadzanej różnymi narzędziami. Dobór parametrów „katalogowych” w odniesieniu do prób skrawania może dawać wyniki różniące się nawet o kilkadziesiąt procent. Tak duży błąd oszacowania parametrów skrawania na etapie projektowania i porównania efektywności różnych strategii obróbki tej samej części jest istotnym ograniczeniem.

Wyznaczone w sposób „katalogowy” parametry skrawania nie uwzględniają w pełni elementów mających wpływ na rzeczywisty przebieg obróbki takich, jak np. sztywność układu OUPN, drgania, postać wióra czy sposób chłodzenia. Ustalone wstępnie parametry skrawania powinny być zmodyfikowane doświadczalnie. Próby takie są raczej nieuniknione, ale należy zminimalizować zakres ich stosowania ze względu na:

- straty związane z okresem przerwy w produkcji na danej obrabiarki CNC,
- niebezpieczeństwo uszkodzenia maszyny, narzędzia i oprzyrządowania,
- stres dla obsługi, stratę czasu pracy operatora CNC i projektanta CAM.

W artykule [2] zaproponowano metodę doboru parametrów skrawania opartą na wykorzystaniu wiedzy o wcześniej realizowanej technologii na wybranej maszynie. Takie podejście daje szansę na zawężenie pola wyboru parametrów skrawania zastosowanych do porównania różnych strategii i wariantów obróbki. Mimo możliwego niedoszacowania prędkości posuwu jak i innych parametrów skrawania należy zwrócić uwagę, że z dużą dozą prawdopodobieństwa błędy te będą miały charakter systematyczny. A to umożliwi porównanie różnych wariantów obróbki na etapie symulacji procesu i wybór potencjalnie najkorzystniejszych rozwiązań. Wybór ten powinien być następnie zweryfikowany doświadczalnie, a zaletą tego podejścia jest wskazanie, które rozwiązanie i dlaczego powinno być w kręgu zainteresowań technologa.

3. PROWADZONE BADANIA

W celu ograniczenia obszaru wyboru danych wejściowych do symulacji obróbki, zastosowano następujące założenia:

- zbliżona teoretyczna moc i wydajność objętościowa skrawania w każdym przypadku,
- parametry skrawania możliwe do zastosowania w konkretnych warunkach produkcyjnych (projekt był realizowany we współpracy z dużym zakładem produkującym),
- minimalny koszt inwestycji w środki produkcji (np. koszt nowych narzędzi, koszt dodatkowej instalacji chłodzenia powietrzem),

- projektowanie strategii i wariantów obróbki w taki sposób, aby proces skrawania był przynajmniej zadowalający ze względu na szacowany okres trwałości narzędzia,
- analizy prowadzono tylko dla obróbki zgrubnej, a chropowatość powierzchni po obróbce nie była szczególnie istotna,
- Podstawowym kryterium porównawczym był czas realizacji zabiegu, a kryteriami pomocniczymi koszt narzędzia i trwałość narzędzia (jako parametry skorelowane z warunkami pracy i drogą narzędzia podczas skrawania).

Analizie poddano obróbkę kieszeni o wymiarach około 40x60x45mm wykonywaną seryjnie w stali o właściwościach zbliżonych do stali stopowej SAE-9310-HB330. Zadanie polegało na usunięciu około 111cm³ materiału w najkrótszym czasie przy minimalnych kosztach i spełnieniu warunków opisanych wyżej.

Zaproponowano do porównania kilka strategii obróbki kieszeni, różnymi narzędziami z zastosowaniem różnych parametrów skrawania. Otrzymano w ten sposób 138 przypadków, które następnie porównywano ze względu na różne kryteria. Dla ułatwienia przedstawienia zasad prowadzonych badań, w dalszej części artykułu autor koncentruje się na wybranej strategii obróbki (strategii „Outward helical” – w programie Catia). Należy podkreślić, że po symulacji pracy innych strategii (np. „Back and forth” i “offset on part Zig-Zag”) uzyskano podobny charakter wykresów, chociaż czasy obróbki były różne. Prezentowane niżej analizy ograniczono do obróbki jednym narzędziem (frezem firmy Sandvik R216.34-16050-AK32P 1620 PKWiU 25.73.40.0 [7], o średnicy 16mm, liczbie ostrzy $z=4$, $a_{pmax} = 32\text{mm}$), w tym do 23 wariantów zastosowania różnych parametrów skrawania (a_p , a_e , n , v_f), wyliczonych z uwzględnieniem opisanych wcześniej założeń. Można stwierdzić, że każdy z przypadków mógłby być zrealizowany na maszynie i byłby poprawny technicznie.

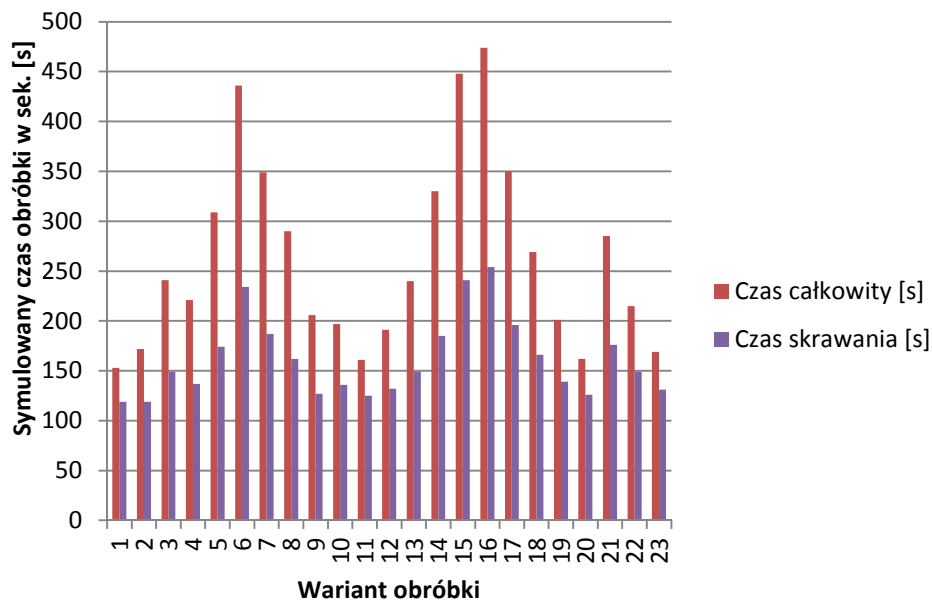
Tabela 1. Przykład doboru parametrów skrawania dla frezu R216.34-16050-AK32P [7] dla 23 wariantów
Table 1. Example of selection of cutting parameters for milling cutter R216.34-16050-AK32P [7] for 23 variants

wariant	a_e [mm]	a_p [mm]	n [obr/min]	v_f [mm/min]	f_z [mm/ostrze]	P [kW]	Q_v [cm ³ /min]	v_c [m/min]	L [m]
1	3	5	4516	3775	0,209	3.1	57	227	131
2	5	5	2964	2431	0,205	3.2	61	149	164
3	8	5	2653	1349	0.127	3	54	133	119
4	8	5,3	2646	1323	0,125	3,2	56	132	85
5	12	5	2924	936	0.08	3.4	56	147	106
6	16	5	2646	624	0,059	3.3	50	133	82
7	16	3	2666	1248	0,117	3,4	60	134	141
8	12	3	3104	1601	0,129	3,2	58	156	147
9	8	3	3601	2535	0,176	3,2	61	181	155

10	5	3	4675	3404	0,182	2,8	51	235	116
11	3	7	4138	2516	0,152	3,1	53	208	111
12	5	7	3283	1536	0,117	3,2	54	165	116
13	8	7	2924	948	0,081	3,3	53	147	102
14	12	7	2606	615	0,059	3,3	52	131	93
15	16	7	1771	425	0,06	3,1	48	89	67
16	16	10	1671	287	0,043	3,2	46	84	54
17	12	10	2069	414	0,05	3,3	50	104	55
18	8	10	2129	605	0,071	3,1	48	107	68
19	5	10	2447	1038	0,106	3,2	52	123	77
20	3	10	3143	1785	0,142	3,2	54	158	86
21	8	13	2109	456	0,054	3,2	47	106	52
22	5	13	2208	777	0,088	3,2	51	111	76
23	3	13	2745	1373	0,125	3,3	54	138	78

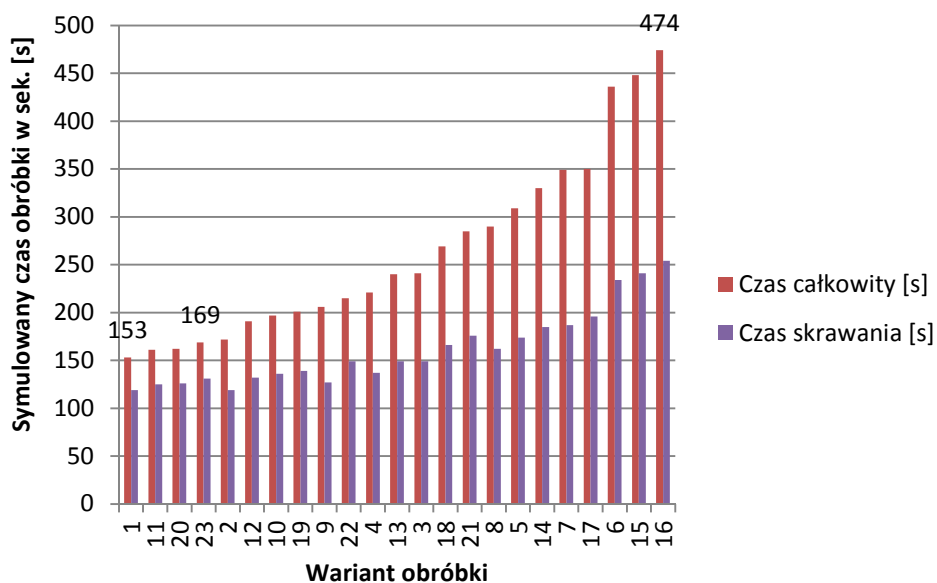
W kolejnym kroku automatycznie przeliczono wszystkie warianty obróbki. Przenosząc wyniki symulacji czasu realizacji poszczególnych przypadków do programu Excel, zilustrowano znaczne zróżnicowanie głównego kryterium, tj. całkowitego czasu obróbki [4]. Porównanie czasu skrawania (kontaktu narzędzia z materiałem obrabianym) i całkowitego czasu obróbki (obejmującego czas skrawania i czas ruchów pomocniczych) daje informację o czasie i pośrednio o liczbie ruchów pomocniczych. Ustawienie narzędzia w pozycji jak najbardziej korzystnych warunków skrawania (stałe a_e , kąt opasania itd.) powoduje często większą liczbę ruchów pomocniczych. Ruchy pomocnicze wydłużają czas obróbki przede wszystkim ze względu na czas dojścia i wyjścia narzędzia z materiału. Ruchy szybkie, przestawcze, zwykle nie są aż tak istotne. Wydaje się, że najbardziej interesujący dla dalszych analiz jest czas całkowity obróbki. Z doświadczeń autora wynika jednak, że przyjęte teoretyczne wielkości parametrów definiujących ruchy pomocnicze, które w znacznym stopniu nie są oparte na zaleceniach producentów narzędzi, a wynikają z zasad pracy konkretnego warsztatu – np. dystans i sposób dojazdu narzędzia ruchem roboczym do powierzchni obrabianej – mają zasadniczy wpływ na łączny czas wykonania zabiegu. Aby utrzymać praktyczny charakter prowadzonych badań, autor posługuje się obiema wielkościami: czasem skrawania i całkowitym czasem obróbki, których zestawienie wyglądało następująco.

Kolejność wariantów od nr 1 do nr 23 jest zgodna z opracowaną tabelą parametrów skrawania [tab. 1]. Kolejność ta jest w pewnym sensie przypadkowa, bo wynika z przyjętej kolejności prowadzonych doświadczeń. Aby ułatwić obserwację i analizę porównawczą zastosowano uporządkowanie tych samych wariantów obróbki w kolejności od najmniejszego całkowitego czasu obróbki do największego.



Rys. 1. Porównanie czasu całkowitego i czasu skrawania różnych wariantów obróbki tą samą strategią (Outward helical) w kolejności wariantów przedstawionych w tabeli 1

Fig. 1. Comparison of total machining time and time cutting of various options for machining the same strategy (Outward helical) in the order variants described in Table 1



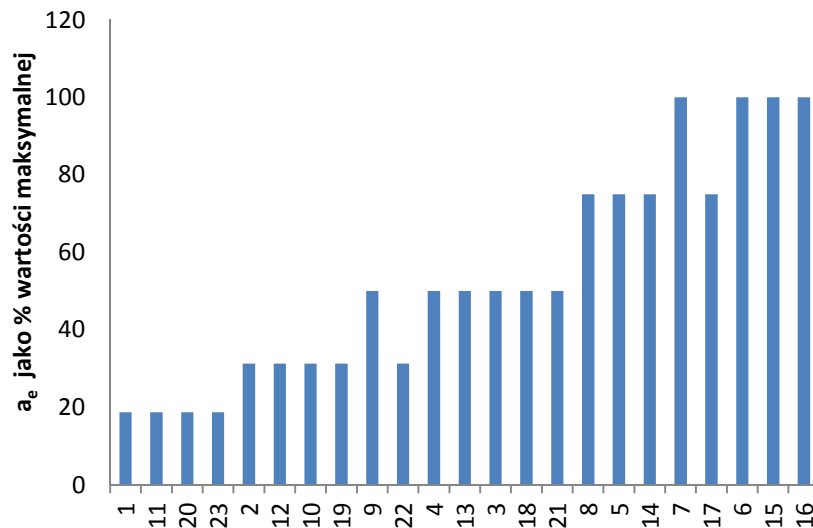
Rys. 2. Porównanie czasu całkowitego i czasu skrawania różnych wariantów obróbki tą samą strategią w kolejności wariantów od najkrótszego czasu całkowitego obróbki

Fig. 2. Comparison of total machining time and time cutting of various options for machining the same strategy in order variants from shortest total machining time

Analiza rozwiązuje problem wyboru: zwiększać promieniową czy osiową głębokość skrawania? Obrabiać z dużym przekrojem warstwy skrawanej czy zastosować małe a_p , a_e ,

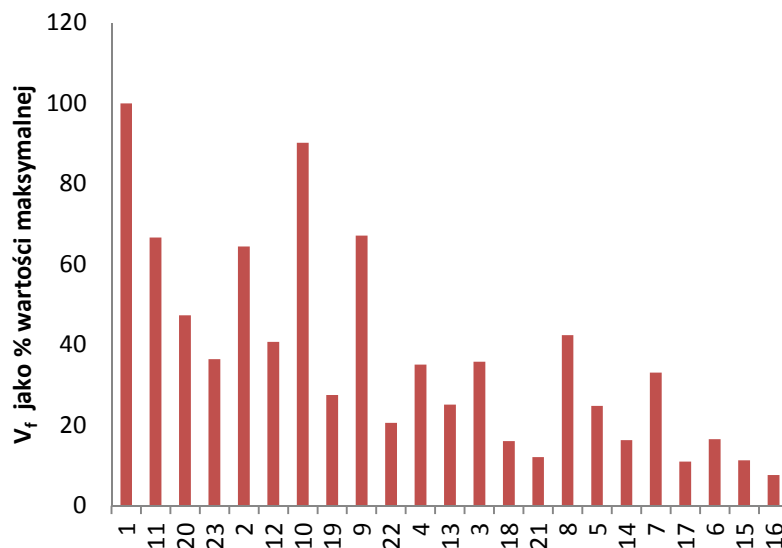
ale za to większą prędkość posuwu v_f ? Pozwala też ominąć te zakresy parametrów skrawania, które wyraźnie wydłużają czas obróbki ze względu na niedopasowanie do kształtu części, które powoduje znaczne wydłużenie ścieżki narzędzia.

Poniżej zilustrowano procentowo wielkości podstawowych parametrów skrawania (a_p , a_e , v_f), pozostałe zaś parametry (n , f_z) były dostosowane do sytuacji (tab. 1).



Rys. 3. Zestawienie zmian szerokości skrawania wyrażonej jako procent wartości maksymalnej ($a_{emax100\%} = D_f = 16\text{mm}$ – średnica frezu) w kolejności wariantów od najkrótszego czasu całkowitego obróbki.

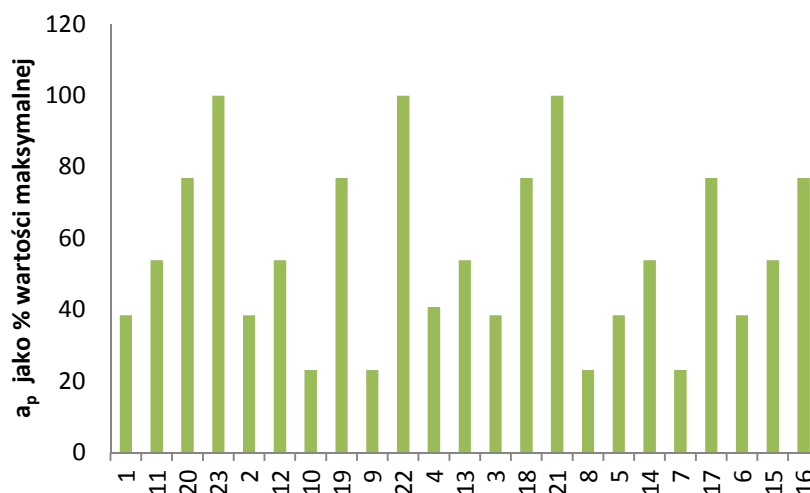
Fig. 3. Overview of changes the cutting width, expressed as a percentage of the maximum value, ($a_{emax100\%} = D_f = 16\text{mm}$ – cutter diameter) in order variants from shortest total machining time.



Rys. 4. Zestawienie zmian prędkości posuwu odniesionej do wartości maksymalnej ($v_{fmax100\%} = 3775\text{mm/min}$) w kolejności wariantów od najkrótszego czasu całkowitego obróbki

Fig. 4. Overview of changes feed rate referred to the maximum value ($v_{fmax100\%} = 3775\text{mm/min}$) in order variants from shortest total machining time

Rysunek 3 zwraca uwagę na ogólny wzrost czasu obróbki wraz ze zwiększającą się promieniową głębokością skrawania a_e , choć występują drobne odstępstwa od tej reguły (np. wariant 17 czy 22). Widać też tendencję do uzyskiwania krótszych czasów obróbki przy większych prędkościach posuwu (rys. 4), jednak i tu coraz wyraźniej wpływa długość toru narzędzia na całkowity czas obróbki (np. wariant 10).



Rys. 5. Zestawienie zmian osiowej głębokości skrawania odniesionej do wartości maksymalnej ($a_{pmax100\%} = 13\text{mm}$) w kolejności wariantów od najkrótszego czasu całkowitego obróbki

Fig. 5. Overview of changes depth of cut is referred to the maximum value ($a_{pmax100\%} = 13\text{mm}$) in order variants from shortest total machining time

Największym zróżnicowaniem charakteryzuje się osiowa głębokość skrawania a_p (rys. 5). Zdecydowany, schodkowy charakter zależności potwierdza obawy: jeśli rozwiązanie ma być najlepsze, w konkretnym przypadku warsztatowym trudno jest założyć sztywno choćby jeden z parametrów skrawania, aby do niego dostosować pozostałe.

Dla założonych parametrów skrawania dostawca frezu potrafi oszacować drogę narzędzia do jego zużycia. Droga narzędzia jest wyliczana dla każdej strategii i wariantu precyzyjnie w programie CAM, dlatego można w każdym przypadku wyliczyć teoretyczny koszt użytkowania narzędzia k_{ji} [zł] do chwili jego określonego zużycia. Jest on związany z realizacją frezowania kieszeni j -tą strategią oraz i -tym wariantem parametrów skrawania, a obliczony jest z zależności:

$$k_{ji} = \frac{K_n L_s}{L_{smax}} \quad (1)$$

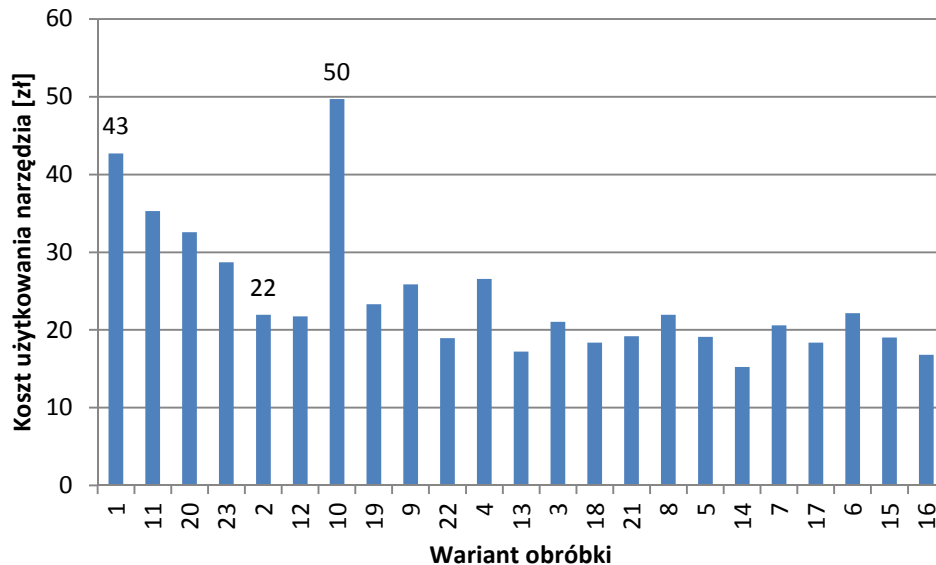
gdzie:

K_n - koszt zakupu narzędzia [zł]

L_s - droga skrawania narzędzia w trakcie obróbki wybraną strategią i wariantem realizacji zabiegu [m]. Informacja czerpana z symulacji obróbki w programie CAM.

L_{smax} – teoretyczna, maksymalna droga narzędzia do zużycia dla danych warunków obróbki wybraną strategią i wariantem realizacji zabiegu L[m] (tab. 1)

Krótszy czas obróbki związany jest niestety z wyższymi kosztami wytwarzania. Być może wyraźny spadek kosztów na poziomie wariantu nr 2 (rys. 6) w odniesieniu do zwiększonego minimalnie czasu obróbki (rys. 2) zdecyduje o wyborze tego rozwiązania. Jak również cenna wydaje się wskazówka, że wariantu nr 10 raczej należy unikać (długa droga narzędzia w połączeniu z dość trudnymi warunkami skrawania [3]).



Rys. 6. Szacunkowy koszt użytkowania narzędzia [zł] w kolejności wariantów od najkrótszego czasu całkowitego obróbki

Fig. 6. The estimated cost of the tool [zł]) in order variants from shortest total machining time

Analiza oparta tylko o koszt narzędzia (wzór 1) nie uwzględnia wszystkich, wymienionych wcześniej elementów wpływających na koszt obróbki, ale daje technologowi istotną informację na ten temat. Stosunkowo łatwo jest uzupełnić pozostałe składniki kosztów obróbki w oparciu o czas całkowity obróbki, użycie obrabiarki, itd. w odniesieniu do konkretnych warunków produkcji.

4. PODSUMOWANIE

Prowadzone analizy symulacyjne potwierdziły znaczne zróżnicowanie teoretycznego czasu skrawania, czasu obróbki (czasu skrawania powiększonego o czas ruchów pomocniczych) i warunków pracy narzędzia dla różnych parametrów skrawania (wariantów) podczas obróbki wybraną strategią. Można wybrać główne kryterium oceny (w tym przypadku teoretyczny czas całkowity realizacji zabiegu obróbki) i w takiej kolejności analizując kolejne warianty zastosowania różnych parametrów skrawania,

wybrać najlepsze rozwiązanie uwzględniając inne uwarunkowania [4], np. siły skrawania, koszt (rys. 6).

W artykule opisano przykład analizy zastosowania wybranej strategii obróbki jednej części, w odniesieniu do różnych wariantów parametrów skrawania. Prowadzone badania związane są z automatyczną symulacją obróbki różnych części, wieloma strategiami, z użyciem różnych narzędzi i zmiennych parametrów skrawania. Praktyczny charakter takiego podejścia wynika z krótkiego czasu (rzędu kilku minut) otrzymania raportów (liczonych nawet w setkach wykresów) na temat potencjalnych efektów zastosowania poszczególnych rozwiązań i łatwego porównania różnych technologicznie metod obróbki frezowaniem.

Analizę doboru najlepszej strategii i wariantu obróbki można prowadzić nie tylko dla nowej, przygotowywanej technologii, ale również dla istniejącej. Tworząc bibliotekę alternatywnych zabiegów obróbkowych można stwierdzić, czy warto dokonywać zmian w procesie, a jeśli tak, to na jakie.

Ze względu na wpływ wielu parametrów skrawania na przebieg obróbki, zróżnicowanie strategii ruchu narzędzia oraz różne kryteria oceny symulowanych rozwiązań, zastosowano w dalszych badaniach do analizy zagadnienia metodę optymalizacji wielokryterialnej.

Badania realizowane w ramach projektu celowego 6 ZR8 2009 C/07200 „Opracowanie i wdrożenie systemu projektowania technologii obróbki ubytkowej komponentów silników turbinowych z zastosowaniem wspomagania komputerowego” zrealizowanego wraz z Wytwórnią Sprzętu Komunikacyjnego „PZL-Rzeszów”

LITERATURA

- [1] KRIMPENIS A., FOUSEKIS A., VOSNIAKOS G., 2004, *Assessment of sculptured surface milling strategies using design of experiments*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 25/5-6, 444-453.
- [2] ZALEWSKI A., 2012, *Dobór parametrów skrawania tej samej części dla różnych strategii obróbki*, II-Konferencja Naukowa nt. Obrabiarki Sterowane Numerycznie i Programowanie Operacji w Technikach Wytwarzania, Radom – Jedlnia Letnisko, 23 – 25 listopada 2011 r., Artykuł publikowany w Mechaniku 01/2012.
- [3] TOH C. K., 2003, *Tool life and tool wear during high-speed rough milling using alternative cutter path strategies*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture September 1, 217, 1295-1304.
- [4] MSADDEK B., BOUAZIZ Z., DESSEIN G., BAILI M., 2011, *Optimization of pocket machining strategy in HSM*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Manuscript Number IJAMT7891.
- [5] ZALEWSKI A., 2007, *Efektywne wytwarzanie dzięki optymalnej strategii obróbki HSM*, Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie, 3/03, grudzień 2007, 23-26.
- [6] ZALEWSKI A., 2006, *Droga narzędzia podczas frezowania na obrabiarkach CNC*, Mechanik, 79/4, 334-339.
- [7] Sandvik, 2011, *Katalog narzędzi obrotowych, Frezowanie*.
- [8] RAUCH M., HASCOËT J., 2012, *Milling Tool-Paths Generation in Adequacy with Machining Equipment Capabilities and Behavior*, Machining of Complex Sculptured Surfaces, 127-155, DOI: 10.1007/978-1-4471-2356-9_4.
- [9] PRZYBYLSKI L., 2000, *Strategia doboru warunków obróbki współczesnymi narzędziami, Toczenie – Wiercenie - Frezowanie*, Politechnika Krakowska, Kraków.

SHORTENING THE MACHINING TIME FOR CNC MILLING MACHINE BASED ON PERIODIC ANALYSIS
OF THE CUTTING CONDITIONS

Milling of the same part can be using various tools, different cutting parameters and different tool path strategies. In any case, one can get a different time and machining conditions. Both factors affect the cost and effectiveness of the execution of the order. The article proposes the use of pre-defined machining strategies (templates) for automatic evaluation of different versions of the same machining operation implementation. The use of modern simulation techniques in the CAM (CATIA) and synthesis of data (Excel) which allowed to answer the questions in a particular case: to increase the width or depth of cut? Milling cutter with a large cross-section of cut or use small a_p and a_e , but a higher feed rate v_f ?