

# Optymalizacja pracy maszyn CNC w otoczeniu produkcyjnym

Kiedy mowa o optymalizacji pracy maszyn CNC, obszarem, w którym można w najbardziej efektywny sposób doprowadzić do skutecznej optymalizacji, jest poprawa ścieżki ruchu narzędzia z punktu widzenia wybranego parametru. Jednym słowem – optymalizacja programu obróbczego.

**J**ak twierdzi specjalista w tej dziedzinie prof. Włodzimierz Adamski, którego artykuł na temat optymalizacji programów obróbczych na obrabiarkach CNC można było przeczytać na łamach czasopisma „STAL Metale & Nowe Technologie” w numerze 1-2/2018, w dokonywaniu optymalizacji technologów wspiera dzisiaj oprogramowanie komputerowe. Do poprawy ścieżki można wykorzystać takie systemy komputerowe jak: Vericut-OptiPath, Omative czy Ncsimul. Pozwalają one na osiągnięcie sukcesu w zakresie dwóch podstawowych parametrów [1] dokładności i czasu produkcji detalu. Wspomagają pracę technologów, którzy – pozbawieni tego typu narzędzi – często byli zmuszeni do stosowania podejścia „na logikę” oraz „metodą prób i błędów”. Optymalizacja pracy maszyn CNC to jednak pojęcie bardzo szerokie, szczególnie gdy omawia się je w kontekście całego otoczenia produkcyjnego. Artykuł jest swoistym przeglądem obszarów, które w kontekście CNC mogą – i powinny – być optymalizowane.

## Optymalizacja ścieżek ruchów narzędzi

Większość specjalistów w kontekście obrabiarek sterowanych numerycznie wspomina głównie o optymalizacji ścieżek obróbczych. Bez względu na to, czy mamy do czynienia z frezarką, tokarką, czy wieloosiowym centrum obróbczym, to właśnie w tym obszarze najłatwiej o uzyskanie szybkich i na dodatek znacznych efektów. Wystarczy wyobrazić sobie przypadek wycięcia dwóch dysków z płyty pilśniowej. Jeden dysk ma średnicę 200 mm, drugi – 100 mm. Można ustawić je bezpośrednio obok siebie w materiale, jednak wówczas może dojść do produkcji wadliwego wyrobu – w większości przypadków konieczne jest bowiem pozostawienie przestrzeni pomiędzy detalami tak, aby ich krawędzie nie stykały się ze sobą. Przestrzeń ta jednak może wynosić: 10 mm, 5 mm czy 20 mm, lub każdą inną wartość, nawet 1 m. Na ustalenie tej wartości wpływ mają: grubość płyty, rodzaj narzędzia obróbczego i sposób mocowania materiału. Trzeba zwrócić uwagę na to, by płyta nie uległa złamaniu. Z drugiej

TEKST: **Agnieszka Hyla**

konsultantka ds. optymalizacji produkcji w Centrum Szkoleń Inżynierskich EMT-Systems Sp. z o.o., kierownik projektów, autorka tekstów z zakresu zarządzania w produkcji

zdjęcia: iStock

strony pozostawianie zbyt dużej ilości materiału pomiędzy detalami powoduje jego marnotrawstwo. Widać więc, że nawet w tak prostym przykładzie to, w jaki sposób detale zostaną zaprojektowane w przestrzeni materiału obrabianego, ma istotne znaczenie. Idźmy więc dalej – narzędzie może poruszać się w taki sposób, aby pomiędzy wycinaniem pierwszego i drugiego dysku przesunąć się jedynie o pozostałą między nimi przestrzeń, np. 10 mm. Dzięki temu oszczędzony zostanie czas i skróci się produkcja. Możliwe jest jednak także przesunięcie narzędzia z dowolnego innego punktu dysku pierwszego do dysku drugiego (nawet jeśli chodzi o przesunięcie dwóch punktów maksymalnie od siebie oddalonych w danej konfiguracji). Wówczas dochodzi do zbędnego zużycia czasu, który mógłby zostać wykorzystany na wyprodukowanie kolejnego dysku.

### Optymalizacja programów obróbczych oraz symulacje pracy

Optymalizacja ścieżki poruszania się narzędzia to jedynie pierwszy krok, który technolog wykonuje w kierunku optymalizacji. Podobnie można manipulować szeregiem innych parametrów. Przykładami mogą być np.: ustawienie parametru posuwu cięcia względem parametrów pracy chłodziwa, zastosowanie rampy w celu redukcji liczby wycofań narzędzia, stosowanie maksymalnie łagodnych przejść pomiędzy konturami a przyczepami, by maszyna nie musiała zwalniać, projektowanie procesu obróbczego w taki sposób, aby jak najrzadziej dochodziło do wymiany narzędzia, lub stosowanie narzędzi o różnorodnym zastosowaniu [2]. Istotnym zagadnieniem jest także możliwość wykonywania symulacji procesu wytwórczego detalu z wykorzystaniem tzw. *Virtual Machining* (VM), czyli obróbki wirtualnej w trybie *off-line*. Wykonanie symulacji przed procesem pozwala nie tylko na optymalizację samej ścieżki, lecz także na uniknięcie ewentualnego zagrożenia kolizją. Większość systemów komputerowych symulujących produkcję z wykorzystaniem maszyn CNC zachowuje się dokładnie tak samo lub bardzo podobnie do swoich rzeczywistych odpowiedników. Oprócz weryfikacji podczas fizycznych testów produkcyjnych symulatory są aktualnie najlepszą metodą na sprawdzenie poprawności zaprojektowanego programu obróbczego w kontekście najistotniejszych parametrów: jakości wykonania i szybkości produkcji, a czasami także ilości zużytego materiału. W konsekwencji

wykorzystanie symulatorów pozwala na: wyeliminowanie przewidywalnych kolizji oraz sytuacji bliskich kolizji, przyspieszenie czasu wdrożenia, sprawdzenie możliwości obróbczych maszyny przy nastawieniu różnych parametrów produkcyjnych i technologicznych, skrócenie czasu cyklu produkcyjnego oraz poprawienie wydajności, odpowiednie dostosowanie prędkości posuwu, zminimalizowanie zużycia narzędzi skrawających i finalnie zwiększenie produktywności [3].

### Teoria a praktyka – monitorowanie wykonania programów

Optymalny program obróbczy z pewnością jest kluczem do sukcesu w kontekście podejścia ekonomicznego do obróbki skrawaniem. Pozwala zaoszczędzić czas pracy maszyn i dzięki temu wykonać większą liczbę detali w danym przedziale czasu, bez konieczności ustępowania tym samym na polu jakości wyrobu. Praca technologów CNC jest więc w tym zakresie niezwykle istotna i każda godzina poświęcona na optymalizację procesu zwraca się wielokrotnie w czasie trwania produkcji, szczególnie w kontekście produkcji masowej, gdzie raz opracowana ścieżka wdrażana jest w życie tysiące razy. Kluczowym elementem jest jednak upewnienie się, że zaprojektowana przez technologa ścieżka rzeczywiście zostaje zaimplementowana w rzeczywistości. Okazuje się bowiem, że nie zawsze tak jest. Realnie w przypadku większych zakładów technolog nie ma wpływu na to, co dzieje się na produkcji. Przygotowane więc z zaangażowaniem programy mogą w rzeczywistości nie być w pełni wykorzystywane. Wynika to z faktu, że zadaniem technologa nie jest stanie przy maszynie, a projektowanie programów obróbczych właśnie. Przy maszynach pracują operatorzy, których praca może być monitorowana dzięki specjalistycznym systemom do obserwacji aktywności maszyn. Przykładem może być system do monitorowania pracy maszyn Scout [4]. Systemy tego typu pozwalają na podgląd stanu maszyny w czasie rzeczywistym z uwzględnieniem wybranych parametrów, dostęp do raportów i analizy pracy maszyny, monitorowanie zamówień i klientów, a także archiwum wykonanych zadań. Dzięki monitoringowi w czasie rzeczywistym i archiwum działań wiadomo dokładnie, jakie kroki wykonuje kolejno maszyna, a więc, czy oryginalna ścieżka technologiczna została zaimplementowana poprawnie. Niejednokrotnie na linii technolog

– operator dochodzi do zmian ścieżki, wynikających z braku wiedzy bądź zrozumienia zastosowanych zabiegów, a także niepełnego wdrożenia instrukcji, wskutek czego może dojść do nieprzewidzianych zachowań maszyny i utraty wypracowanej w procesie optymalizacji wartości.

### Wdrażanie automatyzacji i elastyczne systemy produkcyjne

Praca nad efektywnością programu obróbczego i wykorzystywanej technologii jest jednak jedynie pierwszym krokiem w rozbudowanej drodze do optymalizacji pracy maszyn CNC. Obrabiarki, jak wszystkie inne maszyny i urządzenia wykorzystywane w produkcji, są zależne nie tylko od własnych cykli pracy, lecz także od całego otoczenia produkcyjnego, które wchodzi z nimi w interakcje. Kolejnym krokiem ku optymalizacji są więc częściowe lub pełne automatyzacje. Przykładem tutaj może być układ obrabiarka – ramię robota, w którym robot pełni funkcję podajnika i odbiornika detalu. W obróbce jednokrokowej, gdzie obrabiarka wykonuje jedną konkretną czynność i nie dochodzi w międzyczasie do przebrojeń, możliwe jest dzięki zastosowaniu integracji z robotem przemysłowym obrobienie całej partii materiału bez udziału człowieka. Pogłębieniem tej propozycji jest stosowanie elastycznych systemów produkcyjnych ESP (ang. *Flexible Manufacturing System* – FMS). W swojej rozprawie doktorskiej Lech Mazurek wykazuje, że zastosowanie odpowiedniego modelu matematycznego podczas procesu przezbrajania obrabiarek wielozadaniowych umożliwia w elastycznych systemach produkcyjnych np.: zwiększenie bezwzględnej przepustowości systemu o niespełna 13%, zmniejszenie liczby przebrojeń o około 21,5%, a także zmniejszenie czasu pracy ustawiaczy o aż 14,1%. Ponadto, dzięki zastosowaniu szeregu metod technologicznych i konstrukcyjnych, w elastycznych liniach produkcyjnych możliwe jest znaczne zwiększenie efektywności pracy, a także skrócenie czasu przygotowania i zakończenia procesu produkcyjnego. W przypadku metod konstrukcyjnych może to być nawet skrócenie o 28%, co stanowi blisko 1/3 pierwotnego czasu przygotowania do pracy [5].

### Monitoring pracy maszyny a predycyjne utrzymanie ruchu

Kluczowym obszarem pracy wpływającym na to, czy maszyna funkcjonuje w sposób optymalny, czy nie, jest wdrożenie systemów

do monitoringu stanu maszyny w kontekście predycyjnego utrzymania ruchu. Przykładem może być tutaj system Montronix oferujący dostęp do ciągłego monitoringu pracy maszyny oraz detekcji kolizji narzędzi, uszkodzeń narzędzi, pustych cięć, przeciążeń, nadmiernego zużycia narzędzia, niezwykle silnych wibracji wrzeczona i konstrukcji maszyny oraz wielu innych odchyłeń od normalnego zachowania urządzenia w czasie rzeczywistym [6]. Na podstawie układu zaawansowanych czujników i monitoringu takich parametrów jak: temperatura, wilgotność drgania, natężenie dźwięku, ciśnienie itp., możliwe jest wykrycie wielu zagrożeń jeszcze przed momentem ich wystąpienia. Co istotne – systemy tego typu umożliwiają także zapis danych i ich późniejszą analizę z wykorzystaniem różnorodnych algorytmów znajdujących korelacje pomiędzy poziomem poszczególnych parametrów pracy maszyny a występującym zagrożeniem.

### Lokalizacja względem magazynu części zamiennych i narzędziowni

Choć może się to wydać sprawą odległą od samych ścieżek wytwórczych, na efektywność pracy maszyny wpływ ma także jej umiejscowienie w hali produkcyjnej, szczególnie w kontekście ulokowania magazynu części zamiennych oraz narzędziowni. W większości firm stanowisko pracy przy maszynie jest wyposażone w najczęściej wykorzystywane narzędzia i media służące do konserwacji i dokonywania przeglądów maszyny. Jednak gdy mamy do czynienia z obszerną, podłużną halą produkcyjną, w której jedyna narzędziownia znajduje się z jednej strony hali, czas wymiany narzędzia na nowe będzie trwał znacznie dłużej w przypadku maszyn usytuowanych dalej niż tych bardziej zbliżonych (nawet jeśli każda maszyna pracuje z wykorzystaniem tego samego programu do obróbki). Dlatego też centralne usytuowanie narzędziowni i magazynu części zamiennych lub bieżące uzupełnianie stanowisk pracy w oparciu o historię ich zużycia na poszczególnych maszynach są kluczowe w kontekście utrzymania wysokiej efektywności.

### Przeglądy w kontekście TPM

Kolejnym obszarem pracy z maszynami CNC, gdzie można dokonać optymalizacji, jest planowanie przeglądów i prac naprawczych. Zgodnie z ideą *Total Productive Maintenance* należy dążyć do optymalnego utrzymania ruchu w oparciu o 8 filarów: autonomiczne

utrzymanie ruchu, planowanie przeglądów i konserwacji, skupienie na ciągłym doskonaleniu, szkolenia i edukację, dbałość o bezpieczeństwo i środowisko, planowanie wdrażania nowych urządzeń i maszyn, zapewnianie wysokiej jakości oraz zarządzanie parkiem maszynowym. To, kiedy dochodzi do przeglądów i konserwacji maszyn, a więc do planowanych przestojów, jest kluczowe w kontekście optymalizacji pracy produkcji. TPM promuje mądrze zaplanowane przerwy dłuższe, podczas których kompleksowo można podejść zarówno do tematu konserwacji, napraw, jak i przeglądów stanu maszyny. Pozwala to uniknąć krótkich i długich przestojów nieplanowanych, które stanowią poważne zaburzenie pracy i uniemożliwiają realne przewidywanie efektywności produkcji, z uwagi na wysoką niepewność.

### Szkolenia i edukacja personelu

Optymalizacja pracy maszyn CNC zarówno w kontekście samych programów obróbczych, jak i całego otoczenia pracy maszyny jest kwestią złożoną, wymagającą wiele uwagi i zaangażowania, zarówno ze strony kierownictwa, jak i personelu wykonawczego. Im większą wiedzę posiada rzeczony personel produkcyjny, tym większe jest prawdopodobieństwo zastosowania w praktyce metod na skuteczną optymalizację procesu, bez względu na obszar. Stąd, udział pracowników w szkoleniach i kursach aktualizujących wiedzę i umiejętności z zakresu obsługi maszyn, ich konserwacji i monitorowania, a także projektowania ścieżek obróbczych czy dokonywania ich poprawek, jest kluczowy w kontekście utrzymania wysokiego poziomu organizacji, a co za tym idzie – konkurencyjności rynkowej [7]. Im więcej jest omówionych przykładów z życia wziętych, tym większe są doświadczenie i skuteczność w działaniu. Szkolenia są więc – jak podkreśla między innymi TPM – filarem wspomagającym optymalną pracę maszyn. □

#### Piśmiennictwo

1. Adamski W.: *Optymalizacja programów obróbczych na obrabiarkach CNC*. „STAL Metale & Nowe Technologie”, nr 1-2/2018, s. 12-18.
2. Demazure D.: *6 easy ways to optimize CNC program*. <https://www.datron.com/6-easy-ways-to-optimize-cnc-program/> [dostęp: 2.02.2020 r.].
3. Niestony P., Grzesik W.: *Optimization procedures for machining operations on CNC machine tools*. PAK vol. 57, nr 2/2011, s. 224-227.
4. *Jeżeli używasz maszyn (CNC, PLC lub konwencjonalnych), to musisz wiedzieć, jak one pracują*. <https://monitorujmaszyny.pl/monitoring-maszyn/> [dostęp: 2.01.2020 r.].
5. Mazurek L.: *Zwiększenie efektywności pracy obrabiarek wielozadaniowych w elastycznych systemach produkcyjnych*. Rozprawa doktorska, Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologicznych systemów informacyjnych, Lublin 2010, <http://bc.pollub.pl/Content/440/PDF/D243.pdf> [dostęp: 2.01.2020 r.].
6. *Montronix Monitoring Solutions*. <https://montronix.pl/> [dostęp: 2.02.2020 r.].
7. EMT-Systems Sp. z o.o., *Szkolenia z obróbki skrawaniem CNC*. <https://emt-systems.pl/kurs-cnc-programowanie-frezarek-numerycznych.html> [dostęp: 2.02.2020 r.].