

Programowanie procesu frezowania z zastosowaniem układu sterowania adaptacyjnego

Programming of milling process using adaptive control system

JAN BUREK
PAWEŁ SUŁKOWICZ
PIOTR ŻUREK
MARCIN SAŁATA *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.3.24

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAx 2015

Przedstawiono zastosowanie układu sterowania adaptacyjnego ARTIS w procesie frezowania. Zbadano jego zachowanie w trakcie obróbki przy zmieniającym się obciążeniu narzędzia. Zaprezentowano wpływ układu ARTIS na czas i efektywność obróbki. **SŁOWA KLUCZOWE:** frezowanie, diagnostyka, układ adaptacyjny, ARTIS, stopy aluminium

This paper presents application of adaptive control system for milling process. Tests were carried out for the effects of varying tool loads on the system performance. The effect of using adaptive control system on production time and efficiency was presented
KEYWORDS: milling, diagnostics, adaptive control, ARTIS, aluminum alloys

Monitorowanie przebiegu procesu skrawania na obrabiarkach CNC przynosi wiele korzyści. Z jednej strony pozwala na zwiększenie produktywności z zachowaniem trwałości narzędzi i odpowiedniej jakości otrzymywanych wyrobów, a z drugiej – poprawia bezpieczeństwo pracy maszyny i minimalizuje ryzyko zniszczenia narzędzia, przedmiotu czy obrabiarki. Jeśli natomiast wystąpi stan alarmowy – np. wywołany wykruszeniem się ostrza narzędzia czy zalepieniem rowka wiórowego frezu – układ diagnostyczny spowoduje natychmiastowe zatrzymanie maszyny [2, 6].

Działanie systemów diagnostycznych opiera się na pomiarze wielkości fizycznych, takich jak: siła skrawania, emisja akustyczna, drgania czy sygnał prądu wrzeciona [4, 5]. Wartości sygnałów są źródłem wielu przydatnych informacji na temat przebiegu procesu skrawania. Szczególnym przypadkiem systemów diagnostycznych jest zastosowanie układów sterowania adaptacyjnego (AC).

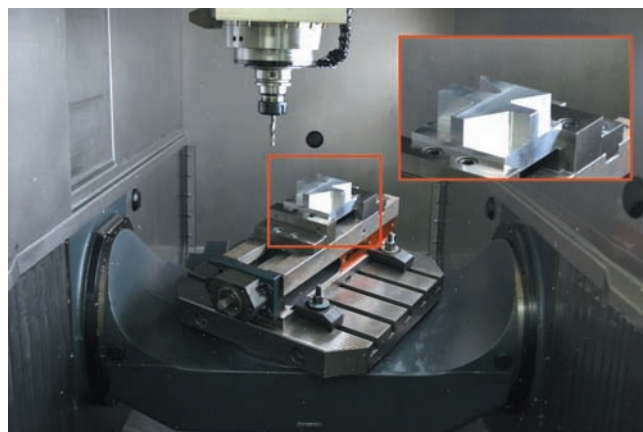
W obróbce skrawaniem kluczowe znaczenie ma dobór parametrów procesu. Z punktu widzenia wydajności najważniejsza jest szybkość usuwania materiału. W tradycyjnej obróbce parametry są ustalane przed rozpoczęciem procesu skrawania, a ich wartości nie ulegają zmianie podczas przejścia. Często jednak sytuacja wymaga zmiany przynajmniej jednego z parametrów w zależności od przebiegu obróbki [1, 3].

Sterowanie adaptacyjne przemysłowymi obrabiarkami CNC nie jest jeszcze dość powszechne, co wynika ze stosunkowo wysokich kosztów precyzyjnych urządzeń pomiarowych (np. siłomierzy) i samych systemów sterowania. Ich zastosowanie jest zasadne w szczególnych warunkach obróbkowych.

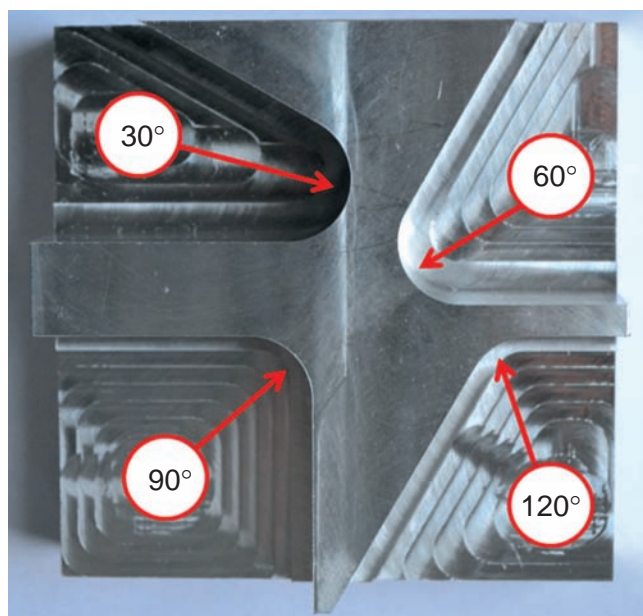
Warunki badań

Celem badań było określenie wpływu zastosowania układu sterowania adaptacyjnego na przebieg frezowania przedmiotu testowego ze stopu aluminium AlZn5.5MgCu. Badania

przeprowadzono na 5-osiowym centrum frezarskim HSC 55 linear firmy DMG Mori, wyposażonym w układ sterowania AC ARTIS (rys. 1). Jego działanie standardowo opiera się na monitorowaniu sygnału prądu I_w wrzeciona obrabiarki – dzięki temu system automatycznie określa poziom obciążenia narzędzia i w czasie rzeczywistym zwiększa bądź zmniejsza wartość posuwu w zadanych wcześniej granicach. Istnieje możliwość rozbudowania układu ARTIS o dodatkowe czujniki – np. siły, mocy, emisji akustycznej, drgań, momentu czy



Rys. 1. Przedmiot testowy zamocowany w centrum frezarskim HSC 55 linear



Rys. 2. Przedmiot testowy

* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Paweł Sułkowicz (sulkowicz@prz.edu.pl), mgr inż. Piotr Żurek (p_zurek@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl) Katedra Techniki Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

przepływu chłodziwa. W ten sposób zwiększa się dokładność sterowania adaptacyjnego, jednak jest to rozwiązanie droższe.

W obróbce wykorzystano pełnowęglkowy frez o średnicy $\varnothing 10$, wyprodukowany przez firmę Sandvik Coromant. Prędkość obrotowa wrzeciona wynosiła $n = 10\,000$ obr/min, a prędkość posuwu $v_f = 1000$ mm/min. Na potrzeby badań doświadczalnych wykonano przedmiot testowy o czterech kieszeniach charakteryzujących się różnymi kątami naroża (rys. 2). Przedmiot ten frezowano z zachowaniem stałej szerokości skrawania a_e , natomiast głębokość skrawania a_p zmieniała się zgodnie z konturem wyznaczonym przez kieszenie.

Wyniki badań

Badania doświadczalne rozpoczęto od wyznaczenia tzw. krzywej uczącej, czyli zrealizowania jednego przejazdu bez aktywnego sterowania adaptacyjnego, w celu określenia przez układ poziomu odniesienia. Ta krzywa przedstawia przebieg obciążenia wrzeciona w funkcji czasu (rys. 3).

Analiza obciążenia wrzeciona prowadzi do wniosku, że obciążenie wzrasta podczas frezowania po konturze każdej z czterech kieszeni, a spada w momencie przejazdów narzędzia poza materiałem. W przypadku każdej kieszeni zauważalny jest również lokalny wzrost obciążenia w trakcie frezowania naroża konturu, co wynika ze zmiany kąta opasania frezu i tym samym ze wzrostu ilości materiału usuwanego w jednostce czasu.

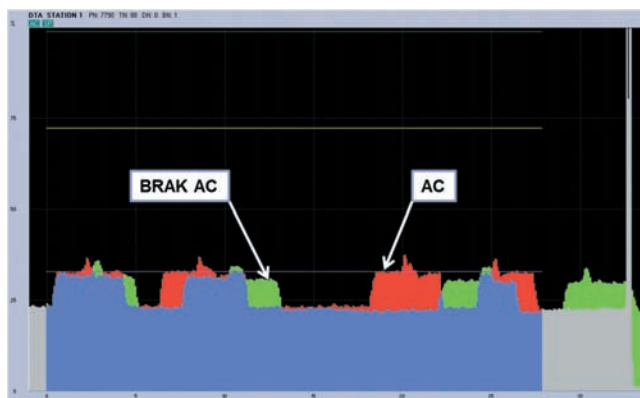
Po wyznaczeniu krzywej uczącej wykonano kolejne przejście obróbkowe z włączonym sterowaniem adaptacyjnym. Określono pole przekroju warstwy skrawanej na poziomie 20 mm^2 . Wykres obciążenia wrzeciona przedstawiono na rys. 4. Wynika z niego, że obróbka z wykorzystaniem sterowania adaptacyjnego (kolor czerwony) trwała ok. 27 s, co w porównaniu z przejściem zrealizowanym bez systemu AC (kolor zielony) oznacza skrócenie czasu skrawania o ok. 7 s. Było to możliwe dzięki zwiększeniu posuwu zarówno w trakcie przejazdów poza materiałem, jak i podczas pracy pod obciążeniem. Da się zauważyć wzrost obciążenia wrzeciona do założonego poziomu – ok. 130%.

W kolejnym przejściu obróbkowym przedmiot frezowano ze zwiększonym polem przekroju warstwy skrawanej, równym 25 mm^2 . Przebieg obciążenia przedstawiono na rys. 5.

Jak widać, w stosunku do obróbki bez układu sterowania adaptacyjnego czas frezowania wydłużył się o ok. 2 s. Układ powodował przyspieszanie narzędzia w trakcie pracy bez obciążenia oraz jego zwalnianie (tak by nie przekraczać określonego maksymalnego poziomu obciążenia): do ok. 85% założonej prędkości – podczas frezowania ścianek, do ok. 70% – podczas frezowania naroży kieszeni.



Rys. 3. Krzywa ucząca (poszczególne numery odpowiadają kieszeniom przedmiotu testowego)



Rys. 4. Obciążenie wrzeciona podczas frezowania z układem adaptacyjnym (kolorem zielonym zaznaczono brak układu AC, a czerwonym i niebieskim – układ AC aktywny)



Rys. 5. Obciążenie wrzeciona podczas frezowania z układem adaptacyjnym dla pola przekroju warstwy skrawanej równego 25 mm^2

Podsumowanie

Zastosowanie sterowania adaptacyjnego może poprawić wydajność obróbki przez zwiększenie wartości posuwu w trakcie pracy z małym obciążeniem, a także podwyższyć dokładność otrzymywanych wyrobów dzięki lepszej kontroli parametrów skrawania. Jednocześnie sterowanie adaptacyjne zwiększa bezpieczeństwo obróbki – chroni narzędzie przed przeciążeniem, które w warunkach przemysłowych może być spowodowane np. wahaniami nadładku na obróbkę czy stępieniem narzędzia.

Można stwierdzić, że układ sterowania adaptacyjnego ARTIS poprawnie realizuje sterowanie prędkością posuwu osi obrabiarki i nadaje się do nadzorowania przemysłowych procesów obróbkowych.

LITERATURA

1. Wu F., Wang T., Lee J. "An online adaptive condition-based maintenance method for mechanical systems". *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol. 24, Iss. 8 (2010): pp. 2985+2995.
2. Burek J., Babiarz R., Sułkiewicz P. „Nadzorowanie procesu frezowania stopów aluminium z zastosowaniem układu sterowania adaptacyjnego”. *Mechanik*. Nr 8–9 (2015): s. 551+558.
3. Dokumentacja techniczna systemu ARTIS.
4. Abele E., Altintas Y., Brecher C. "Machine tool spindle units". *Manufacturing Technology*. Vol. 59, Iss. 2 (2010): pp. 781+802.
5. Sun Y., Jia Z., Ren F., Guo D. "Adaptive feedrate scheduling for NC machining along curvilinear paths with improved kinematic and geometric properties". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 36, Iss. 1 (2008): pp. 60+68.
6. Soichi B., Takuya S. "A long-term control scheme of cutting forces to regulate tool life in end milling processes". *Precision Engineering*. Vol. 34, Iss. 4 (2010): pp. 675+682.