

Dr hab. inż. Jan BUREK, prof. PRz;
dr inż. Robert BABIARZ,
mgr inż. Paweł SUŁKOWICZ (Politechnika Rzeszowska):

NADZOROWANIE PROCESU WYSOKOWYDAJNEGO FREZOWANIA STOPÓW ALUMINIUM Z ZASTOSOWANIEM UKŁADU STEROWANIA ADAPTACYJNEGO

Streszczenie

Przedstawiono układ sterowania adaptacyjnego i wyniki badań procesu wysokowydajnego frezowania stopu aluminium AlZn5.5MgCu na 5-osiowej frezarce HSC 55 Linear, z wykorzystaniem sygnału prądu silnika napędowego wrzeciona. Omówiono efekty ekonomiczne zastosowania tego sterowania w optymalizacji procesu frezowania wysokowydajnego części złożonych.

Słowa kluczowe: frezowanie, nadzorowanie, sterowanie adaptacyjne

MONITORING OF THE HPC MILLING OF ALUMINUM ALLOYS USING ADAPTIVE CONTROL SYSTEM

Abstract

This paper will present using an adaptive control system during the high-performance milling of aluminum alloy AlZn5.5MgCu. The diagnostics of the machining process based on the spindle current signal will be performed in the 5-axis milling center HSC 55 Linear. The economical advantages of implementing adaptive control system for optimizing high-performance milling of complex parts will be presented.

Keywords: milling, monitoring, adaptive control

NADZOROWANIE PROCESU WYSOKOWYDAJNEGO FREZOWANIA STOPÓW ALUMINIUM Z ZASTOSOWANIEM UKŁADU STEROWANIA ADAPTACYJNEGO

Jan BUREK¹, Robert BABIARZ¹, Paweł SUŁKOWICZ¹

1. WSTĘP

Dzięki wzrastającemu zastosowaniu w technologii wytwarzania nowoczesnego sprzętu komputerowego, a zwłaszcza układów mikroprocesorowych, uzyskuje się nowe możliwości sterowania przebiegiem procesu produkcyjnego, jego optymalizacji i nadzorowania. W tym celu podczas procesu obróbkowego mierzone są jego wielkości charakterystyczne. Następnie za pomocą nowoczesnych algorytmów przetwarzania można w czasie rzeczywistym (on-line), na ich podstawie korygować nie tylko wartości parametrów nastawczych procesu, ale i obliczać wartości parametrów dla nadzorowania.

Monitorowanie procesów skrawania na obrabiarkach CNC służy zwiększeniu produktywności przy zachowaniu odpowiedniej jakości uzyskiwanych wyrobów i trwałości narzędzi. Systemy diagnostyki z użyciem pomiaru parametrów takich jak siła skrawania, drgania czy emisja akustyczna pomimo wielu lat badań i rozwoju wciąż nie znalazły szerszego zastosowania w przemysłowych obrabiarkach. Wynika to z faktu braku dostępności tanich i precyzyjnych urządzeń pomiarowych, które pozwalają na monitorowanie zmiennych i często nieprzewidywalnych parametrów obróbkowych [6].

W obróbce skrawaniem, a zwłaszcza w obróbce wysokowydajnej, szybkość usuwania materiału to istotny parametr, który determinuje efektywność procesu. W klasycznych rozwiązaniach, parametry skrawania (np. prędkość obrotowa wrzeciona czy posuw) są zdefiniowane na stałym poziomie w czasie trwania danej operacji.

¹ Politechnika Rzeszowska, Katedra Techniki Wytwarzania i Automatykacji, 35-959 Rzeszów, ul. W. Pola 2

W rezultacie trudno jest uzyskać maksymalną efektywność obróbki bez wykorzystania monitorowania i kontroli procesu w czasie rzeczywistym [5].

Stąd też wprowadza się w nowoczesnych maszynach do obróbki wysokowydajnej systemy sterowania adaptacyjnego (AC), które umożliwiają dostosowywanie wartości parametrów obróbki do rzeczywistego stanu procesu, w zależności od zużycia narzędzia skrawającego, zmiany przekroju warstwy skrawanej, wzrostu obciążenia wrzeczona narzędzia itp.

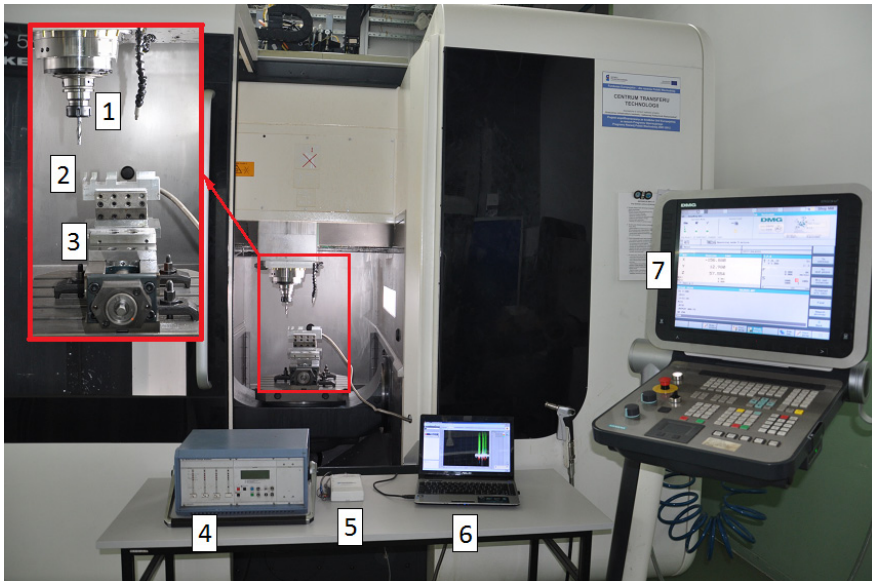
Istotą działania systemów sterowania adaptacyjnego jest monitorowanie warunków obróbki przy jednoczesnym zwiększaniu posuwu do maksymalnego możliwego poziomu w danej chwili czasu, a także w razie potrzeby zmniejszaniu posuwu, czy nawet całkowitego jego zatrzymania w przypadku wystąpienia przeciążenia wrzeczona, zużycia czy uszkodzenia narzędzia. Z punktu widzenia sposobu działania sterowania adaptacyjnego systemy te możemy podzielić na dwie grupy. Pierwszą z nich stanowią systemy offline, które działają w oparciu o wygenerowany program źródłowy. Poprzez symulację obróbki system dostosowuje prędkość posuwu w oparciu o zmianę pola przekroju warstwy skrawanej. Przykładem takiego oprogramowania są m.in. Vericut z modułem Optipath firmy CGTech, a także Production Module firmy Third Wave Systems. Drugą grupę stanowią systemy działające w czasie rzeczywistym. Są one zintegrowane bezpośrednio z obrabiarką i umożliwiają zmianę posuwu w trakcie trwania obróbki. Są to tzw. systemy online, których przykładem jest oprogramowanie Artis firmy Marposs [2, 4].

Zastosowanie systemów AC ma szczególne znaczenie w obróbce ubytkowej stopów aluminium, gdzie objętość usuwanego materiału jest często bardzo duża. Przykładowo przy frezowaniu wręgów dla przemysłu lotniczego, zeskrwany materiał może stanowić nawet do 90% masy półfabrykatu [3]. W obróbce tej wyróżnia się dwa zasadnicze trendy. Pierwszy opiera się na skrawaniu z dużymi prędkościami obrotowymi wrzeczona – obróbka HSC (High Speed Cutting). Uzyskujemy wtedy kilkukrotny wzrost prędkości skrawania v_c w porównaniu z frezowaniem konwencjonalnym. Proces ten stosowany jest głównie w obróbce wykończeniowej [3].

Drugą metodą jest obróbka HPC (High Performance Cutting). Jej celem jest usuwanie maksymalnej objętości materiału w jednostce czasu. Jest to możliwe ze względu na stosowanie maksymalnych możliwych wartości posuwu f_t oraz głębokości skrawania a_p i szerokości skrawania a_e . Głębokość skrawania wynosi z reguły od 1 do 1.5 średnicy freza, natomiast szerokość skrawania wynosi 60-100% średnicy narzędzia [1]. Biorąc pod uwagę wysokie wartości parametrów technologicznych proces HPC jest zwykle stosowany jako obróbka zgrubna. Celem obróbki HPC jest skrócenie czasu obróbki poprzez redukcję czasów głównych (wysoka wydajność ubytkowa) oraz ograniczenie liczby przejęć obróbkowych.

2. WARUNKI BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań było określenie efektów zastosowania układu AC na przebieg obróbki HPC stopów aluminium. Badania zostały wykonane na 5-osiowym centrum obróbkowym HSC 55 Linear firmy DMG wyposażonej w układ sterowania SINUMERIK 840D wraz z układem sterowania adaptacyjnego ARTIS (rys.1). Przedmiot obrabiany wykonany ze stopu aluminium AlZn5.5MgCu zamocowano w uchwycie wyposażonym w piezoelektryczny siłomierz firmy Kistler typu 9121 umożliwiający pomiar wartości trzech składowych siły skrawania.

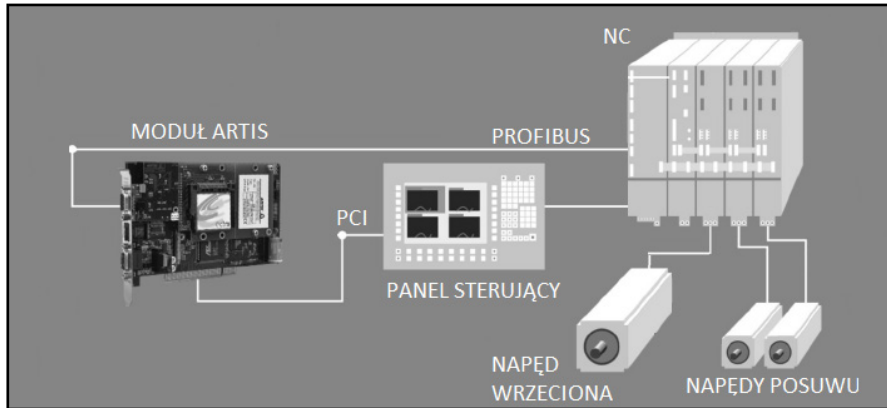


Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – frez, 2 – przedmiot testowy, 3 – siłomierz piezoelektryczny, 4 – wzmacniacz, 5 – przetwornik A/C, 6 – komputer, 7 – pulpit sterownika z modułem Artis

Testowano firmowy układ AC z modułem ARTIS firmy Marposs [1]. Część sprzętową układu stanowi karta komputerowa łącząca się z komputerem przemysłowym obrabiarki za pomocą magistrali Profibus (rys. 2). Połączenie między modułem Artis a panelem sterującym zrealizowane jest na złączu PCI.

Dzięki monitorowaniu mocy wrzeciona P_w obrabiarki, system automatycznie dostosowuje wartości posuwu roboczego, w zadanych wcześniej granicach tak aby w każdej chwili wykorzystać maksymalną dostępną moc wrzeciona. Na początku oraz na końcu przejścia obróbkowego, jak również w trakcie ruchu narzędzia bez obciążenia ustawiany jest maksymalny posuw. W momencie kontaktu narzędzia z materiałem obrabianym posuw zostaje natychmiast zredukowany do posuwu robo-

czego i dalej dopasowywany odpowiednio do zmierzonej mocy wrzeciona w danej chwili czasu.

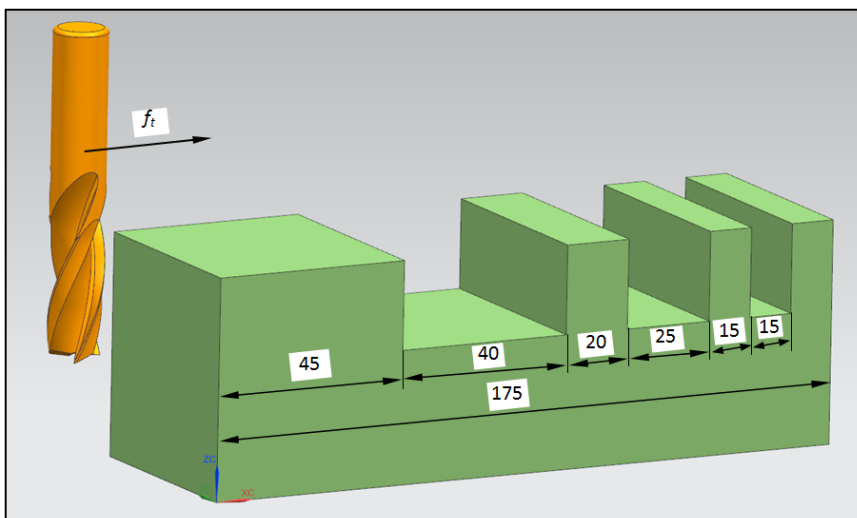


Rys. 2. Schemat systemu AC typu Artis [2]

Badania doświadczalne zrealizowano frezując przedmiot testowy o zróżnicowanej grubości ścianek przy zachowaniu stałej szerokości frezowania (rys.3).

Obróbkę realizowano za pomocą pełnowęglkowego frezu firmy Sandvik Coromant o średnicy 10 mm. Podczas frezowania rejestrowano składowe siły skrawania F_t , F_r oraz sygnał wartości skutecznej prądu I_w silnika napędu wrzeciona głównego. Prąd silnika rejestrowano za pomocą czujnika o zakresie 0-300 A i czułości 10mV/A typu APPA15 firmy APPA Tech. Wartość skuteczną sygnału ΔI_w obliczano w programie pomiarowym jako różnicę wartości skutecznej sygnału rejestrowanego w czasie obróbki oraz wartości zarejestrowanej przy załączonym wrzecionie bez obciążenia.

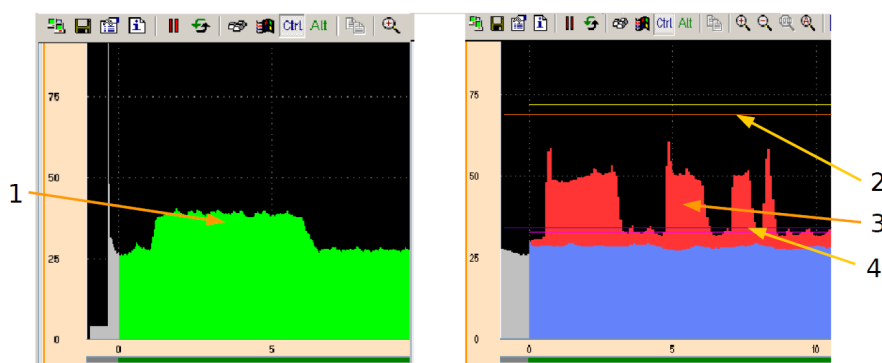
W początkowej fazie badań przeprowadzono tzw. cykl kalibracyjny, w którym określono wartości odniesienia dla programu sterującego (rys. 4). Jako ograniczenie przyjęto zwiększenie wartości posuwu do 150% wartości nastawionej.



Rys. 3. Przedmiot testowy

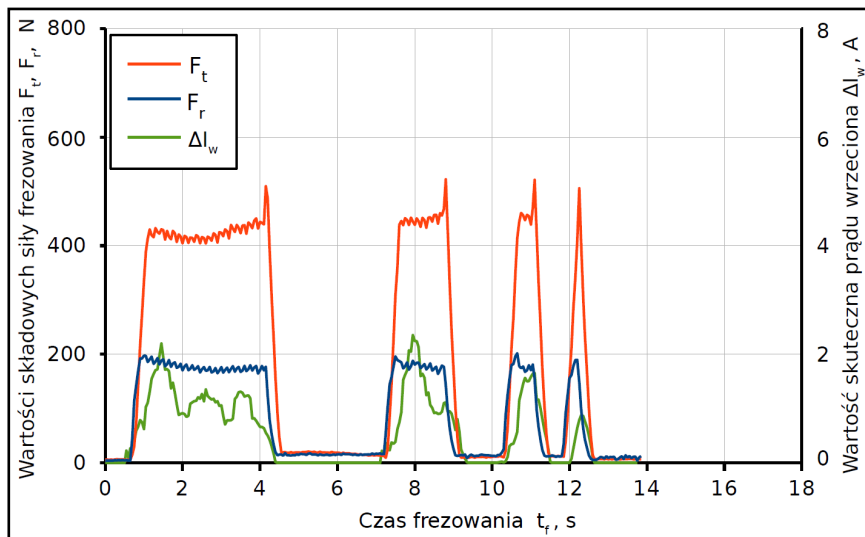
3. WYNIKI BADAŃ

Badania wykonano dla prędkości obrotowej wrzeciona $n=10000$ obr./min, prędkości skrawania $v_c=314$ m/min oraz głębokości skrawania $a_p=10$ mm. Prędkość posuwu roboczego wynosiła $f_r=1200$ mm/min. Badania przeprowadzono z układem AC i bez układu AC.

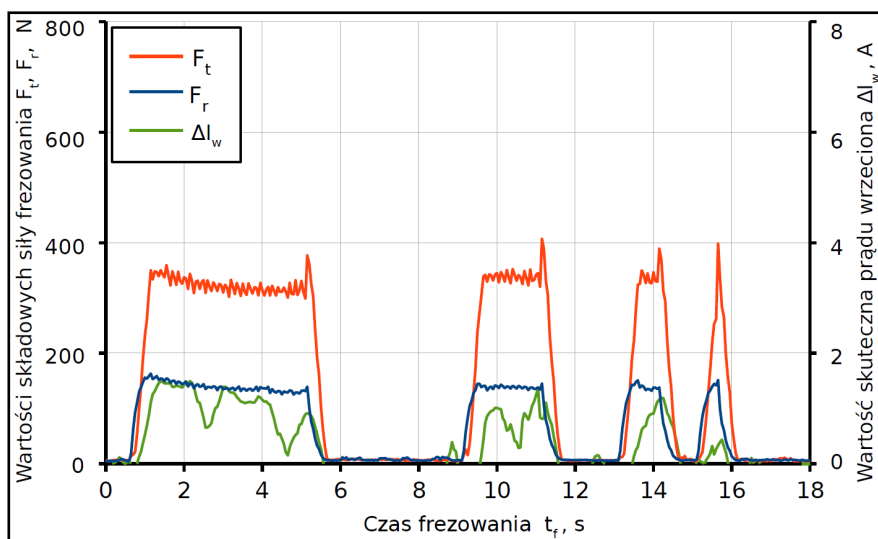


Rys. 4 Przebiegi sygnałów obciążenia wrzeciona w programie Artis, 1- przebieg sygnału w cyklu kalibracyjnym, 2- maksymalna dopuszczalna wartość sygnału wejściowego, 3- przebieg sygnału w cyklu roboczym, 4- minimalna wartość sygnału (poziom odniesienia)

Przebiegi składowych F_t i F_r siły skrawania, a także wartości skutecznej prądu wrzeźnia ΔI_w przedstawiono na rys. 5 i rys. 6.



Rys. 5. Przebiegi wartości składowych siły frezowania F_t , F_r oraz wartości skutecznej prądu silnika wrzeźnia ΔI_w dla cyklu frezowania z włączonym układem Artis



Rys. 6. Przebiegi wartości składowych siły frezowania F_t , F_r oraz wartości skutecznej prądu silnika wrzeźnia ΔI_w dla cyklu frezowania z wyłączonym układem Artis

Z przedstawionych przebiegów wynika, że czas obróbki z zastosowaniem układu AC został skrócony o ok. 4 s, w stosunku do obróbki bez układu AC. Czas obróbki dla testowanej próbki wyniósł ok. 12 s na skutek zwiększenia prędkości posuwu f_i (rys. 5). Wartości maksymalne zarejestrowanych składowych siły frezowania wyniosły odpowiednio $F_x=500\text{N}$ a $F_y=200\text{N}$. Zarejestrowany przebieg prądu wykazuje znaczne wahania wartości w zakresach pracy narzędzia. W przypadku obróbki bez układu AC czas trwania procesu wyniósł ok. 16 s.

4. PODSUMOWANIE

W wyniku zastosowania układu automatycznej regulacji prędkości posuwu w procesie przez układ AC istnieje możliwość uzyskania znaczących oszczędności czasu obróbki. Dla założonego kształtu przedmiotu obrabianego oraz wybranych parametrów technologicznych wynosił on ponad 23%. Jednocześnie układ monitorując wartość prądu silnika wrzeczona ma możliwość wykrywania wystąpienia stanów awaryjnych spowodowanych np. zalepianiem rowka wiórowego przez wióra, stępieniem czy wykruszeniem ostrza freza. W tym przypadku można zapobiec uszkodzeniu przedmiotu obrabianego, narzędzia czy obrabiarki przez automatyczne zatrzymanie posuwu i przerwanie pracy programu obróbkowego. Jest to bardzo istotny problem w obróbce HPC.

Podsumowując można stwierdzić, że przemysłowy układ AC typu Artis może być z powodzeniem stosowany do nadzorowania obróbki HPC.

LITERATURA

- [1] BUREK J., PŁODZIŃ M., Wysoko wydajna obróbka części ze stopów aluminium o złożonych kształtach, , *Mechanik* 7(2012), 542-549.
- [2] Dokumentacja techniczna systemu ARTIS.
- [3] GRZESIK W., *Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling and Applications*, Oxford, Elsevier Science, 2008, 20-26.
- [4] PŁODZIŃ M., BABIARZ R., MAZUR D., ŻYŁKA Ł., *Sterowanie adaptacyjne procesem frezowania HPC*, *PAK* 59 (2013) , 1140-1142.
- [5] RIVERO L. N., LOPEZ L., LUZ P., *Tool wear detection in dry high-speed milling based upon the analysis of machine internal signals*, *Mechatronics* 18 (2008), 627-633.
- [6] SOICHI B., TAKUYA S., *A long-term control scheme of cutting forces to regulate tool life in end milling processes*, *Precision Engineering* 34 (2010), 675-682.