

# Zastosowanie systemu Omatic w obróbce łopatki turbiny ze stopu Inconel 718

## Adoption of the Omatic system in Inconel 718 turbine blade machining

JAN BUREK  
PAWEŁ SUŁKOWICZ  
MICHAŁ GDULA  
JAROSŁAW BUK  
MARCIN SAŁATA \*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.1.3>

W pracy przedstawiono zastosowanie układu sterowania adaptacyjnego Omatic do monitorowania stanu narzędzia podczas obróbki łopatki turbiny ze stopu Inconel 718.

**SŁOWA KLUCZOWE:** frezowanie, łopatka turbiny, sterowanie adaptacyjne, Inconel 718

*This paper presents a research focusing on adopting adapting control system Omatic for tool condition monitoring during milling of Inconel 718 turbine blade.*

**KEYWORDS:** milling, turbine blade, adaptive control, Inconel 718

Współczesny przemysł lotniczy stawia coraz wyższe wymagania wobec produkowanych podzespołów, a jednocześnie dąży do osiągnięcia jak największej wydajności i maksymalnego zysku. Nowe rozwiązania konstrukcyjne sprawiają, że konieczne jest stosowanie specjalnych materiałów, takich jak superstopy żaroodporne. Są to stopy na bazie niklu, kobaltu lub żelaza. Spośród nich jedno z najlepszych właściwości ma Inconel 718 [1, 2].

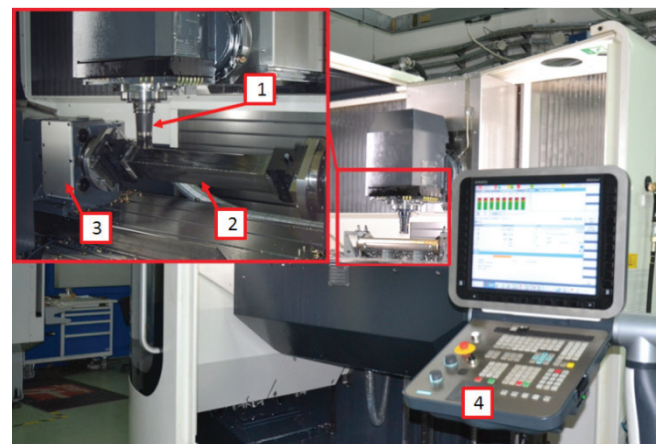
Zalety tego stopu są istotne zwłaszcza w tych miejscach silników lotniczych, które są poddawane największym obciążeniom. Łopatki turbiny pracują w najtrudniejszych pod względem przenoszonych obciążeń i temperatury warunkach. Prędkość końca łopatki osiąga 390 m/s, temperatura gazów – nawet 1200°C, a ich prędkość – 600 m/s. Materiał łopatki turbiny oprócz wysokiej wytrzymałości musi się charakteryzować wysoką żaroodpornością, a także wysokotemperaturową odpornością na pełzanie, odpornością na korozję i utlenianie oraz wysoką twardością. Istotna jest ponadto gęstość stopu, która ma wpływ na ciężar silnika i ma znaczenie przy generowaniu sił odśrodkowych [3, 4].

Inconel 718 jest jednym z materiałów najtrudniejszych w obróbce. Kształtowanie zamków łopatek jest obecnie z powodzeniem realizowane w procesie szlifowania z posuwem pełzającym CFG (Creep-Feed Grinding). Metoda ta pozwala na wydajne obrabianie elementów wykonanych z superstopów i innych trudnoobrabialnych materiałów. Umożliwia szlifowanie części już po obróbce cieplnej oraz zapewnia wysoką jakość powierzchni [5]. Natomiast w przypadku powierzchni swobodnych piór łopatek metodą ich wykonywania jest proces symultanicznego pięcioosiowego frezowania. Z uwagi na stopień skomplikowania tej obróbki, występowanie wysokich wartości składowych siły

frezowania oraz wysoki koszt materiału obrabianego i narzędzi zasadne jest stosowanie systemów monitorujących poprawność przebiegu procesu skrawania. Opierają się one na pomiarze wybranych wielkości fizycznych, takich jak: siła skrawania, drgania, moc i moment silnika, emisja akustyczna czy przepływ chłodziwa. Zmierzone sygnały (po ich obróbce) służą do uzyskania miar procesu, które umożliwiają m.in. zastosowanie sterowania adaptacyjnego AC oraz wykrywanie styku narzędzia z przedmiotem obrabianym, stanów alarmowych czy zużycia narzędzia [6, 7].

### Warunki badań

Celem przeprowadzonych badań było zastosowanie systemu Omatic do monitorowania stanu narzędzia podczas frezowania stopu Inconel 718. Działanie tego systemu opiera się na rejestrowaniu sygnału prądu  $I_w$  wrzeczona lub silników osi liniowych obrabiarki – na tej podstawie można określić poziom zużycia narzędzia w czasie rzeczywistym. Badania doświadczalne zrealizowano na stanowisku badawczym opartym na pięcioosiowym centrum obróbkowym DMU 100 monoblock firmy DMG (rys. 1).



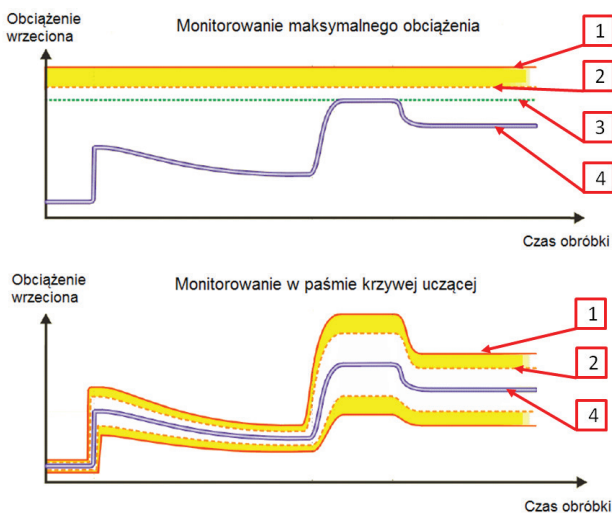
Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – frez toroidalny, 2 – przedmiot obrabiany, 3 – podzielnica, 4 – układ sterowania wraz z systemem Omatic

Badania zostały przeprowadzone podczas zgrubnego frezowania pióra łopatki turbiny ze stopu Inconel 718 frezem toroidalnym pięcioostrzowym o średnicy  $d = 50$  mm firmy Sandvik Coromant. Parametry skrawania wyniosły: prędkość skrawania  $v_c = 40$  m/min, głębokość skrawania  $a_p = 1,15$  mm, szerokość skrawania  $a_e = 30$  mm, posuw na ostrze  $f_z = 0,15$  mm/ostrze. Przedmiot obrabiany zamocowano w podzielnicy z wykorzystaniem wstępnego naciągu. Program obróbkowy wykonano w systemie NX10.

\* Dr hab. Inż. Jan Burek prof. PRZ (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Paweł Sułkowicz (sulkowicz@prz.edu.pl), mgr inż. Michał Gdula (gdulam@prz.edu.pl), mgr inż. Jarosław Buk (jbuk@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl) – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

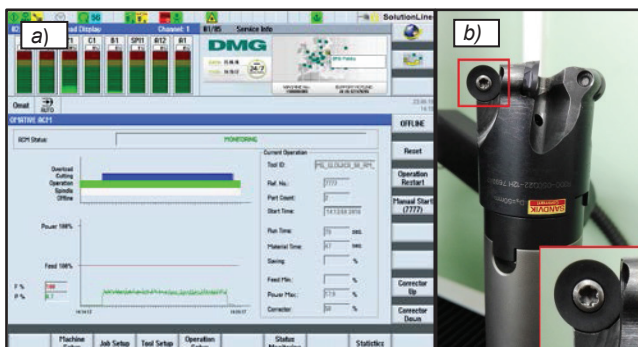
## Wyniki badań

Badania doświadczalne rozpoczęto od frezowania przedmiotu obrabianego w trybie uczącym systemu Omative. W tym celu należy określić szereg parametrów, w tym: parametry narzędzia i materiału obrabianego, graniczne wartości obciążenia, rodzaj strategii monitorowania czy warunki obróbki. Następnie frezowano przedmiot obrabiany nowym narzędziem aż do jego zużycia. W rezultacie zarejestrowano tzw. krzywą uczącą obciążenia, stanowiącą podstawę do wykorzystania systemu w monitorowaniu stanu zużycia narzędzia. Następnie należy określić rodzaj strategii – monitorowanie maksymalnego obciążenia (Maximum Load Monitoring) lub monitorowanie obciążenia w paśmie krzywej uczącej (Load Band Monitoring). W przypadku pierwszej strategii podczas obróbki układ porównuje aktualnie mierzone obciążenie wrzeciona z maksymalnym obciążeniem zarejestrowanym w trybie uczącym (co 100 ms). Z kolei druga strategia umożliwia porównywanie w czasie rzeczywistym mierzonego obciążenia z tym zarejestrowanym w przejściu uczącym (rys. 2).



Rys. 2. Porównanie strategii monitorowania stanu narzędzia: 1 – poziom alarmu, 2 – poziom ostrzeżenia, 3 – maksymalne zarejestrowane obciążenie, 4 – krzywa ucząca

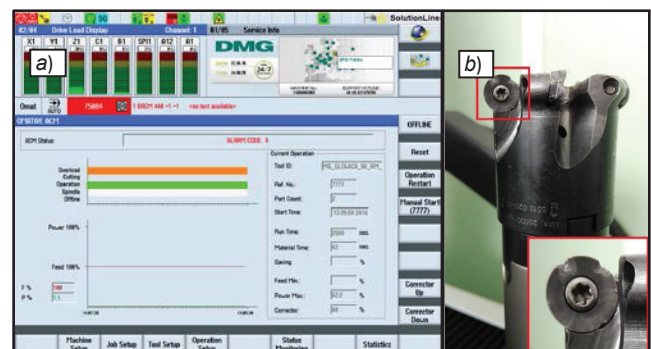
Po wykonaniu przejścia uczącego do badań przyjęto strategię monitorowania w paśmie krzywej uczącej. Po wpisaniu odpowiednich komend układu Omative do programu NC oraz określeniu szerokości pasma krzywej uczącej, która musi być większa od obciążenia wrzeciona przy zadanej prędkości obrotowej bez obróbki, przystąpiono do frezowania z aktywnym trybem monitorowania stanu narzędzia (rys. 3).



Rys. 3. Okno monitorowania systemu Omative podczas frezowania (a) oraz widok nowego frezu toroidalnego (b)

Monitorowanie stanu narzędzia z zastosowaniem systemu Omative pozwala na wykrywanie: zużycia narzędzia, nadmiernego obciążenia frezu (spowodowanego np. wahaniami nadkładu czy lokalnymi utwardzeniami materiału), braku narzędzia czy jego złamania. Ponadto istnieje możliwość odpowiednio wczesnego wykrycia błędów programowania czy ustawienia przedmiotu obrabianego i w rezultacie – zapobiegania uszkodzeniu narzędzia lub obrabiarki.

Podczas frezowania zgrubnego pióra łopatki użyto 60 krawędzi płytek skrawających. Dziesięć razy osiągnięto poziom ostrzeżenia, co oznacza, że system wykrył zużycie narzędzia, lecz pozwolił programowi na dokończenie przejścia obróbkowego – zatrzymanie w celu zmiany frezu nastąpiło w momencie, gdy znajdował się on poza materiałem (rys. 4). Dwukrotnie osiągnięto poziom alarmu, który skutkowało natychmiastowym zatrzymaniem obrabiarki i wyświetleniem komunikatu o konieczności wymiany narzędzia. Średni czas pracy frezu był zbliżony do deklarowanego przez producenta i wyniósł ok. 42 min.



Rys. 4. Okno monitorowania systemu Omative po wykryciu zużycia narzędzia (a) oraz widok zużytego frezu toroidalnego (b)

## Podsumowanie

Zastosowanie systemu Omative może poprawić wydajność procesu skrawania poprzez dostosowanie czasu pracy narzędzia do rzeczywistych warunków obróbki, a dzięki temu – wydłużyć jego okres eksploatacji w porównaniu ze stałym czasem pracy zalecanym przez producenta. Ponadto układ ten, monitorując na bieżąco obciążenie wrzeciona, w niektórych przypadkach jest w stanie uchronić narzędzie i obrabiarkę przed uszkodzeniem. Z uwagi na wykorzystanie sygnału prądu wrzeciona do monitorowania obciążenia nie zachodzi konieczność instalowania dodatkowych czujników w przestrzeni roboczej obrabiarki, które często są drogie i uciążliwe w montażu.

## LITERATURA

- Ocoś K. „Rozwój innowacyjnych technologii ubytkowego kształtowania materiałów”. *Mechanik*. 8–9 (2002): s. 537–550.
- Reed C. „*The Superalloys: Fundamentals and Applications*”. New York: Cambridge University Press, 2006.
- Oguz C. „Investigation on machining performance of Inconel 718 under high pressure cooling conditions”. *Journal of Mechanical Engineering*. 58, 11 (2010): s. 683–690.
- Zhu D., Zhang X., Ding H. „Tool wear characteristics in cutting of nickel-based superalloys”. *Int J Mach Tools Manuf.* 64, 1 (2013): s. 60–77.
- Babiarz R., Żyłka Ł., Płodzień M., Sułkowicz P. „Nadzorowanie stanu ściernicy w szlifowaniu CFG z wykorzystaniem sygnałów akustycznych”. *Mechanik*. 8–9 (2015): s. 1–3.
- Omative Adaptive Control and Monitoring for Sinumerik – User Manual*. Omative Systems (2012).
- Burek J., Babiarz R., Sułkowicz P. „Nadzorowanie procesu wysokowydajnego frezowania stopów aluminium z zastosowaniem układu sterowania adaptacyjnego”. *Mechanik*. 8–9 (2015): s. 551–558. ■