

Tadeusz MIKOŁAJCZYK

e-mail: tami@utp.edu.pl

Zakład Inżynierii Produkcji, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Sposoby intensyfikacji dogładowania oscylacyjnego

Wstęp

Wzrost zapotrzebowania na powierzchnie o niskiej chropowatości i dobrych właściwościach eksploatacyjnych powierzchni rozszerza zakres zastosowań dogładowania oscylacyjnego [Weiss, 1999; Nowicki i Dynarowski, 2000; Kacalak i in., 2002; Dąbrowski, 2005; Oczos i Habrat, 2008; SupFina, 2014].

Dotychczasowe dogładowanie oscylacyjne prowadzone jest najczęściej jako dwustopniowe i realizowane jest według zaleceń uwzględniających warunki powtarzalności czy krzyżowania się śladów [Weiss, 1999; Dąbrowski, 2005]. Obrabia się zarówno powierzchnie obrotowe, jak i nieobrotowe, czego przykładem jest nowe rozwiązanie układu dogładowania oscylacyjnego powierzchni kształtowych [Nowicki i Dynarowski, 2000].

Pojawiają się też nowe zakresy zastosowań, jak dogładowanie oscylacyjne kół zębatach z wykorzystaniem docieraków zębatach pokrytych galwanicznie ziarnami ze sztucznego diamentu, które zapewniają usunięcie nadmiaru rzędu 80 mm [Oczos i Habrat, 2008].

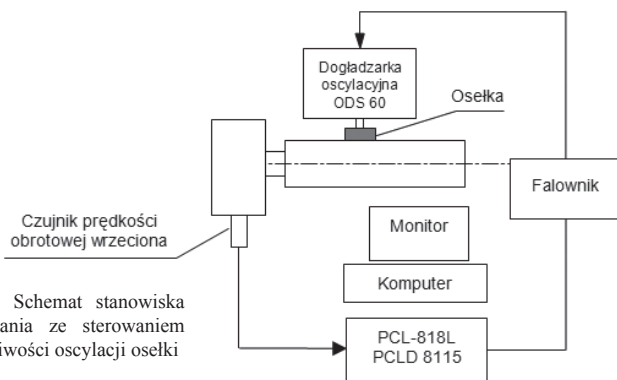
Nowym kierunkiem jest dogładowanie oscylacyjne foliami ściernymi [Weiss 1999; Kacalak i in., 2002]. Dogładowanie oscylacyjne należy do technik obróbek wykończeniowych zapewniających uzyskanie powierzchni o dużej gładkości. W procesie tej obróbki podstawowym strumieniem energii zapewniającym usuwanie nierówności jest ruch oscylacyjny oselki. Odpowiedni dobór parametrów obróbki sprzyja intensyfikacji usuwania nadmiaru obróbkowego.

Sposobem zwiększenia wydajności procesu obróbki ścierniej jest zastosowanie obróbki hybrydowej z elektrochemicznym roztwarzaniem nadmiaru obróbkowego [Skoczywiec i in., 2013]. Procesy takie potwierdziły już swoją skuteczność w zastosowaniu np. do elektrochemicznego honowania [Dąbrowski, 2008].

W pracy przedstawiono opracowane w Zakładzie Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy sposoby intensyfikacji dogładowania oscylacyjnego poprzez komputerowe sterowanie częstotliwością drgań oselki oraz poprzez zastosowanie dogładowania hybrydowego, elektrochemicznego ścierniej techniki usuwania nadmiaru obróbkowego.

Stanowisko badawcze

Opracowano specjalne stanowisko z możliwością sterowania częstotliwością oscylacji (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat stanowiska dogładowania ze sterowaniem częstotliwością oscylacji oselki

W układzie sterowanego dogładowania oscylacyjnego zastosowano podłączoną do falownika dogładowarkę oscylacyjną. Częstotliwość prądu sieci zasilającej silnik dogładowarki oscylacyjnej, generowanego przez falownik, sterowana była sygnałem napięciowym przez kartę A-C mikrokomputerem IBM.

W skład stanowiska wchodzi dogładowarka oscylacyjna ODS 60 zamocowana na tokarce SBN 400. Silnik urządzenia oscylacyjnego podłączono do falownika FREQVAR 2000 (produkcji polskiej). Falownik ten o mocy 2 kW zasilany prądem przemiennym o napięciu 230V generuje prąd trójfazowy o częstotliwości -120 Hz do +120 Hz.

Zmiany częstotliwości dokonuje się potencjometrem lub też zewnętrznym sygnałem napięciowym, co wykorzystano w niniejszej pracy. Falownik podłączono do komputera PC poprzez interfejs PCLD 8141 skojarzony z wyjściem analogowym karty PCL 816L. Umożliwia to sterowanie prędkości obrotowej w szerokim zakresie włącznie z możliwością zwiększenia jej powyżej nominalnej prędkości obrotowej.

Wyznaczanie trajektorii ruchu oscylacyjnego wymaga, przy określonej średnicy powierzchni obrabianej, również określenia prędkości obrotowej przedmiotu obrabianego. Opracowany układ, z uwagi na brak drugiego falownika, obecnie nie ma możliwości sterowania tym parametrem. Zastosowano jednak układ odczytu rzeczywistej prędkości obrotowej przy użyciu czujnika indukcyjnego. System zliczania impulsów połączono poprzez interfejs PCLD 8141 z wejściem cyfrowym karty pomiarowej. Dla celów sterowania sporządzono charakterystykę regulacji częstotliwości oscylacji (Rys. 2). Charakterystykę tę uzyskano przy sterowaniu poziomem napięcia na wyjściu analogowym karty PCL 818L.



Rys. 2. Wpływ częstotliwości prądu na ruch oscylacyjny

Intensyfikacja obróbki dogładowaniem oscylacyjnym

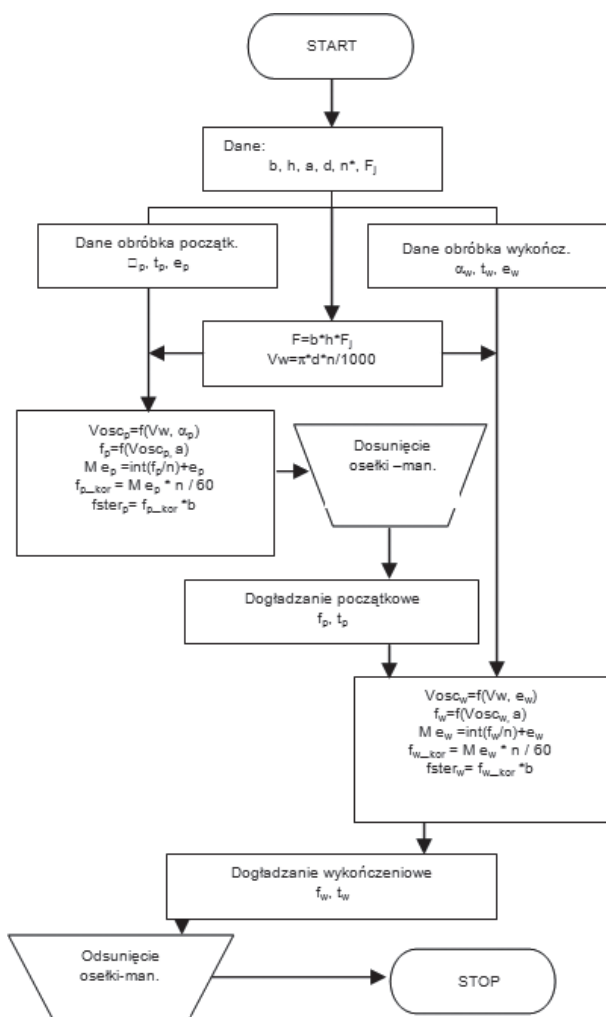
Przy wykorzystaniu przedstawionego stanowiska dokonano prób zwiększenia wydajności obróbki przez zastosowanie:

- automatyzacji obróbki dogładowaniem przez obróbkę dwustopniową,
- ciągłą zmianę oscylacji w czasie procesu obróbki,
- obróbki hybrydowej z udziałem roztwarzania elektrochemicznego.

Sterowanie dwustopniowym dogładowaniem oscylacyjnym

Opracowane stanowisko oprócz możliwości sterowania w czasie obróbki częstotliwością oscylacji umożliwia również automatyczną realizację tradycyjnych algorytmów dogładowania [Weiss, 1999]. Możliwy jest np. dobór optymalnych skojarzeń parametrów oscylacji do prędkości obwodowej przedmiotu zarówno dla obróbki jednostopniowej jak i dwustopniowej z uwzględnieniem innych warunków obróbki takich, jak materiał obrabiany i gatunek materiału oselki.

Opracowany system sterowania obsługiwany jest przez specjalnie opracowany program zawierający procedury określania napięcia sterującego falownika oraz procedurę obsługi toru pomiarowego prędkości obrotowej wrzeciona. Algorytm systemu sterowania przedstawiono na rys. 3. Na podstawie danych wejściowych algorytm ten w oparciu o podaną średnicę powierzchni obrabianej, amplitudę ruchu oscylacyjnego, zadaną prędkość obrotową (nie podlega sterowaniu) oraz stosownie do zadanych wartości kątów skrzyżowania śladów dobiera wartości częstotliwości oscylacji zapewniające optymalne warunki krzyżowania śladów obróbki [Weiss 1999] określone parametrem e . Zastosowanie automatyzacji zmiany parametrów obróbki umożliwia wzrost wydajności procesu.



Rys. 3. Algorytm sterowania stanowiskiem: b, h – wymiary osełki, n – prędkość obrotowa wrzeciona, a – amplituda skoku osełki, F_j – nacisk jednostkowy osełki, V_{osc} – prędkość ruchu oscylacyjnego, V_w – prędkość obwodowa wałka, F – siła docisku osełki, a – kąt skrzyżowania śladów, f – częstotliwość oscylacji, f_{ster} – częstotliwość falownika, t – czas obróbki

Wymiary osełki, nacisk jednostkowy służą do wyznaczenia siły docisku jaką należy nastawić. Jednocześnie algorytm nadzoruje czasy dogładania wstępnego i automatycznie przechodzi w stan obróbki wykończeniowej, po czym sygnalizuje koniec obróbki. Zwiększenie prędkości obwodowej zalecane w fazie wykończeniowej [Weiss, 1999] wymaga przerwania procesu obróbki. W przypadku zastosowania sterowania prędkością obrotową wrzeciona i odpowiedniego elementu wykonawczego sterującego dosuwem narzędzia możliwa jest w przyszłości pełna automatyzacja procesu obróbki z uwzględnieniem korekty siły docisku w procesie.

W oparciu o przedstawiony algorytm zrealizowano specjalny program sterujący opracowany w VB6 (Rys. 4). Jest to środowisko dogodne do realizacji sterowania również z możliwością wykorzystania akwizycji obrazu z użyciem kamery cyfrowej do oceny stanu powierzchni [Mikolajczyk, 2012]. Forma główna programu zawiera cztery panele.

Panel Dane posiada interaktywne pola do podawania danych wejściowych.

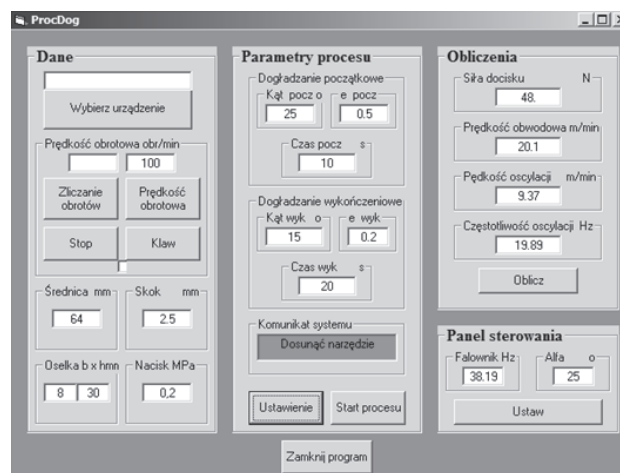
Panel Parametry procesu przyjmuje parametry dotyczące etapów obróbki dwustopniowej, jak:

- kąt skrzyżowania śladów,
- czas obróbki,
- parametr e .

Program proponuje domyślne wartości parametrów. Jednocześnie program wyposażony jest w tabelę umożliwiającą dobór parametrów na podstawie literatury [Weiss, 1999].

Panel Obliczenia podaje wyniki obliczeń, jak:

- nacisk powierzchniowy,



Rys. 4. Widok ekranu programu sterowania

- prędkość obwodowa,
- prędkość oscylacji,
- częstotliwości ruchu oscylacyjnego.

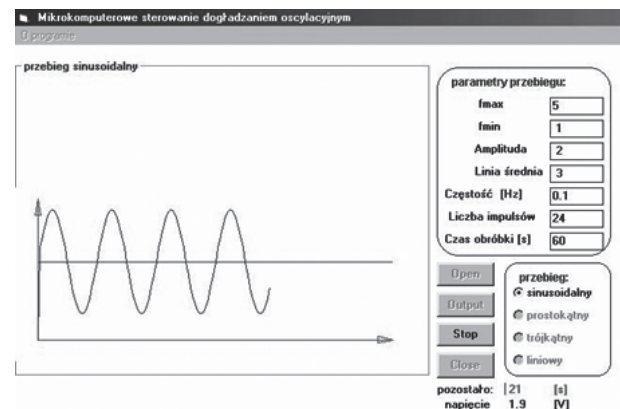
Wartość siły należy nastawić na suwalce dla uzyskania właściwego nacisku jednostkowego osełki. Dane zatwierdza się przez naciśnięcie przycisku Ustawienie i następnie przyciskiem Start systemu uruchamia się proces obróbki przy jednoczesnym manualnym doprowadzeniu do odpowiedniej siły docisku osełki. Program nadzoruje proces zgodnie z zadanym algorytmem podając odpowiednie komunikaty systemu wraz z sygnalizacją etapu zaawansowania obróbki.

Panel sterowania umożliwia manualne wprowadzanie zmian częstotliwości oscylacji przy zastosowaniu falownika.

Przeprowadzone próby stanowiska wykazały poprawność jego działania. Zastosowanie opracowanego układu umożliwia uzyskanie optymalnych parametrów ruchu oscylacyjnego dla rzeczywistej prędkości obrotowej przedmiotu.

Dynamiczne sterowanie częstotliwością ruchu oscylacyjnego

Program sterowania częstotliwością oscylacji opracowany w języku Visual Basic, zapewnia możliwość realizacji różnych algorytmów zmian wartości częstotliwości oscylacji w czasie. zilustrowano to na rys. 5 dla zmiany sinusoidalnej.



Rys. 5. Przykład ekranu przy wyborze przebiegu sinusoidalnego zmian częstotliwości ruchu oscylacyjnego

Celem prowadzonych badań była wstępna weryfikacja hipotezy, że zmiana częstotliwości sprzyja wzrostowi intensywności usuwania nadkładu przez ciągłą zmianę krzyżowania się toru ziaren ściernych osełki.

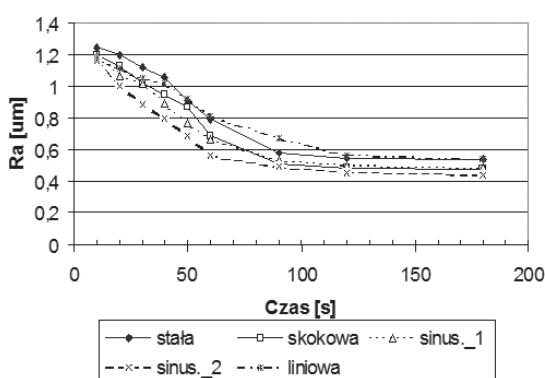
Zakres badań. Wstępne badania klasycznego dogładania oscylacyjnego przy stałej wartości częstotliwości przeprowadzono przy zastosowaniu próbek o średnicy 45 mm, ze stali 45 o twardości 40 HRC. W próbach stosowano osełki o wymiarach $26 \times 12,5$ mm z węglika krzemu F320/29 K 8 V. Obróbkę prowadzono przy stałej prędkości obwodowej przedmiotu $V_p = 18$ m/min i nacisku jednostkowym osełki

wynoszącym 0,4 MPa przy zastosowaniu jako płynu obróbkowego 15% mieszaniny oleju maszynowego z naftą. Chropowatość powierzchni po obróbce poprzedzającej szlifowaniem wynosiła $Ra = 1,25 \pm 0,05$ mm.

Czynnikiem zmiennym w badaniach był algorytm zmian częstotliwości oscylacji w czasie obróbki. Zapewniono to przez użycie odpowiednich algorytmów sterowania częstotliwością oscylacji w programie. Zastosowano przebiegi: sinusoidalny_1 (0÷930 skoków/min) o amplitudzie 465 skoków/min, sinusoidalny_2 (0÷1600 skoków/min) o amplitudzie 800 skoków/min, prostokątny, liniowy, a także stały. W badaniach mierzono parametr chropowatości powierzchni Ra obrabianej w kolejnych odstępach czasowych początkowo co 10 s, a potem większych.

Wyniki badań

Wyniki przeprowadzonych badań dogładowania oscylacyjnego ze sterowaniem parametrów obróbki w czasie procesu przedstawiono na rys. 6. Wskazują one na wpływ warunków obróbki określonych algorytmem zmian częstotliwości oscylacji na wydajność dogładowania oscylacyjnego.



Rys. 6. Wpływ czasu dogładowania na stan powierzchni przy różnych algorytmach zmian częstotliwości oscylacji [Mikołajczyk, 2012c]

Najkorzystniejsze wyniki uzyskano przy sinusoidalnej zmianie oscylacji o dużej amplitudzie, następnie o mniejszej amplitudzie. W innych wariantach prób uzyskano gorsze efekty. Końcowe wyniki obróbki po dłuższym czasie są zbliżone i związane raczej z wielkością zastosowanego ziarna.

Wydaje się, że celowe jest kontynuowanie prac i analiz w tym zakresie dla określenia warunków sterowanego mikrokomputerowo dogładowania oscylacyjnego z uwzględnieniem średnicy obrabianej powierzchni i prędkości obwodowej przedmiotu.

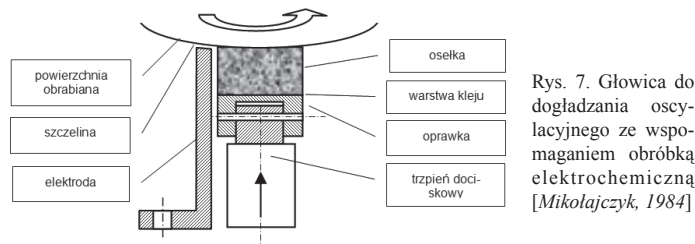
Uzyskany wzrost wydajności można tłumaczyć ciągłym krzyżowaniem się śladów obróbki i tym, że usuwanie materiału związane jest głównie z krzyżowaniem się śladów dogładowania, a nie krzyżowaniem się ich ze śladami obróbki poprzedzającej. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na możliwości intensyfikacji dogładowania oscylacyjnego poprzez sterowania częstotliwością oscylacji.

Dogładowanie oscylacyjne wspomaganie obróbką elektrochemiczną

Kolejnym sposobem intensyfikacji dogładowania oscylacyjnego może być sposób hybrydowy z dodatkowym roztwarzaniem elektrochemicznym [Mikołajczyk, 1984]. W obróbce tej dogodnie jest użycie elektrolitu pasywnującego NaNO_3 [Skoczypiec i in., 2013].

Narzędzie składa się (Rys. 7) z osetki mocowanej klejem termoplastycznym do samonastawnej oprawki połączonej z trzpieniem oscylarki wywierającym niezbędny docisk oraz stałej elektrody. Zastosowane niekonwencjonalne mocowanie osetki do oprawki umożliwia usytuowanie elektrody w bezpośredniej odległości od osetki.

Przedmiotem badań poza określeniem wpływu parametrów prądowych na usuwane nadatki obróbkowego winno być określenie szerokości elektrody względem długości osetki wraz z jej ruchem oscylacyjnym.



Rys. 7. Głowica do dogładowania oscylacyjnego ze wspomaganie obróbką elektrochemiczną [Mikołajczyk, 1984]

Podsumowanie i wnioski

Wyniki przeprowadzonych doświadczeń z uwzględnieniem danych literaturowych upoważniają do wysunięcia następujących wniosków:

- skomputeryzowany system nadzoru obróbki dogładowaniem oscylacyjnym umożliwia optymalizację częstotliwości oscylacji ze względu na założoną wartość kąta skrzyżowania śladów α i zalecaną wartość przesunięcia sinusoidy e , przy uwzględnieniu rzeczywistej prędkości obrotowej przedmiotu.
- sterowanie częstotliwością oscylacji w czasie dogładowania oscylacyjnego umożliwia wzrost wydajności usuwania nadatku obróbkowego w stosunku do obróbki przy stałej częstotliwości. Najkorzystniejsze efekty uzyskano przy sinusoidalnej zmianie częstotliwości o dużej amplitudzie,
- opracowane stanowisko zapewnia możliwość prowadzenia badań hybrydowej obróbki dogładowaniem oscylacyjnym ze wspomaganie elektrochemicznym roztwarzaniem.

Celowe jest doskonalenie stanowiska poprzez zastosowanie bezstopniowej regulacji prędkości obrotowej wrzeciona [Mikołajczyk, 2012] oraz zastosowanie sterowanego dosuwu dogładowarki. Umożliwi to dalszą optymalizację parametrów obróbki, z uwzględnieniem zalecanej dla każdego etapu prędkości obwodowej oraz automatyzację dosuwu osetki z wytworzeniem odpowiedniego docisku z możliwością dostosowania do etapu obróbki.

Celowa jest również praktyczna weryfikacja efektywności użycia roztwarzania elektrochemicznego wspomaganie procesu dogładowania oscylacyjnego. Przedstawione wyniki mają znaczenie dla praktyki stosowania dogładowania oscylacyjnego w obróbce powierzchni zarówno zewnętrznych jak i wewnętrznych.

LITERATURA

- Dąbrowski L., 2005. *Obróbka ścierna w technikach wytwarzania*. Wyd. Pol. Warszawskiej, Warszawa
- Kacalak W., Lewkowicz R., Ściegenka R., 2002. *Podstawy efektywnego doboru parametrów i warunków mikrowygładzania foliowymi taśmami ściernymi*. Materiały XXV Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Wrocław – Duszniki Zdrój, 155-160
- Mikołajczyk T., 1984. *Narzędzie do elektrochemiczno-ściernej obróbki powierzchni zwłaszcza dogładowaniem oscylacyjnym*. Patent PRL nr 186061
- Mikołajczyk T., 2012a. System to surface control in robot machining. *Advanced Materials Research II, Chapter 22: Mechanical and Electronic Engineering Control*, **463-464**, 708-711. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.463-464.708
- Mikołajczyk T., 2012b. Manufacturing using robot. *Advanced Materials Research II, Chapter 22: Mechanical and Electronic Engineering Control*, **463-464**, 1643-1646. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.463-464.1643
- Mikołajczyk T., 2012c. Robot-turner. *Advanced Materials Research II, Chapter 22: Mechanical and Electronic Engineering Control*, **463-464**, 1682-1685. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.463-464.1682
- Nowicki B., Dynarowski R., 2000. *Teoretyczne i eksperymentalne badania niekonwencjonalnego gładzenia powierzchni krzywoliniowych*. Materiały Międzynarod. Konf. Nauk.: Obróbka Materiałów, Kraków, **1**, 201-210
- Ocoś K., Habrat W., 2008. Innowacje w obróbce ścierniej. Cz. II. Szlifierki narzędziowe i wykończeniowe urządzenia ściernie. *Mechanik*, **81**, nr 12, 985-1004
- Skoczypiec S., Ruszaj A., Grabowski M., Spychalski M., 2013. Koncepcja realizacji procesu oraz stanowisko do badań mikroszlifowania wspomaganego elektrochemicznie, *Mechanik*, **86**, nr 8-9 (W dodatku na płycie CD: Materiały XXXVII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, 361-368)
- Weiss E., 1999. *Kształtowanie jakości wyrobów i wydajności obróbki w procesie dogładowania*. Wyd. Pol. Poznańskiej, Seria: Rozprawy nr 346
- SupFina Grieshaber GmbH & Co. KG, 2014. *Superfinish Maschinen* (03.2014): <http://www.supfina.de/produkte/superfinish-maschinen/>