Rafał RUSINEK
Jerzy WARMIŃSKI
Kazimierz SZABELSKI
Andrzej TETER
Grzegorz LITAK
Jerzy LIPSKI
Kazimierz ZALESKI

WPŁYW ZMIENNYCH PARAMETRÓW TOCZENIA WZDŁUŻNEGO NA JAKOŚĆ POWIERZCHNI OBROBIONEJ

INFLUENCE OF CHANGEABLE PARAMETERS OF STRAIGHT TURNING ON FINAL SURFACE QUALITY

W artykule został zaprezentowany model toczenia wzdłużnego z nieliniową siłą skrawania i zmiennymi monotonicznie w czasie parametrami. Przeprowadzono analizę wpływu zmiany parametrów na charakter drgań przedmiotu obrabianego. Mogące pojawiać się drgania samowzbudne bezpośrednio warunkują kształt powierzchni finalnej obrobionego materiału.

The model of straight turning process with a nonlinear cutting force and monotonic changeable parameters in time has been analysed in this article. The influence of the variable parameters on the vibrations character of a workpiece has been presented. Self-excited vibrations which can appear are directly answerable for the final quality of the metal surface.

1. Wprowadzenie

Obróbka skrawaniem, a w szczególności proces toczenia jest ciągle podstawową metodą wytwarzania i prawdopodobnie skrawanie z wysoką precyzją będzie się rozwijało przez najbliższe lata. Jak podaje Międzynarodowa Instytucja Badania Procesów Wytwarzania (International Institution for Production Research) połowa zużytej energii w procesach wytwarzania przypada na procesy obróbki skrawaniem [6].

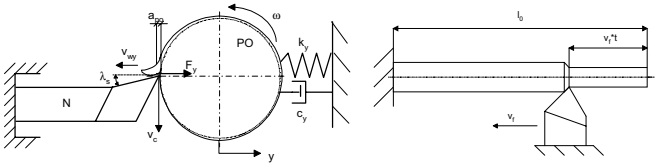
Ciągle również dąży się do obniżenia kosztów produktów. Jedną z metod uzyskania tego celu jest obniżanie masy elementów konstrukcji co z kolei prowadzi do powstania trudności w procesie wytwarzania. Elementy o małej masie posiadają też mniejszą sztywność co utrudnia obróbkę i przyczynia się do powstawania drgań.

Dość szeroko rozpowszechniona jest teoria mówiąca o tym, że zasadnicze znaczenie w procesie odgrywają zjawiska tarciowe. Są one analizowane na podstawie skrawania ortogonalnego, bądź strugania [1, 2, 6]. Innym efektem wpływającym na charakter zjawisk zachodzących w procesach toczenia jest efekt przejścia narzędzia po powierzchni ukształtowanej w poprzednim przejściu narzędzia [5]. Nie bez znaczenia jest również wpływ wymuszeń stochastycznych oddziaływujących na układ skrawający [3, 7].

Chcąc analizować proces toczenia wzdłużnego należy sobie zdawać sprawę ze zmienności parametrów układu. Zmianie w czasie ulegną zarówno sztywność jak i masa układu.

2. Model dynamiczny

Model fizyczny procesu skrawania można w najprostszym przypadku ograniczyć do układu o jednym stopniu swobody. Wybór rozpatrywanego kierunku *y* (kierunek siły odporowej) jest dosyć istotny ze względu na znaczący wpływ tej składowej siły skrawania na jakość powierzchni obrobionej. Proces toczenia jest procesem zmiennym w czasie i dość skomplikowanym. Na zjawiska w nim występujące duży wpływ mają parametry układu, których określenie dostarcza znacznych problemów z uwagi na ich zmienność w czasie. Zmianie ulega zarówno sztywność przedmiotu obrabianego (*PO*) jak i jego masa. O ile wzrost sztywności *PO* w procesie toczenia wzdłużnego został omówiony w pracy [4] to zmniejszanie się masy *PO* nie było do tej pory analizowane. Fizyczny model procesu został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Model fizyczny

Przyjęto tutaj następujące oznaczenia:

- *PO* – przedmiot obrabiany;
- *N* – narzędzie skrawające;
- ω – prędkość kątowa przedmiotu obrabianego;
- v_c – prędkość skrawania;
- v_{wy} – względna prędkość pomiędzy narzędziem a wiórem;
- F_y – siła odporowa działająca na przedmiot;
- $k_y(t)$ – zastępczy współczynnik sztywności układu;
- c_y – zastępczy współczynnik tłumienia wiskotycznego;
- $m(t)$ – masa zastępcza układu;
- a_{po} – założona głębokość skrawania, uzyskana tylko w procesie statycznym;
- l_o – długość początkowa PO;
- v_f – prędkość ruchu posuwowego;
- λ_s – kąt pochylenia głównej krawędzi skrawającej, w tym przypadku przyjęto λ_s=0.

Zgodnie z drugim prawem Newtona równanie różniczkowe ruchu dla takiego układu możemy zapisać w postaci (1):

$$m(t)\cdot\ddot{y}+k_y(t)\cdot y+c_y\cdot\dot{y}=(F_y-F_{yo})\cdot H(a_p) \qquad (1)$$

Siłę F_y opisano funkcją nieliniową zależną od głębokości skrawania i prędkości względnej zgodnie z równaniem (2a), zaś siłę w procesie statycznym F_{yo} wyraża równanie (2b). Poniższe siły zostały opisane przy pomocy członu Rayleigh'a:

$$F_y = K \cdot a_p^{\rho} \cdot (Sgn[v_{wy}] - a \cdot v_{wy} + b \cdot v_{wy}^3) \quad (2a)$$

$$F_{yo} = K \cdot a_{po}^{\rho} \cdot (1 - a \cdot v_c + b \cdot v_c^3) \quad (2b)$$

$$a_p = a_{po} - y; \qquad v_{wy} = v_c - \dot{y} \quad (3)$$

K – siła jednostkowa odniesiona do jednostkowej głębokości skrawania;
a_p – aktualna głębokość skrawania;
$H[a_p]$ – funkcja Heaviside'a;
$ń, a, b$ – współczynniki specyficzne dla wybranego procesu.

Wraz z przemieszczaniem się noża zmianie ulega sztywność układu, co jest zgodne z zależnością (4):

$$k_y(t) = \frac{3EI}{(l_0 - v_f \cdot t)^3} \quad (4)$$

Należy o tym pamiętać, że proces skrawania wzdłużnego charakteryzuje się również zmianą masy (5).

$$m(t) = m - \pi \cdot \rho_m \cdot a_{po} \cdot v_f \cdot t \cdot (d - a_{po}) \quad (5)$$

gdzie: d – średnica wałka, ρ_m - gęstość materiału.

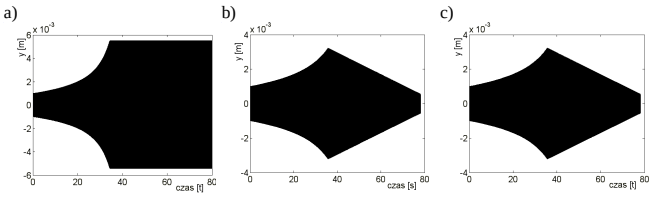
3. Symulacja numeryczna

Opierając się na powyższych rozważaniach przeprowadzono symulację komputerową stosując pakiet Matlab – Simulink, który wykorzystuje procedurę Rungego – Kutty czwartego rzędu. Do analizy zostały użyte parametry układu otrzymane na drodze eksperymentalnej tj. EJ=3360 Nm^2, l_0=0,2 m, ρ_m=7800 kg/m^3, a_{po}=0,0004 m, k_y=1,26 MN/m, K=44000 N/m, m=61 kg, ρ=0,95, v_c=0,785 m/s, v_f=0,0023m/s, a=0,4, b=0,05, c_y=11,6 kg/s, d=0,05 m.

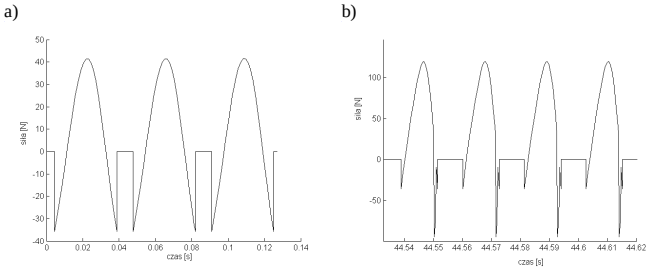
Model skrawania wzdłużnego zakłada, że sztywność PO wzrasta w czasie, a masa maleje. O ile zmiana sztywności jest widoczna to ubytek masy w niewielkim stopniu wpływa na proces. Przebiegi czasowe drgań materiału poddanego obróbce zaprezentowane zostały na rys. 2. Drgania samowzbudne tutaj zaprezentowane są wynikiem nieliniowości występującej w opisie odporowej siły skrawania.

Skutkiem tego może być wyjście noża z przedmiotu toczonego (a_p<0). Sytuacja taka została zobrazowana na rys. 3a. Bardziej skomplikowany scenariusz przewiduje również zmianę kierunku prędkości względnej v_{wy} (rys. 3b).

Nakładanie się czynników związanych z siłą odporową i tarciem może wywoływać drgania typu „chatter" charakteryzujące się dużą amplitudą. Jest rzeczą jasną, że w takiej sytuacji pogorszeniu ulega jakość powierzchni po obróbce.



Rys. 2. Przebiegi czasowe drgań w modelu a) o stałej masie i sztywności, b) zmiennej sztywności i stałej masie, c) zmiennej sztywności i masie



Rys. 3. Charakterystyka siły w czasie

Zmiana masy nie wpływa tutaj zasadniczo na poziom drgań, natomiast zmienia nieznacznie ich częstość.

3. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wykazuje, że wpływ ubytku masy w trakcie skrawania nie ma większego wpływu ani na dynamikę procesu ani na dokładność powierzchni po obróbce. Zwiększa się tylko w minimalnym stopniu częstość drgań. Sztywność natomiast jest tym parametrem, który zmienia charakter wibracji. Pozytywną cechą rosnącej sztywności w czasie jest ograniczenie amplitudy drgań czyli zmniejszenie nierówności powierzchni. Wielu wniosków dostarcza nam przebieg czasowy siły, na którym widoczny jest jej okresowy charakter oraz moment wyjścia noża z przedmiotu obrabianego. Po utracie kontaktu między narzędziem i materiałem, siły sprężystości powodują z powrotem wgłębienie się noża i proces zaczyna się od początku aż do ponownego wyjścia narzędzia z materiału obrabianego. Sytuacja taka występuje przy stosunkowo małej głębokości skrawania. Przy większej głębokości toczenia amplituda drgań nie osiągnie tak dużej wartości aby przekroczyć założoną a_{po}.

Drgania samowzbudne, jakie pojawiają się w tym procesie nie osiągną tak dużej wartości jak przy skrawaniu ortogonalnym ponieważ amplitudę drgań ogranicza rosnąca sztywność.

5. Literatura

[1] Grabec I.: *Chaotic Dynamics of the Cutting Process.* International Journal of Machine Tools & Manufacture. 1998; 28(1):19-32.
[2] Gradisek J., Govekar E., Grabec I.: *Chatter Onset in Non-Regenerative Cutting: A Numerical Stady*. Journal of Sound and Vibration. 2001; 242(5):829-838.
[3] Lipski J., Litak G., Rusinek R., Szabelski K., Teter A., Warmiński J., Zaleski K.: *Modelling of Nonlinear Vibrations in a Cutting Process Considering Surface Quality of Work Material*. 3rd International Symposium Investigation of Nonlinear Dynamics Effects in Production Systems; Cottbus. 2000.
[4] Rusinek R., Warmiński J., Szabelski K., Teter A., Litak G., Lipski J., Zaleski K.: *Dynamical Model of Cutting Process with Stiffness Changeable in Time*. Dynamics and Control of Mechanical Processing; Budapest. 2001, ISBN: 963 420 673 5.
[5] Warmiński J., Litak G., Lipski J., Wiercigroch M., Cartmell M. P.: *Chaotic Vibrations in Regenerative Cutting Process*. IUTAM / IFToMM Symposium on Synthesis of Nonlinear Dynamical Systems: Kluwer Academic Publishers; 2000.
[6] Wiercigroch M., Budak E.: *Sources of Nonlinearities, Chatter Generation and Suppresion in Metal Cutting*. Phil. Trans. The Royal Society. 2001; 359:663-693.
[7] Wiercigroch M., Cheng A., H-D.: *Chaotic and Stochastic Dynamics of Orthogonal Metal Cutting*. Chaos Solitons and Fractals. 1997; 9(4):715-726.

****
Niniejszą pracę wykonano w ramach realizacji Projektu Badawczego nr 126/E-361/SPUB/COST/T-7/DZ42/99 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych
****