

Jan WÓJCIKOWSKI, Michał PODWIKA

STANOWISKO DO POMIARU DYNAMIKI SIŁY SKRAWANIA
PRZYDATNE DLA ADAPTACYJNEGO STEROWANIA PROCESEM
OBWIEDNIOWEGO FREZOWANIA KÓŁ ZĘBATYCH

Streszczenie. Przedstawiono propozycję stanowiska do pomiaru dynamiki siły skrawania przydatnego dla adaptacyjnego sterowania procesem obwiedniowego frezowania kół zębatach. Podano zasadę oraz krótki opis budowy stanowiska pomiarowego jak również jego charakterystykę statyczną i dynamiczną.

WPROWADZENIE

Frezowanie obwiedniowe kół zębatach charakteryzuje złożona dynamika siły skrawania, spowodowana pracą wielu ostrzy freza ułożonych wzdłuż linii śrubowej rowka wiórowego. Ostrza te ponadto w każdej fazie cięcia skrawają geometrycznie złożone i zmieniające się przekroje. W sumie daje to złożone przebiegi, będące sumowaniem się wpływu działania zmiennych czynników. Iloczyn chwilowej wartości siły i prędkości skrawania stanowi wartość chwilowego zapotrzebowania mocy skrawania. Zmiana wartości zapotrzebowania mocy frezowania jest najczęściej wykorzystywanym czynnikiem wiódącym proces adaptacyjnego sterowania frezarką obwiedniową. Stwierdzono jednak, że wartość ta w zbyt małym stopniu odzwierciedla aktualny stan postępującego zużycia pracujących ostrzy freza ślimakowego, pomimo wyraźnego wzrostu hałasu wywoływanego procesami frezowania. Zagadnienie to ma bardzo poważne znaczenie w przypadku stosowania frezów ślimakowych z ostrzami ze spiekanych węglików metali, gdzie dopuszczenie do niekontrolowanych wartości zużycia pracujących ostrzy powoduje ich wykruszanie i pociąga za sobą produkowanie niedokładnych uzębień kół zębatach.

Rozwój konstrukcji i postępy w eksploatacji frezów ślimakowych, ostatnio już z odwracalnymi i wymiennymi ostrzami, stwarza konieczność budowy urządzeń i układów pomiarowych tworzących wyraźny sygnał o aktualnym stanie poziomu dynamiki występującego w strefie narzędzie-przedmiot procesu frezowania obwiedniowego.

Autorzy niniejszej pracy uważają, że uozynili pewien krok naprzód na drodze do opanowania tego zagadnienia i przedstawiają niżej wyniki badań skonstruowanego przez siebie stanowiska pomiarowego dynamiki siły skrawania, stanowiącej wyraźniejszy obraz zjawisk powstających w strefie narzędzie-przedmiot.

2. ZASADA BUDOWY UKŁADU STANOWISKA POMIAROWEGO

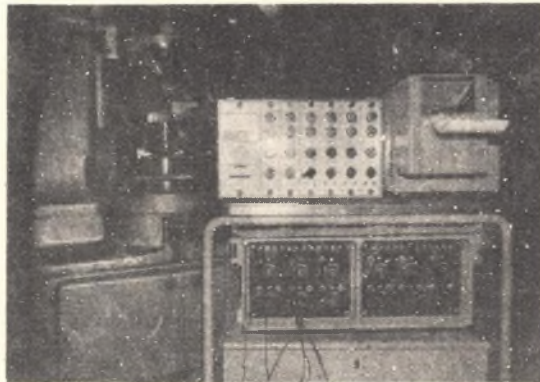
2.1. Założenia konstrukcyjno-eksploatacyjne

Stanowisko przydatne do sterowań adaptacyjnych procesu obwodniowego frezowania uzębień powinno spełniać następujące wymagania:

- umożliwić pomiar trzech składowych siły skrawania, w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach (x, y, z), w zakresie do 10000 N dla składowych P_z i P_y oraz do 5000 N dla składowej P_x ,
- posiadać liniową charakterystykę elementu stanowiącego organ pomiarowy,
- mieć czułość nie mniejszą niż ± 50 N,
- wzajemny wpływ składowych siły skrawania nie powinien przekraczać $\pm 5\%$,
- powinien mieć małą wartość histerezy lub wcale jej nie posiadać,
- mieć możliwie dużą sztywność statyczną (w granicach około $2\text{kN}/\mu\text{m}$),
- częstotliwość drgań własnych powinien mieć nie mniejszą niż 500 Hz,
- czas odpowiedzi na sygnał w kierunku głównej siły skrawania w granicach 5×10^{-3} s,
- wyjście ze stanowiska pomiarowego zapewniające ciągły przepływ sygnału.

2.2. Krótki opis budowy stanowiska pomiarowego

Głównym elementem pomiarowym zbudowanego stanowiska jest korpus uchwytu frezarskiego wykonany jako metalowy walec. Środkową jego część tworzy rura o średnicy i grubości ścianki takiej, aby sztywność elementu sprężystego była możliwie maksymalna, lecz zapewniająca żądaną czułość pomiarową przy zastosowaniu czujników tensometrycznych półprzewodnikowych.



Rys. 1. Ogólny widok układu pomiarowego

Sposób ich rozmieszczenia i elektrycznego połączenia jest taki, że zapewnia pomiar trzech składowych siły skrawania. Sygnał pomiarowy odprowadzany ze stanowiska jest wzmacniany na dynamicznym mostku tensometrycznym

i może być rejestrowany względnie przekazany do użycia dla potrzeb sterowania adaptacyjnego obrabiarki.

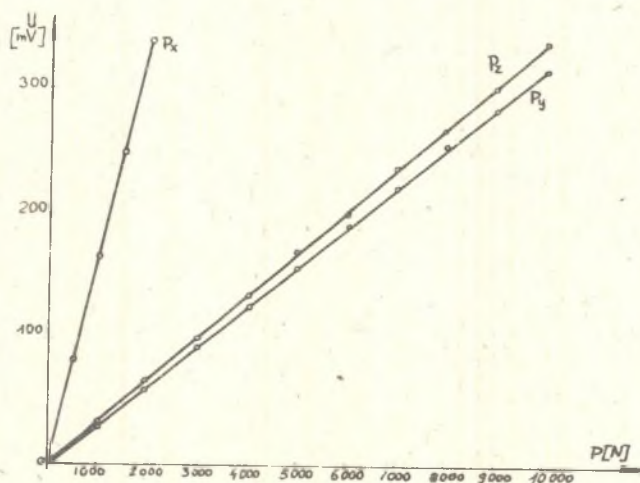
3. CHARAKTERYSTYKA STATYCZNA STANOWISKA POMIAROWEGO

Przy określaniu charakterystyk statycznych stanowiska w skład układu pomiarowego wchodziły następujące elementy:

- uchwyt frezarski z ozujnikiem tensometrycznym wraz z założonym na niego kołem zębatym 9,5 kg,
- dynamiczny mostek tensometryczny typu TDA-6 firmy Tesla,
- miliwoltomierze klasy 0,5,
- okablowanie przeciwzakłóceńowe.

Czas stabilizacji cieplnej załączonego do sieci układu pomiarowego przy napięciu stabilizowanym 220 V wynosi 27×10^2 s.

Działając na "koło zębate" stopniowaną siłą kolejno w kierunkach x, y, z otrzymano krzywe wzorcowania statycznego dla składowych P_x , P_y , P_z .



Rys. 2. Krzywe wzorcowania statycznego dla składowych P_x , P_y , i P_z

Wzajemny wpływ składowych nie przekracza wartości podanych w założeniach, tj. do 5%. Próg ozułości układu pomiarowego obciążanego kolejno w kierunkach x, y, z wynosi ± 10 N. Błąd histerezy nie wystąpił, ponieważ uchwyt frezarski odkształca się bez tarć mechanicznych. Stwierdzono również, że wpływ temperatury otoczenia na wskazania składowych siły skrawania jest niezauważalny dla warunków, w jakich wykonano próby nacinania kół zębatych.

4. CHARAKTERYSTYKA DYNAMICZNA

Charakterystykę dynamiczną badano w układzie pomiarowym składającym się z:

- uchwytu frezarskiego z czujnikami tensometrycznymi i założoną na niego masą 9,5 kg (koło zębate),
- dynamicznego mostka tensometrycznego TDA-6,
- oscylografu K115,
- okablowania przeciwzakłóceniewego.

"Koło zębate" obciążano impulsem jednostkowym (typu Diraca), a odpowiedzi układu pomiarowego na ten impuls rejestrowano na oscylografie pętli-cowym. Na podstawie uzyskanych oscylogramów określono częstotliwość własną ($H_{x,y,z}$) stanowiska w kierunkach działania poszczególnych składowych siły skrawania i tak:

- dla kierunku działania składowej P_z wynosiła $H_z = 1500$ Hz
- dla kierunku działania składowej P_y wynosiła $H_y = 1000$ Hz
- dla kierunku działania składowej P_x wynosiła $H_x = 1000$ Hz.

Wartość logarytmicznego dekrementu tłumienia ($\lambda_{x,y,z}$) dla poszczególnych składowych wynosiła odpowiednio:

- $\lambda_z = 0,662$
- $\lambda_y = 0,693$
- $\lambda_x = 0,452$.

Wyliczone tłumienie względne ($d_{x,y,z}$) układu wynosi odpowiednio:

- $d_z = 0,10478$
- $d_y = 0,10963$
- $d_x = 0,07175$.

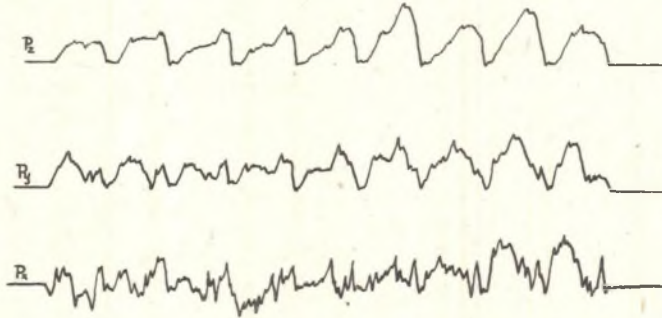
Zakładając dalej jako $\pm 5\%$ dopuszczalny błąd wartości ustalonej amplitudy wskazań obliczono czas odpowiedzi układu pomiarowego na impuls jednostkowy, który wynosi odpowiednio:

- $t_{\text{odp } z} = 0,003$ s
- $t_{\text{odp } y} = 0,0043$ s
- $t_{\text{odp } x} = 0,0066$ s.

Dla maksymalnej spodziewanej, przy frezowaniu obwiedniowym kół zębatach frezami ze spiekanych węglików metali, częstotliwości 300 Hz przesunięcie fazowe wynika z efektu propagacji sygnału na drodze czujniki pomiarowe - strefa skrawania wynosi dla wykonanego stanowiska badawczego $\varphi = 2,6 \times 10^{-2}$ rad. Jest to więc wielkość pomijalnie mała.

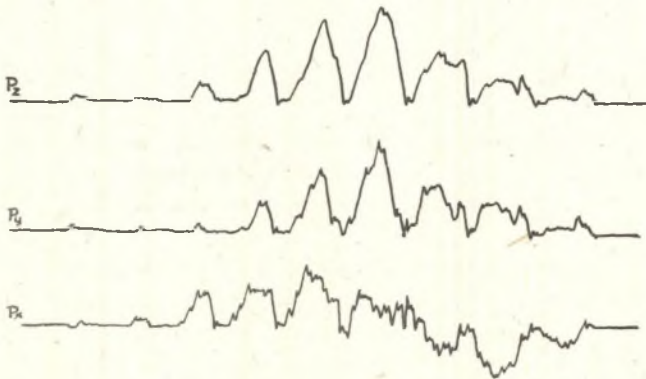
5. OBRAZY SYGNAŁU WYJŚCIA W CZASIE PROCESU FREZOWANIA KÓŁ ZĘBATYCH

Próby skrawania prowadzono na frezarce 5K-324A, skrawając koło o zębach prostych ze stali 55 o $m = 2,5$, $z = 58$. Skrawanie dla wszystkich niżej przedstawionych prób odbywało się z $V = 208 \times 10^{-3}$ m/s, $p = 1$ mm/obr. frezami jednokrotnymi ze stali szybko tnącej. W czasie prób mierzono zapotrzebowanie mocy oraz składowe siły skrawania.



Rys. 3. Oscylogram składowych siły skrawania P_x , P_y , P_z przy frezowaniu obwiedniowym koła zębatego $m = 2,5$, $z = 58$ z biciem promieniowym freza 0,01 mm

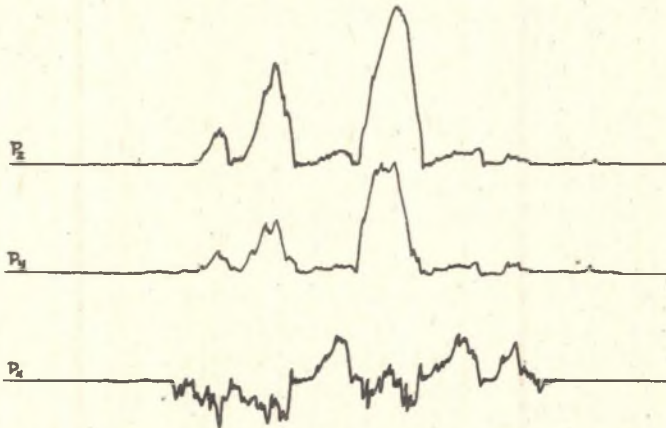
Na rysunku 3 przedstawiono oscylogram otrzymany przy stosowaniu freza o ostrych ostrzach i z biciem promieniowym uzębienia freza założonego na frezarkę nie przekraczającym 0,01 mm. Zapotrzebowanie mocy obrabiarki wynosiło 1,4 kW.



Rys. 4. Oscylogram składowych siły skrawania P_x , P_y i P_z przy frezowaniu obwiedniowym koła zębatego $m = 2,5$, $z = 58$ z biciem promieniowym freza 0,05 mm

Rysunek 4 przedstawia oscylogram otrzymany przy stosowaniu freza wykazującego bicie promieniowe uzębienia freza założonego na frezarkę w granicach 0,05 mm.

Zapotrzebowanie mocy obrabiarki nie uległo zauważalnej zmianie, natomiast obraz składowych zmiennych uległ znacznej zmianie.



Rys. 5. Oscylogram składowych siły skrawania P_x , P_y i P_z przy frezowaniu obwiedniowym koła zębatego $m = 2,5$, $z = 58$ frezem z częściowo wylamanymi ostrzami i jego biciem promieniowym 0,03 mm

Rysunek 5 przedstawia oscylogram otrzymany przy zastosowaniu freza z częściowo wylamanymi ostrzami. Bicie promieniowe pozostałych zębów nie przekraczało 0,03 mm. Zmiana w zapotrzebowaniu mocy obrabiarki była zaledwie zauważalna, natomiast obraz przebiegu składowych siły skrawania zmienił się zasadniczo.

6. WNIOSKI

- Charakterystyki statyczna i dynamiczna wykazują, że zbudowane stanowisko pomiarowe odpowiada podstawowym założeniom postawionym przez autorów w oparciu o znane dotychczas badania procesu obwiedniowego frezowania kół zębatach.
- Stanowisko może być stosowane dla badania przebiegu głównej siły skrawania do 10000 N i częstotliwości jej składowej zmiennej do 1000 Hz. Wartość stwierdzonego przesunięcia fazowego jest pomijalnie mała.
- Próg czułości układu jest wysokiej klasy wskutek braku zjawiska histerezy.
- Czas odpowiedzi na impuls jednostkowy wynosi około 3×10^{-3} s, co wydaje się wystarczające w przypadku stosowania go do badań frezowania frezami ze spiekanych węglików metali.

- Obrazy przebiegów wartości składowych siły skrawania wykazują obiecującą możliwość elektronicznego wykorzystania ich do tworzenia informacji o stanie ostrza narzędzia, potrzebnej do sterowania w układach adaptacyjnych frezarek obwiedniowych.
- Układ przydatny jest także dla frezarek obwiedniowych skrawających frezami ślimakowymi ze spiekanych węglików metali, gdzie jeszcze często pojawia się niebezpieczne wykruszanie ostrzy narzędzia.

ПОСТ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ ПРИГОДНЫЙ
ДЛЯ АДАПТАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Резюме

Представлен пост для замера динамики усилия резания пригодный для адаптационного управления процессом цилиндрического фрезования зубчатых колес. Приводятся принципы и краткое описание измерительного поста как и его статическая и динамическая характеристики.

THE TEST STAND FOR THE MEASURING OF THE CUTTING FORCES
DYNAMICS USEFUL FOR ADAPTIVE CONTROL OF GEAR HOBBLING PROCESS

Summary

A proposition of a test stand for the cutting forces dynamics measuring useful for adaptive control of gear hobbling process is given. The principle of operation, a short specification of a test stand as well as its static and dynamic characteristics are presented.