

# Pomiar siły skrawania podczas toczenia wałka wstępnie schłodzonego cieczą kriogeniczną

## Measurement of cutting forces during turning of shaft preliminarily cooled using cryogenic liquid

ŁUKASZ ŻURAWSKI  
BORYS STORCH  
ANNA ZAWADA-TOMKIEWICZ \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.433

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów składowych siły skrawania  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$  podczas toczenia przedmiotów schłodzonych do temperatury  $-180\text{ }^\circ\text{C}$ . W badaniach skrawano stop stali EN C45. Do chłodzenia wykorzystano ciekły azot. Pomiar składowych siły skrawania przeprowadzono dla dwóch wartości posuwu  $f = 0,05$ ;  $0,1\text{ mm/obr}$  i głębokości skrawania  $a_p = 0,2\text{ mm}$ .  
**SŁOWA KLUCZOWE:** toczenie, składowe siły skrawania, ciekły azot

*In the paper the results of components  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$  of cutting forces measured during turning of shaft preliminarily cooled at  $-180\text{ }^\circ\text{C}$  using cryogenic liquid. The study embraced the machining of the steel EN C45. Liquid nitrogen was applied for cooling of the workpiece. Measurement of cutting forces was carried out for two values of feed  $f = 0,05$  and  $0,1\text{ mm/rev}$  and depth of cut  $a_p = 0,2\text{ mm}$ .*

**KEYWORDS:** turning, cutting forces components, liquid nitrogen

W warunkach przemysłowych do kształtowania części maszyn i urządzeń stosuje się cieczy chłodząco-smarujące (emulsję, olej) w celu zmniejszenia zużycia ostrzy skrawających oraz poprawienia jakości obrabianych powierzchni. Stosowanie konwencjonalnego chłodzenia może się okazać niewłaściwe do wytwarzania części maszyn i urządzeń z uwagi na gromadzenie się cieczy chłodzącej w nierównościach na powierzchni obrabianej. Prowadzi to do przyspieszonego wzrostu mikrośrodowiska, w którym rozwijają się mikroorganizmy.

Głównym warunkiem stosowania cieczy kriogenicznych podczas skrawania jest zmiana właściwości przedmiotu obrabianego na skutek zmiany temperatury. Pod wpływem ekstremalnie niskiej temperatury materiały plastyczne zachowują się jak materiały kruche, co wpływa na cały przebieg procesu skrawania. Po odebraniu ciepła z przedmiotu obrabianego przez ciecz kriogeniczną następuje wzrost sił skrawania podczas obróbki [1, 3].

Zastosowanie ciekłego azotu do chłodzenia strefy obróbki może się stać ekologiczną i efektywną metodą obniżania zużycia ostrzy skrawających i poprawy jakości powierzchni obrabianych przy jednoczesnym ustabilizowaniu warunków skrawania [2, 4].

### Cel i zakres badań

Celem badań był pomiar trzech składowych siły skrawania –  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$  – podczas toczenia wstępnie schłodzone-

go wałka ze stopu stali EN C45. Czynnikiem chłodzącym był ciekły azot. Dla porównania uzyskanych wartości siły skrawania przeprowadzono badania skrawania bez użycia cieczy chłodząco-smarującej oraz z wykorzystaniem ciekłego azotu.

Dla wałka wstępnie schłodzonego i bez użycia cieczy chłodząco-smarującej pomiar siły skrawania przebiegał przy następujących stałych parametrach skrawania:

- prędkości obrotowej  $n = 630\text{ obr/min}$ ,
  - głębokości skrawania  $a_p = 0,2\text{ mm}$ ,
- oraz parametrach zmiennych:
- posuwie  $f = 0,05\text{ mm/obr}$  dla czasu pomiaru 2 min 50 s i  $f = 0,1\text{ mm/obr}$  dla 1 min 25 s,
  - prędkości skrawania  $v_c$  zmieniającej się w zakresie od 92 do 98 m/min.

Badania skrawania realizowano w 15 przejściach narzędzia na długości toczonego wałka  $L = 68\text{ mm}$ . Stała długość  $L$  odnosiła się zarówno dla toczenia podczas chłodzenia z ciekłym azotem, jak i bez użycia cieczy chłodzącej (obróbka „na sucho”). Proces odbierania ciepła z przedmiotu obrabianego przebiegał następująco:

- w pojemniku termicznym materiał ze stali EN C45 został zanurzony w ciekłym azocie na 15 min,
- po tym czasie schłodzony przedmiot został zamocowany w uchwycie tokarki i przeprowadzono proces obróbki,
- co 5. przejście narzędzia przedmiot umieszczany był w pojemniku z ciekłym azotem i po ok. 5 min ponownie mocowany w uchwycie tokarki.

### Stanowisko badawcze

Widok strefy obróbki z zamocowanym przedmiotem obrabianym przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Fragment stanowiska badawczego do pomiaru siły skrawania  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$  podczas skrawania przedmiotu schłodzonego ciekłym azotem

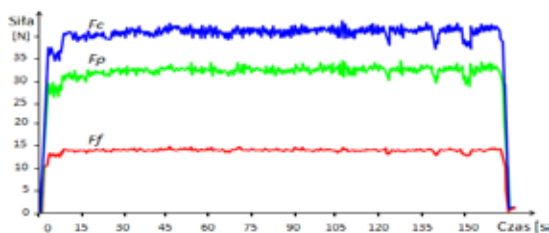
Badania przeprowadzono na tokarce uniwersalnej 16I20K o mocy silnika głównego 11 kW. Schłodzony przedmiot obrabiany (2) mocowany w uchwycie trójszczękowym (1) i podpartym kłem obrotowym (5). Do skrawania użyto oprawki nożowej DTG NR 2020K 16 (3) z zamocowaną płytką wymienną TNMX160408 – WF 4015. Pomiar składowych siły skrawania przeprowadzono z wykorzystaniem czujnika tensometrycznego (4), który miał możliwość zapisu wartości siły skrawania z częstotliwością 100 Hz. Czujnik tensometryczny podłączony był do wzmacniacza sygnału

\* Dr inż. Łukasz Żurawski (lukasz.zurawski@tu.koszalin.pl), prof. dr hab. inż. Borys Storch (borys.storch@tu.koszalin.pl), prof. nadzw. dr hab. inż. Anna Zawada-Tomkiewicz (anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl) – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Zakład Monitorowania Procesów Technologicznych

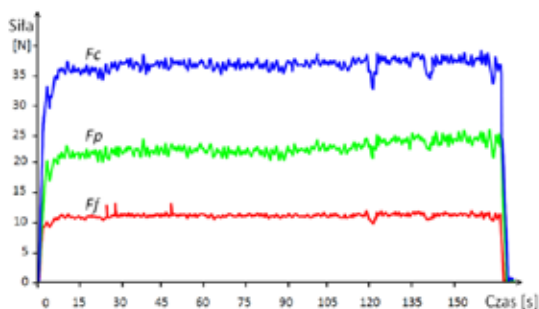
i poprzez wykorzystanie aplikacji komputerowej rejestrowano wartości trzech składowych siły skrawania.

## Wyniki badań

Wyniki pomiaru składowych siły skrawania podczas toczenia bez wykorzystania cieczy chłodzącej dla posuwu  $f = 0,05$  mm/obr zostały przedstawione na rys. 2. Dla początkowego czasu pomiaru wartości rosną od 0 N do 40 N dla głównej siły skrawania  $F_c$ , od 0 N do 14 N dla siły posuwowej  $F_f$  i od 0 N do 31 N dla siły odporowej  $F_p$ . Od ok. 6. sekundy do 2 min czasu skrawania wartości składowych siły zmieniały się w zakresie od 41 N do 46 N dla  $F_c$ , od 13 N do 16 N dla  $F_f$ , oraz 33 N do 36 N dla  $F_p$ . Jednocześnie dla każdej z rejestrowanych składowych siły skrawania  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$  w bardzo krótkim czasie (przez ok. 3  $\mu$ s) zaobserwowano nagłe zmniejszenie zmierzonych wartości sił o ok. 2 do 4 N. Zmianę tych wartości zarejestrowano w 2 min 4 s, 2 min 21 s i 2 min 33 s czasu skrawania.



Rys. 2. Przebieg zarejestrowanych wartości składowych siły skrawania  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$  podczas skrawania wałka z posuwem  $f = 0,05$  mm/obr bez użycia cieczy chłodzącej

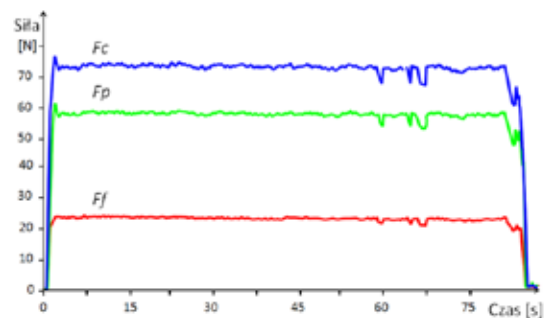


Rys. 3. Przebieg zarejestrowanych wartości składowych siły skrawania  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$  podczas skrawania z posuwem  $f = 0,05$  mm/obr wałka wstępnie schłodzonego ciekłym azotem

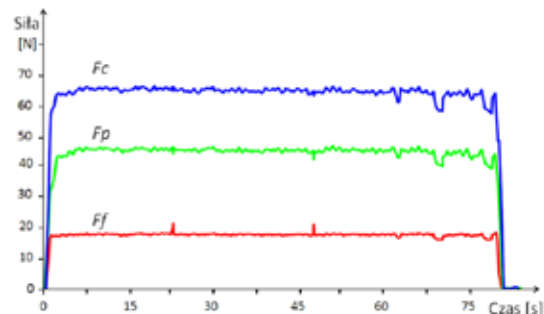
Wyniki pomiaru składowych siły skrawania podczas toczenia z wykorzystaniem ciekłego azotu dla posuwu  $f = 0,05$  mm/obr przedstawiono na rys. 3. Dla pierwszego kontaktu ostrza z materiałem obrabianym zmierzone wartości siły wynosiły od 0 N do 31 N dla siły  $F_c$ , od 0 N do 10 N dla siły  $F_f$ , od 0 N do 19 N dla siły  $F_p$ . Od 6. sekundy do ok. 2 min czasu skrawania wartości składowych siły skrawania były w stanie stabilnym, a ich wartości dla poszczególnych składowych mieściły się w zakresie od 33 N do 36 N dla  $F_c$ , od 10 N do 11 N dla  $F_f$  oraz od 19 N do 23 N dla  $F_p$ . Podobnie jak podczas skrawania z posuwem  $f = 0,05$  mm/obr bez użycia ciekłego azotu zaobserwowano nagłe, kilkusekundowe obniżenie rejestrowanych wartości składowych siły skrawania od 1 do 5 N. Zmiany wartości zarejestrowanych składowych siły skrawania były widoczne ok. 2 min, 2 min 20 s i 2 min 45 s czasu skrawania.

Zarejestrowane wartości składowych siły skrawania  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$  podczas toczenia bez chłodzenia z posuwem  $f = 0,1$  mm/obr zaprezentowano na rys. 4. Uzyskane wyniki zmierzonych wartości były dwukrotnie większe niż podczas skrawania z posuwem  $f = 0,05$  mm/obr. Zapisane wartości

dla  $F_c$  były w zakresie od 71 N do 73 N, dla  $F_f$  od 22 N do 24 N i dla  $F_p$  od 56 N do 58 N. Przebieg składowych siły skrawania był ustabilizowany. Po ok. 58 s, 1 min 3 s i 1 min 6 s od rozpoczęcia skrawania zarejestrowano nagłe obniżenie mierzonych wartości.



Rys. 4. Przebieg zarejestrowanych wartości składowych siły skrawania  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$  podczas skrawania wałka z posuwem  $f = 0,1$  mm/obr bez użycia cieczy chłodzącej



Rys. 5. Przebieg zarejestrowanych wartości składowych siły skrawania  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$  podczas skrawania z posuwem  $f = 0,1$  mm/obr wałka wstępnie schłodzonego ciekłym azotem

Zapis danych z przebiegu składowych siły skrawania z posuwem  $f = 0,1$  mm/obr i z wykorzystaniem ciekłego azotu zaprezentowano na rys. 5. Zmierzone wartości składowych siły przebiegały stabilnie, a uzyskane wyniki zawierały się w zakresie od 64 N, do 67 N dla głównej siły skrawania  $F_c$ , od 44 N, do 48 N dla siły odporowej  $F_p$  i dla 18 N siły posuwowej  $F_f$ . W czasie skrawania ok. 1 min 4 s, 1 min 12 s i 1 min 21 s wartości sił malały od 1 N do 8 N.

## Podsumowanie

Wyniki badań skrawania z zastosowaniem ciekłego azotu dla wartości posuwu  $f = 0,05$  i  $0,1$  mm/obr wykazały mniejsze wartości składowych siły – od 8 do 35% – w porównaniu ze skrawaniem bez użycia ciekłego azotu.

Wszystkie mierzone składowe siły skrawania po początkowym 15-sekundowym czasie skrawania wykazywały się stabilnym poziomem wartości.

## LITERATURA

- Ahmad-Yazid A., Taha Z., Almanar I.P. „A review of cryogenic cooling in high speed machining (HSM) of mold and die steels”. *Scientific Research and Essays*. Vol. 5 (2010): pp. 412÷427.
- Bartkowiak A., Legutko S. „Skrawanie w obniżonych temperaturach”. *Sesja Naukowa Komisji Technologii Budowy Maszyn PAN*. (1981): s. 283÷289.
- Hong S.Y., Markus I., Jeong W. „New cooling approach and tool life improvement in cryogenic machining of titanium alloy Ti-6Al-4V”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 41 (2001): pp. 2245÷2260.
- Storch B., Pałka T., Żurawski Ł., Zawada-Tomkiewicz A. „Wpływ zużycia ostrza na chropowatość powierzchni po toczeniu kriogenicznym”. *Szkoła Obróbki Skrawaniem – Nauka a Przemysł*. Nr 5 (2011): s. 119÷126. ■