

Termodynamiczne zależności w toczeniu swobodnym

Thermodynamic analysis in unconstrained turning

BORYS STORCH
ANNA ZAWADA-TOMKIEWICZ
ŁUKASZ ŻURAWSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.431

W badaniach zajęto się zagadnieniem pracy ostrza skrawającego w warunkach toczenia swobodnego. Przedstawiono wyniki analizy siły skrawania i siły termoelektrycznej dla skrawania wałków. Wnioski z badań wskazują, że przebiegi składowych siły skrawania i siły termoelektrycznej w funkcji prędkości skrawania mają charakter nieliniowy.

SŁOWA KLUCZOWE: siła skrawania, siła termoelektryczna, skrawanie swobodne

The study addresses the problem of a single point orthogonal cutting. The results of the analysis of cutting force and SEM turning of shaft for were presented. The conclusions of the research indicate that components of the cutting force and SEM behave nonlinearly in a function of cutting speed.

KEYWORDS: cutting force, SEM, unconstrained turning.

Badania skrawania cienkich warstw w przypadku nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych wymagają pogłębionego wyjaśnienia zjawisk siłowych i cieplnych. Aby badania z użyciem MES były wiarygodne, wymagają badań podstawowych. Poszukiwania opisanych związków zainspirowane były wcześniejszymi pracami [1÷4].

Pomiary siły skrawania

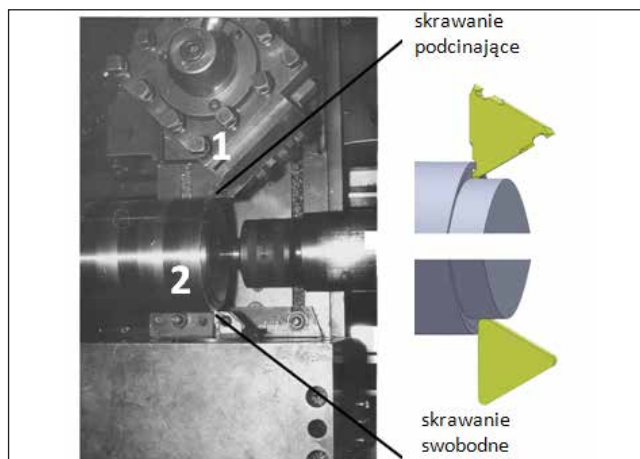
Badania przeprowadzono na tokarce TUD o mocy 7,5 KW na wałkach ze stali konstrukcyjnej gatunku C55 w stanie zmiękczonym do twardości 170 HB i średnicy 200 mm.

Na suportie umieszczono siłomierz tokarski, w którym zamocowano nóż hR 117.17 2525 z wymiennymi płytkami skrawającymi. Naprzeciw suportu, w imaku narzędziowym, zamocowano nóż do wytaczania (rys. 1). Zestawiono stanowisko składające się z dwóch noży, z których jeden – oznaczony 1 – podcinał kanałek, pozostawiając warstwę o szerokości $b = 1$ mm, drugi zaś – oznaczony 2 – skrawał tę warstwę z różnymi posuwami – w tym przypadku $f = h$. Podczas skrawania nóż tokarski 2 przemieszcza się po każdym obrocie przedmiotu o wielkość posuwu f . W ten sposób ostrze 1 (przy prawych obrotach toczenia) wyprzedza ostrze 2 o wysunięcie wynoszące około 0,5 mm z wyprzedzeniem o pół obrotu przedmiotu obrabianego. W wyniku tego ostrze 2 usuwa warstwę z posuwem f , przy czym grubość warstwy skrawanej równa jest posuwowi $f = h$ i szerokość skrawania $b = 1$ mm.

Jednoczesny pomiar trzech składowych siły skrawania F_c , F_f , F_p zapewniał tensometryczny siłomierz tokarski. Do pomiaru wielkości sygnału napięciowego z układów mostkowych siłomierza zastosowano precyzyjne wzmacniacze EWS/5S-5 firmy Hottinger, oddzielnie dla każdej składowej.

Przeprowadzono wzorcowanie siłomierza w trzech kie-

runkach prostopadłych v_c , f , p , stosując obciążenie w zakresie od 0 do 1500 N. W badanym zakresie przebiegi poszczególnych składowych miały charakter liniowy.



Rys. 1. Stanowisko badawcze

Zastosowane rozwiązanie mocowania noża z wymiennymi płytkami skrawającymi, do wytaczania „rury” (nóż 1) na rys. 1, pozwalało na przeprowadzenie badań w praktycznie dowolnych warunkach skrawania.

Pomiary siły termoelektrycznej SEM

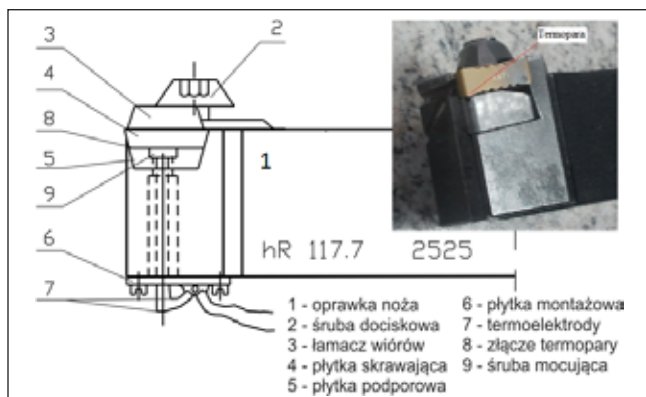
Zastosowanie noża z wymienną płytką skrawającą zmusiło do poszukiwania metody pomiaru temperatury podczas skrawania. Sposoby wprowadzenia termopar do płytki skrawającej lub metoda półobcego termoelementu są kosztowne z uwagi na wykonanie otworu w spiekach twardych i jednorazowej ich przydatności. Wykorzystano metodę obcego termoelementu, gdzie termoelektrody to para miedź–konstantan charakteryzująca się dużą siłą termoelektryczną, równą 4,27 mV na 100°C. Na rys. 2 przedstawiono sposób oraz miejsce umieszczenia termopary.

Termoparę umieszczono pod płytką skrawającą, wprowadzając ją przez wykonany specjalnie otwór w śrubie 9 mocującej płytkę podporową, gorące końce 8 zlutowano srebrem na zgrzewarce. Zgrzana maleńka kuleczka, pod działaniem śruby mocującej 2, poprzez płytkę łamacza wiórów 3 i płytkę skrawającą 4, ulegała zgnieceniu, tworząc na powierzchni płytki podporowej 5 ściśle do niej przylegający plasterek o powierzchni około 1 mm². Końce termoelektrod podłączone były do specjalnej płytki montażowej 6, przykręconej do oprawki noża. Po przylutowaniu miedzianych przewodów 7 do ścieżek na płycie montażowej 6 owijano azbestową tkaniną i osłonięto, zabezpieczając przed uszkodzeniem przez sphywający wiór.

Wszystkie zabiegi zapewniły, że w czasie badań eksperymentalnych nie stwierdzono odklejania ani przemieszczania termopary. Potwierdzone to zostało przez próby sprawdzające dla wielokrotnych zamocowań płytek

* 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), dr inż. Łukasz Żurawski (lukasz.zurawski@tu.koszalin.pl) – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Zakład Monitorowania Procesów Technologicznych

skrawających. Prylutowane przewody 10 podłączone były do mostka kompensacyjnego K5BT-04866, który miał możliwość zmian zakresów pomiarowych przez wymianę wkładek kompensacyjnych. Po próbach zastosowano wkładkę 15 V, umożliwiającą odczyt wielkości mierzonej z dokładnością 0,06 mV/mm. Istotną zaletą przyjętej metody pomiaru temperatur była możliwość jej jednoczesnego zapisu z mierzonymi wskazaniem sił skrawania. Stwierdzono, że temperatura w punkcie jej pomiaru stabilizowała się po czasie dłuższym aniżeli siły skrawania, dlatego też odczytu tych wielkości dokonywano po ok. minucie.



Rys. 2. Konstrukcja noża do pomiaru SEM (obca termopara)

Równoczesna rejestracja wartości sił F_c i F_f oraz siły termoelektrycznej E_Θ , były dodatkową zaletą stanowiska badawczego, ponieważ eliminowało to błędy pomiaru, których źródłem bywają zmienne własności mechaniczne poszczególnych fragmentów wałka.

Wykorzystanie E_Θ w opisanych badaniach bez wzorowania dla wyznaczenia temperatury skrawania ma uzasadnienie, ponieważ monitorowanie procesu skrawania odbywa się przez pomiar siły termoelektrycznej, a nie temperatury.

Na zbiorczym rys. 3 przedstawiono wpływ zmian prędkości skrawania v_c na siły składowe F_c i F_f (w N) dla posuwów $f = h$ (mm), na zależność siły E_Θ (w mV).

Widoczne są zaskakujące (patrz rys. 3) nieliniowe przebiegi zarówno dla składowych siły skrawania, jak i dla E_Θ w zależności od prędkości skrawania v_c .

Temat staje się bardzo aktualny w obróbce nowoczesnych materiałów stopowych: tytanu, magnezu, aluminium do obróbki, których stosuje się chłodzenie kriogeniczne w warunkach skrawania tak zwanych cienkich warstw. Takie badania realizowane są na wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej.

Wyniki badań analitycznych i doświadczalnych

Składowe siły skrawania F_c i F_f w N zestawiono na wykresach (rys. 3a i 3b) w funkcji przekroju warstwy skrawanej A_D ($f \times b = 1$ mm) i zmiennej prędkości skrawania v_c , dla wybranych wartości siły elektromotorycznej E_Θ .

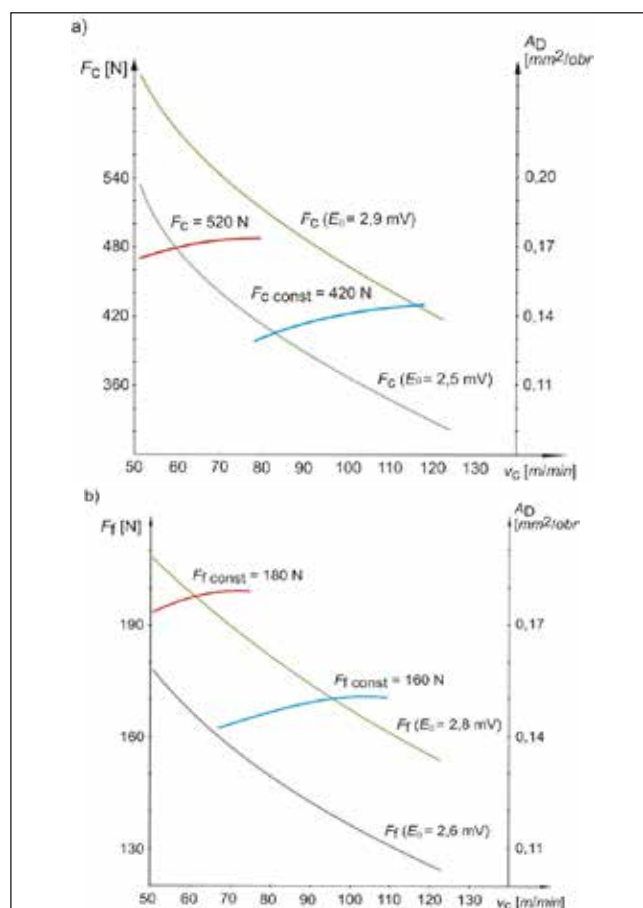
Zestawiona na rys. 3a składowa obwodowa siły skrawania F_c ma charakter nieliniowy w zależności od posuwu i prędkości skrawania. Wyznaczono krzywe stałej siły skrawania z uwzględnieniem ustalonej temperatury skrawania. Z przebiegu zależności $F_c = f(v_c, A_D)$ wynika, że aby utrzymać daną wartość SEM, można dobrać dowolne, wzajemnie kompensujące się wartości składowych kinematycznych i geometrycznych przekroju warstwy skrawanej.

Analogiczne przebiegi składowej posuwowej F_f zestawiono na rys. 3b. Widoczne są, analogicznie jak dla F_c również i w tym przypadku zaskakujące, nieliniowe prze-

biegi zarówno dla składowych siły skrawania, jak i dla SEM w zależności od prędkości skrawania v_c i przekroju A_D .

Podsumowanie

Z obszernych badań skrawania swobodnego wynika, że dla wybranych ustalonych wartości temperatury skrawania możliwy jest dynamiczny dobór wielu kombinacji parametrów h , v_c , wzajemnie kompensujących się parametrów kinematycznych i geometrycznych (poprzez definiowanie A_D). Jest to podstawą sterowania przebiegiem termodynamicznym procesu skrawania dla wdrożenia nowoczesnych programów na OSN.



Rys. 3. Zależność składowych siły skrawania dla wybranych wartości siły elektromotorycznej: a) $F_c = f(v_c, A_D)$, b) $F_f = f(v_c, A_D)$

Linie odpowiadające przebiegom składowych siły F_c i F_f dla ustalonych ich wartości mają mniej dynamiczne przebiegi i także możliwe jest wzajemnie kompensujące ich oddziaływanie. Wyniki wskazują na konieczność dalszych badań bardzo złożonych przebiegów zjawisk termodynamicznych w strefie skrawania z uwzględnieniem różnych materiałów skrawanych i narzędziowych oraz warunków chłodzenia kriogenicznego chłodzenia, szczególnie cienkich warstw.

LITERATURA

1. Makarow A. „Iznos i stoikost reżuszczich instrumentov”. Moskwa 1966.
2. Storch B., Zawada-Tomkiewicz A. „Distribution of unit forces on the tool nose rounding in the case of constrained turning”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Vol. 57 (2012): pp. 1÷9.
3. Popke H., Storch B. „Matematische beschreibung der entstehung mechanik von werkstuckberflaschen beim feindreihen”. *Gestaltung von fertigungsprozessen im maschinenbau, Vortrag*, Fachsekt IV Abspand und Abtrag technik. (1985): s. 1÷3. 2.
4. Betanelli A. „Stikost i nadieźnost reżuszczego”. Izdatelstwo Sobcata Sakartvelo, Tbilisi 1973.