

Dr inż. Łukasz ŚLUSARCZYK (Politechnika Krakowska):

BADANIE TOCZENIA ELEMENTÓW CIENKOŚCIENNYCH – STUDIUM PRZYPADKU

Streszczenie

W procesie skrawania duży wpływ na trwałość narzędzi oraz dokładność obróbki ma temperatura. Wysoka temperatura w strefie skrawania sprzyja utracie zdolności skrawnych narzędzia oraz jest przyczyną błędów obróbki wynikających z przyrostu wymiarów liniowych przedmiotów obrabianych. Wymiary przedmiotu rozgrzewanego ciepłem skrawania są większe i zmniejszają się w miarę stygnięcia. Prowadzi to do błędów pomiaru, a w przypadku przedmiotów o małej masie i większych wymiarach liniowych (cienkościennych tulei, prętów), rozgrzewających się do kilkuset stopni, również do poważnych błędów wykonania. W pracy przeprowadzono badania, polegające na określeniu rozkładu temperatury w strefie skrawania w zależności od przyjętych parametrów obróbki. Dodatkowo, stosując kamerę szybkoklatkową, podjęto próbę oceny wpływu parametrów obróbki na pracę narzędzia skrawającego.

Słowa kluczowe: obróbka, temperatura, strefa skrawania

TESTING OF TURNING OF THIN-WALLED COMPONENTS – CASE STUDY

Abstract

High temperature occurring during the cutting process exerts a considerable influence on the tool life and machining accuracy. High temperature in the cutting zone causes the tool's loss of cutting ability and machining errors resulting from the increase in linear dimensions of machined objects. The dimensions of the object heated with the cutting heat are bigger and they decrease upon cooling. The above mentioned, leads to errors in measurements, and in case of objects of low mass and bigger linear dimensions (thin-wall tubes, rods), which get heated up to several hundred degrees, serious errors occur. The thesis presents results of tests aimed to determine the temperature distribution in the cutting zone depending on adopted machining parameters. Additionally, the thesis undertakes the attempt to assess, with the application of the fast capture camera, the influence of machining parameters on the operation of the cutting tool.

Keywords: machining, temperature, cutting zone

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, al. Jana Pawła II 37, 37-864 Kraków

BADANIE TOCZENIA ELEMENTÓW CIENKOŚCIENNYCH – STUDIUM PRZYPADKU

Łukasz ŚLUSARCZYK

STRESZCZENIE

Prezentowany artykuł przedstawia zagadnienia związane z obróbką elementów cienkościennych. W ramach części praktycznej wykonano toczenie wzdłużne dwóch próbek cienkościennych o takich samych wymiarach geometrycznych. Jedna z próbek wykonana była ze stali A10X, druga ze stali NC6. Podczas obróbki, wykorzystując kamerę termowizyjną, rejestrowano rozkłady temperatury w strefie skrawania. Podjęto także próbę określenia wielkości odkształceń sprężystych próbek, występujących podczas toczenia oraz wyznaczono chropowatość powierzchni po obróbce. Wykazano, że wyższe temperatury w strefie skrawania oraz większe odkształcenia sprężyste występowały przy obróbce próbki ze stali NC6. Analizując chropowatość powierzchni próbek po obróbce, wykazano, że niższą chropowatość uzyskano na powierzchni próbki ze stali A10X.

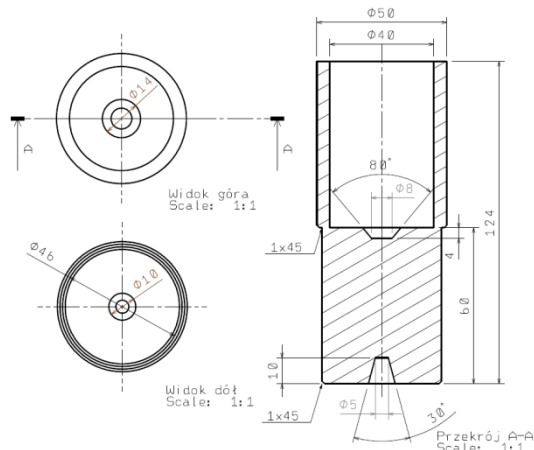
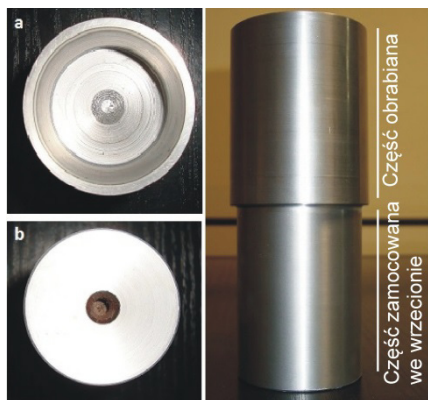
Słowa kluczowe: obróbka, temperatura, strefa skrawania

1. WSTĘP

Obróbka skrawaniem cechuje się tym, że towarzyszą jej szybko narastające naprężenia oraz odkształcenia plastyczne i sprężyste [4, 5]. W obszarach, gdzie występują intensywne oddziaływania fizyczne generowana jest dosyć znaczna ilość ciepła. Wymiana ciepła w układzie narzędzie – przedmiot obrabiany skutkuje wysokim przyrostem wartości temperatury elementów układu. W strefie skrawania istnieją obszary, gdzie pomiar temperatury metodami wymagającymi kontaktu przyrządu pomiarowego z elementem obrabianym bądź narzędziem jest praktycznie niemożliwy - takim miejscem jest strefa styku ostrza narzędzia z przedmiotem obrabianym [6, 8, 10]. W współczesnej technice stosuje się bezstykowe metody pomiaru temperatury przez stosowanie kamer termowizyjnych [1, 2, 3, 9, 11].

2. BADANIA

Do badań, zostały użyte dwie próbki, tuleje o takich samych wymiarach geometrycznych. Jedna wykonana ze stali automatowej A10X, druga ze stali narzędziowej NC6. Skrawanie wzdłużne próbek realizowane było w takich samych warunkach i z takimi samymi parametrami obróbki. Na rys. 1 przedstawiono fotografię próbek poddanych obróbce, z zaznaczoną powierzchnią obrabianą i powierzchnią zamocowaną we wrzecionie obrabiarki, natomiast na rys. 2 przedstawiono wymiary geometryczne próbek.



Rys. 1. Fotografie próbek ze stali A10X i NC6

Rys. 2. Wymiary geometryczne próbek

Materiał, z którego wykonana była pierwsza próbka, stal A10X, należy do grupy stali automatowych. Cechuje się ona podwyższoną zawartością fosforu i siarki. Obecność tych pierwiastków powoduje, że mikrostruktura stali zawiera znaczną ilość wtrąceń niemetalicznych, głównie w postaci siarczków i fosforanów, co ułatwia łamanie się wióra. Konsekwencją tego jest łatwość obróbki stali A10X na automatach i obrabiarkach szybkoobrotowych, stosowana jest głównie do produkcji drobnych elementów maszyn, które nie podlegają dużym obciążeniom [7, 12]. Charakterystyka stali A10X przedstawiona została w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka stali A10X

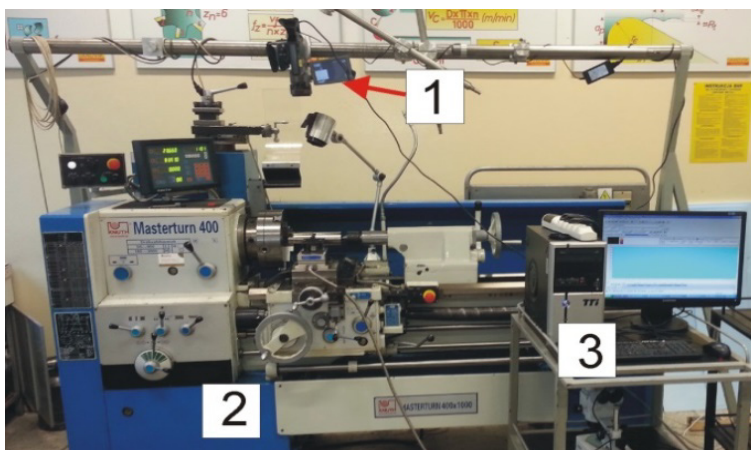
Skład chemiczny (wartość %)	C	Mn	Si	P	S
	0,14	0,9-1,3	0,05	0,11	0,27-0,33
Własności mechaniczne	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 380$ MPa				
	Granica plastyczności $R_e = 390$ MPa				
	Współczynnik Poissona $\nu = 0,27$				
	Moduł Younga $E = 190$ GPa				

Materiał drugiej próbki to stal NC6, pochodzi z grupy stali narzędziowych przeznaczonych do pracy na zimno. Charakteryzuje się wysoką odpornością na ścieranie i dużą twardością, zaś po hartowaniu jest nisko ciągliwa [7, 12]. Jest ona przeznaczona do wyrobu przedmiotów, których grubość nie przekracza 15 mm, najczęściej są to narzędzia skrawające, tnące lub pomiarowe, które nie mogą zmieniać wymiarów po hartowaniu (gwintowniki, rozwiertaki, frezy, płyty tnące do wykrojników). Charakterystyka stali NC 6 przedstawiona została w tabeli 2.

Tabela 2. Charakterystyka stali NC6

Skład chemiczny (wartość %)	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
	1,3 – 1,45	0,4– 0,7	0,15 – 0,4	0,03 (max)	0,03 (max)	1,3 – 1,65	0,35 (max)	0,2 (max)	0,35 (max)
Własności mechaniczne	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 1158 \text{ MPa}$								
	Granica plastyczności $R_e = 1034 \text{ MPa}$								
	Współczynnik Poissona $\nu = 0,27$								
	Moduł Younga $E = 190 \text{ GPa}$								

Na rys. 3 przedstawiono zestawione stanowisko badawcze wyposażone w 1-kamerę termowizyjną FLIR SC 620, 2-tokarkę precyzyjną Knuth Masterturn 400 oraz 3-komputer z oprogramowaniem ThermoCam Researcher 2.9, pozwalającym na rejestrację i analizę termogramów. Do połączenia kamery termowizyjnej z komputerem wykorzystano złącze FireWire.



Rys. 3. Stanowisko badawcze do rejestracji termogramów 1- kamera termowizyjna FLIR S.C. 620, 2 – tokarka precyzyjna Knuth Masterturn 400, 3 – komputer z oprogramowaniem ThermoCam Researcher 2.9

Na stanowisku zostały przeprowadzone i zarejestrowane kamerą termowizyjną próby skrawania. Każda z próbek czterokrotnie została poddana obróbce toczeniem po-

wierzchni zewnętrznej na długości 50 mm. Parametry skrawania przedstawiono w tabeli 3. Do badań wykorzystano płytkę skrawającą firmy Sandvik Coromant o oznaczeniu TPGN 16 03 12, gatunek węgla H1P.

Tabela 3. Parametry skrawania próbek

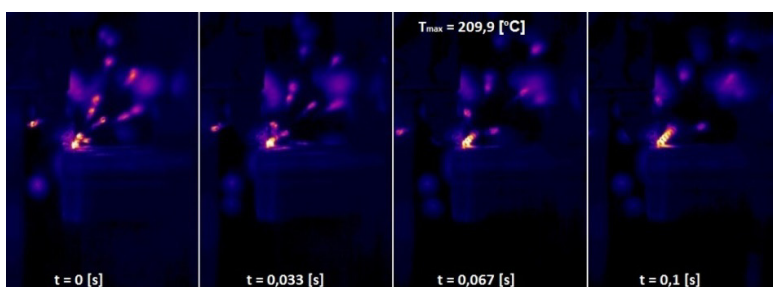
Prędkość skrawania v_c [m/min]	80
Posuw f [mm/obr]	0,211
Głębokość skrawania a_p [mm]	0,5

Parametry konfiguracyjne kamery termowizyjnej przedstawiono w tabeli 4.

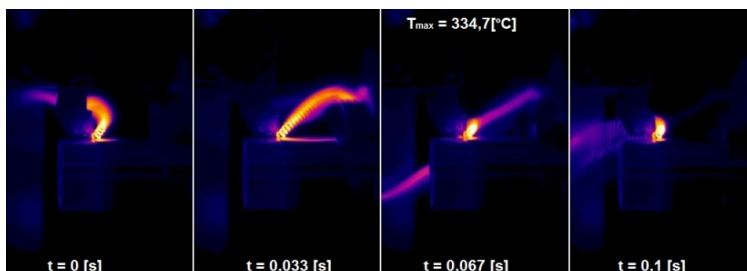
Tabela 4. Parametry ustawienia kamery termowizyjnej

Temperatura otoczenia	24°C
Emisyjność obiektu	0,98
Wilgotność względna	37%
Odległość kamery od przedmiotu obrabianego	60 cm
Częstotliwość rejestracji	30 kl/s

Otrzymane termogramy umożliwiły określenie rozkładu temperatury na obrabianej powierzchni próbek dla każdej próby. Poniżej, na rys. 4 i 5 przedstawiono przykładowe sekwencje zarejestrowane przy obróbce stali A10X i NC6.



Rys. 4. Sekwencja zarejestrowaną przy obróbce stali A10X, podczas pierwszej próby



Rys. 5. Sekwencja zarejestrowaną przy obróbce stali NC6, podczas pierwszej próby

W tabeli 5 przedstawiono wartości maksymalnej temperatury zarejestrowanej podczas obróbki stali A10X i NC6 dla każdej próby.

Tabela 5. Wartości maksymalnej temperatury zarejestrowanej podczas obróbki stali A10X i NC6

Numer próby	Temperatura maksymalna [°C]	
	stal A10X	stal NC6
1.	209,9	334,7
2.	210,2	347,1
3.	226,3	358,3
4.	232,2	377,7

Wzrost wartości temperatury maksymalnej dla kolejnych prób, był spowodowany tym, że przy każdej kolejnej próbie przewodzenie ciepła odbywało się w mniejszej objętości materiału. Wartości temperatury maksymalnej uzyskane w próbach przeprowadzonych na stali NC6 były wyższe od wartości uzyskanych podczas badań wykonywanych na stali A10X. Zależy to od właściwości stali – stal A10X należy do grupy stali automatowych, przez co jest dobrze skrawalna, z kolei stal NC6, jako stal narzędziowa ma gorszą skrawalność. Stwierdzono, że temperatura maksymalna zarejestrowana w poszczególnych próbach były wyższa o około 120-130 °C dla próbki ze stali NC6. Wpływ na tą sytuację, poza gorszą skrawalnością stali NC6, mógł mieć współczynnik przewodności cieplnej, który dla stali NC6 wynosi $\lambda=34$ W/m·K, natomiast dla stali A10X: $\lambda=51,9$ W/m·K. W ramach badań podjęto próbę wyznaczenia odkształceń sprężystych przedmiotów obrabianych podczas każdej próby skrawania. W tabelach 6 i 7 przedstawiono rzeczywiste (zmierzone) średnice próbek oraz teoretyczne (wynikające z przyjętej głębokości skrawania) a także odchyłki wymiarów między wartościami rzeczywistymi i teoretycznymi. Na podstawie odchyłek wymiarów, można stwierdzić, że odkształcenia sprężyste dla próbki ze stali NC6 były większe.

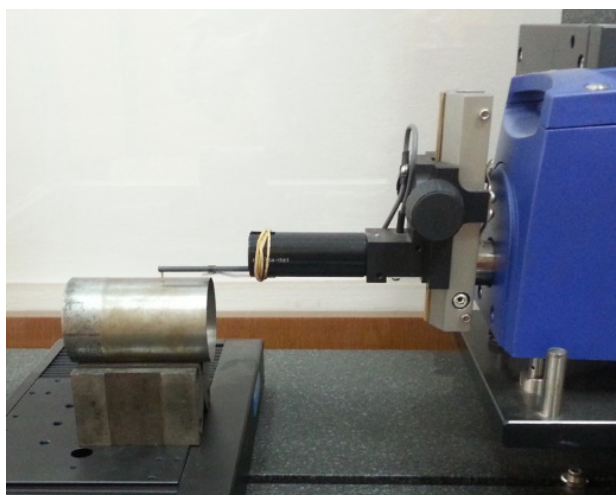
Tabela 6. Odchyłki wymiarów między teoretycznymi a zmierzonymi średnicami próbek – stal A10X

Stan próbki	Głębokość skrawania a_p [mm]	Średnica zewnętrzna rzeczywista [mm]	Średnica zewnętrzna teoretyczna [mm]	Odchyłka wymiaru ΔS [mm]
Próbka nowa		50,00	50,00	0,00
Próba 1	0,5	49,01	49,00	0,01
Próba 2	0,5	48,04	48,00	0,04
Próba 3	0,5	47,07	47,00	0,07
Próba 4	0,5	46,12	46,00	0,12

Tabela 7. Odchyłki wymiarów między teoretycznymi a zmierzonymi średnicami próbek – stal NC6

Stan próbki	Głębokość skrawania a_p [mm]	Średnica zewnętrzna rzeczywista [mm]	Średnica zewnętrzna teoretyczna [mm]	Odchyłka wymiaru ΔS [mm]
Próbka nowa		50,00	50,00	0,00
Próba 1	0,5	49,03	49,00	0,03
Próba 2	0,5	48,07	48,00	0,07
Próba 3	0,5	47,12	47,00	0,12
Próba 4	0,5	46,17	46,00	0,17

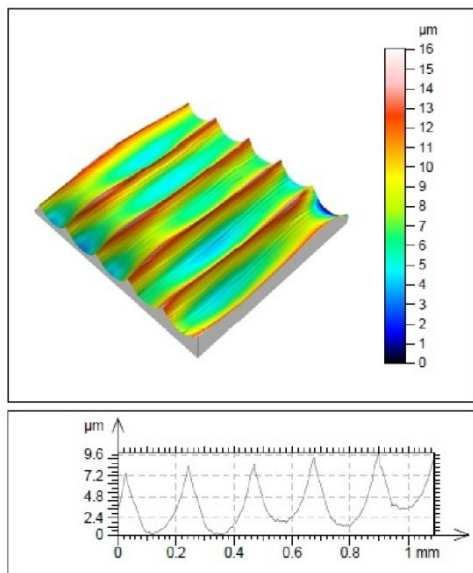
Po zakończonych próbach skrawania, wykonano pomiar chropowatości 2D oraz 3D otrzymanych powierzchni. Pomiary zostały wykonane na stanowisku przedstawionym na rys. 7, urządzeniem Taylor Hobson Form Talyfurf 50, pięciokrotnie na powierzchni każdej z próbek.



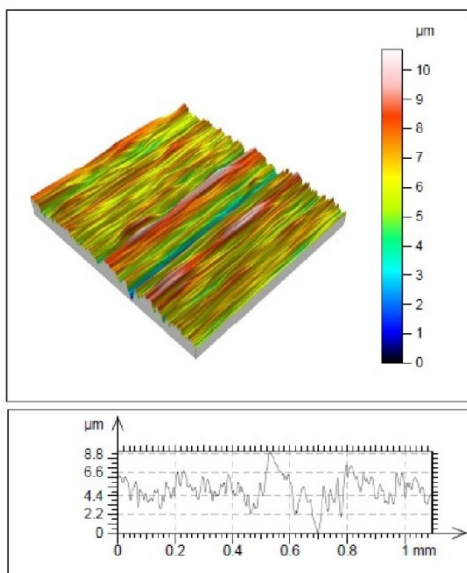
Rys. 7 Stanowisko do pomiaru chropowatości powierzchni Taylor Hobson FormTalyfurf 50

Dla próbki ze stali A10X parametry chropowatości 2D i 3D były wyższe niż dla próbki ze stali NC6. Średnia wartość chropowatości dla próbki ze stali A10X $R_a=1,9 \mu\text{m}$, zaś dla próbki ze stali NC6 $R_a =1,07 \mu\text{m}$. Poniżej na rys. 8 i 9 przedstawiono obrazy przestrzenne 3D fragmentów powierzchni próbki ze stali A10X i NC6 oraz wyniki analizy powierzchni 3D z profilami chropowatości. Powierzchnia próbki ze stali A10X charakteryzuje się większą regularnością śladów obróbkowych jednak

posiada wyższą chropowatość w stosunku do powierzchni próbki ze stali NC6. Dla próbki ze stali A10X, parametr $S_a = 2,09 \mu\text{m}$, dla próbki ze stali NC6: $S_a = 1,09 \mu\text{m}$.



Rys. 8. Analiza powierzchni 3D z profilem chropowatości – stal A10X



Rys. 9. Analiza powierzchni 3D z profilem chropowatości – stal NC6

3. PODSUMOWANIE

Przedmiotem badań opisanych w pracy było toczenie wzdłużne elementów cienkościennych. Dysponując stanowiskiem pomiarowym składającym się z kamery termowizyjnej oraz specjalistycznego oprogramowania przeprowadzono rejestrację temperatury w strefie skrawania. Wzrost temperatury przy każdej kolejnej próbie, spowodowany był przewodzeniem ciepła w mniejszej objętości materiału. Wykazano również, że przy obróbce stali automatowej A10X temperatura w strefie skrawania była niższa o ok. 120-130 °C od temperatury przy obróbce stali narzędziowej NC6. Zarejestrowane wartości odkształceń sprężystych są nieco mniejsze przy obróbce elementów cienkościennych wykonanych ze stali automatowej A10X i wynikają z niższych oporów skrawania. Uzyskane obrazy przestrzenne 3D fragmentów powierzchni próbek świadczą o większej regularności śladów obróbkowych na powierzchni próbki ze stali A10X, jednak parametry chropowatości powierzchni 2D i 3D są nieco wyższe, niż próbki ze stali NC6.

LITERATURA

- [1] BAREŁA J., FIRMANTY K., MADURA H., POLAKOWSKI H., *Kamera termowizyjna w pomiarach emisyjności powierzchni metali*. Pomiary, Automatyka, Komputery w Gospodarce i Ochronie Środowiska, nr 2/ 2008.
- [2] BEDNAREK M., CHYBOWSKI R., RYBIŃSKI J., *Błędy występujące przy pomiarach kamerą termowizyjną*. Wiadomości Elektrotechniczne, nr 6/2002.
- [3] GADAJ S. P., *Termografia w mechanice*. LAB Laboratoria, Aparatura, Badania, nr 1/2000.
- [4] GRZESIK W., *Podstawy skrawania materiałów metalowych*. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1998.
- [5] JEMIELNIAK K., *Obróbka skrawaniem*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
- [6] JÓŻWIK E., LIPSKI J., *Wpływ warunków skrawania na dokładność geometryczną wyrobu*. Przegląd Mechaniczny, nr 10/2004.
- [7] KAWALEC M., *Efekty technologiczne obróbki na twardo materiałów metalowych*. Mechanik, nr 1/2006.
- [8] KOSMYNINA M., *Analiza zjawisk towarzyszących procesowi skrawania*. Mechanik, nr 1/2012.
- [9] MINKINA W., *Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody*. Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004.
- [10] OLSZAK W., *Obróbka skrawaniem*. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2009.
- [11] RUDOWSKI G., *Termowizja i jej zastosowanie*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1978.
- [12] STORCH B., *Podstawy obróbki skrawaniem*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2001.