

Dr inż. Łukasz NOWAKOWSKI; mgr inż. Michał SKRZYNIARZ;
dr hab. inż. Edward MIKO, prof. PŚk (Politechnika Świętokrzyska):

PORÓWNANIE SPOSOBU WYZNACZANIA WARTOŚCI MINIMALNEJ GRUBOŚCI WARSTWY SKRAWANEJ DLA TOCZENIA I FREZOWANIA

Streszczenie

Omówiono sposób przygotowania próbki do pomiarów minimalnej grubości warstwy skrawanej, polegający na eliminacji bicia podczas toczenia i frezowania. Ponadto zaprezentowano praktyczny sposób pomiaru minimalnej grubości warstwy skrawanej za pomocą profilometru stykowego i urządzeń optycznych.

Słowa kluczowe: minimalna grubość warstwy skrawanej, toczenie, frezowanie

A COMPARISON OF THE MODE OF DETERMINATION OF A MINIMUM THICKNESS VALUE OF THE MACHINED LAYER FOR TURNING AND MILLING

Abstract

The article discusses the mode of preparation of a sample for measurements of a minimum thickness of the machined layer, consisting in elimination of run-out during turning and milling. Moreover, a practical method of measurement of a minimum thickness of the machined layer using a contact profilometer and optical devices was presented.

Keywords: minimum thickness of the machined layer, turning, milling

PORÓWNANIE SPOSOBU WYZNACZANIA WARTOŚCI MINIMALNEJ GRUBOŚCI WARSTWY SKRAWANEJ DLA TOCZENIA I FREZOWANIA

Łukasz Nowakowski, Michał Skrzyniarz, Edward Miko¹

1. WPROWADZENIE

Wielkością określającą początek rozdzielania warstwy materiału podczas obróbki skrawaniem jest minimalna grubość warstwy skrawanej (h_{\min}), która określa najmniejszą możliwą do usunięcia w danych warunkach skrawania warstwę materiału.

W strefie skrawania można wyróżnić trzy etapy oddziaływania krawędzi ostrza skrawającego na materiał skrawany [1,2]:

I - gdy $a_p < h_{\min}$: występują odkształcenia sprężyste i ugniatanie plastyczne materiału obrabianego,

II - gdy $a_p = h_{\min}$: występują odkształcenia sprężysto-plastyczne z częściowym skrawaniem materiału obrabianego,

III - gdy $a_p > h_{\min}$: początek usuwania materiału w postaci wióra.

Wielu badaczy podjęło próbę teoretycznego [3-7] jak i doświadczonego wyznaczenia minimalnej grubości warstwy skrawanej. Obecnie znanych jest wiele modeli do prognozowania wartości h_{\min} . Najprostszą teoretyczną metodą określenia minimalnej grubości warstwy skrawanej jest metoda zaproponowana przez Kawalca, gdzie wartość h_{\min} jest iloczynem wartości współczynnika tarcia pomiędzy ostrzem skrawającym i obrabianym materiałem (k), a wielkością promienia zaokrąglenia ostrza skrawającego (r_n) [8]. Poza modelami matematycznymi, które prognozują minimalną grubość warstwy skrawanej opracowano także metodę praktyczną [9]. Jednak w niektórych sprzyjających warunkach warstwa materiału położona poniżej minimalnej grubości warstwy skrawanej może także być zamieniona w wiór [10].

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii

2. METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań było porównanie wartości i sposobu wyznaczania wartości minimalnej grubości warstwy skrawanej dla toczenia i frezowania dla stali C45. W przypadku prób frezarskich próbka została przygotowana w kształcie prostopadłościanu i umieszczono ją na pochyłej pryzmie zamocowanej w uchwycie obróbkowym. Powierzchnię próbki przed rozpoczęciem prób szlifowano, a następnie za pomocą sody przedmiotowej oraz cyklu pomiarowego wyznaczono kąt pochylenia. Próbkę do prób tokarskich przygotowano w postaci stożka o znanej zbieżności mocowanej na trzpieniu tokarskim. Przed przystąpieniem badań próbka była szlifowana. Obie próby skrawania polegały na stopniowym inicjowaniu procesu skrawania bez płynu chłodząco - smarującego.

Pomiar geometrii głowicy frezarskiej wykazał błędy zamocowania ostrzy w korpusie głowicy [11] w kierunku poosiowym $7,7 \mu\text{m}$ oraz $15,7 \mu\text{m}$ w kierunku promieniowym. W celu wyeliminowania błędów związanych z zamocowaniem płytek skrawających w korpusie głowicy, uniknięcia bicia czołowego [12] i promieniowego, wyposażono ją w jedną płytkę skrawającą.

W celu wyeliminowania bicia podczas obróbki tokarskiej związanej z zamocowaniem próbki w uchwycie trójszczekowym, próbkę tokarską zamocowano na trzpieniu tokarskim, następnie przeszlifowana na trzpieniu i bez demontażu została zamocowana w kłach na tokarce. Trzpień podparto kłami a moment obrotowy został przeniesiony na próbkę za pomocą zabieraka, co pozwoliło na wyeliminowanie błędu bicia promieniowego. W tabeli nr 1 przedstawiono sposób przygotowania próbek oraz prowadzenie obróbki dla wyznaczenia minimalnej grubości warstwy skrawanej.

Tab.1. Procedura wyznaczenie h_{min} dla toczenia i frezowania

	Toczenie	Frezowanie
Sposób przygotowania próbki	<ul style="list-style-type: none"> - przygotowanie próbki w kształcie stożka o znanej zbieżności - szlifowanie próbki na trzpieniu tokarskim - pomiar stożka na współrzędnościowej maszynie pomiarowej 	<ul style="list-style-type: none"> - przygotowanie próbki w kształcie prostopadłościanu o danym kącie pochylenia - szlifowanie próbki - pomiar kąta nachylenia próbki bezpośrednio na maszynie za pomocą sondy przedmiotowej lub z wykorzystaniem współrzędnościowej maszyny pomiarowej
Prowadzenie obróbki	- toczenie wzdłużne na trzpieniu zamocowanym w kłach	- frezowanie czołowe próbki osadzonej na pryzmie

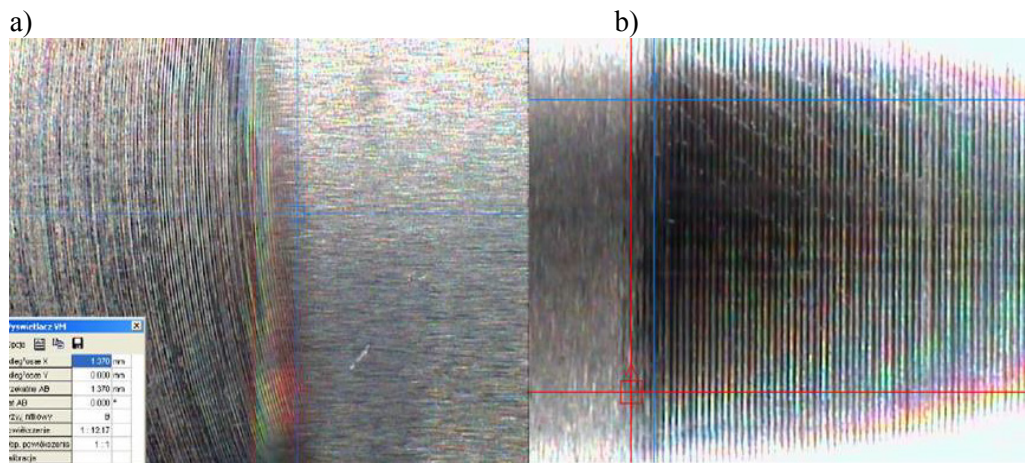
Prace frezarskie przeprowadzono na pionowym centrum frezarskim AVIA VMC800. Narzędziem wykorzystanym do obróbki była głowica frezarska wyposażona w płytkę 490-08T308M-PL o promieniu naroża 0,8 mm. Prace tokarskie przeprowadzono na centrum tokarskim DMG ALFA500. Do prób skrawania użyto płytkę skrawającą DCMT150408 o takim samym promieniu naroża jak w przypadku prób frezarskich.

Próby skrawania w przypadku toczenia jak i frezowania prowadzono z posuwem 0,1 mm/obr, natomiast prędkość skrawania dla frezowania wyniosła 300 m/min, a dla toczenia 220 m/min. Kolejnym etapem eksperymentu było przeprowadzenie pomiarów minimalnej grubości warstwy skrawanej za pomocą profilometru stykowego, mikroskopu warsztatowego, systemu pomiarowego wyposażonego w kamerę VM-2045 oraz maszynę optyczną MarVision MM 320QC 300R.

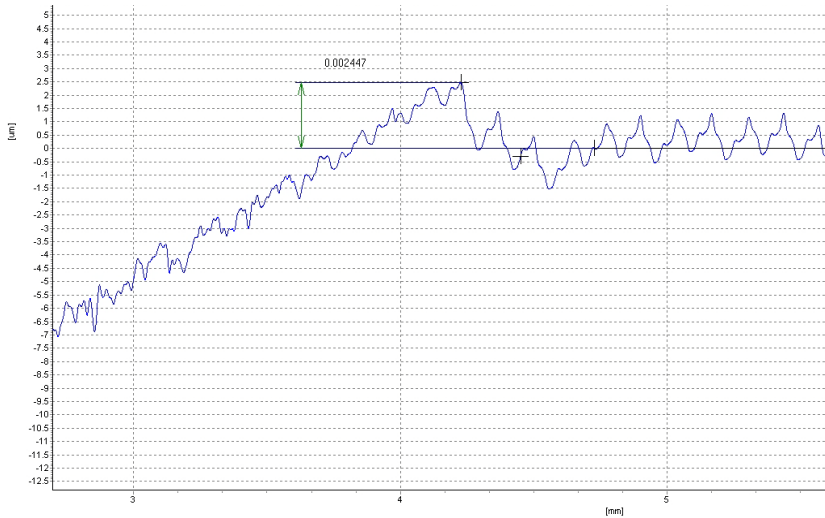
3. WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe obrazy z systemu pomiarowego VM-2045, pozwalające rozpoznać poszczególne strefy oddziaływania ostrza na materiał obrabiany. Na rysunku nr 2 i 3 zostały przedstawione sposoby pomiaru minimalnej grubości warstwy skrawanej za pomocą profilometru stykowego.

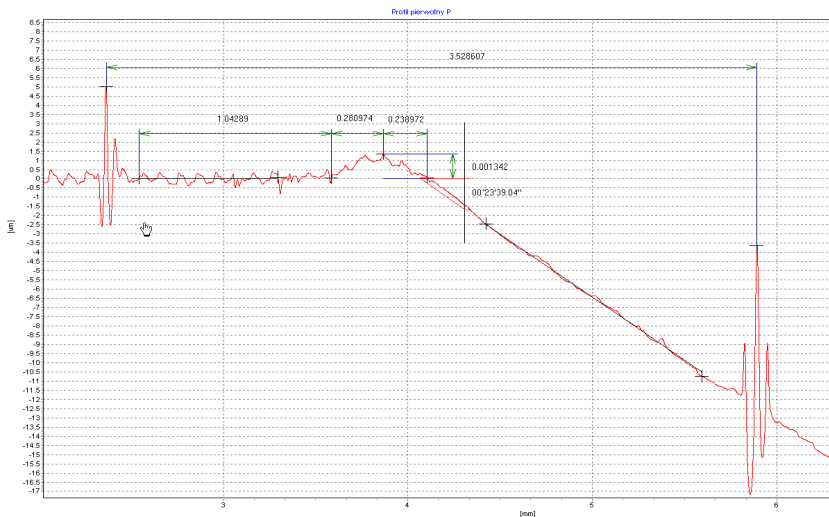
Pomiary długości poszczególnych stref oraz wyznaczenie kąta pochylenia poszczególnych próbek umożliwiło za pomocą funkcji trygonometrycznych wyznaczyć parametr h_{\min} .



Rys. 1. Obraz z systemu wizyjnego VM-2045 z zaznaczonymi obszarami pełnego skrawania materiału a) próbka frezarska b) próbka tokarska



Rys 2. Przykładowy profil powierzchni próbki do wyznaczenia minimalnej grubości warstwy skrawanej uzyskany po toczeniu wzdłużnym



Rys 3. Przykładowy profil powierzchni próbki do wyznaczenia minimalnej grubości warstwy skrawanej uzyskany po frezowaniu czołowym

W tabelach 1 i 2 zostały przedstawione rezultaty pomiarów minimalnej grubości warstwy skrawanej dla toczenia i frezowania. W kolumnie nr 2 zostały umieszczone

bezpośrednie wyniki pomiaru z profilometru stykowego, natomiast w kolumnach 3-6 przedstawiono pomiary minimalnej grubości warstwy skrawanej za pomocą metod optycznych. W ostatnich czterech kolumnach przedstawiony został eksperymentalny błąd metody (EBM) dla metod optycznych w odniesieniu do pomiaru stykowego.

Tab. 1. Zestawienie wyników pomiaru parametru h_{min} i EBM metodami optycznymi i stykowymi dla próbek tokarskich

1	$h_{min}, \mu m$				EBM, %		
	2	3	4	5	7	8	9
Nr próbki	Topo 01 P	Mikroskop	VM-2045	MarVision	Mikroskop	VM-2045	MarVision
1	2,68	2,67	2,70	2,66	0,40	0,84	0,90
2	2,45	2,44	2,42	2,51	0,33	1,17	2,40
3	2,44	2,36	2,42	2,41	3,21	0,75	1,30
4	3,69	3,97	3,70	3,75	7,51	0,26	1,53
5	3,29	3,17	3,27	3,33	3,62	0,57	1,27
6	3,05	3,09	3,13	3,16	1,34	2,58	3,75
7	2,53	2,80	2,85	2,98	10,79	11,23	17,67
8	3,01	2,88	2,99	3,14	4,43	0,65	4,46
9	2,91	2,80	2,70	2,68	3,67	7,67	8,04
10	2,94	2,84	2,85	3,13	3,52	3,16	6,49
11	3,19	3,01	2,99	3,09	5,63	6,67	3,11
				Średnia	4,04	3,23	4,63

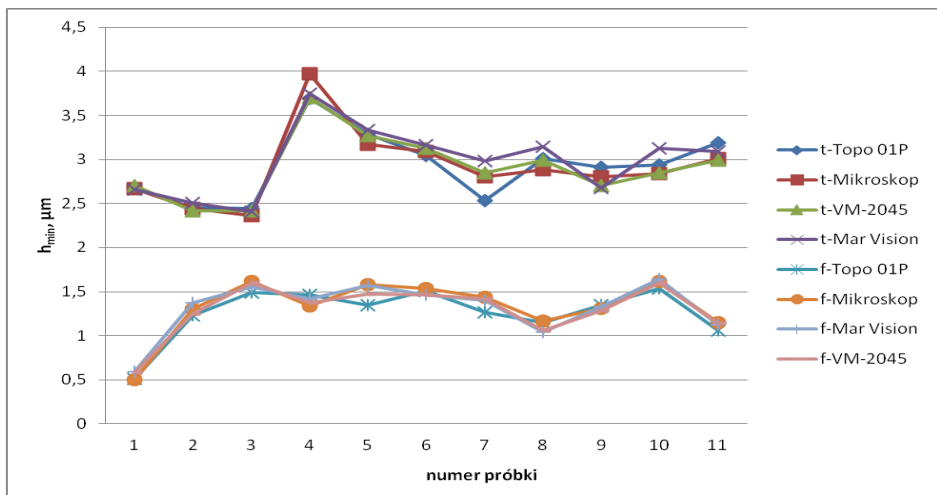
Jak zauważamy z tabeli nr 1, rozbieżności obliczonych wartości h_{min} w stosunku do pomiaru stykowego wynoszą: dla mikroskopu warsztatowego 4,04 %, dla kamery VM-2045 3,23 %, maszyny optycznej MarVision 4,63 %, mikroskopu Nikon 5,27 %. Średnia z pomiarów metodami optycznymi jest mniejsza od 10.

Analizując wartość parametru h_{min} dla próbek frezowania (Tab.2.) dla próbki 1 wyraźnie różni się od pozostałych, jest to konsekwencją błędu przygotowania powierzchni próbki wykorzystywanej podczas badań. W związku z zaistniałą sytuacją wyniki uzyskane dla próbki pierwszej traktowane są, jako błędne.

Tab. 2. Zestawienie wyników pomiaru parametru h_{\min} i EBM metodami optycznymi i stykowymi dla prób frezarskich

1	$h_{\min}, \mu\text{m}$				EBM, %		
	2	3	4	5	7	8	9
Nr próbki	Topo 01 P	Mikroskop	MarVision	VM-2045	Mikroskop	MarVision	VM-2045
1	0,511	0,503	0,595	0,588	1,57	16,36	16,36
2	1,23	1,30	1,37	1,25	6,03	11,90	11,90
3	1,49	1,62	1,55	1,60	8,47	4,07	4,07
4	1,46	1,34	1,42	1,37	7,57	2,28	2,28
5	1,35	1,58	1,57	1,47	16,53	16,20	16,20
6	1,51	1,54	1,46	1,46	1,99	3,72	3,72
7	1,27	1,44	1,40	1,42	13,10	10,08	10,08
8	1,15	1,17	1,04	1,06	2,03	9,68	9,68
9	1,35	1,31	1,33	1,28	3,24	1,25	1,25
10	1,54	1,62	1,64	1,60	5,03	6,49	6,49
11	1,06	1,15	1,12	1,14	8,35	5,12	5,12
Średnia					6,72	7,92	7,92

Rozbieżności obliczonych wartości h_{\min} dla prób frezarskich od zmierzonych na profilometrze wyniosły odpowiednio dla mikroskopu 6,72%, dla MarVision 7,92% oraz dla przyrządu video VM-2045 7,09%. Rozbieżności poniżej 10% są zadowalające i świadczą o tym, że pomiary i obliczenia zostały przeprowadzone poprawnie.



Rys 4. Graficzna interpretacja wyników pomiarów i obliczeń wartości parametru minimalnej grubości warstwy skrawanej dla prób tokarskich i frezarskich

Na rys. 4 widać, że wartości parametru h_{\min} dla frezowanie oscyluje w przedziale $1 \div 1,6 \mu\text{m}$ (pomijając próbkę nr 1) może to być związane z niejednorodnością materiału próbek, złożonością zjawisk, z jakimi narzędzie skrawające oddziałuje na materiał obrabiany oraz błędami pomiarowymi. Minimalna grubość warstwy skrawanej dla toczenia jest większa i mieści się w przedziale $2,4 \div 3,9 \mu\text{m}$.

4. WNIOSKI

W artykule zaprezentowano praktyczny sposób pomiaru minimalnej grubości warstwy skrawanej dla frezowania i toczenia. Pomiar profilometrem optycznym są najbardziej wiarygodne ze względu na dużą rozdzielczość, a także jednoznaczne określenie h_{\min} . Pomiar za pomocą metod optycznych wymagają dużej wprawy i uwagi od operatora, wymagają znajomości kąta pochylania profilu próbki, a także obarczone są błędem odczytu spowodowanym jakością obserwowanego obrazu. Minimalna grubość warstwy skrawanej dla frezowania mieści się w przedziale $1 \div 1,6 \mu\text{m}$, natomiast w przypadku toczenia ta wartość jest większa i wynosi $2,4 \div 3,9 \mu\text{m}$.

LITERATURA

- [1] CGAE, J., PARK, S.S., FREIHEIT, T. *Investigation of micro-cutting operations*. International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006) 313-332.
- [2] GRZESIK, W. *Podstawy skrawania materiałów metalowych*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
- [3] GRZESIK W., *Modelowanie tribologicznych oddziaływań w strefie styku wiór- ostrze z wykorzystaniem molekularno-mechanicznej teorii tarcia*. PTMiU, vol. 19, nr 4, 1995, s.21-35.
- [4] JANKOWIAK M., KAWALEC M., KRÓL G., *Analityczne określenie minimalnej grubości warstwy skrawanej dla różnych modeli składowych sił skrawania*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, z. 11, 1993, s 153-160.
- [5] STROCH B., ŻEBROWSKI H., *Analityczny model toczenia nieswobodnego*. PTMiU, z3-4, 1980, 73-77.
- [6] ZĘBALA W., *Teoretyczna i eksploatacyjna identyfikacja minimalnej grubości warstwy skrawanej przy obróbce stopów Al*. Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, 1993.
- [7] GRZESIK W., *Uogólniony model swobodnego skrawania nieortogonalnego*. Studia i Monografie, z. 18, Wydawnictwo WSI w Opolu 1987.
- [8] KAWALEC, M. *Fizyczne i technologiczne zagadnienia przy obróbce z małymi grubościami warstwy skrawanej*. Rozprawy nr 106, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 1980.
- [9] HARASYMOWICZ, J., GAWLIK, J., WARZINIAK, W. *Sposób określenia minimalnej grubości warstwy skrawanej*. Opis patentu tymczasowego nr 141515, Politechnika Krakowska 1988.
- [10] ZAWADA-TOMKIEWICZ A., *Teoretyczne i doświadczalne podstawy monitorowania procesu toczenia z wykorzystaniem informacji o cechach stereometrycznych obrabianej powierzchni*, Koszalin 2012
- [11] JANUSIEWICZ A., ADAMCZAK S., MAKIEŁA W., STĘPIEŃ K., *Determining the theoretical method error during an on-machine roughness measurement*, Measurement, 2011, Vol 44/9, 1761-1767

- [12] ADAMCZAK S., JANUSIEWICZ A., MAKIEŁA W., STĘPIEŃ K., *Statistical validation of the method for measuring radius variations of components on the machine tool*; Metrology and Measurement System, 2011, Vol XVIII, No 1, 35-46
- [13] <http://www.mahr.com>