

Dr hab. inż. Ryszard WÓJCIK,  
mgr inż. Jakub WLAZŁO (Politechnika Łódzka):

## **SILY I STEREOMETRIA WARSTWY WIERZCHNIEJ POLIURETANU PO RÓŻNYCH OBRÓBKACH SKRAWANIEM**

### Streszczenie

Wśród materiałów stosowanych w przemyśle oprócz stopów tytanu i niklu, uznawanych za trudno-skrawalne, istnieje grupa materiałów, które również sprawiają duże problemy podczas obróbki – należą do niej poliuretany. Artykuł poświęcono obróbce poliuretanu, który znajduje zastosowanie w różnych układach tribologicznych. Przedstawiono wybrane procesy obróbki skrawaniem, w tym omówiono siły składowe skrawania oraz parametry chropowatości. Pokazano kształty wiórów powstających podczas obróbki.

**Słowa kluczowe:** poliuretan, procesy obróbki skrawaniem

## **FORCES AND STEREOMETRY OF A POLYURETHANE SURFACE LAYER AFTER VARIOUS TYPES OF MACHINING**

### Abstract

Among the materials used in the industry, apart from titanium and nickel alloys, considered to be difficult to machine, there is a group of materials which cause much problems in machining as well – it includes polyurethanes. The article covers the machining of polyurethane used in various tribological systems. Assorted machining processes were presented, including discussion of components of the cutting force and roughness parameters. The shapes of chips generated during the machining were shown.

**Keywords:** polyurethane, machining processes

# **SIŁY I STEREOMETRIA WARSTWY WIERZCHNIEJ POLIURETANU PO RÓŻNYCH OBRÓBKACH SKRAWANIA**

Ryszard WÓJCIK,<sup>1</sup>, Jakub WLAZŁO<sup>2</sup>

## **1. WPROWADZENIE**

Poliuretany są polimerami które mają niską temperaturę topienia w porównaniu do poliamidów, dzięki temu łatwiej się je przetwarza, ale mają mniejszą odporność mechaniczną [1, 2, 3, 4, 6, 7]. W artykule opisano badania zrealizowane na poliuretanach litych, w tym przypadku obróbka skrawaniem poliuretanu wymaga określonego podejścia do procesu tworzenia powierzchni biorących udział w procesach tribologicznych. Materiał jest bardzo podatny na wszelkiego rodzaju siły wywołane mocowaniem przedmiotu oraz oddziaływaniem sił skrawania. W efekcie zwiększenia sił powierzchni zmieniają kształt. Obróbka z wykorzystaniem narzędzi konwencjonalnych przy użyciu frezu, wprowadza niedoskonałości warstwy wierzchniej, kształtu oraz stereometrii. Celem badań było zastąpienie poliuretanu oznaczonego jako czerwonego (Import z Włoch) przez krajowy, którego zadaniem było zwiększenie efektywności tribologicznej – czasu pracy.

Wstępne badania zrealizowano na dwóch poliuretanach, które w pracy oznaczone zostały jako czerwony (C) i żółty (Z) [11, 12]. Różnice obejmowały skład chemiczny a głównie takie pierwiastki jak węgiel, wodór, azot. W tabeli.1 zestawiono badania zawartości składników podstawowych w porównywanych materiałach, próby wykonano dwukrotnie dla każdego z badanych materiałów, w tabeli zestawiono wartości średnie.

Badane materiały podawano różnym procesom obróbki od skrawania ortogonalnego nożem po proces frezowania, szlifowania walcowo - czołowego, szlifowania obwodowego.

---

<sup>1,2</sup> Politechnika Łódzka, Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn, 90-924 Łódź, Stefanowskiego 1/15

Tabela. 1. Analiza badanych materiałów

Próbka *	% udział związku w badanym elemencie		
	C	H	N
C I	61,89	7,74	2,85
C II	62,05	7,83	2,93
Z I	60,97	7,68	3,39
Z II	61,15	7,75	3,47
Średni wynik C	61,97	7,79	2,89
Średni wynik Z	61,06	7,72	3,43
Różnice % pierwiastków w badanych próbkach	1,47	0,90	-18,69

*C – poliuretan koloru czerwonego, Z – poliuretan koloru żółtego*

Celem badań było określenie stanu warstwy wierzchniej – stereometrii, sprawdzano jaki wpływ ma każda z obróbek na wielkość chropowatości powierzchni która w konsekwencji określa okres docierania powierzchni poliuretanu z przeciw próbką stalową. Przebadano wielkości naddatków dla proponowanych odmian obróbek i sił skrawania. Płynem wykorzystywany w procesie tribologicznym jest wodny roztwór skrobi (od 15 do 30%), czynnik jest stosowany w procesach klejenia. Stan chropowatości i płaskości powierzchni decyduje o wielkość siły docisku, a to wpływa na szybkość ścierania poliuretanu.

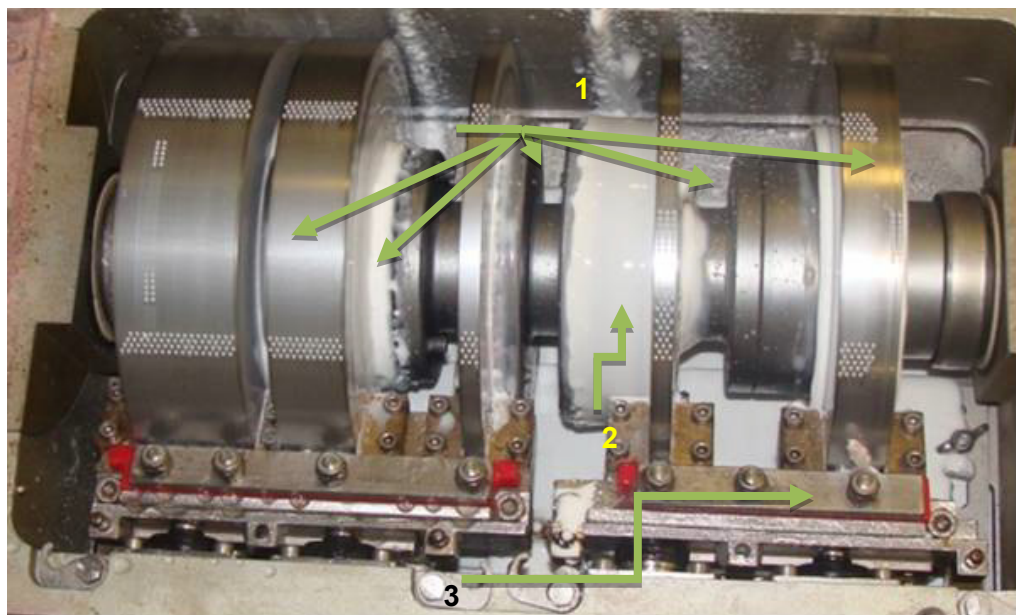
Maksymalne zużycie które jest dopuszczane, wynosi 2,5 mm. Taka wartość starcia jest poziomem krytycznym, po który element poliuretanowy jest wymieniany. Element opisany kolorem czerwonym jest dostarczany przez producent w gotowej postaci do zamontowania na maszynie prowadzącej proces klejenia. Na rysunku 1a przedstawiono stan poliuretanowego zgarniaka - nowy, natomiast na rysunku 1b stan zużycia krytycznego.

Z uwagi na różnorodność długości elementów rozpraszających klej (kilkanaście typoszeregów długości) stanowi to duży koszt wymiany. Na rysunku 2 zaprezentowano jeden z układów rozpraszania kleju bezpośrednio na maszynie wykonujące ten proces.

Dla określenia czasu zużycia elementów z aktualnie stosowanego poliuretanu przeprowadzono pomiary wielkości zużycia ścierania w czasie procesu eksploatacji, uzyskane wyniki zaprezentowane na rysunku 3. Średnie zużycie wynosiło 0,027mm na jeden dzień.

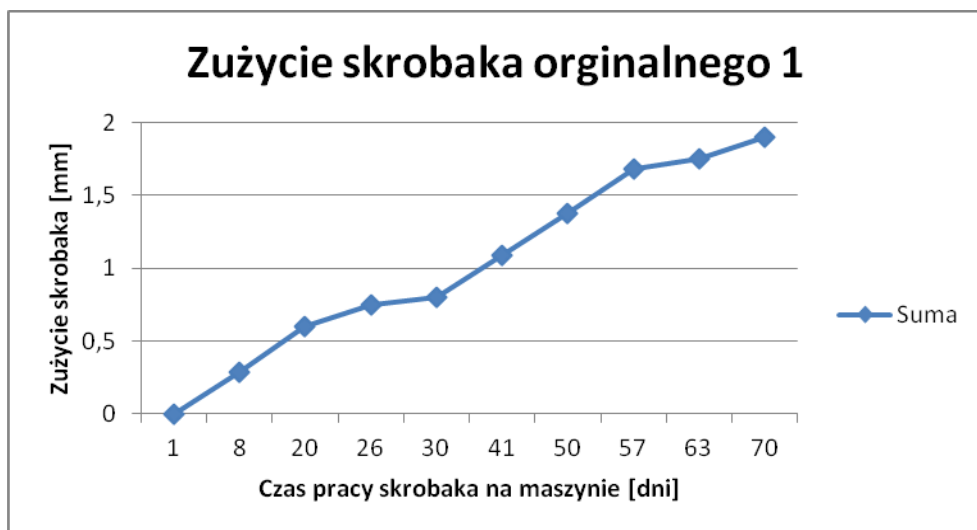


Rys. 1. Konstrukcja elementu zgarniającego nadmiar kleju z pierścienia a) element nowy b) element zużyty



Rys. 2. Układ tribologiczny współpracy elementów poliuretanowo – stalowych: 1 – pierścienie nanoszące klej, 2 – płyn klejący, 3 - system mocowania elementów poliuretanowych

Przy założeniu 20 godzinnej pracy ciągłej. Prezentowany przebieg zużycia jest uśrednioną wartością z czterech prób ścierania takich samych elementów pod względem wymiarowym. Po przeprowadzeniu prace badawczych wstępnych z wykorzystaniem różnych poliuretanów, wybrano najbardziej podobny do zalecanego przez producenta (Z).



Rys. 3. Zużycie skrobaka w czasie jego pracy na maszynie

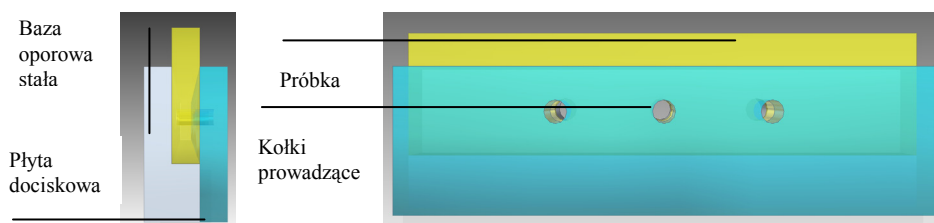
## 2. BADANIA

Badania procesu frezowania i szlifowania walcowo – czołowego zrealizowano na frezarce CNC HASS. Natomiast proces szlifowania płaszczyzn na szlifierce SPD – 30. Analizowano siły składowe szlifowania. W pierwszej kolejności badania przeprowadzono na frezarce CNC firmy HAAS, w uchwycie wrzeciona zamocowano frezu HHSCo5  $\phi=10$  mm w następnej kolejności ściernicę trzpieniową która zbudowana były z ziaren ściernych elektrokorundu szlachetnego 99A o numerze ziarna 60, twardości K, spojone spoiwem ceramicznym (oznaczenie techniczne: 1-38A $\times$ 50 $\times$ 13 99A 60K 5 VBE. W przypadku szlifowania poliuretanu na szlifierce do płaszczyzn SPD-30 materiał ściernicy i spoiwa był taki sam, inne były natomiast wymiary ściernicy z uwagi na konstrukcję wrzeciona i oprawę mocującą ściernicę 1-38A 350 $\times$ 127 $\times$ 45 mm.

W obu przypadkach starano się zachować parametry procesu szlifowania podobne, były one następujące:  $v_w=0,2$  m/s mm,  $v_s= 15$  m/s,  $a_e$  było dobierane do poszczególnych procesów skrawania, jako płynu obróbkowego (PO) użyto wodnego roztworu emulsji z oleju S - 10 (5 - 10%). W badaniach wykorzystano siłomierz typu 5019A firmy Kistler (Niemcy), umożliwiający pomiar składowej stycznej siły szlifowania  $F_t$  oraz normalnej  $F_n$ . Sygnał z siłomierza był kierowany poprzez wzmacniacz typu 5011A tego samego producenta do modułu akwizycji danych pomiarowych typu kusb-3108 firmy Keithley (USA) i przetwarzany w oprogramowaniu quick DAQ.

Aby uzyskać właściwe warunki mocowania które by nadmiernie nie zmieniały kształtu wykonano oprzyrządowania do realizacji procesu skrawania, takie które pod-

czas mocowania nie wprowadzało dużych odkształceń lub przynajmniej w minimalnym stopniu. Zaproponowano przyrząd w którym płyta dociskowa przemieszczała się suwlicie na kołkach prowadzących. Gniazdo na próbkę badaną ma mniejszy wymiar grubości niż próbka skrawana, około 0,3 mm, tak aby podczas procesu skrawania uniknąć wyrwania próbki i zabezpieczyć ją przed nadmiernymi odkształceniami przez uchwyt (rys.4). Próbkę poliuretanową przeznaczoną do badań miały wymiary 10x40x100 mm. Wykorzystano w tym celu otwory do mocowania elementu zgarniającego na maszynie klejącej.



Rys.4. Przyrząd do mocowania próbek poliuretanowych w procesie szlifowania

Procesy skrawania przeprowadzono w celach porównawczych. Uzyskano informacje dotyczące głębokości skrawania dla poszczególnych metod obróbki. Przeprowadzono następujące procesy:

Skrawanie nożem ortogonalne.

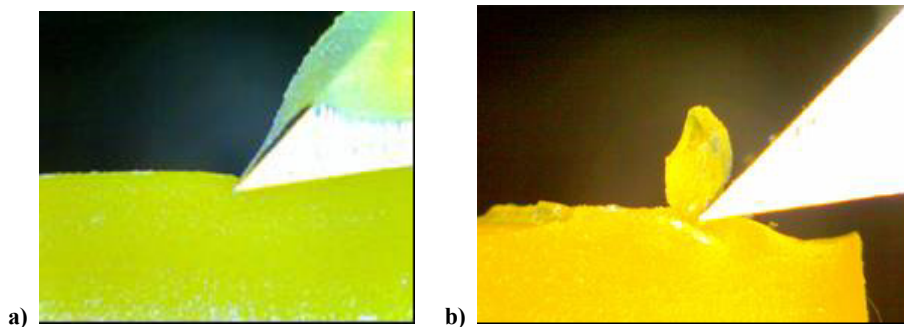
Frezowanie frezem walcowo czołowym.

Szlifowanie:

obwodem ściernicy 38A×350×127x40 99A 60K 5 VBE

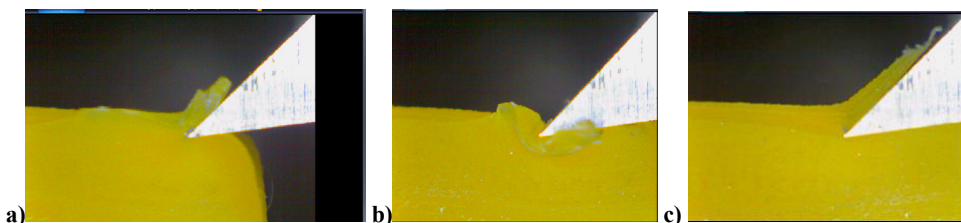
walcowo – czołowe 38A×50×13 99A 60K 5 VBE.

Dalsze badania przeprowadzono dla zamiennika dotychczasowego poliuretanu oznaczonego jako żółty. Podczas skrawania ortogonalnego w pierwszej fazie badań stosowano głębokości od 0,5 – 1,5 mm w tym zakresie było bardzo trudno uzyskać jakiegokolwiek skrawanie, rys.5a. Zmieniając kąty natarcia  $\gamma = 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ$  w końcu do badań przyjęto kąt  $25^\circ$ , prędkość próbki  $v_c = 12$  mm/min traktowano jako wartość stałą. Materiał ulegał deformacji, zmieniła się cała czas głębokość skrawania, zwiększenie  $a_c$  do wartości 1 mm spowodował jeszcze większe deformacje, domniemany wiór był bardzo zmienny w swojej budowie a powierzchnia pozostawiała wiele do życzenia pod względem jakiegokolwiek stanu, rys.5b. Proces prowadzono bez udziału płynu chłodząco – smarującego.



Rys.5. Stan warstwy wierzchniej podczas procesu skrawania ortogonalnego poliuretanu:  
a)  $a_c=0,5$  mm, b)  $a_c=1$  mm

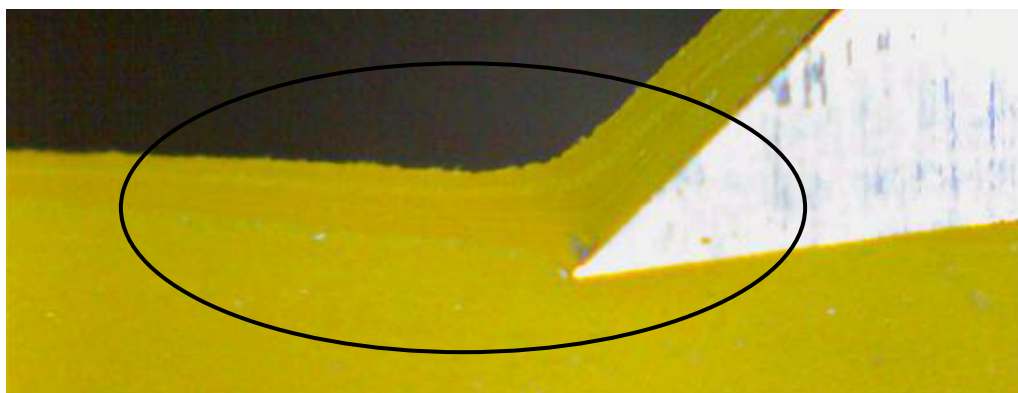
Wraz ze zwiększeniem głębokości do wartości 2 mm przy tej samej prędkości przedmiotu i kącie natarcia noża  $\gamma=25^\circ$  uzyskano wstępnie tworzenie wióra. Poszczególne sekwencje przedstawiono na rys.6a-c. Na rysunku 6a przedstawiono moment wejścia narzędzia w materiał, kolejny obszar spęczania materiału (rys.6b) do strefy tworzenia wióra (rys.6c)



Rys.6. Przebiegu procesu skrawania ortogonalnego poliuretanu: a) wejście, b) tworzenie wióra, c) początek powstawania wióra

Aby prześledzić sposób w jaki zachowuje się materiał podczas skrawania ortogonalnego powiększono jedną z sekwencji rysunek 7. Jest to ustalony obszar skrawania w którym powstawał wiór, widać strefę zagęszczenia materiału w warstwie wierzchniej w postaci klina. Obszar ten zaznaczono na zdjęciu, obejmował on stanu ustalony tworzenia się wióra.

Właściwe warunki skrawania (w postaci wióra) uzyskano dla głębokości 3 mm. Ta część badań stanowiła wartość poznawczą, prędkość przedmiotu była mała, pozwalała zaobserwować zachodzące zjawiska. Dla prezentowanego przypadku skrawania ortogonalnego zrezygnowano z pomiarów parametrów chropowatości i kształtu. Dalsze badania to proces frezowania frezem palcowym na frezarce HAS.



Rys.7. Ustalony stan skrawania ortogonalnego

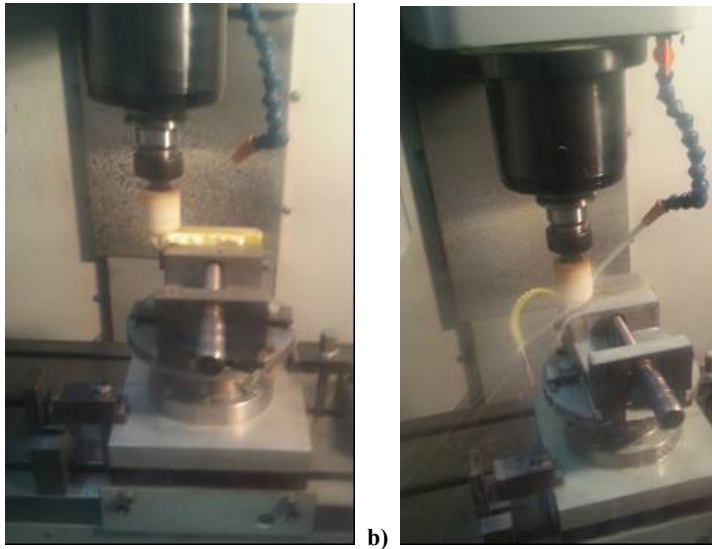
Dla frezowania i szlifowania walcowo - czołowego zastosowano taką samą prędkość skrawania 12 m/min ponieważ oba procesy skrawania zostały zrealizowane na tej samej maszynie. Na kolejnych rysunkach przedstawiono proces szlifowania walcowo – czołowego poliuretanu bez (rys.9a) i z udziałem płynu obróbkowego (rys.9b). W pierwszym przypadku podczas szlifowania na sucho temperatura procesu wzrosła na tyle że poliuretan zaczął zmieniać z postaci stałej w półpłynną. Otrzymaną powierzchnię zaprezentowano na następnym rysunku stan warstwy wierzchniej to przetopione fragmenty jej oraz kraterki zastygłego materiału (rys.8). Wpływ temperatury zmienił też twardość warstwy wierzchniej. Na kolejnych rysunkach zaprezentowano proces szlifowania walcowo – czołowego z udziałem płynu obróbkowego

Prędkość przedmiotu 12 m/min głębokość skrawania 1 mm (rys.9b) i 2 mm (Rys.10), widać różne formy tworzonego wióra. W przypadku głębokości 1 mm wiór przypomina klasyczną postać jak w przypadku skrawania materiałów łatwo obrabialnych np. stalowych. Wraz ze wzrostem głębokości skrawania jego forma przybiera postać bardziej liniową, rys.9b



Rys.8. Stan warstwy wierzchniej poliuretanu po szlifowaniu walcowo – czołowym bez udziału PO





Rys.9. Proces szlifowania poliuretanu ściernicą walcowo – czołową,  $a_e=2$  mm: a) bez udziału PO, b) z udziałem płynu obróbkowego



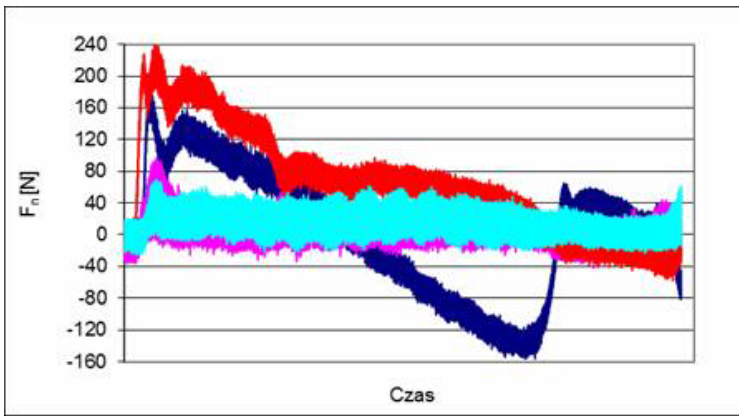
Rys.10. Proces szlifowania poliuretanu ściernicą walcowo – czołową,  $a_e=1$  mm z udziałem płynu obróbkowego

### 3. WYNIKI BADAŃ

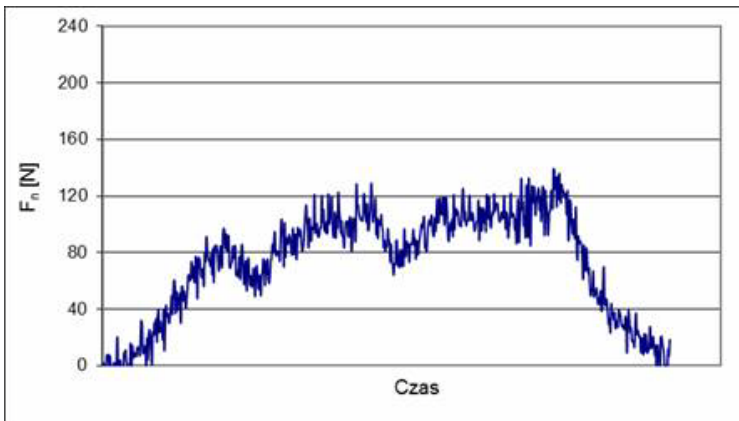
Jak już wcześniej wspomniano podczas badań mierzono siły składowe skrawania; styczną i normalną natomiast zaprezentowano tylko siłę składową normalną z uwagi na jej większą zmienność podczas procesów obróbki. Na osi czasu nie podano wartości czasu z uwagi na różnorodność długości próbek ponieważ nie dysponowano

w przypadku poliuretanu oznaczonego jako czerwony wystarczającą liczbą próbek (ich długością). Na rysunku 11 zaprezentowano przebiegi podczas procesu szlifowania walcowo - czołowego dla różnych głębokości: 1 - 3 mm, 2 - 2,5 mm, 3 - 1,5 mm, 4 - 1 mm.  $v_s=15$  m/s,  $v_w=0,2$  m/s

Natomiast podczas obróbki fezem palcowym ..... Z takimi samymi parametrami procesu dla głębokości 1,5 mm widać zmienność zdejmowanego nadatku w zakresie wartości siły składowej normalnej od 75-120 N



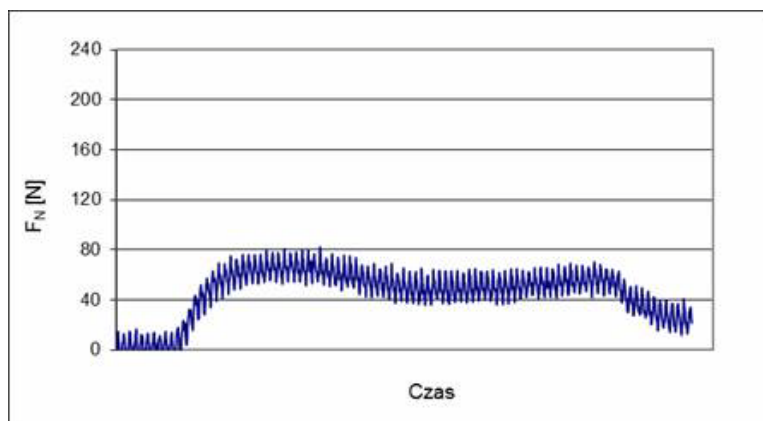
Rys.11. Siła skrawania normalna dla szlifowania walcowo - czołowego



Rys.12. Siła skrawania normalna dla procesu skrawania frezem palcowym

W przypadku realizacji procesu szlifowania obwodem ściernicy obszar nadatków był kilkakrotnie mniejszy od pozostałych odmian skrawania, Na rysunku 13 przedstawiono przebieg siły normalnej dla głębokości maksymalnej 0,5 mm przy podobnych parametrach procesu jakie stosowano w poprzednich obróbkach. Z uwagi na

zmianę konfiguracji procesu ścierania ponieważ poliuretan oznaczony jako żółty nie ulegał ścieraniu a utwardzał się stąd należało usunąć tą warstwę, wielkość naddatku maksymalna wynosiła od 0,05 – 0,1 mm.



Rys.13. Siła skrawania normalna dla procesu skrawania obwodem ściernicy

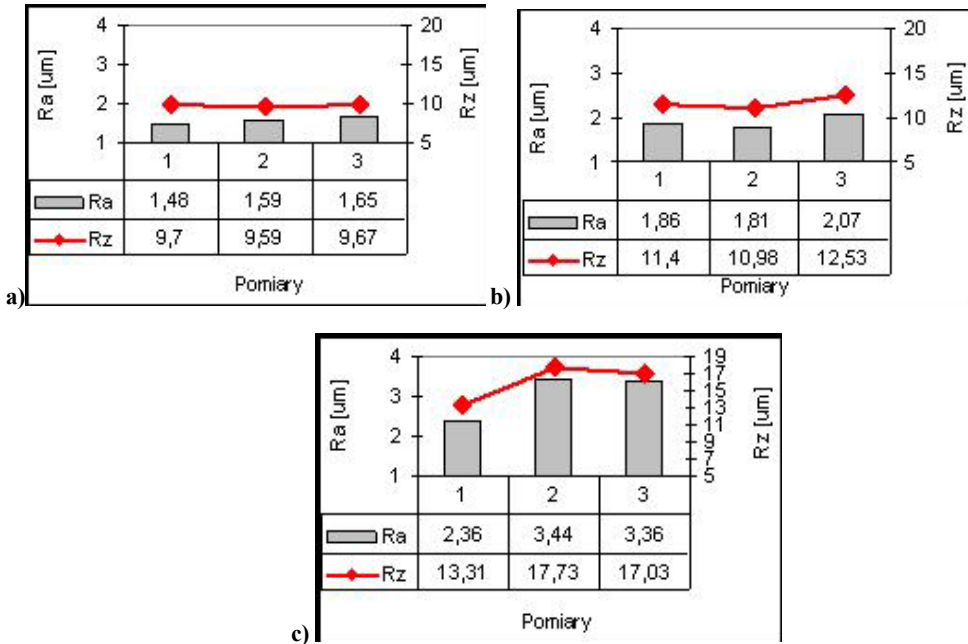
Do pomiaru topografii powierzchni wykorzystano profilograf firmy Hommel Hercules Werkzeughandel model TurboWaveline60. Stanowisko pomiarowe przedstawione jest na rys. 14.

Profilografometr TurboWaveline60 z oprogramowaniem pozwala mierzyć chropowość oraz falistość. Za pomocą specjalnego oprogramowania Hommel Map na podstawie zadanej ilości przejęć igły pomiarowej tworzona jest przestrzenna mapa topograficzna badanej powierzchni w układzie 3D. W artykule zaprezentowano wyniki w układzie 2D.



Rys.14. Stanowisko pomiarowe topografii powierzchni wraz z komputerem

Każdy z trzech przedziałów pomiarowych mierzono trzykrotnie następnie wartości uśredniano. Na rysunku 15a przedstawiono wyniki chropowości Ra i Rz dla szlifowania obwodowego dla  $a_e=0,05$  mm jest to wartość naddatku maksymalna, pozostałe parametry tego procesu jak wcześniej opisano są w przedziale wartości Ra 1,48 – 1,65  $\mu\text{m}$ . Z kolej proces szlifowania walcowo – czołowego przeprowadzony dla podobnego naddatku, rys.15b jest na poziomie Ra 1,81-2,07  $\mu\text{m}$ . Największe wartości chropowości uzyskano podczas procesu frezowania, mieszczą się one w przedziale wartości Ra 2,36 – 3,36  $\mu\text{m}$ .



Rys.15. Parametr Ra i Rz powierzchni uzyskany różnymi rodzajami obróbki: a) szlifowanie obwodem ściernicy, b) szlifowanie walcowo – czołowe, c) frezowaniem

#### 4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały że z uwagi na parametr chropowości Ra i Rz najniższe wartości i najbardziej stabilny rozkład tej wartości otrzymano podczas procesu szlifowania obwodowego. Jest to korzystna cecha z uwagi na właściwości tribologiczne, pozwala zmniejszyć docisk zgarniaka klejowego do walca rozpraszającego w procesie docierania poliuretanowego elementu około 20% siły docisku. Co w przypadku opisywanych badań jest zaletą która zwiększa okres eksploatacji dwukrotnie. Specyfika zużycia dla poliuretanu oznaczonego w pracy jako czerwony podlega kryterium największej ścieralności (2,5 mm), natomiast w przypadku żółtego

zamiennika zmienia się forma z ścierania na utwardzanie a w efekcie zdjęcie utwardzonej warstwy poprzez proces szlifowania obwodowego i dalszej eksploatacji.

#### LITERATURA

- [1] ROBERT T. MORRISON, ROBERT N. BOYD, AND ROBERT K. BOYD: *Organic Chemistry*, 6th edition (Benjamin Cummings, 1992, [ISBN 0-13-643669-2](#))
- [2] RICHARD F. AND SALLY J. DALEY: *Organic Chemistry*, <http://www.ochem4free.info>
- [3] COREY E J., CHENG XM.: *The Logic of Chemical Synthesis*. 1995. [ISBN 0-471-11594-0](#).
- [4] "Industrial polymers, chemistry of." *Encyclopædia Britannica*. 2006
- [5] MALCOLM P. STEVENS A.: *Wprowadzenie do chemii polimerów*. Warszawa: PWN, 1983, s. 282-287. [ISBN 83-01-03110-7](#).
- [6] W. ZIELIŃSKI, A. RAJCA (red.), *Metody spektroskopowe i ich zastosowanie do identyfikacji związków organicznych*, WNT, Warszawa, 2000
- [7] SEYMOUR, RAYMOND B.: *Polyurethanes: A class of modern versatile materials*. „[Journal of Chemical Education](#)”. 69 (11), s. 909, 1992. DOI: [10.1021/ed069p909](#).
- [8] ALLPORT D C., GILBERT D S AND S M OUTTERSIDE: *MDI, TDI and the Polyurethane Industry*. W: D. C. Allport (Editor),.
- [9] WLAZŁO J.: *Material do usuwania nadmiaru kleju z walka klejowego pracującego w pakowaczce*. P. 411771 z dn.26.03.2015 r.
- [10] WÓJCIK R., WLAZŁO J., ROSIK R.: *Zachowanie poliuretanu podczas szlifowania ściernicami konwencjonalnymi*. XVIII Szkoła Obróbki Ściernej. Łódź-Uniejów 2015