

	<b>Organizatorzy:</b>  <b>Politechnika Łódzka</b>  <b>Wydział Mechaniczny</b>	<b>XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ</b> <b>Łódź - Uniejów</b> 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

## Analiza zjawisk zachodzących w poliuretanie podczas procesów szlifowania ściernicami z elektrokorundu szlachetnego

Analysis of the phenomena occurring during the process of grinding polyurethane grinding wheels with noble electrocorundum

RYSZARD WÓJCIK  
 JAKUB WLAZŁO  
 RADOŚLAW ROSIK \*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.400

Celem artykułu jest analiza procesu szlifowania materiałów poliuretanowych przy wykorzystaniu ściernic z elektrokorundu szlachetnego. Podstawowe informacje takie jak parametry procesu szlifowania rodzaj płynu chłodząco – smarującego wpływają na jakość warstwy wierzchniej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** poliuretan, szlifowanie, warstwa wierzchnia

*This article aims to provide information on the processing methods polyurethanes, using conventional grinding wheels. Basic information such as the grinding process parameters determining the state of the surface layer are expanded, a method for preparing polyurethane for grinding process and how to change the chemical composition of additives influence on the process of grinding.*

**KEYWORDS:** polyurethane, grinding, surface layer

Poliuretany powstają w wyniku addycyjnej polimeryzacji wielofunkcyjnych izocyjanianów z polioliem. Z formalnego punktu widzenia są pochodnymi kwasu węglowego.

Poliuretany są polimerami, które mają niską temperaturę topnienia w porównaniu od poliamidów, dzięki temu łatwiej się je przetwarza, ale mają mniejszą odporność mechaniczną [1, 2, 3, 4]. 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 zewnętrznych i 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 stosowanego w procesach rozprowadzania kleju po powierzchniach papierowych. Stanowi on element zgarniający nadmiar kleju. W artykule został oznaczony jako C1 jest on importowany z Włoch. Poliuretan Z1 jest materiałem krajowy. Celem było zwiększenie odporności na ścieranie.

Przebadano wiele obróbek skrawania uwzględniają chropowatość oraz niezmienność powierzchni biorących udział w procesie klejenia.

Z szeregu obróbek skrawania, które przeprowadzono wybrano do dalszych badań w celach porównawczych dwie odmiany kinematyczne procesu, szlifowanie czołowe i walcowe. W przypadku dużej chropowatości i błędów kształtu powierzchni poliuretanowych trzeba zwiększyć siłę docisku pomiędzy elementem poliuretanowym, a stalową rolką do czasu ich dopracowania powierzchni (rys.1).



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

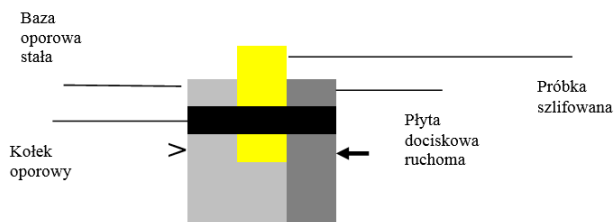
Jeśli pomiędzy współpracujące powierzchnie dozowany jest płyn, musi on być równomiernie rozprowadzony po powierzchniach sklepanych, w przypadku błędów powierzchni poliuretanowej stanowi to poważny problem. Pod-

\* dr hab. inż. Ryszard Wójcik (ryszard.wojcik@p.lodz.pl),  
 mgr inż. Jakub Wlazło  
 dr inż. Radosław Rosik (radoslaw.rosik@p.lodz.pl)

czas klasycznych systemów mocowania z wykorzystaniem imadła powstają odkształcenia po ustąpieniu, których obrabiana powierzchnia nie spełnia wymagań jej stawianych.

Aby uzyskać jak najmniejsze odkształcenia przedmiotu z poliuretanu opracowano konstrukcje przyrządu, który nie wprowadza nadmiernych odkształceń objętościowych, a po ich ustąpieniu próbka pozostaje najmniej zniekształcona, około 0,05 mm. W tym celu wykorzystano otwory, które są docelowo zaprojektowane w elemencie zgarniającym, pracującym bezpośrednio w układzie klejenia na urządzeniu w warunkach produkcyjnych, rysunek 1.

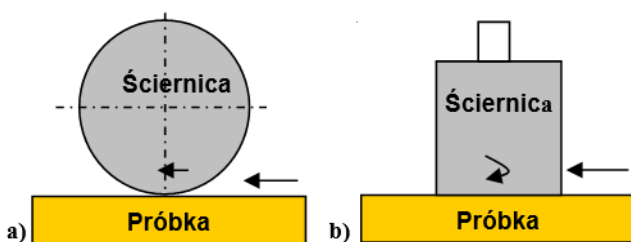
Płyta dociskowa przemieszcza się suwlicie na kołkach prowadzących. Gniazdo na próbkę badaną ma mniejszy wymiar niż próbka o około 0,3 mm tak, aby podczas procesu szlifowania zabezpieczyć przed wyrwaniem i odkształceniem, rysunek 2. Próbkę poliuretanową wykorzystano do badań w obu odmianach kinematycznych szlifowania miały wymiary 10x40x100 mm. Natomiast w badaniach materiałowe z uwagi na ograniczenia badano próbki o wymiarach 10x40x40 mm.



Rys. 2. Przyrząd do mocowania próbek poliuretanowych w procesie szlifowania

### Przygotowanie próbek

Na rysunku 3 przedstawiono schematy kinematyczne wybranych odmian procesu szlifowania. Szlifowanie obwodowe realizowano na szlifierce do płaszczyzn SPD – 30b, czołowe na frezarce CNC HASS Min-Mil.



Rys. 3. Odmiany kinematyczne szlifowania próbek poliuretanowych ściernicą: a) walcową, b) czołową

Analizowano składowe siły szlifowania, w pierwszej kolejności badania przeprowadzono na frezarce w uchwycie wrzeczona zamocowano ściernicę trzpieniową z elektrokorundu szlachetnego 1-38x50x13 99A 60K 5 VBE. W przypadku szlifowania obwodowego na szlifierce do płaszczyzn SPD-30b ściernica była taka sama, inne były wymiary z uwagi na konstrukcję wrzeczona i opraw mocujących ściernicę (1-38A 350x127x45 mm). W obu przypadkach starano się zachować podobne parametry procesu szlifowania:  $v_w = 0,2$  m/s,  $v_s = 15$  m/s,  $a_e = 0,1 - 0,5$  mm, jako płynu chłodzącego – smarującego (PCS) użyto wodnego roztworu emulsji z oleju SL - 10 (5-10%). Podczas badań przeprowadzono próbę bez udziału PCS dla szlifowania walcowego, efekt zaprezentowano na rys.7. W badaniach skorzystano z siłomierza typu 5019A firmy Kistler, umożliwiający pomiar składowej stycznej siły szlifowania  $F_t$  oraz normalnej  $F_n$ .

Sygnal 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.

### Badania składu próbek

Do badań wykorzystano mikro próbki, które są spalane w atmosferze tlenu, a utworzone gazy w strumieniu helu przechodzą przez odpowiednie katalizatory, następnie są rozdzielane w kolumnie chromatograficznej gdzie detektor przewodności cieplnej /TCD/, określa wyjściowy proporcjonalny skład oraz ich stężenie [7, 8].

Badania polegają na rejestrowaniu zmian właściwości fizycznych, składu chemicznego substancji, które zachodzą w czasie ich ogrzewania. Pełne informacje o badanej substancji uzyskuje się porównując wyniki otrzymane metodą analizy termicznej z wynikami badań przeprowadzonymi innymi metodami, takimi, jak: kalorymetria, rentgenografia, czy mikroskopia skaningowa.

Zmiana temperatury badanych substancji (pierwiastek, związek lub mieszaninę) w większości przypadków wprowadza przemiany fizyczne lub reakcje chemiczne. Przemiany fizyczne dotyczą procesów, w których następuje zmiana właściwości fizycznych, np.: strukturalne przemiany fazowe - topnienie, parowanie, sublimacja, krystalizacja, a także, absorpcja, desorpcja i inne [7, 8]. Natomiast przemiany chemiczne to procesy obejmujące zmiany właściwości chemicznych, np.: reakcje syntezy, utleniania, rozkładu, reakcje heterogeniczne ciało stałe-gaz i inne. W tabeli.1 zestawiono badania zawartości składników podstawowych, jakie występują w tego rodzaju materiałach, próby wykonano dwukrotnie dla każdego z badanych materiałów.

Tab. 1. Analiza badanych materiałów

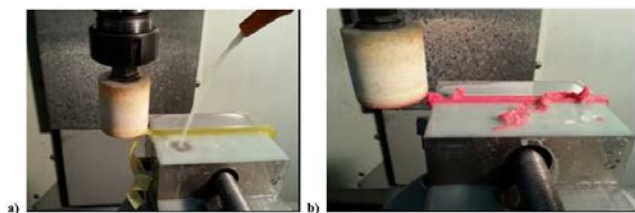
Rodzaj poliuretanu	% udział związku w badanym elemencie		
	C	H	N
C 1/1	61,89	7,74	2,85
C 1/2	62,05	7,83	2,93
Z 1/1	60,97	7,68	3,39
Z 2/2	61,15	7,75	3,47
Średni wynik C1	61,97	7,79	2,89
Średni wynik Ż1	61,06	7,72	3,43
Różnice % pomiędzy badanymi próbkami	1,47	0,90	-18,69

### Przygotowania do badań

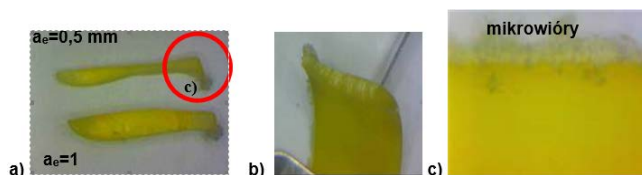
Proces szlifowania ściernicą czołową przedstawiono na rys.4, na którym zaprezentowano stan uzyskany po procesie szlifowania dla głębokości  $a_{e1} = 1,5$  mm. Parametry pozostałe procesu szlifowania:  $v_s = 15$  m/s,  $v_w = 0,2$  m/s.

Na rysunku 5a przedstawiono postacie wiórów otrzymane w procesie szlifowania czołowego dla poliuretanu Z1. Widać bardzo dużą zmienność grubości i kształtu wióra zwłaszcza podczas procesu szlifowania nadkładu  $a_{e1} = 0,5$  mm. Wraz ze wzrostem głębokości do 1,5 mm kształt wióra w przekroju poprzecznym też się zmienia się. Z

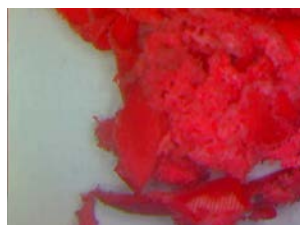
kolei na rys.6 zaprezentowano wiór poliuretanu C1, który jest w formie bardzo poszarpanej i zmiennym kształcie.



Rys. 4. Proces szlifowania poliuretanu, metoda kinematyczna czołowa: a) Z1, b) C1



Rys. 5. Kształt wióra podczas procesu szlifowania czołowego: a) przekrój wióra, b) jego kształt poprzeczny, c) powiększona krawędź wióra 5x



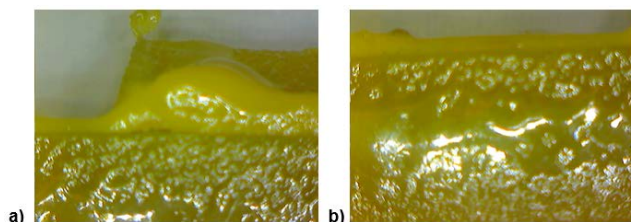
Rys. 6. Postać jednego z wiórów w procesie szlifowania czołowego, poliuretanu C1, parametrach procesu takie same jak dla poliuretanu Z1. Głębokość szlifowania 0,5 mm

Jak wcześniej wspomniano jedną z prób wykonano bez udziału płynu chłodzącego - smarującego w celach testowych, rys.7. Podczas szlifowania czołowego temperatura była na tyle wysoka, że otrzymano formę płynną wióra. Na rys.8 zaprezentowano stan warstwy wierzchniej po omawianym badaniu procesu szlifowania.



Rys.7. Stan próbki po procesie szlifowania czołowego, parametry takie same jak poprzedni, bez udziału PCS

Wzrost temperatury spowodował głębokie utwardzenie warstwy wierzchniej, znacznie odbiegające od stanu wyjściowego badanego materiału. Zaobserwowano szereg kraterów, wgłębień (rys.8a), przetopień (rys.8b).



Rys. 8. Stan warstwy wierzchniej po procesie szlifowania bez udziału PCS, powierzchnia próbki: a) przetopiona, b) utwardzona

Druga część badań dotyczyła szlifowania obwodowego, parametry procesu szlifowania:  $v_w = 0,2$  m/s,  $v_s = 15$  m/s, zmieniono głębokości  $a_{e1} = 0,1$  mm,  $a_{e2} = 0,5$  mm traktowano jako maksymalną wartość. Podobnie jak w przypadku szlifowania czołowego zastosowano płyn chłodzący - smarujący.

Do badań zastosowano ściernicę  $350 \times 127 \times 45$  99A 60K 5 VBE, parametr  $v_s$  był taki sam jak dla poprzednich badań. Postać wiórów znacznie odbiegała od tej jaką obserwowano podczas szlifowania czołowego. Były one w formie mikrodrobin jak w przypadku szlifowania konwencjonalnego materiałów stalowych lub innych. Na rysunku 9 przedstawiono stanowisko badawcze na którym mierzono składowe siły skrawania w procesie szlifowania obwodowego.

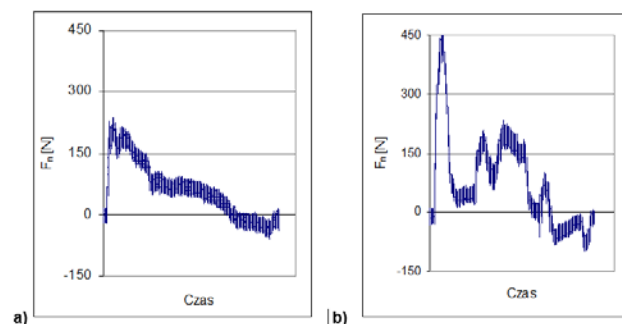


Rys. 9. Stanowisko do pomiaru składowych sił szlifowania obwodowego powierzchni poliuretanowych

## Wyniki badań

Podczas badań procesu szlifowania walcowego i czołowego uzyskano przebiegi składowych sił szlifowania: stycznej i normalnej. W procesie szlifowania czołowego siły są bardziej zmienne, spowodowane to było większą odkształcalnością obrabianego poliuretanu.

Na rysunku 10 przedstawiono przykładowe rozkłady składowej siły normalnej w procesie szlifowania czołowego. Parametry procesu szlifowania:  $v_w = 0,2$  m/s,  $v_s = 15$  m/s z udziałem płynu chłodzącego - smarującego poliuretanu Z1 (rys.10a) dla  $a_{e1} = 1$  mm,  $a_{e2} = 2$  mm (rys.10b).

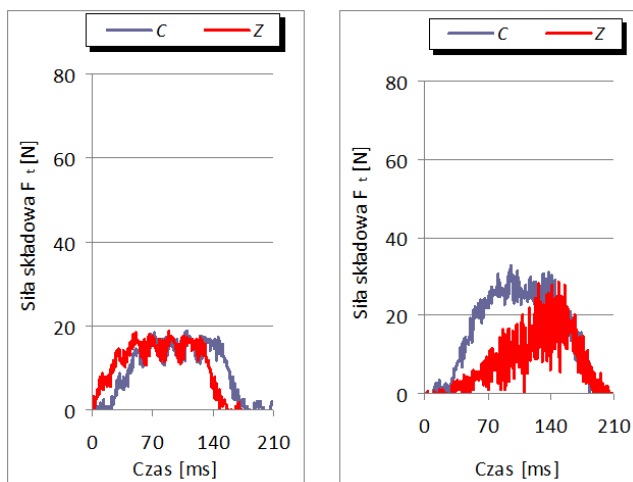


Rys. 10. Składowa siła normalna, proces szlifowania czołowego poliuretanu Z1: a)  $a_{e1} = 1$  mm, b)  $a_{e2} = 2$  mm

Znacznie więcej uwagi poświęcono procesowi szlifowania walcowego, obwodem ściernicy. W tym przypadku również proces realizowano z udziałem płynu chłodzącego - smarującego zachowując takie same jego parametry z wyjątkiem głębokości.

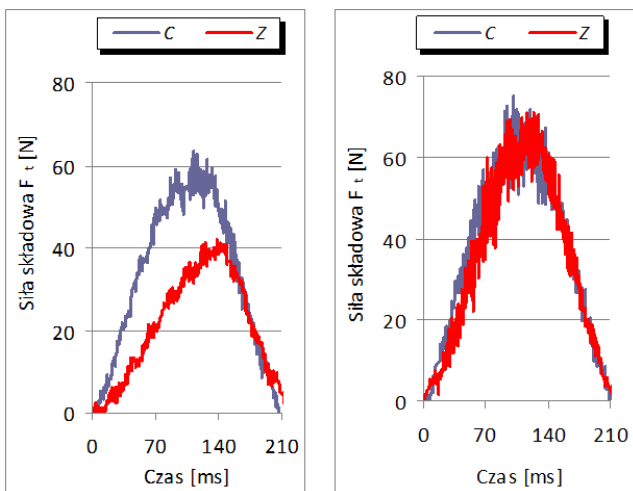
Na rysunku 11a przedstawiono składowe siły szlifowania styczne z udziału płynu chłodzącego - smarującego natomiast na rys.11b bez udziału płynu chłodzącego - smarującego dla naddatków  $a_e = 0,1$  mm. Z kolei na rys.12 przedstawia roz-

kład składowych sił stycznych dla  $a_e = 0,5$  mm. Zastosowanie PCS w procesie szlifowania dla nadatku  $a_{e1}$  spowodowało że siły styczne były na tym samym poziomie dla obu badanych poliuretanów (rys.11a). Podczas obróbki bez udziału PCS nastąpił wzrost sił, szlifowanie materiału Z1 w końcowej tylko fazie przebiegało w sposób porównywalny (rys.11b).



Rys. 11. Rozkład składowej siły stycznej podczas szlifowania obwodowego ściernicą, poliuretanów C1 i Z1: a)  $a_e = 0,1$  mm z PCS, b)  $a_e = 0,1$  mm bez PCS

Zwiększenie nadatku do 0,5 mm z udziałem PCS w procesie szlifowania obwodowego dla materiału Z1 wynosiło 40 N czyli o 20 N mniej niż w przypadku C1, rys.12a. Zrezygnowanie z płynu chłodząco – smarującego dla tego samego nadatku spowodowało wzrost składowej siły stycznej dla obu materiałów do poziomu 72 N, przebiegi są identyczne.



Rys. 12. Rozkład składowej siły stycznej podczas szlifowania obwodowego ściernicą, poliuretanów C1 i Z1: a)  $a_e = 0,5$  mm z PCS, b)  $a_e = 0,5$  mm bez PCS

### Podsumowanie

Przeprowadzone badania dla poliuretanów wykazały ich dużą wrażliwość na procesy szlifowania. Wprowadzone rozwiązanie konstrukcyjne przyrządu do mocowania poprawiły i ustabilizowały znacznie jego przebieg, wpłynęło korzystnie, zmniejszyło odkształcenia i deformacje.

Proces szlifowania obwodem ściernicy ograniczył wielkości nadatków przy takich samych pozostałych parametrach procesu szlifowania.

Wykorzystanie płynów chłodząco – smarujący ograniczyło zmiany w warstwie wierzchniej, nie zauważono uszkodzeń w postaci nadtopień.

Dobór odmiany szlifowania walcowego i wprowadzone rozwiązanie oprzyrządowania pozwoli na zastosowanie poliuretanu Z1 w procesie klejenia, zastąpienie drogiego importowanego poliuretanu C1.

Dalsze badania będą obejmowały procesy eksploatacyjne bezpośrednio na stanowiskach produkcyjnych w warunkach przemysłowych.

### 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. E. J. Corey, X-M. Cheng: The Logic of Chemical Synthesis. 1995. ISBN 0-471-11594-0.
4. "industrial polymers, chemistry of." Encyclopedia Britannica. 2006
5. Stevens, Malcolm P., Wprowadzenie do chemii polimerów tł. zbiorowe z ang. pod red. Mirosława Włodarczyka, Warszawa : Państw. Wydaw. Naukowe, 1983, ISBN 83-01-03110-7
6. A. Kołodziejczyk, Naturalne związki organiczne, Wydawnictwo Naukowe PWN 2006, ISBN 83-01-14316-9
7. W. Zieliński, A. Rajca (red.), Metody spektroskopowe i ich zastosowanie do identyfikacji związków organicznych, WNT, Warszawa, 2000
8. Malcolm P. Stevens: Wprowadzenie do chemii polimerów. Warszawa: PWN, 1983, s. 282-287. ISBN 83-01-03110-7.
9. Seymour, Raymond B., Kauffman, George B.. Polyurethanes: A class of modern versatile materials. „Journal of Chemical Education”. 69 (11), s. 909, 1992. DOI: 10.1021/ed069p909.
10. D C Allport, D S Gilbert and S M Outterside: MDI, TDI and the Polyurethane Industry. W: D. C. Allport (Editor),
11. Włazło J.: Materiał do usuwania nadmiaru kleju z wałka klejowego pracującego w pakowaczce. P .411771 z dn.26.03.2015 r.