

Zastosowanie polimerów jako mediów ściernych w obróbce przetłoczno-ścierniej

The application of polymers as abrasive media in abrasive flow machining

AGNIESZKA NOWACKA

TOMASZ KLEPKA*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.4.32>

Obróbka przepływem ściernym (*abrasive flow machining*) jest – ze względu na swą charakterystykę – odpowiednią metodą polerowania złożonych otworów i zakrzywionych powierzchni. W przypadku tradycyjnych metod obróbki strumieniem ściernym (AFM) trudno jest uzyskać jednolitą chropowatość promieniowego rozkładu podczas polerowania skomplikowanych otworów, co wynika z nierównomiernego rozłożenia sił ściernych. Media ścierna są narzędziami roboczymi odpowiadającymi za polerowanie w procesie AFM. Ze względu na wysoką cenę medium ściernego nie każdy użytkownik może sobie pozwolić na wykorzystanie go do obróbki. Dlatego autorzy opracowali tańsze i skuteczniejsze media ścierna, zapewniające poprawę chropowatości powierzchni elementów wyrobów polimerowych. W artykule omówiono zastosowanie polimerów lepkosprężystych jako mediów do obróbki przetłoczno-ścierniej. Dodatkowo zaproponowano modyfikacje w zakresie ilości i wielkości ziaren ściernych wypełniających medium ścierna, aby zwiększyć wartość siły nacisku ziarna na obrabianą powierzchnię i uzyskać równą powierzchnię złożonych otworów w procesie obróbki AFM.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka przetłoczno-ścierna, polimery lepkosprężyste, trybologia

The characteristics of the products' treatment by the abrasive flow machining (AFM) makes it an appropriate method of finishing the surface with complex geometry, e.g. holes or channels. Traditional methods of machining cause difficulties in obtaining a homogeneous roughness during finishing complicated shapes due to uneven distribution of abrasive forces. Due to the high price of abrasive media, not every user can afford for using it for processing. In the frame of the research, the novelty abrasive media has been developed to improve the surface roughness of the elements of polymer products. The use of viscoelastic polymers as a media of flow abrasive machining was discussed. Moreover, it is suggested to modify the quantity and size of abrasive grains filling the abrasive media in order to increase the value of the grain pressure force on the machined surface and to obtain an even surface of complex holes in AFM process.

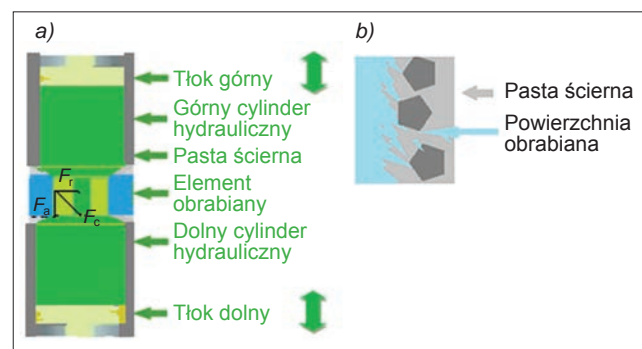
KEYWORDS: abrasive flow machining, viscoelastic polymers, tribology

Charakterystyka obróbki przetłoczno-ścierniej

Obecnie materiały polimerowe są powszechnie używane w wielu różnych dziedzinach techniki. Tworzywa polimerowe coraz częściej zastępują tradycyjne materiały konstrukcyjne, można z nich wykonywać elementy maszyn i mechanizmów lub wykorzystywać je jako materiały funkcjonalne. Rosnące zainteresowanie nowoczesnymi

materiałami polimerowymi powoduje, że informacje naukowe odniesione do specjalistycznej literatury – dotyczące złożonej struktury chemicznej tworzyw oraz możliwości modyfikacji ich cech i właściwości podczas przetwórstwa – mogą być przydatne dla specjalistów z różnych dziedzin nauki i techniki [1].

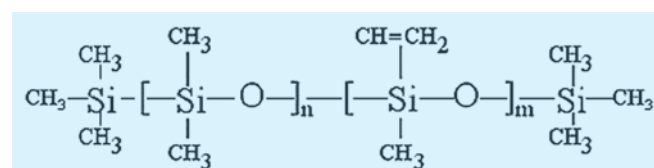
W obróbce przetłoczno-ścierniej wykorzystuje się odkształcalne narzędzie ścierna – tzw. elastyczne media, włączane pod ciśnieniem w celu wykończenia wewnętrznej powierzchni obrabianych otworów [2]. Alternatywą dla standardowego medium, które ma wysoką cenę rynkową, są materiały polimerowe, mogące zapewnić właściwości lepkosprężyste pastom ściernym. Model obróbki oraz rozkład sił składowych podczas procesu AFM przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Istota obróbki przetłoczno-ścierniej: a) przetłaczanie medium przez przedmiot obrabiany (F_a – siła pochodząca od przesuwania pasty przez tłok, F_t – siła pochodząca od lepkosprężystej pasty, F_c – całkowita siła ziarna ściernego, oddziałująca na powierzchnię obrabianą), b) proces mikroskrawania obrabianego przedmiotu

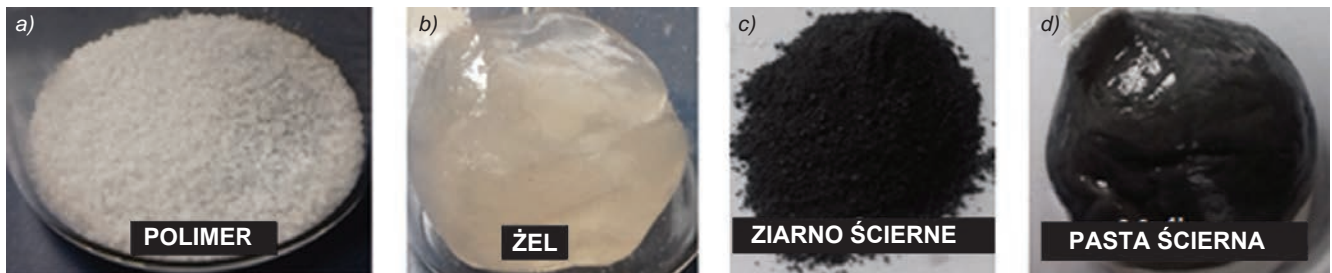
Materiały i charakterystyka badań

Jako materiały polimerowe lepkosprężyste można z powodzeniem stosować usieciowane poli(alkohole winylowe). Medium polimerowe jest w tym przypadku cieczą nienewtonowską i jego lepkość zmienia się w trakcie procesu zależnie od zastosowanego ciśnienia przetłaczania [3]. Pasta ścierna używana w procesie obróbki składa się z elastycznego medium (rys. 2) oraz ziaren ściernych (rys. 3).



Rys. 2. Skład medium polimerowego silikonowego

* Mgr inż. Agnieszka Nowacka (a.nowacka@pollub.pl), <https://orcid.org/0000-0002-2796-9626> – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii i Przetwórstwa Tworzyw Polimerowych, Lublin, Polska
Dr hab. inż. Tomasz Klepka (t.klepka@pollub.pl), <https://orcid.org/0000-0001-9182-0845> – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii i Przetwórstwa Tworzyw Polimerowych, Lublin, Polska



Rys. 3. Składniki (a–c) oraz gotowa pasta ścierna (d)

Aby uzyskać żądaną jakość obróbjonej powierzchni, należy odpowiednio dobrać rodzaj i wielkość ziaren ścierniwa z materiałów polimerowych [4]. W publikacji [5] stwierdzono, że, dobierając ziarna do obróbki, należy uwzględnić wielkość naddatku do usunięcia oraz powierzchnię styku ziarna i obrabianej powierzchni. Jeżeli wielkość ziaren oraz ich koncentracja są za duże w stosunku do objętości medium, wtedy nie jest możliwe uzyskanie powierzchni o wysokiej jakości i pozbawionej uszkodzeń [6, 7]. Zasada stosowania większych ziaren w paście ścierniej obowiązuje w przypadku usuwania z obrabianego materiału znacznej ilości naddatku oraz w przypadku dużej powierzchni styku ziarna ściernego z obrabianą powierzchnią. Zastosowanie większych ziaren w paście ścierniej stwarza jednak problemy z uzyskaniem odpowiedniej prędkości przepływu oraz ze zużyciem się ziaren na skutek tarcia wewnątrz objętości masy plastycznej [8]. W przetłaczanej masie plastycznej powstają naprężenia ściskające, powodujące wzrost koncentracji ziaren aktywnych (mających kontakt z obrabianą powierzchnią). Te ziarna są dociskane do obrabianej powierzchni i w efekcie zachodzi proces mikroskrawiania [9]. Na podstawie prac [9–11] można sformułować wniosek, że problem doboru wielkości oraz koncentracji ziaren pasty ścierniej w odniesieniu do żądanej jakości wykończenia wyrobów z tworzyw polimerowych nie został opisany wystarczająco szczegółowo. Również ze względu na wysoką cenę medium ściernego stosowa-

nego w obróbce przetłoczno-ścierniej zachodzi potrzeba podjęcia badań nad opracowaniem skutecznych mediów ściernych do obróbki tworzyw polimerowych.

Przygotowanie medium ściernego oraz parametry procesu obróbki

Jako obiekty do obróbki wykończeniowej wybrano wyroby wykonane z poliwęglanu (PC) i akrylonitrylo-butadieno-styrenu (ABS). Są to przykładowe elementy uchwytów maszyn.

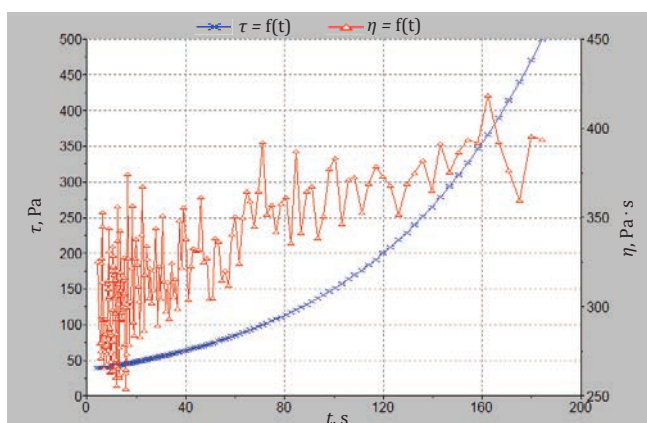
Na rys. 4 przedstawiono procedurę wytwarzania medium oraz prowadzenia procesu obróbki przetłoczno-ścierniej. Lepkość otrzymanego medium zależy od wzrostu wartości naprężenia ścinającego (rys. 5).

Obróbka została zrealizowana na stanowisku zaprojektowanym do wykonywania badań, przedstawionym schematycznie na rys. 6.

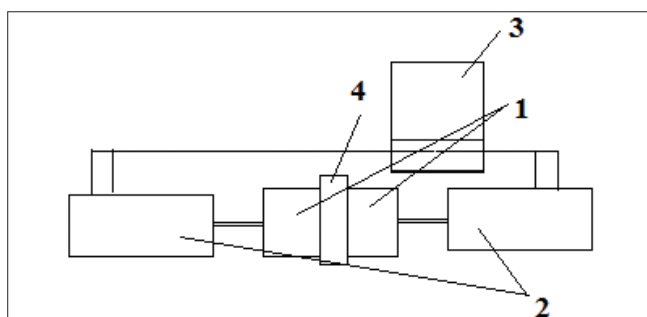
Aby określić wpływ wielkości zastosowanych ziaren na jakość obróbki wykończeniowej wyrobów polimerowych, ich powierzchnie wewnętrzne obrabiano z wykorzystaniem 12 polimerowych past ściernych o różnej wielkości ziaren. Ziarnistość materiałów ściernych podano w tabl. I. Zawartości $Z_1 = 5\%$, $Z_2 = 15\%$ i $Z_3 = 30\%$ wyrażają procentową ilość ziaren ściernych w medium polimerowym. Ziarnistość i zawartość materiału ściernego w badanych pastach polimerowych przedstawiono w tabl. II. Ziarnistość ścierniwa określono według PN-76/M-59107.



Rys. 4. Procedura przygotowania pasty ścierniej oraz realizacji procesu obróbki przetłoczno-ścierniej wyrobów polimerowych



Rys. 5. Diagram lepkości medium w zależności od wzrostu naprężenia ścinającego podczas pomiaru



Rys. 6. Schemat stanowiska badawczego do obróbki przetłoczno-ściernej: 1 – cylinder roboczy, 2 – układ tłoków, 3 – system sterowania, 4 – obrabiana próbka

TABLICA I. Ziarnistość materiału ściernego w paście ścierniej polimerowej

Ziarnistość materiału ściernego	Charakterystyczny wymiar, μm	
	od	do (włącznie)
P240	60,5	56,5
P400	36,5	33,5
P800	22,8	20,8
P1200	16,3	14,3

TABLICA II. Rodzaje past polimerowych

Ziarnistość materiału ściernego	Zawartość ziaren ściernych w paście polimerowej		
	Z ₁	Z ₂	Z ₃
P240	P240/Z ₁	P240/Z ₂	P240/Z ₃
P400	P400/Z ₁	P400/Z ₂	P400/Z ₃
P800	P800/Z ₁	P800/Z ₂	P800/Z ₃
P1200	P1200/Z ₁	P1200/Z ₂	P1200/Z ₃

Wyniki zastosowania medium polimerowego w obróbce przetłoczno-ściernej

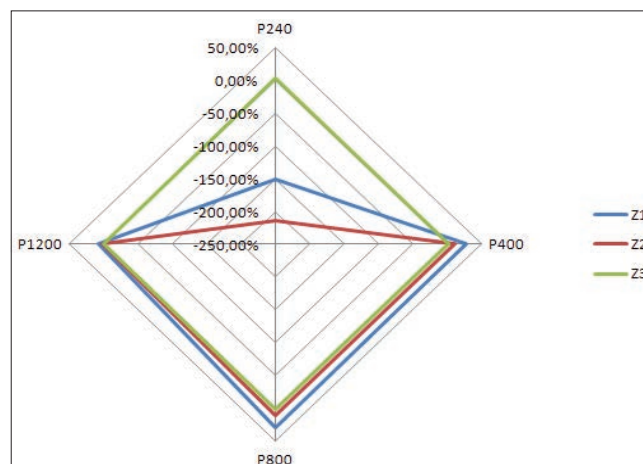
Obróbkę powierzchni wyrobu polimerowego z wykorzystaniem każdej pasty wykonano dla 10 próbek. Zestawy danych z badań sprawdzono pod względem normalności za pomocą testu chi-kwadrat. Ponadto za pomocą testu Q-Dixona sprawdzono, czy w zbiorze wyników nie ma błędu grubego.

Zmianę chropowatości obrabianej powierzchni polimerowej można opisać zależnością w postaci współczynnika RIR (*roughness improvement rate*) [12]:

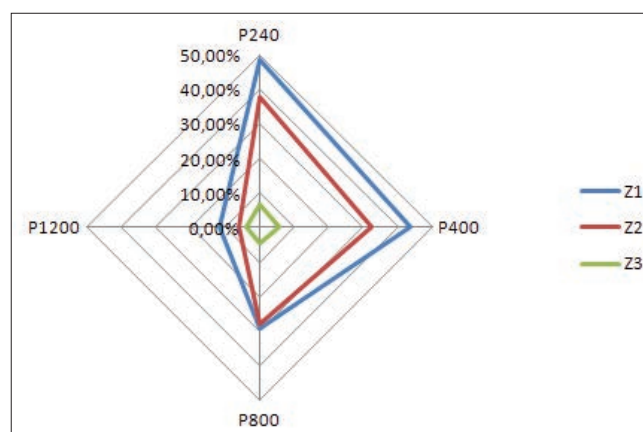
$$RIR = \frac{SR_{\text{oryginalny}} - SR_{\text{po obróbce}}}{SR_{\text{po obróbce}}} [\%]$$

gdzie: $SR_{\text{oryginalny}}$ – chropowatość powierzchni (Ra) wyrobu przed obróbką AFM, $SR_{\text{po obróbce}}$ – chropowatość powierzchni (Ra) wyrobu po obróbce AFM.

Obliczone na tej podstawie zmiany chropowatości po obróbce przetłoczno-ściernej przedstawiono na rys. 7 i 8.



Rys. 7. Parametry chropowatości polimeru PC po obróbce przetłoczno-ściernej



Rys. 8. Parametry chropowatości polimeru ABS po obróbce przetłoczno-ściernej

Analiza wyników badań

Analiza wyników pomiarów chropowatości wyrobów polimerowych potwierdziła, że zastosowanie pasty polimerowej P1200/Z₃ nie wpłynęło na wyraźną poprawę chropowatości powierzchni.

Po zastosowaniu pasty Z₃ następowało wprawdzie znaczne zmniejszenie chropowatości powierzchni próbek z materiału ABS, lecz w przypadku próbek wykonanych z PC chropowatość powierzchni rosła. Przyczyną tych rozbieżności była początkowa wartość chropowatości powierzchni przed obróbką: dla ABS $Ra = 0,390 \mu\text{m}$, dla PC $Ra = 0,208 \mu\text{m}$. Parametr Ra powierzchni wyrobu z PC po zastosowaniu pasty P240 jest ok. 2,5 razy większy niż przed obróbką ($0,782 \mu\text{m}$). Powodem wzrostu parametru chropowatości są deformacje plastyczne, wynikające z brzdowania polegającego na tworzeniu się rys i wypychaniu części materiału powyżej polerowanej powierzchni. Powierzchnia PC po obróbce ziarnem ściernym P400 miała o 12% mniejszą chropowatość w porównaniu z powierzchnią ABS.

Otrzymane wyniki wskazują, że w przypadku powierzchni obrabianych z użyciem past o koncentracji Z₁ i Z₂

uzyskano korzystniejsze parametry chropowatości (niższe o 47%) w porównaniu z obróbką pastami Z_3 .

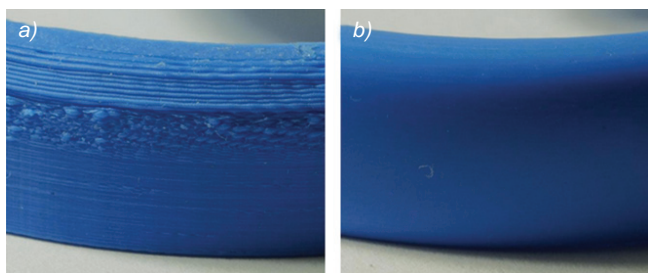
Najlepsze wyniki dotyczące obniżenia chropowatości obrabianej powierzchni w stosunku do chropowatości powierzchni przed obróbką przedstawiono w tabl. III.

TABLICA III. Obniżenie chropowatości powierzchni po obróbce wykończeniowej

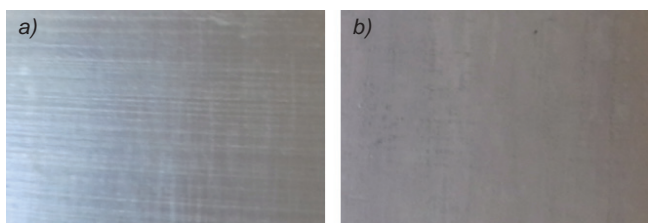
Obrabiany materiał	Pasta ścierna	Obniżenie chropowatości powierzchni po obróbce, %
Wyrób z ABS	P240/ Z_1	44
Wyrób z PC	P800/ Z_1	28

Wykonano inspekcję wizualną próbek polimerowych przed obróbką i po obróbce przetłoczno-ścierną. Przykładowe fotografie próbek pokazano na rys. 9 i 10. Na rys. 11 przedstawiono natomiast pastę ścierną przed jej użyciem do obróbki i po obróbce.

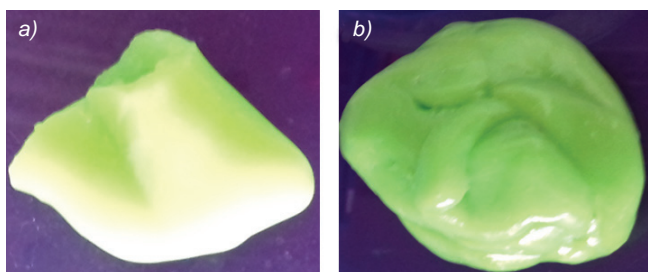
Na podstawie pomiarów i analizy chropowatości próbek polimerowych poddanych obróbce wykończeniowej można stwierdzić, że medium polimerowe może być używane do obróbki przetłoczno-ścierną. Nie wykazuje ono wizualnych śladów rozkładu termicznego i zapewnia utrzymanie ziaren ściernych w objętości pasty, a więc pozwala na przeprowadzenie procesu usuwania naddatków z powierzchni obrabianego przedmiotu.



Rys. 9. Powierzchnia polimeru ABS: a) przed obróbką wykończeniową, b) po obróbce z użyciem ścierną pasty polimerowej (po 10 cyklach)



Rys. 10. Powierzchnia polimeru PC: a) przed obróbką wykończeniową, b) po obróbce z użyciem ścierną pasty polimerowej (po 10 cyklach)



Rys. 11. Medium polimerowe: a) przed jego użyciem do obróbki powierzchni, b) po obróbce powierzchni (po 10 cyklach)

Podsumowanie i wnioski końcowe

Badania i analiza wyrobów z tworzyw polimerowych prowadzą do wniosku, że zastosowanie obróbki przetłoczno-ścierną pozwala na uzyskanie żądanej jakości powierzchni tych wyrobów. Potwierdzono, że parametry ziaren ściernych używanych w obróbce przetłoczno-ścierną

mają wpływ na chropowatość powierzchni obrabianych wyrobów polimerowych. Wyniki badań wskazują, że wielkość ziaren ściernych w paście polimerowej stosowanej do obróbki wykończeniowej powinna być równa nierównościom powierzchni próbki. Ponadto można stwierdzić, że medium polimerowe może być składnikiem medium ściernego w obróbce przetłoczno-ścierną.

LITERATURA

- [1] Klepka T. (praca zbiorowa). „Nowoczesne materiały polimerowe i ich przetwórstwo. Część 1”. Lublin: Politechnika Lubelska, 2014.
- [2] Wang C., Cheng K.C., Chen K.Y., Lin Y.C. “A study on the abrasive gels and the application of abrasive flow machining in complex-hole polishing”. *Procedia CIRP*. 68 (2018): 523–528.
- [3] Kumara R., Murtaza Q., Walia R.S. “Three start helical abrasive flow machining for ductile materials”. *Procedia Materials Science*. 6 (2014): 1884–1890.
- [4] Uhlmann E., Schmiedel C.S., Wendler J. “CFD simulation of the abrasive flow machining process”. *Procedia CIRP*. 31 (2015): 209–214.
- [5] Butola R., Jain R., Bhangadia P., Bandhu A., Walia R.S., Murtaza Q. “Optimization to the parameters of abrasive flow machining by Taguchi method”. *Materials Today: Proceedings*. 5 (2018): 4720–4729.
- [6] Brown E., Jaeger H.M. “Shear thickening in concentrated suspensions: phenomenology, mechanisms and relations to jamming”. *Reports on Progress in Physics*. 77, 4 (2014): 1–24.
- [7] Hashimoto F., Yamaguchi H., Krajnik P., Wegener K., Chaudhari R., Hoffmeister H.W., Kuster F. “Abrasive fine-finishing technology”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 65 (2016): 597–620.
- [8] Brown E., Jaeger H.M. “The role of dilation and confining stress in shear thickening of dense suspensions”. *Journal of Rheology*. 56, 4 (2012): 875–923.
- [9] Oniszczyk-Świercz D., Świercz R., Dąbrowski L. „Mikroobróbka wykończeniowa – obróbka przetłoczno-ścierną”. *Mechanik*. 8–9 (2016): 1132–1133.
- [10] Kumar S., Hiremath S.S. “A review on abrasive flow machining (AFM)”. *Procedia Technology*. 25 (2016): 1297–1304.
- [11] Sankar M.R., Jain V.K., Rajurkar K.P. “Nano-finishing studies using elastically dominant polymers blend abrasive flow finishing medium”. *Procedia CIRP*. 68 (2018): 529–534.
- [12] Wang R., Lim P., Heng L., Mun S.D. “Magnetic abrasive machining of difficult-to-cut materials for ultra-high-speed machining of AISI 304 bars”. *Materials*. 10 (2017): 1029–1041. ■