

MECHANIKA

**CZASOPISMO TECHNICZNE**  
**TECHNICAL TRANSACTIONS**  
MECHANICS

WYDAWNICTWO

POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1-M/2009  
ZESZYT 3  
ROK 106  
ISSUE 3  
YEAR 106

WOJCIECH WIELEBA\*

WPŁYW PROCESU TARCIA NA ZMIANĘ  
MIKROTWARDOŚCI WARSTWY WIERZCHNIEJ  
MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH

THE INFLUENCE OF FRICTION PROCESS FOR CHANGE  
OF MICROHARDNESS OF SURFACE LAYER IN  
POLYMERIC MATERIALS

Streszczenie

Podczas tarcia materiałów polimerowych po stali zachodzi modyfikacja struktury polimeru w obszarze warstwy wierzchniej. Jest ona między innymi skutkiem oddziaływań zachodzących pomiędzy powierzchniami współpracujących ślizgowo materiałów. W artykule przedstawiono wyniki badań zmian mikrotwardości warstwy wierzchniej wybranych materiałów polimerowych w wyniku tarcia przy różnym nacisku jednostkowym.

*Słowa kluczowe: mikrotwardość polimerów, warstwa wierzchnia, proces tarcia*

Abstract

The modification of polymer structure in the surface layer proceeds during friction of polymers on steel. This modification follows as a result of interactions between contacting surfaces. Results of microhardness research for some polymer materials are presented in the paper. Changes of microhardness that are connected with friction processes under different contact pressure are also presented.

*Keywords: microhardness of polymers, surface layer, friction process*

\* Dr hab. inż. Wojciech Wieleba, prof. nadzw. PWr., Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska.

## 1. Wstęp

Podczas tarcia materiałów polimerowych po stali następuje modyfikacja warstwy wierzchniej obu współpracujących ze sobą ślizgowo materiałów [3]. Na powierzchni materiału metalicznego tworzy się często cienka powłoka materiału polimerowego natomiast w warstwie wierzchniej materiału polimerowego następuje znaczna modyfikacja struktury fizycznej [2]. Jest ona następstwem oddziaływań mechanicznych (siła tarcia, odkształcenia plastyczne wynikające z obciążenia normalnego itp.) oraz chemicznych i cieplnych, które nieodłącznie towarzyszą procesowi tarcia. Przebudowa struktury materiału polimerowego przejawia się między innymi zmianą jego własności mechanicznych [1]. Celem przeprowadzonych badań było określenie zmiany mikrotwardości materiału polimerowego w wyniku tarcia przy różnym nacisku jednostkowym w obszarze styku współpracujących ślizgowo materiałów. Do badań wybrano tworzywa sztuczne, które są często stosowane w ślizgowych węzłach maszyn pracujących w warunkach tarcia suchego. Były to następujące materiały polimerowe:

- politetrafluoroetylen – PTFE,
- poliamid - PA 6,
- poli(tereftalan etylenu)- PETP (PET),
- poliacetal – POM,
- kompozyt na osnowie poliacetalu: POM + włókno aramidowe + proszek PTFE,
- kompozyt na osnowie poli(etero eteroketonu) – PEEK + włókno węglowe + grafit.

## 2. Badania tribologiczne

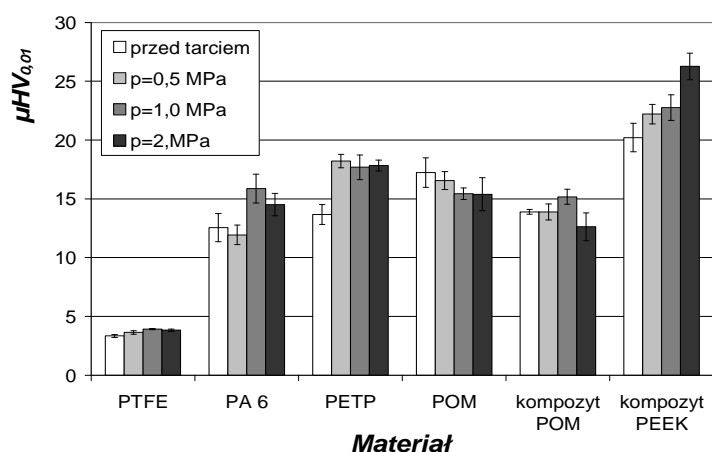
Badania tribologiczne wybranych materiałów prowadzono na stanowisku badawczym typu „pin-on-disk”. Próbki z badanego materiału polimerowego współpracowały ślizgowo z tarczą wykonaną ze stali C45 o twardości  $40 \pm 2\text{HRC}$  i chropowatości  $Ra=0,6 \mu\text{m}$ , w ustalonych warunkach tarcia technicznie suchego. Badania przeprowadzono przy prędkości ślizgania wynoszącej  $v = 1 \text{ m/s}$  i trzech wartościach nacisku jednostkowego ( $p = 0,5; 1,0; 2,0 \text{ MPa}$ ). Na podstawie rejestrowanej wartości siły tarcia określono współczynnik tarcia  $P_0$  badaniach określono również chropowatość powierzchni ślizgowej próbki polimerowej. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1

Tabela 1

**Wartości współczynnika tarcia oraz chropowatość powierzchni ślizgowej próbki polimerowej po zakończeniu badań tribologicznych**

Materiał	Współczynnik tarcia $\mu$			Chropowatość Rz [ $\mu\text{m}$ ]
	p = 0,5 MPa	p = 1,0 MPa	p = 2,0 MPa	
PTFE	0,235	0,218	0,275	0,7
PA 6	0,268	0,345	0,754	2,5
PETP	0,205	0,210	0,276	0,5
POM	0,285	0,433	0,236	3,7
kompozyt POM	0,329	0,269	0,268	1,6
kompozyt PEEK	0,275	0,318	0,384	1,1

Uzyskane wyniki współczynnika tarcia świadczą o tym, że w rozpatrywanych warunkach tarcia występują znaczne siły tarcia skierowane równoległe do kierunku ślizgania, które mogą przyczyniać się do uporządkowania struktury materiału polimerowego w obszarze warstwy wierzchniej. Efektem tego może być między innymi zmiana mikrotwardości warstwy wierzchniej.



Rys. 2. Mikrotwardość  $\mu HV_{0.01}$  warstwy wierzchniej materiałów polimerowych przed i po procesie tarcia przy różnym nacisku jednostkowym

Fig. 2. Surface layer microhardness of polymeric materials before and after friction process under different contact pressure

### 3. Badania mikrotwardości

Mikrotwardość powierzchni ślizgowej polimerowych próbek określano zarówno przed jak i po przeprowadzeniu badań tribologicznych w ustalonych warunkach tarcia. Badania przeprowadzono na twardościomierzu Shimadzu Micro HMV-2T metodą Vickersa przy obciążeniu wynoszącym 98,07 mN oraz czasie utrzymania obciążenia  $t = 5$  s. Zestawienie wyników badań zamieszczono w tabeli 2 oraz na wykresie (rys. 1).

**Średnia mikrotwardość warstwy wierzchniej próbki polimerowej przed i po zakończeniu badań tribologicznych**

Materiał	Warunki tarcia	Mikrotwardość $\mu\text{HV}_{0,01}$	
		Wartość średnia	Przedział ufności ( $\alpha=0,05$ )
PTFE	przed tarciami	3,33	$\pm 0,12$
	p = 0,5 MPa	3,63	$\pm 0,16$
	p = 1,0 MPa	3,90	$\pm 0,05$
	p = 2,0 MPa	3,82	$\pm 0,10$
PA 6	przed tarciami	12,53	$\pm 1,20$
	p = 0,5 MPa	11,93	$\pm 0,84$
	p = 1,0 MPa	15,86	$\pm 1,22$
	p = 2,0 MPa	14,51	$\pm 0,95$
PETP	przed tarciami	13,65	$\pm 0,84$
	p = 0,5 MPa	18,20	$\pm 0,57$
	p = 1,0 MPa	17,67	$\pm 1,05$
	p = 2,0 MPa	17,81	$\pm 0,47$
POM	przed tarciami	17,23	$\pm 1,24$
	p = 0,5 MPa	16,54	$\pm 0,75$
	p = 1,0 MPa	15,43	$\pm 0,50$
	p = 2,0 MPa	15,38	$\pm 1,40$
kompozyt POM	przed tarciami	13,88	$\pm 0,20$
	p = 0,5 MPa	13,88	$\pm 0,68$
	p = 1,0 MPa	15,16	$\pm 0,63$
	p = 2,0 MPa	12,61	$\pm 1,19$
kompozyt PEEK	przed tarciami	20,20	$\pm 1,22$
	p = 0,5 MPa	22,20	$\pm 0,82$
	p = 1,0 MPa	22,76	$\pm 1,09$
	p = 2,0 MPa	26,25	$\pm 1,13$

#### 4. Podsumowanie

1. Dla większości badanych materiałów zaobserwowano wyraźną zmianę mikrotwardości warstwy wierzchniej pod wpływem tarcia. W przypadku niektórych materiałów (np. PETP, PTFE) już niewielkie oddziaływania sił tarcia (przy  $p = 0,5$  MPa) powodują zmianę mikrotwardości warstwy wierzchniej. Wyjątkiem był kompozyt POM, dla którego obserwowane zmiany mieściły się w granicach przedziałów ufności.
2. Badanymi materiałami były krystaliczne polimery termoplastyczne. Na podstawie uzyskanych wyników badań należy sądzić, że przyrost twardości w obszarze warstwy wierzchniej wynika przede wszystkim z częściowego uporządkowania struktury polimerów wskutek oddziaływań ciernych przy jednocześnie podwyższonej temperaturze w warstwie wierzchniej.
3. Największy wpływ procesu tarcia na zmianę twardości warstwy wierzchniej zaobserwowano dla kompozytu PEEK + włókno węglowe+ grafit. W przypadku tego mate-

- riału przyczyny zwiększenia twardości można doszukiwać się w znacznym udziale włókna węglowego znajdującego się na powierzchni ślizgowej po procesie tarcia
4. Zastosowana metoda pomiaru twardości Vickersa charakteryzuje się stosunkowo dużą wrażliwością na zwiększoną chropowatość powierzchni, na której przeprowadza się pomiar. Efektem może być zwiększony rozrzut wyników badań (zwiększony przedział ufności) widoczny np. dla poliacetalu (POM) lub poliamidu (PA 6), dla których chropowatość Rz po badaniach tribologicznych przekraczała 2,5  $\mu\text{m}$ .

#### Literatura

- [1] Baltá-Calleja F.J., Fakirov S., *Microhardness of polymers*, Cambridge University Press, 2000.
- [2] Brostow W., Datashvili T., Huang B., *Tribological properties of blends of melamine-formaldehyde resin with low density polyethylene*, Polymer Engineering and Science, 2008, 292-296 .
- [3] Wieleba W., *Analiza procesów tribologicznych zachodzących w kompozytach PTFE podczas współpracy ze stalą*, Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław 2002.