

Paweł Michalski*, Konrad Kwiatkowski*

Zastosowanie metody nanoindentacji w badaniach elastomerów uretanowych

Badane w niniejszej pracy elastomery uretanowe i uretanowo-mocznikowe syntezowane były jednoetapowo lub dwuetapowo. Technika nanoindentacji wyznaczono moduł sprężystości podłużnej (Younga) i twardość oraz dokonano korelacji wyników z twardością Shore'a. Opisano metodykę pomiarów oraz dokonano analizy porównawczej otrzymanych wyników. Omówiono otrzymane wyniki w aspekcie budowy chemicznej uzyskanych elastomerów uretanowych.

Słowa kluczowe: moduł sprężystości Younga, nanoindentacja, twardość Shore'a

Application of nanoindentation technique to testing of polyurethane elastomers

The aim of the study was to investigate the possibility of using nanoindentation for determining the fundamental properties of polyurethane elastomers. Polyurethane elastomers have been synthesized in one or two-steps synthesis with a glass reactor. We determined a Young's modulus and hardness by nanoindentation, and the results correlated with a Shore hardness. Explained the methodology of measurement and comparative analysis of the results.

Key words: Young's modulus, nanoindentation, Shore hardness

I. Wprowadzenie

1.1. Twardość i moduł sprężystości

Pomiar twardości jest jedną z najprostszych metod weryfikacji właściwości mechanicznych materiału, dlatego jest szeroko stosowany w laboratoriach i zakładach produkcyjnych, czyli wszędzie tam, gdzie wymagana jest szybka kontrola jakości na każdym etapie produkcji.

Definicja twardości stwarza pewne niejasności i zależna jest od tego, która grupa naukowców jej używa. Dla twardych materiałów ceramicznych i metalicznych

twardość jest miarą oporu, jaki wykazuje ciało w czasie wciskania węgelnika, przy dokonywaniu trwałych odkształceń plastycznych. Taka definicja twardości powiązana jest z pracą Tabora, który wykazał, że twardość związana jest z granicą plastyczności [1].

W przypadku niektórych polimerów, np. elastomerów, ze względu na duży zakres odkształceń odwracalnych, mogący dochodzić nawet do 1000% wydłużenia względnego, często niemożliwe jest uzyskanie trwałego odkształcenia podczas indentacji [2]. Ze względu na szybki powrót poodkształceniowy pomiar twardości elastomerów odbywa się pod obciążeniem; dotyczy to wszystkich popularnych metod pomiarowych (metoda Shore'a, metoda wciskania kulki). Jednak twardość

Mgr inż. Paweł MICHALSKI ukończył w 2010 roku studia inżynierskie (I stopień) na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki – kierunku: Inżynieria Materiałowa. Pracę dyplomową inżynierską realizował w Instytucie Inżynierii Materiałowej. W 2011 roku ukończył II stopień studiów wyższych na kierunku Inżynieria Materiałowa uzyskując tytuł magistra inżyniera. Od 2011 r. jest słuchaczem studium Doktoranckiego na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki. Specjalność: trybologia materiałów polimerowych, elastomery uretanowe. Instytut Inżynierii Materiałowej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie; Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin



Dr inż. Konrad KWIATKOWSKI w roku 2000 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Szczecińskiej na kierunku inżynieria materiałowa. W 2006 r. obronił doktorat na Wydziale Mechanicznym Politechniki Szczecińskiej i uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn ze specjalnością przetwórstwo tworzyw sztucznych. W latach 2007-2009 odbył staż w Philips Applied Technologies (Eindhoven, Holandia). Jest adiunktem w Instytucie Inżynierii Materiałowej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Specjalność – synteza i badania tworzyw polimerowych, zwłaszcza termoplastycznych elastomerów estrowych i uretanowych, a także przetwórstwo wtryskowe i projektowanie form wtryskowych.



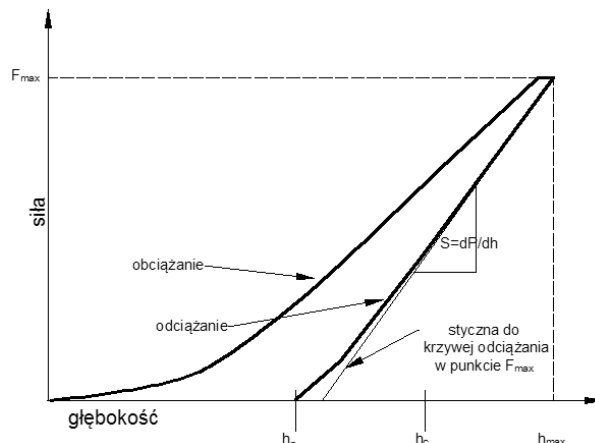
* Instytut Inżynierii Materiałowej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

w takim ujęciu jest nie tylko odpornością na trwałe odkształcenia plastyczne, ale zawiera również udział odkształceń odwracalnych.

Moduł Younga (moduł sprężystości podłużnej) zależy od energii pierwotnych wiązań międzycząsteczkowych (kowalencyjnych lub jonowych), oraz wtórnych oddziaływań międzycząsteczkowych (Van der Waalsa, wodorowych) i ich koncentracji w materiale [3,4]. Jest miarą występującego w materiale oporu, powstającego na skutek odwracalnego sprężystego odkształcenia. Zatem w przypadku pomiaru twardości elastomerów metodą Shore'a należy spodziewać się, że wartość tak określonej twardości powinna być pozytywnie skorelowana z wartościami modułu sprężystości. Wyjaśnienia i wyprowadzenia tej zależności dokonał Gent [16], jednakże wstępne badania własne autorów wykazały, że zależność ta często nie sprawdza się i wyniki twardości są mocno zawyżone.

1.2. Podstawy nanoindentacji

Techniką nanoindentacji, używając wgłębnika o znanej geometrii, można uzyskać charakterystykę „siła w funkcji głębokości indentacji” zarówno dla obciążania, jak i odciążania próbki (rys.1 i 2), co umożliwi obliczenie twardości oraz modułu sprężystości podłużnej, bez potrzeby stosowania znormalizowanych próbek do badań i wykonywania prób statycznego rozciągania. Oznaczeń można dokonać dysponując niewielkim fragmentem gotowego wyrobu, co jest szczególnie istotne przy dokonywaniu doboru materiału, który np. powinien charakteryzować się twardością i modułem sprężystości zbliżonym do posiadanego fragmentu materiału jako wzorca. W takim wypadku nie jest możliwe wykonanie prób makro twardości i klasycznych prób wytrzymałościowych.



Rys. 2. Typowa zależność siły w funkcji głębokości indentacji

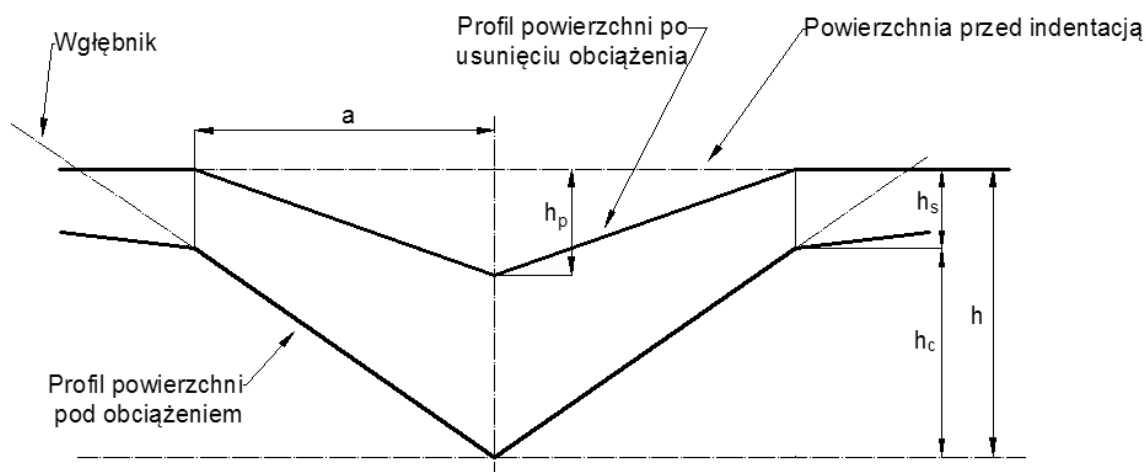
Fig. 2. Typical relationship load vs displacement during indentation

ciowych. W praktyce dość często występuje taka sytuacja.

Metoda analizy wyników nanoindentacji – najczęściej stosowana – została zaproponowana przez zespół Olivera i Pharra [5, 6]. Twardość interpretowana jest jako stosunek maksymalnej siły oddziałującej na próbkę do pola powierzchni rzeczywistego kontaktu wgłębnika z próbką. Tak zdefiniowana twardość H związana jest ze średnim ciśnieniem wywieranym przez wgłębник na powierzchnię próbki i obliczana jest następująco:

$$H = \frac{F_{\max}}{A_{\max}} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

gdzie: F_{\max} – siła maksymalna w niutonach, A_{\max} – pole rzeczywistego kontaktu w milimetrach kwadratowych.



Rys. 1. Schemat procesu nanoindentacji wgłębnikiem stożkowym: h – maksymalna głębokość indentacji dla F_{\max} , h_c – głębokość kontaktu wgłębnika z próbką, h_p – rzeczywista głębokość odcisku po odciążeniu próbki, h_s – przemieszczenie odwracalne powierzchni, a – promień kontaktu

Fig. 1. Cross-section of an indentation: h – maximum indentation depth at F_{\max} , h_c – depth of contact of the indenter with the sample, h_p – final indentation depth after removal of the force, h_s – reversible surface displacement, a – radius of contact

Podczas obciążania badana próbka odkształca się zarówno plastycznie, jak i sprężysto. Do obliczenia modułu sprężystości wykorzystuje się założenie, że reakcją materiału na odciążanie są oddziaływania sprężyste. Zgodnie z teorią sprężystego kontaktu [7-9], zredukowany moduł sprężystości podłużnej E_r , będący kombinacją modułów próbki i węgelnika, dany jest wzorem:

$$E_r = \frac{1}{\frac{(1-\nu_s^2)}{E_s} + \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i}} \text{ [MPa]} \quad (2)$$

gdzie: ν_s i ν_i – współczynniki Poissona próbki i węgelnika, E_s i E_i – moduły Younga próbki i węgelnika.

Zgodnie z pracami Olivera i Pharra, wykorzystując parametry zaznaczone na rysunkach 1 i 2, zredukowany moduł E_r wyrazić można za pomocą wzoru:

$$E_r = \frac{S\sqrt{\pi}}{2\beta\sqrt{A_c}} \text{ [MPa]} \quad (3)$$

gdzie: S – sztywność w megapaskalach (współczynnik kierunkowy stycznej do krzywej odciążania w punkcie F_{\max}), β – stała zależna od geometrii węgelnika, A_c – pole kontaktu węgelnika i próbki dla głębokości kontaktu h_c w milimetrach kwadratowych

Zaznaczona na rysunkach 1 i 2 głębokość kontaktu węgelnika z próbką (h_c) stanowi różnicę pomiędzy maksymalną wartością zagłębienia węgelnika h_{\max} a przemieszczeniem odwracalnym powierzchni próbki w miejscu granicy kontaktu h_s :

$$h_c = h_{\max} - h_s = h_{\max} - \varepsilon \frac{F_{\max}}{S} \quad (4)$$

gdzie: ε – stała zależna od geometrii węgelnika.

1.3. Elastomery uretanowe

Terminem elastomery określa się materiały, które wykazują duży zakres odkształceń odwracalnych, często rzędu setek procent wydłużenia względnego, przy czym mechanizm takich odkształceń ma charakter entropowych zmian związanych z rozprostowywaniem i ponownym skłębieniem się łańcuchów polimerowych [17].

Wśród elastomerów znaczącą grupę stanowią elastomery uretanowe, które są kopolimerami powstającymi najczęściej z izocyjanianów, oligomerycznych eterów lub estrów oraz małowcząsteczkowych dioli, które w takim zastosowaniu pełnią rolę przedłużacza łańcucha. Jeśli przedłużaczem łańcucha będzie diamina, wtedy otrzymuje się elastomer uretanowo-mocznikowy. Elastomery uretanowe lub uretanowo-mocznikowe mają strukturę heterofazową składającą się z fazy miękkiej, którą stanowią segmenty giętkie oligoeterowe lub oligoestrowe, oraz uretanowej lub (uretanowo-mocznikowej) fazy twardej złożonej z segmentów sztywnych, które powstają z izocyjanianów i przedłużaczy łańcucha. Jeśli wszystkie zastosowane składniki są dwufunkcyjne, to otrzymuje się makrocząsteczki liniowe, zaś jeśli jeden ze składników jest więcej niż dwufunkcyjny, wtedy otrzymuje się elastomery silnie rozgałęzione lub usieciowane. Właściwoś-

ci mechaniczne elastomeru zależą od zawartości segmentów giętkich i sztywnych w elastomerze oraz od ich rodzaju [10-14].

1.4. Cel pracy

W niniejszej pracy zbadano przydatność techniki nanoindentacji do określenia podstawowych stałych materiałowych próbek elastomerów uretanowych.

Jednym z zamierzeń pracy było ponowne wyznaczenie i udoskonalenie zależności Genta, gdyż znajomość jej pozwoliłaby na zastosowanie techniki nanoindentacji do wyznaczania twardości Shore'a materiału elastomerowego, co ułatwiłoby identyfikację materiału gotowych wyrobów np. w przypadku dysponowania tylko niewielkim fragmentem wyrobu.

Dodatkowym aspektem przeprowadzonych badań było ustalenie wpływu rodzaju segmentu giętkiego i sztywnego oraz ich zawartości w elastomerach uretanowych na wykazywaną twardość i moduł sprężystości.

2. Część doświadczalna

2.1. Materiały do syntezy elastomerów uretanowych

- oligoeter: poli(tlenek tetrametylenowy) (PTMO) o masie cząsteczkowej $M_n=1000$ i $M_n=1800$ (Theratan 1000 i Theratan 1800, Du Pont);
- oligoester na bazie kwasu adypinowego oraz glikolu etylenowego i dietylenowego o masie cząsteczkowej $M_n=2000$ i liczbie hydroksylowej równej 59 mg KOH/g (Polios 55/20, Purinova);
- techniczny monomeryczny 4,4'-diizocyjanian difenylometanu (m-MDI) o czystości 98% (Sigma-Aldrich);
- polimeryczny izocyjanian difenylometanu (p-MDI) o zawartości grup NCO wynoszącej $30,5 \pm 1,0$ % mas., gęstości $1,21 \text{ g/cm}^3$ (25°C), lepkość 125 mPas (25°C), (Specflex NE113, Dow Chemical);
- 1,4-butanodiol (1,4-BD), (Du Pont) – diol jako przedłużacz łańcucha;
- 4,4-metyleno-bis(2-chloroanilina) (MOCA, Sigma-Aldrich) – diamina jako przedłużacz łańcucha.

2.2 Synteza elastomerów uretanowych

Oligomerole (poliester i poliester) oraz 1,4-butanodiol bezpośrednio przed użyciem odwadniano susząc przez 2 h w mieszalniku próżniowym (próżnia 10 Pa) w temperaturze 140°C podczas intensywnego mieszania. Zarówno p-MDI, jak i stopiony m-MDI przed użyciem filtrowano w celu usunięcia powstających w czasie przechowywania dimerów.

Elastomery uretanowe z udziałem polimerycznego MDI syntezowane były jednoetapowo w temperaturze

Tabela 1. Skład badanych elastomerów uretanowych
Table 1. Composition of the investigated polyurethane elastomers

Nr próbki	Skład, cz. wagowe na 100 g PUR							
	PTMO, $M_n=1000$	PTMO, $M_n=1800$	Poliester, $M_n=2000$	p-MDI	m-MDI	1,4-BD	MOCA	molowo: oligomerol/izocyjanian/przedłużacz
1	50,0	-	-	41,1	-	8,9	-	1/3,0/2,0
2	60,0	-	-	34,2	-	5,8	-	1/2,1/1,1
3	50,0	-	-	-	40,1	9,9	-	1/3,2/2,2
4	60,0	-	-	-	33,4	6,6	-	1/2,2/1,2
5	-	50,0	-	-	38,6	11,4	-	1/5,6/4,6
6	-	60,0	-	-	31,6	8,4	-	1/3,8/2,8
7	-	-	50,0	-	38,4	11,6	-	1/6,1/5,1
8	-	-	60,0	-	31,4	8,6	-	1/4,2/3,2
9	-	-	50,0	28,8	-	-	21,2	1/4,2/3,2
10	-	-	60,0	24,4	-	-	15,6	1/2,9/1,9
11	-	-	70,0	20,0	-	-	10,0	1/2,1/1,1

pokojowej. W mieszalniku umieszczano p-MDI, oligomerol i przedłużacz łańcucha: glikol (1,4-BD) lub diaminę (MOCA). Mieszano intensywnie przez 30 s i niezwłocznie wylewano do form.

Elastomery uretanowe z udziałem monomerycznego MDI syntezowane były dwuetapowo ze względu na skłonność m-MDI do krystalizacji. Odwodniony oligomerol oraz stopiony diizocyjanian umieszczano w szklanym reaktorze. Prepolimeryzację prowadzono w temperaturze 120 °C przez 60 min przy ciągłym mieszanii pod obniżonym ciśnieniem (10 Pa). Następnie obniżano temperaturę w reaktorze do 50 °C. W drugim etapie – do powstałego prepolimeru dodawano obliczoną ilość przedłużacza łańcucha. Po 30 s intensywnego mieszania polimeryzującą mieszaninę przelewano do form.

Otrzymano elastomery uretanowe i uretanowo-mocznikowe (PUR) różniące się rodzajem zastosowanego izocyjanianu, ilością i rodzajem segmentów giętkich oraz rodzajem przedłużacza łańcucha. Rodzaj i udział wagowy komponentów, których użyto do syntezy elastomerów uretanowych, zestawiono w tabeli 1.

2.3. Przygotowanie próbek do badań

Próbki PUR wykonywano przez odlewanie w formach polipropylenowych. Otrzymywano w ten sposób listwy o grubości 10 mm. Zsyntezowane próbki wygrzewano przez 2 h w temperaturze 60 °C, a następnie przez 3 h w 120 °C.

2.4. Metody badań

- Charakterystyki „obciążanie–odciążanie” w funkcji głębokości indentacji wyznaczono na nanoindenterze CSM Instruments przy z wykorzystaniem wglębniaka Berkovicha. Prędkość obciążania i odciążania

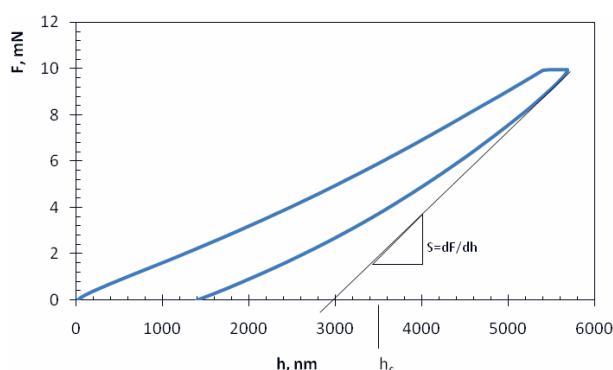
wynosiła 20 mN/min. Twardość i moduł Younga wyznaczono wykorzystując metodę Olivera i Pharra.

- Twardość Shore’a wyznaczono stosując aparat typu D firmy Zwick, wyposażony w statyw. Pomiary wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 868:2005.

3. Wyniki badań i dyskusja

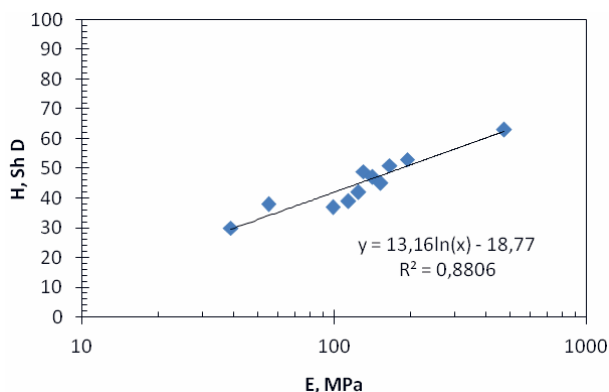
3.1. Korelacja twardości Shore’a i modułu sprężystości

Najpopularniejszą metodą określania twardości elastomerów jest metoda Shore’a. Ograniczeniem stosowania tej metody jest konieczność użycia próbek o grubości minimum 4 mm. Ponadto, każdy pomiar należy wykonywać minimum 9 mm od krawędzi próbki, a odległość między miejscami kolejnych pomiarów musi wynosić minimum 6 mm, co nie zawsze jest możliwe w przypadku badania gotowych wyrobów. Jak wspomniano we



Rys. 3. Zależność siły w funkcji głębokości indentacji dla próbki 11

Fig. 3. Relationship load vs displacement during indentation for specimen „11”



Rys. 4. Zależność twardości Shore'a D od modułu Younga
Fig. 4. Shore D hardness as a function of Young modulus

wstępie, indentacja polimerów w stanie wysokoelastycznym ma w głównej mierze charakter lepkosprężysty, powinno być zatem możliwe skorelowanie twardości Shore'a z modułem sprężystości. Na podstawie umieszczonych w tabeli 2 wyników badań, które otrzymano po przeprowadzeniu analizy zależności „siła – głębokość indentacji” (rys. 3) badanych elastomerów, sporządzono wykres (rys. 4), na którym przedstawiono wyznaczoną zależność.

W układzie współrzędnych z wartościami modułu sprężystości w skali logarymicznej wyniki układają się liniowo, czyli zależność rzeczywista jest zbliżona do logarymicznej. Równanie zależności podano na wykresie, co umożliwi dokonywanie interpolacji i ekstrapolacji.

3.2. Twardość i moduł sprężystości elastomerów uretanowych w zależności od ich budowy chemicznej

Wraz ze zwiększaniem w elastomerze udziału segmentu sztywnego, a więc zwiększaniem stężenia grup uretanowych lub uretanowo-mocznikowych, o dużej energii kohezji, zaobserwowano wzrost twardości oraz modułu Younga, niezależnie od rodzaju substratów użytych do syntezy (tabela 2).

Wynika to z faktu, że wiązania uretanowe mogą tworzyć międzycząsteczkowe wiązania wodorowe pomiędzy wodorem grupy $-NH$ a tlenem grupy karbonylowej.

Elastomery zawierające zdolny do krystalizacji m-MDI charakteryzowały się zdecydowanie wyższą twardością i modułem sprężystości niż analogiczne materiały zawierające p-MDI (pary 1-3 i 2-4). Wynika to m.in. z zachowania podczas syntezy symetrii właściwej dla izomeru 4,4'-MDI, co poprawia właściwości mechaniczne otrzymanego poliuretanu i zwiększa ilość wiązań wodorowych [15].

Elastomery zawierające oligoeter o średniej masie cząsteczkowej $M_n = 1000$ wykazywały podobną twardość, ale wyższy moduł Younga niż PUR mające w skła-

dzie oligoeter o masie cząsteczkowej $M_n = 1800$ (pary 3-5 i 4-6). Znaczący wzrost modułu i twardości zanotowano w przypadku poliuretanów zawierających poliestrowy segment giętki (próbki 7-8). Zależność tę należy tłumaczyć istnieniem wiązań wodorowych, powstałych w wyniku oddziaływań grupy uretanowej z grupą estrową [11].

Tabela 2. Właściwości badanych elastomerów uretanowych

Table 2. Properties of the investigated polyurethane elastomers

Nr próbki	Twardość, MPa	Twardość Sh D	Moduł Younga, MPa
1	32±4	38±1	55±9
2	26±3	30±2	39±8
3	46±5	51±2	166±12
4	47±5	39±1	114±13
5	44±4	49±1	131±9
6	40±5	37±2	99±8
7	52±5	53±1	195±9
8	47±4	47±1	142±11
9	57±3	63±1	474±10
10	49±2	45±1	153±10
11	37±2	42±1	125±9

Największy wpływ na właściwości mechaniczne testowanych materiałów miał rodzaj użytego przedłużacza łańcucha. Zastosowanie glikolu butylenowego skutkuje powstaniem grup uretanowych i kilkukrotnym zwiększeniem długości segmentu sztywnego w cząsteczce. W przypadku przedłużania diamina MOCA, w wyniku reakcji grupy izocyjanianowej z grupą aminową, w cząsteczce PUR pojawiają się silnie polarne wiązania mocznikowe o dużej energii kohezji, które dodatkowo biorą udział w tworzeniu podwójnych wiązań wodorowych pomiędzy łańcuchami elastomeru, w wyniku czego przesuwane się łańcuchów w materiale jest mocno ograniczone [11], co z kolei powoduje znaczny wzrost twardości i modułu Younga (próbki 9-11).

Zgodnie z przewidywaniami, najwyższą twardością i modułem Younga odznaczała się próbka 9, zawierająca 50% segmentu sztywnego, syntezowana z użyciem poliesterowego oligomeru oraz przedłużana diamina.

4. Wnioski

Technika nanoindentacji, z wykorzystaniem wglębniaka o znanej geometrii, umożliwia wyznaczenie twardości oraz modułu sprężystości na podstawie badania niewielkiego fragmentu materiału, bez potrzeby wykonywania znormalizowanych próbek do badań.

W ramach pracy uzyskano szereg elastomerów uretanowych i uretanowo-mocznikowych różniących się ilością i rodzajem segmentów giętkich, rodzajem zasto-

sowanego izocyjanianu oraz rodzajem przedłużacza łańcucha.

Najwyższą twardością i modułem Younga odznaczała się próbka zawierająca 50% poliestrowego segmentu giętkiego, zsyntezowana z użyciem polimerycznego izocyjanianu p-MDI oraz przedłużona diaminą MOCA.

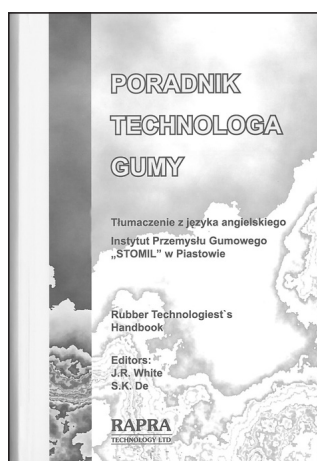
W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano udoskonaloną relację wiążącą twardość Shore'a elastomerów uretanowych z modułem Younga, wyznaczonym metodą nanoindentacji.

Literatura

1. Tabor D.: „The hardness of metals”, Oxford: Clarendon Press, 1951.
2. Johnson K.: „Contact mechanics”, Cambridge University Press, 1985.
3. Ashby M., Jones D.: „Materiały inżynierskie. Właściwości i zastosowania”, WNT, Warszawa, 1995.
4. Gladkov S.: *Journal of Engineering Physics and Thermophysics* 2006, **79**(4), 835-838.
5. Oliver W., Pharr G., Brotzen F.: *Journal of Materials Research* 1992, **7**(3), 613-617.
6. Oliver W., Pharr G.: *Journal of Materials Research* 1992, **7**(6), 1564-1583.
7. Hertz H.: *J. ReineAngew. Math.* 1881, **92**, 156-171; Translated and reprinted in English in “Hertz's Miscellaneous Papers” (Macmillan & Co, London, 1896) Ch. 5.
8. Fischer-Cripps A.: *Vacuum* 2000, **58**(4), 569-585.
9. Fischer-Cripps A.: *J. Mat. Sci.* 1999, **34**, 129-137.
10. Michalski P., Nachman M., Kwiatkowski K.: *Polimery* 2012, **57**, (11-12), 839-845.
11. Wirpsza Z. „Poliuretany. Chemia, technologia, zastosowanie”, WNT, Warszawa 1991.
12. Nachman M., Michalski P., Hełminiak A., Arabczyk W., Rośliniec Z.: *Elastomery* 2012, **16**, 2(91), 11-15(11-12), 777-785.
13. Anisimov V., Semenets A., Letunovskii M., Strakhov V.: *Mater. Sci.* 2002, **38**, 95-98.
14. Nachman M., Kwiatkowski K.: *Wear* 2013, **306**(1-2), 113-118.
15. Gent A.: *IRI Trans.* 1958, **34**, 46-57.
16. Sperling L.H. „Introduction to physical polymer science”, Wiley&Sons, New York, 1992.

Instytut IMPiB, Oddział Elastomerów i Technologii Gumy w Piastowie oferuje:

„Poradnik Technologa Gumy”



„Poradnik Technologa Gumy” stanowi polski przekład książki „Rubber Technologist's Handbook”. Jest to pierwsza tego rodzaju pozycja w języku polskim od czasu wydania w 1981 r. książki „Guma – Poradnik Inżyniera i Technika”.

Poradnik ten jest przeznaczony dla szerokiego kręgu odbiorców, zarówno praktyków zatrudnionych w zakładach przemysłu gumowego, projektantów maszyn i urządzeń oraz obiektów budowlanych, jak i osób, które chcą dopiero poznać zagadnienia technologii i stosowania gumy. Będzie on również przydatny dla studentów kierunków chemicznych, mechanicznych, budowy maszyn itp.

Cena jednego egzemplarza 157,50 zł (w tym 5% VAT). Do ceny zostaną doliczone koszty wysyłki.

Zamówienie prosimy kierować na adres:

Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników
 Oddział Elastomerów i Technologii Gumy
 05-820 Piastów, ul. Harcerska 30
 e-mail: t.jedrzejak@impib.pl
 fax: (22) 723 71 96, tel. (22) 723 60 25 do 29 wew. 289 lub 250