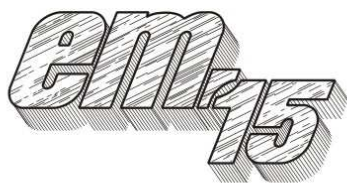


XII Międzynarodowa Konferencja - Electromachining 2015



UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Produkcji
STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
MECHANIKÓW POLSKICH – Koło Uczelniane UTP

85-789 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7
tel. (0 52) 340-87-47, fax. (0 52) 340-82-45,
e-mail: tomasz.paczkowski@utp.edu.pl

Wpływ krótkotrwałych sił nacisku na zmianę twardości tworzyw polimerowych o budowie amorficznej

Influence of Short Duration Contact Forces on Hardness of Amorphous Structure Polymers

Piotr Mazur

Przeprowadzono badania mające określić wpływ krótkotrwałego działania sił nacisku na twardość polimerów o budowie amorficznej. Wytypowano do badań PMMA i PC, ze względu na powszechne stosowanie tych polimerów jako tworzyw konstrukcyjnych. Wyniki badań wykazały, że siły nacisku obniżają twardość badanych polimerów. Oprócz wartości siły nacisku na zmianę twardości ma wpływ, także czas po jakim dokonujemy pomiaru tej cechy. Badania twardości na powierzchni tej samej próbki wykazują dość znaczne różnice, w zależności od zastosowanego obciążenia i miejsca badania.

SŁOWA KLUCZOWE: polimery, nacisk, twardość, czas.

The research on the influence of short duration contact forces on hardness of the amorphous structure polymers has been carried out. PMMA and PC were chosen for purposes of the experiment considering common use of these polymers as construction materials. The results of the experiment showed that contact forces decrease hardness of the examined polymers. Besides the value of a contact force also the amount of time that passed after a measurement influences hardness. The measurements of hardness on the surface of the same sample revealed quite significant differences depending on applied load and spot of investigation.

KEYWORDS: polymers, pressure, hardness, time.

Wprowadzenie

W przypadku tworzyw polimerowych do tej pory nie stosowano sił nacisku w celu zmiany twardości materiału. Badania rozpoczęto od tworzyw należących do grupy termoplastów między innymi ze względu na możliwość wielokrotnego ich przetworstwa i występowanie materiałów o trzech różnych strukturach budowy: amorficznej, częściowo krystalicznej i krystalicznej. Badaniom poddano tworzywa o budowie amorficznej – polimetakrylan metylu (PMMA) i poliwęglan (PC).

Polimetakrylan metylu jako tzw. szkło organiczne wyróżnia się spośród innych tworzyw polimerowych bardzo dobrymi właściwościami optycznymi, zwłaszcza dużą przepuszczalnością światła widzialnego (ok. 92%) i promieni nadfioletowych (50 – 70%). Wykazuje ponadto dużą odporność na działanie czynników atmosferycznych (w tym niskiej temperatury), odznacza się przy tym bardzo małą chłonnością wody. PMMA ma dobre właściwości mechaniczne i wykazuje dużą odporność chemiczną. W porównaniu ze szkłem krzemianowym jest znacznie lżejszy oraz odznacza się większą plastycznością dzięki czemu jest odporniejszy na pękanie. Wykazuje on jednak mniejszą sztywność i odporność na zarysowania powierzchni. PMMA jest tworzywem nisko syntetycznym. W porównaniu z innymi tworzywami termoplastycznymi jego właściwości są ogólnie dobre z wyjątkiem małego wydłużenia przy zerwaniu oraz małej udarności, szczególnie z karbem [1, 8, 10]. PMMA jest często stosowany w wielu gałęziach przemysłu, w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym, optycznym, elektrotechnicznym, elektronicznym, galanterijnym, a także w budownictwie. Płyty PMMA stosuje się jako materiał do wykonania obudowy kabin, szyb i owiewek w samolotach, śmigłowcach i szybowcach.

Powszechnie stosowany jest również do wyrobu tablic rozdzielczych, osłon aparatury nawigacyjnej i pomiarowej oraz urządzeń odblaskowych, do produkcji pryzmatów i soczewek, guzików, naczyń stołowych, szkieł do zegarków, szyb okiennych, osłon świetlówek i abażurów [6, 10].

Poliwęglany mają budowę amorficzną (są bezpostaciowe), ale dzięki pewnej symetrii cząsteczki w odpowiednich warunkach mogą krystalizować. Temperatura płynięcia polimeru bezpostaciowego wynosi $220\div 230^{\circ}\text{C}$, temperatura topnienia polimeru krystalicznego $260\div 270^{\circ}\text{C}$, natomiast temperatura zeszklenia wynosi 150°C [2, 11]. PC wyróżniają się szczególnie dużą udarnością oraz przezroczystością przy równocześnie dużej sztywności. Wytwory z tego tworzywa mogą pracować w temperaturze od -40 do 130°C , są odporne na pękanie i hydrolizę, mają małą chłonność wody, dobrą stabilność cieplną i są obojętne fizjologicznie (mogą być sterylizowane i stosowane w medycynie). Tworzywo to stosowane jest też do wytwarzania kompozytów [2, 5, 10, 11]. PC są odporne na działanie substancji o odczynie obojętnym i kwaśnym, z wyjątkiem stężonych kwasów. Alkalia powodują rozkład polimeru, a pirydyna, chloroform i chlorek metylu rozpuszczają tworzywo. Są też odporne na działanie alkoholu etylowego i toluenu [2, 5, 7, 10, 11]. Poliwęglany są tworzywem stosunkowo drogim, ale są często stosowane, głównie ze względu na dużą udarność i szeroki zakres temperatury użytkowania, przede wszystkim w elektrotechnice, elektronice, przemyśle maszynowym i do produkcji artykułów gospodarstwa domowego [2, 6, 10].

Takie skojarzenie materiałów, oddziaływań i cech użytkowych nie jest dotąd szerzej stosowane w praktyce dlatego też można uznać, że opisane badania dotyczą znanych, tradycyjnych metod i tworzyw konstrukcyjnych lecz w niekonwencjonalnych zastosowaniach [9].

Cel badań

Do badań wytypowano PMMA (o dużej udarności) ze względu na bardzo szerokie zastosowanie tego polimeru w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym, co związane jest z możliwością wystąpienia tego typu oddziaływań. PMMA o dużej udarności charakteryzuje się mniejszą twardością ($40\text{-}125$ MPa) niż PMMA normalny ($180\text{-}200$ MPa) [10].

Poliwęglan ma natomiast bardzo szerokie zastosowanie w przemyśle maszynowym. Wyroby z poliwęglanu, dzięki dużej wytrzymałości mechanicznej (w tym szczególnie udarności z karbem), odporności cieplnej, stabilności wymiarów i dobrym właściwościom dielektrycznym, są często stosowane jako zamienniki metali kolorowych. Są używane jako materiały konstrukcyjne do otrzymywania elementów części maszyn (kół zębatych, łożysk, zaworów, pomp), pojemników w samolotach, kuloodpornych szyb, aparatury medycznej, itp. [9]. Oba polimery mają budowę amorficzną.

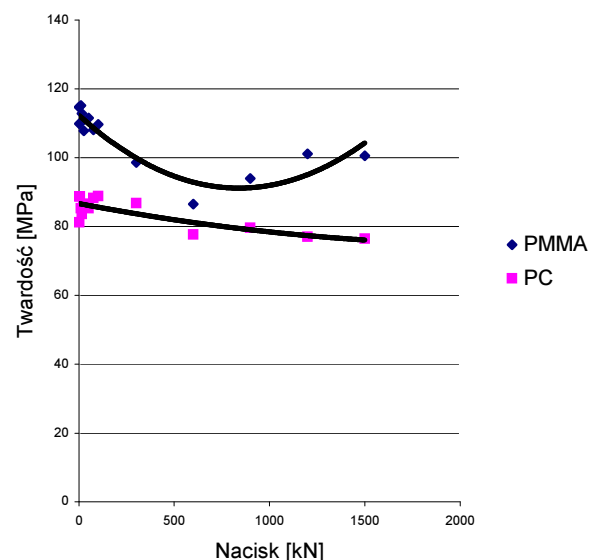
Celem badań było wyznaczenie zależności pomiędzy wartością zastosowanej siły nacisku na powierzchnię badanego tworzywa, a wartością zmierzonej twardości po odjęciu obciążenia z uwzględnieniem różnych odstępów czasowych.

Metodyka badań

Z płyt o wymiarach $620 \times 3000 \times 5,8$ mm (PMMA) i $620 \times 3000 \times 4,6$ mm (PC) wycinano próbki w kształcie kwadratu o boku 130 mm. W celu zminimalizowania wpływu ciepła na krawędzie wykonywanych próbek zastosowano cięcie wodą. Nacisk realizowano na prasie ADVANTEST 9 z automatyczną rejestracją wyników badań, o maksymalnym obciążeniu 3000 kN. Każda z badanych płytek została poddana innej sile nacisku w zakresie od 0 do 1500 kN, dla obu polimerów były stosowane te same siły nacisku. Siła nacisku była równomiernie przykładana na całą powierzchnię próbki. Czas nominalnego obciążenia wynosił 30 s, przyjęta prędkość wzrostu obciążenia od zera do nominalnego to 10 kN/s. Siła nacisku oraz czas jej działania były realizowane automatycznie. Badania twardości przeprowadzono metodą kulkową na twardościomierzu uniwersalnym Innova test Nexus series, którym można przeprowadzać badania metodami: Vickersa, Brinella, Rockwela i wciskanej kulki oznaczonej w aparacie jako „Plastic”. Aparat ten został specjalnie przystosowany przez producenta do badań twardości polimerów metodą kulkową. Wartość pomiaru jest wyświetlana na ekranie w MPa z dokładnością do $0,01$ MPa. Pomiary przeprowadzono przy obciążeniu 358 N i czasie obciążenia 30 s. Badania twardości przeprowadzono po upływie 30 minut i 48 godzin od momentu zakończeniu obciążenia na prasie. Każda seria składała się z 12 pomiarów, z których dwa skrajne były odrzucane, a z pozostałych 10 wyznaczano wartości średnie. Badania twardości rozpoczynano 20 mm od krawędzi płytki i przeprowadzono w odstępach co 5 mm.

Wyniki badań i ich analiza

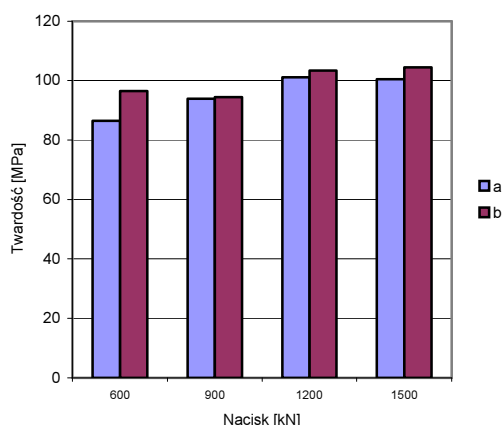
Wyniki badań przedstawiono na rys. 1



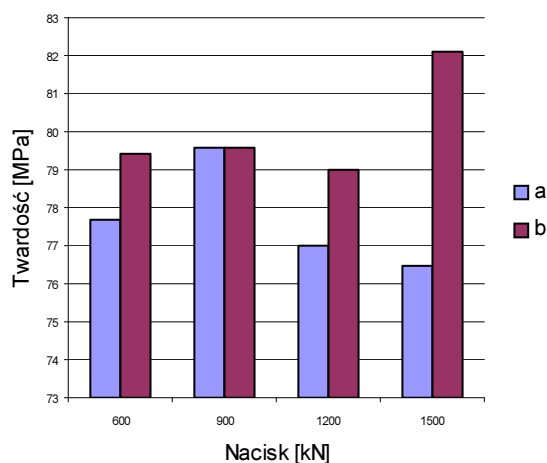
Rys. 1. Zmiany twardości PC i PMMA w zależności od wartości zastosowanego nacisku

Badania wykazały, że nacisk wpływa na twardość obu badanych polimerów (w zastosowanym zakresie obciążeń). Powoduje on zmniejszenie wartości tej cechy w materiale.

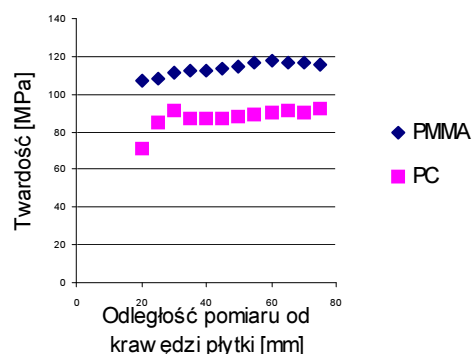
Efekt ten można zaobserwować już przy małych wartościach siły nacisku; odpowiednio: spadek o ok.7,9% przy nacisku 2,5 kN, 6% przy nacisku 15 kN w przypadku poliwęglanu, a w przypadku PMMA odpowiednio spadek o ok.4% przy nacisku od 2,5 kN do 5 kN, 6% przy nacisku 25 kN. Największe zmniejszenie twardości w przypadku PC zaobserwowano przy nacisku 1500 kN i wyniósł on 15,7% a w dla PMMA – przy nacisku 600 kN i wyniósł on 24,6%. Początkowe przebiegi zmian twardości, do nacisku 600 kN są dla obu tworzyw podobne. W przypadku PC twardość maleje wraz ze wzrostem zastosowanego obciążenia. Natomiast twardość PMMA po przekroczeniu nacisku 600 kN zaczyna wzrastać osiągając wartość ok. 88% twardości tworzywa „pierwotnego”.



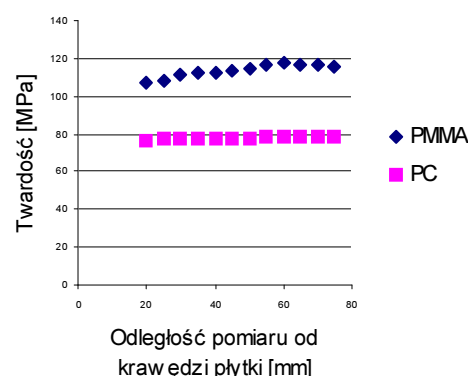
Rys.2. Twardości PMMA zmierzona a- po 30 min, b – po 48 godzinach od chwili zakończenia trwania nacisku [4]



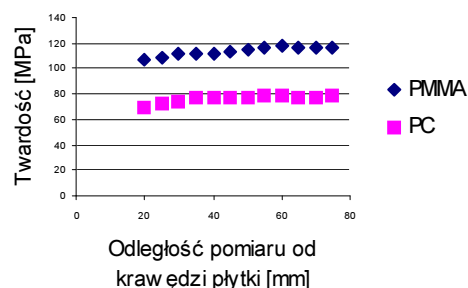
Rys. 3. Twardości PC zmierzona a- po 30 min, b – po 48 godzinach od chwili zakończenia trwania nacisku [3]



Rys. 4. Zmiany twardości PMMA i PC w zależności od odległości pomiaru od krawędzi płytki



Rys. 5. Zmiany twardości PMMA w zależności od odległości pomiaru od krawędzi płytki poddanej naciskowi 600 kN



Rys. 6. Zmiany twardości PMMA i PC w zależności od odległości pomiaru od krawędzi płytki poddanej naciskowi 1500 kN

Zaobserwowano, także zmiany twardości wraz z upływem czasu (rys.2., rys.3.). Twardości zmierzony po upływie 48 godzin od zakończenia trwania nacisku są w przeważającej części przypadków większe od twardości zmierzonych po upływie 30 minut. Różnice te nie są zbyt duże, maksymalnie 5,6 MPa przy nacisku 1500 kN, co stanowi 7,3% różnicy twardości w przypadku PC, a dla PMMA maksymalnie 10 MPa przy nacisku 600 kN, co stanowi 11,6% różnicy twardości. Jest to zależność stała występująca we wszystkich badanych przypadkach, ale w różnej skali.

Na wszystkich badanych próbkach zaobserwowano zjawisko zmiany twardości wraz ze zmianą odległości miejsca badania od krawędzi próbki (rys. 4, rys. 5, rys. 6). Wartości najmniejsze uzyskano dla pomiarów wykonanych najbliżej krawędzi próbki. W większości badanych

przypadków największa twardość występuje w okolicach środka próbki. Różnice twardości są stosunkowo duże. W przypadku PC dla tworzywa „pierwotnego” minimalna zmierzona twardość to 71,43 MPa, a maksymalna to 91,76 MPa, co stanowi 28,5% różnicy twardości. W przypadku tworzywa poddanego naciskowi 5 kN odpowiednio 83,78 MPa i 91,95 MPa (9,8% różnicy twardości), a przy sile nacisku 1200 kN, 72,39 MPa i 78,49 MPa (6,9% różnicy twardości). Dla PMMA minimalna twardość tworzywa „pierwotnego” to 107 MPa, a maksymalna to 117,2 MPa (9,5% różnicy). W przypadku tworzywa poddanego naciskowi 5 kN odpowiednio 95,5 MPa i 113,1 MPa (18,4% różnicy), a przy sile nacisku 1200 kN, 99,1 MPa i 102,3 MPa (3,2% różnicy). Największą różnicę zaobserwowano przy nacisku 300 kN i wynosi ona 23,6%.

Podsumowanie

Wyniki badań wykazały, że siły nacisku zmniejszają twardość obydwóch badanych polimerów. Oprócz wartości siły nacisku, na zmianę twardości wpływ ma także czas po jakim dokonuje się pomiaru tej cechy. Wraz z jego upływem twardość nieznacznie rośnie. Badania twardości na powierzchni tej samej próbki wykazują dość znaczne różnice, dochodzące maksymalnie do 28,5% (PC) i 23,6% (PMMA), zależne od zastosowanego obciążenia i miejsca badania. Zaobserwowano zmiany twardości wraz ze zmianą odległości od krawędzi próbki poddanej obciążeniu. Przy krawędzi twardość jest mniejsza, rośnie natomiast w miarę oddalania się od niej.

LITERATURA

1. Acharya S., Mukhopadhyay A. K., High strain rate compressive behaviour of PMMA. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
2. Koszkuł J., Materiały polimerowe, WPC, Częstochowa, 1999.
3. Mazur P., Effect of pressure force on polycarbonate hardness change. Toyotarity Management of Technology, 102-113, Alba Iulia 2014.
4. Mazur P., Effect of pressure force on poly(methyl methacrylate) hardness change. Identification of the Factors Demanding for Improvement in the Engineering Material Production, 31-41, Celje 2014.
5. Pielichowski J., Puszyński A., Technologia tworzyw sztucznych, WNT Warszawa, 1998.
6. Osiecka E., Materiały budowlane. Tworzywa sztuczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.
7. Saechtling H., Tworzywa sztuczne. Poradnik, WNT Warszawa,, 2007.
8. Sikora T., Gierza M., Elementy towaroznawstwa, WSiP Warszawa, 2008.
9. Styp-Rekowski M., Techniki wytwarzania skoncentrowanymi nośnikami energii – hybrydowe i niekonwencjonalne metody obróbki. Obróbka Metalu nr 2, 10-14, 2014.
10. Szlezyngier W., Tworzywa sztuczne, Rzeszów, 1998.
11. Żuchowska D., 2000 Polimery konstrukcyjne, WNT Warszawa, 2000.