

Lech Paszkowski, Waldemar Wiśniewski*

Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki, Instytut Inżynierii Precyzyjnej i Biomedycznej, ul. św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa, Poland

e-mail: *wisniews@mchtr.pw.edu.pl

Otrzymano (Received) 01.02.2007

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ZGINANIE KOMPOZYTÓW PRZEZNACZONYCH NA DIELEKTROMAGNESY

Przedstawiono wpływ parametrów materiałowych na wytrzymałość na zginanie próbek wykonanych z kompozytów przeznaczonych do wytwarzania dielektromagnesów. Próbki wykonano metodą wtryskiwania. Wtryskiwane kompozyty zawierały dwa rodzaje proszku magnetycznie twardego. W badaniach stosowano proszki firmy Magnequench International o kulistym i płatkowym kształcie ziaren wytwarzane ze stopów Nd-Fe-B. Osnowę kompozytów stanowił polistyren wysokoudarowy i niskoudarowy firmy DWORY S.A. Do badań przygotowano próbki z kompozytów o zmiennych zawartościach obu rodzajów proszków wielofrakcyjnych. Przygotowano również próbki z kompozytów napełnianych proszkami frakcjonowanymi. W tym przypadku stosowano stałe napełnienie kompozytów wynoszące 48%. Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ zarówno kształtu ziarn proszku napełniacza, jak i materiału osnowy na wytrzymałość na zginanie próbek. Zastosowanie napełniacza w postaci proszku płatkowego powoduje wzrost wytrzymałości na zginanie. Wyższą wytrzymałość na zginanie uzyskuje się również przy zastosowaniu jako materiału osnowy polistyrenu niskoudarowego. Określano także wpływ ilości proszku napełniacza i wielkości jego ziarn na właściwości mechaniczne próbek. Zamieszczone obrazy przelomów próbek pozwoliły na określenie mechanizmu ich pęknięcia. Jest on związany z adhezją osnowy do metalowych cząstek napełniacza.

Słowa kluczowe: wytrzymałość na zginanie, dielektromagnesy, wtryskiwanie

FLEXURAL STRENGTH OF THE INJECTED DIELECTROMAGNETS

Injection molding is one of the production methods of dielectromagnets. This technology was applied in presented researches. Special molded samples were prepared for analysis of flexural strength. They were made of composites base on the thermoplastic polymer with hardmagnetics powders. The flaky powder MQP-B and spheroidal powder MQP-S made from magnetic alloy Nd-Fe-B were used. As polymer matrix two kinds of polystyrene: the high impact and low impact polystyrene were used. The powders were produced by Magnequench International USA and polymers by DWORY S.A. Poland. Composites were made by the solvent method using toluene. The composites consist variable volume fraction of the flaky and spheroidal powder also separate granularity of the both kinds of powders. The feedstock temperature during injection was of 200°C and pressure of injection was of 110 MPa. In this paper, the correlation between flexural stress and deflection for samples made of composites inclusive 48% of flaky and spheroidal powder is presented. More over the influence of the volume fraction, grain size and kind of magnetic powders was shown. Additionally investigation of fractures view made from composites with flaky and spheroidal powder were carried out. The analyze of the received results showed, that the most influence on the flexural strength had the kind of the polystyrene and shape of magnetic powder particles used for samples preparation.

Keywords: flexural strength, dielectromagnets, injection

WSTĘP

Wtryskiwane dielektromagnesy są wytwarzane z kompozytów, w których materiałem magnetycznym (napełniaczem) jest proszek magnetycznie twardy równomiernie rozmieszczony w termoplastycznej osnowie polimerowej. O właściwościach magnetycznych tak wytwarzanych dielektromagnesów decyduje ilość proszku magnetycznego zawartego w objętości kształtki. Im więcej proszku magnetycznego zostanie wprowadzone do polimerowej osnowy kompozytu, tym lepszymi wła-

ściwościami magnetycznymi będzie się charakteryzował dielektromagnes. Jednocześnie z uwagi na zastosowaną metodę wytwarzania konieczne jest uzyskanie plastycznej masy kompozytowej pozwalającej na prawidłowe odwzorowanie kształtu gniazda formy wtryskowej w procesie wtryskiwania. Zbyt duża ilość proszku magnetycznego w kompozycie powoduje, że masa traci wystarczające dla prawidłowego wtrysku właściwości plastyczne. Występuje więc graniczna ilość na-

pełniacza proszkowego w tak wytworzonym kompozycie, przekroczenie której powoduje, że masa staje się niewtryskiwalna.

Dielektromagnesesy nie są elementami konstrukcyjnymi przystosowanymi do przenoszenia znacznych obciążeń mechanicznych. Niejednokrotnie jednak narażone są na ich działanie. Szczególnie kształtki wykonane w postaci długich płytek narażone są na działanie sił gnących. Z tego powodu niezbędna jest znajomość wytrzymałości magnesów na zginanie [1, 2].

MATERIAŁY SKŁADOWE DIELEKTROMAGNESÓW

Materiałami o doskonałych cechach magnetycznych są stopy Nd-Fe-B [3]. Dlatego w badaniach zastosowano proszki magnetyczne wytwarzane z tych stopów. Firma Magnequentch International produkuje proszki płatkowe MQP-B oraz proszki kuliste MQP-S [4]. Proszki płatkowe wytwarzane są metodą mielenia szybkoobrotowej cienkiej taśmy powstałej w trakcie natryskiwania ciekłego stopu na obracający się bęben. Proszki kuliste wytwarzane są metodą rozpylania strugi ciekłego stopu gazem obojętnym. W obu metodach wytwarzania otrzymuje się proszki o różnej wielkości cząstek.

Analiza sitowa obu gatunków proszków pozwoliła stwierdzić, że wymiary największych ziarn proszku kulistego nie przekraczają 100 μm . Proszek płatkowy z uwagi na swój kształt charakteryzuje się różnymi wymiarami poprzecznymi płatków. Ich maksymalny wymiar poprzeczny nie przekraczał 250 μm . Grubość płatków proszku mieściła się w przedziale od 25 do 30 μm .

Osnowę polimerową kompozytów stanowiły polistyreny firmy DWORY S.A. [5]. W badaniach stosowano polistyren wysokoudarowy Owispol 825 oraz dwa gatunki polistyrenu niskoudarowego: łatwo płynący Owispol SX 15 oraz bardzo łatwo płynący Owispol SX 25.

PRZYGOTOWANIE GRANULATÓW

Granulaty do wytworzenia próbek wykonano metodą rozpuszczalnikową dzięki temu, że polistyren (materiał osnowy) jest tworzywem łatwo rozpuszczającym się w toluenie [2, 6]. W tym celu rozpuszczano określoną ilość polistyrenu w toluenie. Do gotowego roztworu wprowadzano wymaganą ilość proszku magnetycznego i całość dokładnie mieszano. Po usunięciu rozpuszczalnika powstawała elastyczna płytka, którą granulowano [6]. Gotowy granulaty można już było przetwarzać w odpowiednie kształtki wtryskiwaniem na wtryskarce do termoplastycznych tworzyw sztucznych.

Przygotowano granulaty dla handlowego (wielofrakcyjnego) proszku płatkowego i proszku kulistego, stosując następujące wielkości napełnienia kompozytów:

- dla proszku płatkowego: $V_p = 40; 44; 48$ i 54% obj. (82,7; 84,9; 86,9 i 89,4% wag.),
- dla proszku kulistego: $V_p = 40; 48; 54; 60$ i 64% obj. (82,5; 86,7; 89,2; 91,4 i 92,6% wag.).

Podane powyżej największe wartości napełnienia kompozytów proszkiem magnetycznym stanowią wartości maksymalnego napełnienia dla obu gatunków proszków [2]. Stosowanie napełnień mniejszych niż 40% powoduje, że wytworzone dielektromagnesesy posiadają zbyt niskie wartościach wielkości magnetycznych, aby ich wytwarzanie było racjonalne.

Wielofrakcyjne proszki magnetyczne rozdzielano na poszczególne frakcje, stosując metodę sitową. Używano sit o oczkach wynoszących: 28, 40, 56, 63, 71, 100, 125, 150, 200 i 250 μm .

Z poszczególnych frakcji obu gatunków proszku przygotowano kompozyty o stałym napełnieniu proszkiem magnetycznym wynoszącym 48% obj. Jak wykazały badania wstępne, jest to maksymalne napełnienie pozwalające na wytworzenie metodą wtrysku poprawnych próbek z napełniaczem drobnoziarnistym.

W celu określenia wpływu gatunku polistyrenu na wartości mierzonych parametrów przygotowano kompozyty z płatkowego i kulistego (handlowego) proszku przy tym samym napełnieniu jak dla proszków frakcjonowanych.

PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO BADAŃ

Z przygotowanych granulatów wykonywano wtryskiwaniem kształtki w postaci belek o wymiarach 4x5x40 mm. Wtryskiwanie prowadzono na zmodernizowanej wtryskarce firmy Arburg C4/b, a kierunek wtryskiwania granulatu był zgodny z długością próbek.

Parametrami technologicznymi wtryskiwania są temperatura, do której podgrzewa się wtryskiwaną masę w cylindrze wtryskarki, oraz ciśnienie wtryskiwania. Stosowano średnie wartości obu parametrów zalecane przez producenta polimeru. Temperatura, do której podgrzewano w cylindrze kompozyty, wynosiła 200°C, zaś ciśnienie wtryskiwania 110 MPa.

METODA BADAŃ I APARATURA BADAWCZA

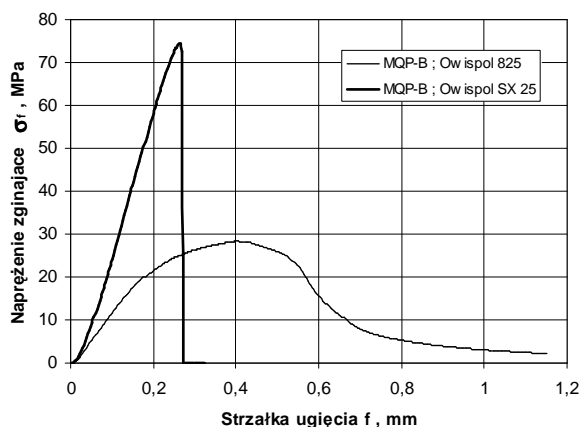
Badanie wytrzymałości na zginanie przeprowadzono na zmodernizowanej maszynie wytrzymałościowej INSTRON model 1115, stosując metodę 3-punktowego zginania próbek. Szybkość przesuwania trawersy maszyny wytrzymałościowej była stała i wynosiła 1 mm/min. Analizę przełomów powierzchni próbek przeprowadzono na mikroskopie skaningowym firmy Hitachi model S 3500.

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Przeprowadzone badania pozwoliły określić wpływ zmiennych parametrów materiałowych kompozytów na

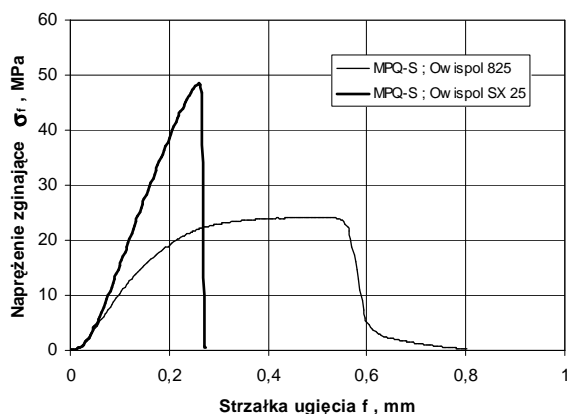
zachowanie się wtryskiwanych próbek dielektromagnesów pod działaniem sił zginających.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wybrane wyniki badań współzależności pomiędzy strzałką ugięcia kształtki a naprężeniem zginającym dla próbek kompozytowych o osnowie z polistyrenu wysokoudarowego Owispol 825 i niskoudarowego Owispol SX 25. Napełnienie stanowiły niefrakcjonowane (handlowe) proszki o płatkowym i kulistym kształcie ziarn.



Rys. 1. Współzależność pomiędzy naprężeniem zginającym i strzałką ugięcia próbek kompozytowych z polistyrenów Owispol 825 i Owispol SX 25 napełnionych proszkiem płatkowym MQP-B ($V_p = 48\%$)

Fig. 1. Correlation between flexural stress and deflection of samples made of polystyrene Owispol 825 and Owispol SX 25 with the flaky powder MQP-B ($V_p = 48\%$)



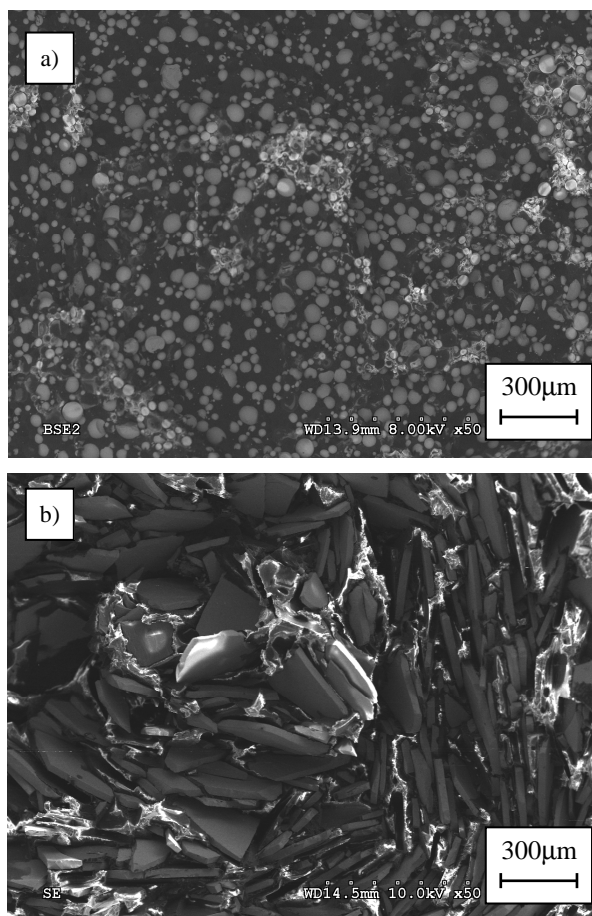
Rys. 2. Współzależność pomiędzy naprężeniem zginającym i strzałką ugięcia próbek kompozytowych z polistyrenów Owispol 825 i Owispol SX 25 napełnionych proszkiem kulistym MQP-S ($V_p = 48\%$)

Fig. 2. Correlation between flexural stress and deflection of samples made of polystyrene Owispol 825 and Owispol SX 25 with the spheroidal powder MQP-S ($V_p = 48\%$)

Na obu rysunkach obserwuje się podobny charakter zmian wskazujący na fakt, że przebieg odkształcenia próbek zależy przede wszystkim od zastosowanego materiału osnowy. Niezależnie od kształtu ziarn napełniacza dla osnowy z polistyrenu niskoudarowego obserwuje się gwałtowny wzrost naprężeń zginających wraz ze wzrostem strzałki ugięcia próbki. Wyraźny jest

również moment osiągnięcia strzałki ugięcia, przy której następuje złamanie próbki. W przypadku polistyrenu wysokoudarowego naprężenie zginające rośnie powoli, a moment złamania próbki nie jest tak wyraźny jak poprzednio. Można również stwierdzić, że wartość naprężenia zginającego, przy której następuje złamanie próbek, jest około 2-krotnie większa dla próbek z osnową z polistyrenu niskoudarowego w stosunku do próbek z osnową z polistyrenu wysokoudarowego. Kształt ziarn zastosowanego napełniacza wpływa zaś na wartość naprężenia powodującego złamanie próbki. Dla próbek z napełniaczem o płatkowym kształcie ziarn wartości te są znacznie wyższe niż dla próbek z napełniaczem kulistym.

Na rysunku 3 przedstawiono obrazy powierzchni przełomów kształtek wykonanych z kompozytów napełnionych proszkiem kulistym (a) i proszkiem płatkowym (b). Wielkość napełnienia obu kompozytów proszkami magnetycznymi wynosiła 48% obj.



Rys. 3. Obrazy powierzchni przełomów próbek napełnionych proszkiem kulistym MQP-S (a) i proszkiem płatkowym MQP-B (b)

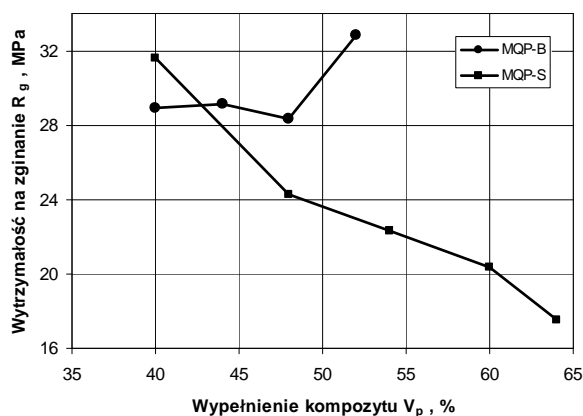
Fig. 3. The views of fracture areas of the samples with the spheroidal powder MQP-S (a) and the flaky powder MQP-B (b)

Analiza obrazów przełomów próbek (rys. 3) pokazuje sposób ułożenia ziarn napełniających w otrzymanych kształtkach. Wypełniają one równomiernie całą powierzchnię przełomu próbek.

W przypadku kształtek zawierających proszek kulisty przełom przebiega po powierzchni ziarn proszku. Związane to jest ze znikomą adhezją pomiędzy składnikami kompozytu (rys. 3a). Częstki metalowe stanowią więc przerwy w ciągłości matrycy polimerowej. Zatem o wytrzymałości na zginanie kształtek decyduje przede wszystkim materiał osnowy.

W próbkach z proszkiem płatkowym poszczególne ziarna układają się nie w pełni zgodnie z kierunkiem wtryskiwania [1]. Obraz przełomu próbki (rys. 3b) pokazuje tę sytuację. W trakcie zginania kształtki płatki wywierają nacisk na sąsiadujący z nimi polimer. Prowadzi to do zwiększenia ich wytrzymałości na zginanie, gdyż płatki są dużo sztywniejsze niż osnowa. Dlatego nie ulegają odkształceniom, tak jak to się dzieje z polistyrenem. Przy niewielkiej ilości napełniacza proszkowego w kompozycie występują duże odległości między poszczególnymi płatkami. W tym przypadku wyłamywanie płatków wykazuje niewielki wpływ na wytrzymałość na zginanie kształtek, gdyż powstałe naprężenia rozkładają się w większej objętości polimeru, co powoduje jego łatwiejsze odkształcenie. W miarę zwiększania udziału proszku płatkowego w kompozycie przedstawiony mechanizm umocnienia kształtek wywiera coraz większy wpływ, powodując zwiększanie wytrzymałości na zginanie próbek.

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań wpływu wielkości napełnienia kompozytów niefrakcjonowanym proszkiem płatkowym i kulistym na wytrzymałość na zginanie próbek. Osnowę kompozytów stanowił polistyren Owispol 825.



Rys. 4. Wpływ wielkości napełnienia kompozytów proszkiem płatkowym MQP-B i proszkiem kulistym MQP-S na wytrzymałość na zginanie próbek

Fig. 4. Influence of the volume fraction of the flaky powder MQP-B and spheroidal powder MQP-S in composites on flexural strength of samples

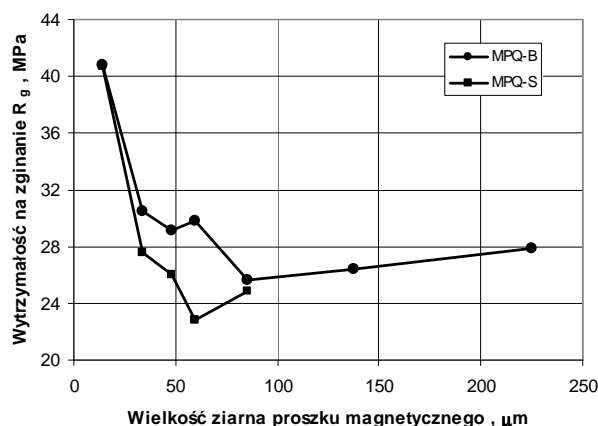
Zwiększanie ilości proszku kulistego w kompozycie powoduje stałe zmniejszanie się wytrzymałości na zginanie próbek (rys. 4). Dla kompozytów napełnionych proszkiem płatkowym, podczas zginania kształtki, zachodzi zjawisko odmienne. Przy niewielkiej ilości napełniacza próbki zachowują stałą wartość wytrzymałości

na zginanie. Płatki swoją sztywnością blokują możliwość łatwego uginania się kształtek. Zwiększenie ilości napełniacza w kompozycie powyżej pewnej wartości przyczynia się do wyraźnego usztywnienia próbek wyrażającego się zwiększeniem wartości wytrzymałości na zginanie.

Jak to już wcześniej zaznaczono, badano również wpływ wielkości cząstek proszku magnetycznego na wytrzymałość na zginanie próbek. Zależność taką pokazano na rysunku 5. Próbki wykonano z kompozytów, w których polistyren wysokoudarowy napełniano poszczególnymi frakcjami obu gatunków proszku. Wielkość napełnienia kompozytów była stała i wynosiła 48% obj.

Przebiegi krzywych wytrzymałości na zginanie próbek zawierających proszki płatkowe i kuliste w zależności od wielkości cząstek napełniających są podobne.

Stosowanie kolejnych frakcji proszków o coraz większych ziarnach do wytwarzania kompozytów prowadzi do zmniejszania się wytrzymałości na zginanie kształtek, osiągając pewne minimum, a następnie po jego przekroczeniu nieznacznie się zwiększa.



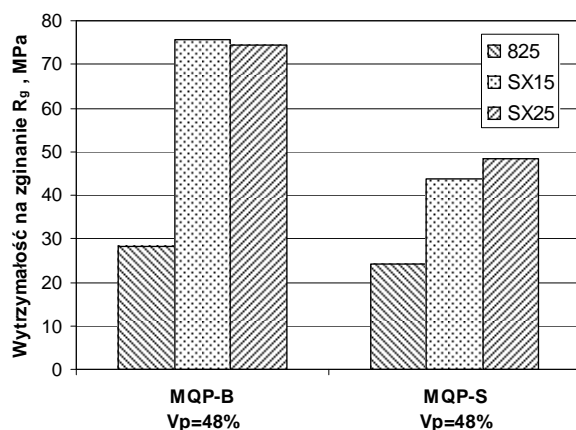
Rys. 5. Wpływ wielkości cząstek proszku płatkowego MQP-B i proszku kulistego MQP-S kompozytów na wytrzymałość na zginanie kształtek ($V_p = 48\%$)

Fig. 5. Influence of the grain size the flaky powder MQP-B and of the spheroidal powder MQP-S of the composites on flexural strength of samples ($V_p = 48\%$)

Dla kształtek zawierających proszek kulisty przedstawiony efekt związany jest z bardziej rozwiniętą powierzchnią przełomu próbki, dającej w rezultacie większe pole przekroju osnowy polimerowej.

W przypadku kompozytów napełnionych proszkiem płatkowym zwiększenie wytrzymałości na zginanie wynika z coraz silniej objawiającego się efektu wyłamywania płatków z osnowy zgodnie z mechanizmem podanym wcześniej.

Wpływ gatunku materiału osnowy na wytrzymałości na zginanie próbek przedstawiono na rysunku 6. Próbki wykonano z kompozytów w 48% napełnionych proszkiem płatkowym lub kulistym, których osnowę stanowiły różne gatunki polistyrenu.



Rys. 6. Wpływ gatunku polistyrenu na wytrzymałość na zginanie kształtek wykonanych z kompozytów napełnionych proszkiem płatkowym MQP-B i proszkiem kulistym MQP-S ($V_p = 48\%$)

Fig 6. Influence of kind of the polystyrene in composites with the flaky polder MQP-B and the spheroidal powder MQP-S on flexural strength of samples ($V_p = 48\%$)

Wytrzymałość na zginanie próbek jest wyraźnie zależna od materiału osnowy kompozytów. Wyższe wartości wytrzymałości na zginanie osiągają kształtki, których osnowę stanowią polistyreny niskoudarowe.

WNIOSKI Z PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- Kształt ziaren proszku napełniającego kompozyty wykazuje istotny wpływ na wartości wytrzymałości na zginanie próbek; wyraźnie wyższe wartości wytrzymałości otrzymano dla kształtek zawierających proszek płatkowy.
- Wzrost zawartości proszku płatkowego w kompozycie powoduje zwiększenie wytrzymałości na zginanie próbek, natomiast w przypadku proszku kuliste-

go zwiększenie jego ilości w kompozytach powoduje jej zmniejszanie się.

- Wytrzymałość na zginanie zależy również od wielkości ziarn napełniających. Zwiększanie wielkości ziarn proszku napełniającego kompozyt powoduje gwałtowne zmniejszanie się wytrzymałości na zginanie kształtek. Po osiągnięciu minimum wytrzymałości dalsze zwiększanie wielkości ziarn proszków napełniających, szczególnie proszku płatkowego, wpływa na zwiększanie się wytrzymałości na zginanie próbek. Niewątpliwie jest to związane ze zmniejszającym się wpływem mechanizmu odrywania polimeru od drobnych cząstek płatkowych niewiele różniących się od ziaren kulistych, a zwiększającym się wpływem mechanizmu ich wyłamywania.

Praca stanowi fragment badań realizowanych w ramach projektu badawczego MN Nr 1424/T02/2006/31.

LITERATURA

- [1] Ślusarek B., Biało D., Gromek J., Kulesza T., Effects of injection conditions on the mechanical properties of Nd-Fe-B dielectromagnets, *Journal of Magnetism* 1999, 4, 2, 52-54.
- [2] Badanie wpływu fazy proszkowej Nd-Fe-B i polimerowej osnowy na właściwości magnetyczne i mechaniczne elementów kompozytowych, grant dz. wydz. Mechatroniki Politechniki Warszawskiej Nr 503G-1142/0013-003.
- [3] Leonowicz M., Nowoczesne materiały magnetycznie twarde, Wybrane zagadnienia, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996.
- [4] Katalog firmy Magnequench International, Indiana.
- [5] Katalog firmy DWORY S.A., Oświęcim.
- [6] Gronowska I., Kałuży W., Paszowski L., Wtryskiwane kompozyty magnetyczne, badanie właściwości za pomocą skaningowego mikroskopu akustycznego, XI Seminarium Tworzyw Sztucznych w Budowie Maszyn, Kraków 25-28.09. 2006, *Mechanik z. 6-M/2006*.