



Struktura i własności materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej wzmacnianych cząstkami metali

M. Ondula^a, A. Tomiczek^b

^a Doktorantka Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny,
email: malgorzata.ondrula@polsl.pl

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny,
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów
Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie,
email: anna.tomiczek@polsl.pl

Streszczenie: W pracy omówiono proces wytwarzania materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej wzmacnianych proszkami metali: kobaltu i żelaza oraz określono wpływ parametrów procesu technologicznego na własności fizyczne i mechaniczne.

Abstract: The aim of this thesis was to discuss the process of manufacturing composite materials with polymer matrix reinforced by metal powder particles and to determine the influence of process parameters on their physical and mechanical properties .

Słowa kluczowe: materiały kompozytowe o osnowie polimerowej; wytwarzanie materiałów kompozytowych; porowatość

1. WSTĘP

W porównaniu z innymi materiałami inżynierskimi, takimi jak metale czy ceramika, materiały kompozytowe to stosunkowo nowa grupa materiałów inżynierskich, gdyż ich powstanie datuje się na koniec lat 30. XXw. Z kolei ich coraz bardziej dynamiczny rozwój można było zaobserwować w latach 60. Przyczyną opracowania składu materiałów kompozytowych była potrzeba wytworzenia nowych materiałów o własnościach odpowiednich do powstających nowoczesnych konstrukcji [1÷4].

Własności materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej w dużym stopniu zależą od własności polimeru stanowiącego osnowę, postaci zbrojenia i sposobu jego rozmieszczenia w osnowie, adhezji między składnikami układu kompozytowego oraz metody wytwarzania. Napełniacze proszkowe są stosowane w celu kształtowania własności materiałów kompozytowych zgodnie z wymaganiami oraz w celu obniżenia ceny materiału [5,6].

Polimerowe materiały kompozytowe zbrojone cząstkami mają gorsze własności wytrzymałościowe od materiałów kompozytowych zbrojonych włóknami, jednak ich niższa cena i łatwiejsze wprowadzenie do osnowy cząstek niż włókien stanowi o ich konkurencyjności i atrakcyjności [6].

Ze względu na fakt, że nie jest możliwe jednoczesne polepszenie wszystkich własności materiału, w zależności od planowanego zastosowania materiału kompozytowego w jednych przypadkach dąży się np. do zwiększenia odporności na działanie podwyższonych temperatur, a w innych – odporności na chemikalia. Dzięki wprowadzeniu do materiału polimerowego cząstek zbrojących, można wpłynąć na poprawę takich własności jak [5,8]:

- udarność (szczególnie w obniżonych temperaturach),
- zdolność tłumienia drgań mechanicznych,
- przenikalność gazów i cieczy,
- chemoodporność,
- obrabialność (własności przetwórcze, np. zmniejszenie lepkości w stanie płynnym, obniżenie temperatury formowania).

Zazwyczaj jedne własności ulegają polepszeniu, inne zaś pogarszają się, a własności materiału otrzymywanego w końcowym etapie są pewnego rodzaju kompromisem.

Celem pracy było wytworzenie materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej wzmacnianych proszkami metali: kobaltu i żelaza oraz określenie wpływu parametrów procesu technologicznego na ich własności fizyczne i mechaniczne.

Zakres pracy obejmował:

- optymalizację technologii wytwarzania materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej wzmacnianych proszkami metali: kobaltu i żelaza,
- badania metalograficzne,
- analizę porowatości,
- pomiar twardości.

2. MATERIAŁ DO BADAŃ

Materiały kompozytowe przeznaczone do badań powstały w wyniku wymieszania proszków żelaza lub kobaltu z żywicą poliuretanową F19 firmy AXSON lub żywicą epoksydową Epidian firmy ORGANIKA SARZYNA S.A.

Zastosowana żywica poliuretanowa F19 firmy AXSON charakteryzuje się dużą płynnością, doskonałą stabilnością wymiarową, małym skurczem i wysoką odpornością cieplną. Żywica ta polimeryzuje po wymieszananiu z utwardzaczem w stosunku 1:1. Utwardzenie następuje w temperaturze pokojowej po 15 minutach [9].

Żywica Epidian firmy ORGANIKA SARZYNA S.A., która została wykorzystana jako osnowa drugiej serii próbek, charakteryzuje się minimalnym skurczem podczas utwardzenia, doskonałą przyczepnością do większości materiałów (np. ceramiki, szkła, polimerów) oraz doskonałymi własnościami mechanicznymi i dielektrycznymi. Zarówno żywica, jak i utwardzacz są bezbarwne, jednak po wymieszananiu mieszanka przybiera barwę lekko mleczną. Komponenty miesza się w stosunku 1:10, a utwardzenie następuje po 10 h [10].

Własności żywicy poliuretanowej Axson F19 oraz epoksydowej Epidian przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1.

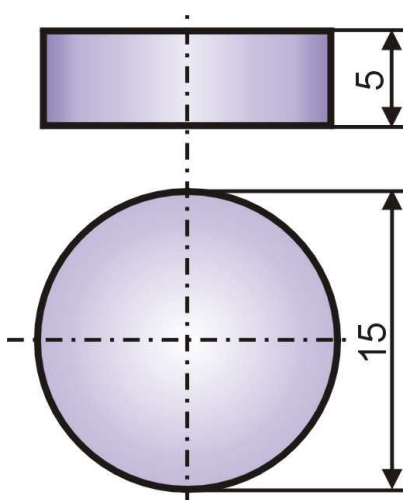
Własności żywic wykorzystanych do przygotowania materiałów kompozytowych [7,8]

Rodzaj żywicy	Charakterystyka	Własności
dwuskładnikowa żywica poliuretanowa F19 firmy Axson	<ul style="list-style-type: none"> • duża płynność, • doskonała stabilność wymiarowa, • mały skurcz, • wysoka odporność cieplna 	<ul style="list-style-type: none"> • barwa: beżowa, • lepkość: 75 (± 5) mPas, • gęstość: 1.05 g/cm³, • czas użycia: do 6 min, • czas rozformowania: 100 min, • temperatura robocza: 20÷25°C, • temperatura przechowywania: ok. 20°C
żywica epoksydowa Epidian	<ul style="list-style-type: none"> • minimalny skurcz podczas utwardzania, • możliwość utwardzania w temperaturze pokojowej, • doskonała przyczepność do większości materiałów takich jak: metale, szkło, ceramika, drewno itp., • dobre własności mechaniczne i odporność na działanie wielu czynników chemicznych. 	<ul style="list-style-type: none"> • postać: wysokolepka ciecz, • barwa: przezroczysta, • gęstość w 20°C: 1.18÷1.19 kg/dm³ • lepkość w 25°C: 20000÷30000 mPas.

3. WYKONANIE PRÓBEK

Materiały kompozytowe do badań przygotowano w laboratorium Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W ramach pracy wykonano 24 próbki o wymiarach 15x5 mm (rys. 1), których składy zestawiono w tablicy 2.

Serię 12 próbek poddano odgazowaniu w próżni, które miało na celu usunięcie pęcherzy powietrza powstałych w trakcie mieszania komponentów.



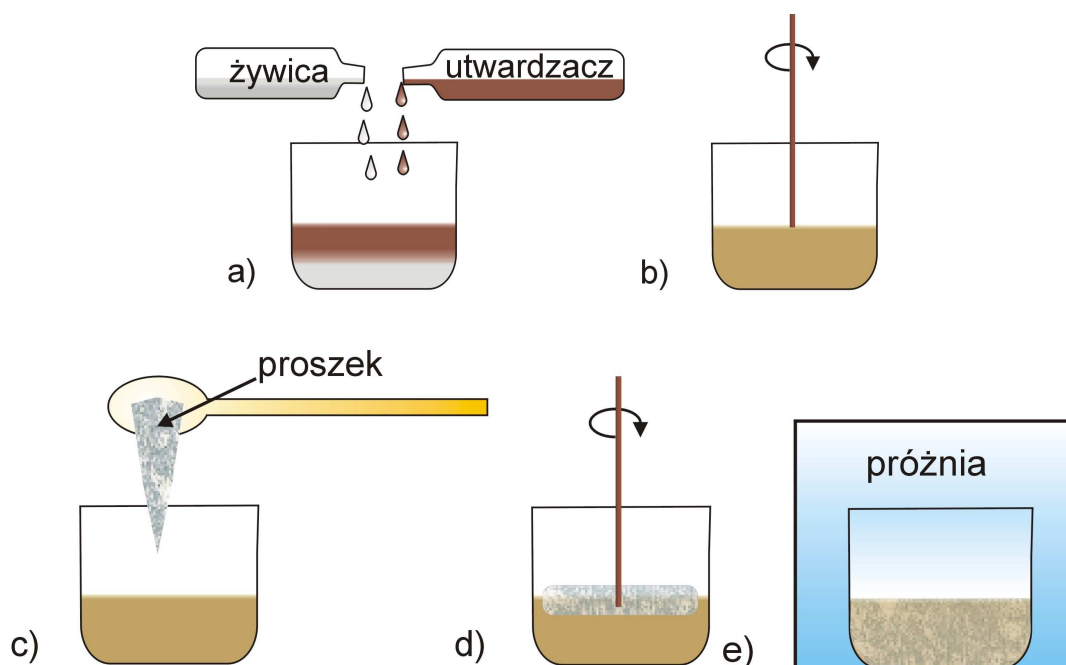
Rys. 1. Wymiary wykonanych próbek

Tablica 2.

Zawartość proszku kobaltu w przygotowanych materiałach kompozytowych

MATERIAŁ OSNOWY	MATERIAŁ WZMOCNIENIA			
	Proszek kobaltu		Proszek żelaza	
	Próbki z odgazowaniem	Próbki bez odgazowania	Próbki z odgazowaniem	Próbki bez odgazowania
żywica poliuretanowa	20%	20%	20%	20%
	40%	40%	40%	40%
	60%	60%	60%	60%
żywica epoksydowa	20%	20%	20%	20%
	40%	40%	40%	40%
	60%	60%	60%	60%

Poszczególne etapy przygotowania materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej wzmocnianych proszkami metali przedstawiono schematycznie na rysunku 2. Kolejne czynności obejmowały: odważenie odpowiedniej ilości żywicy i utwardzacza (rys. 2a), wymieszaniu składników ze sobą (rys. 2b), odważenie odpowiedniej ilości proszku (rys. 2c) i połączenie go z żywicą (rys. 2d). Ze względu na fakt, że w przypadku materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej, proszki żelaza i kobaltu wykazywały skłonność do sedimentacji, w celu zapobieżenia opadnięcia proszków na dno matrycy, próbki z żywicą poliuretanową mieszano trzykrotnie: bezpośrednio po wsypaniu proszku oraz po upływie 4 i 8 minut; natomiast próbki z żywicą epoksydową: bezpośrednio po wsypaniu proszku oraz odpowiednio po upływie 30 i 90 minut. Dla serii próbek poddanych odgazowaniu w próżni, odgazowanie powtarzano każdorazowo po mieszaniu (rys. 2e).

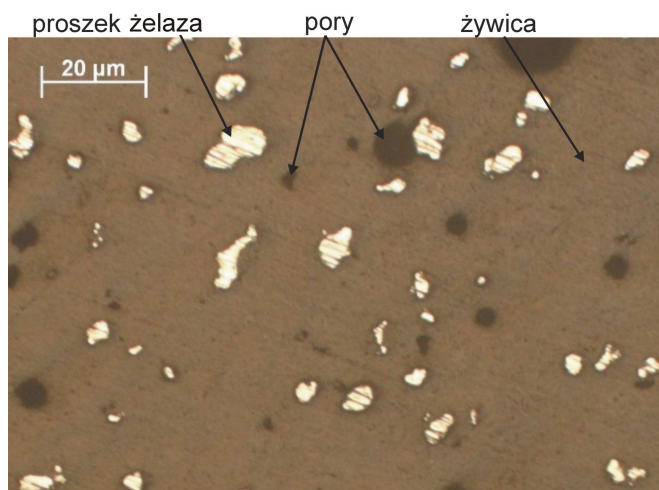


Rys. 2. Kolejne etapy przygotowania próbek: a) odważenie odpowiedniej żywicy i utwardzacza, b) wymieszanie żywicy z utwardzaczem, c) dosypanie odważonej ilości proszku, d) wymieszanie proszku z żywicą, e) odgazowanie materiału kompozytowego w próżni (opcjonalnie – dla „próbek z odgazowaniem”)

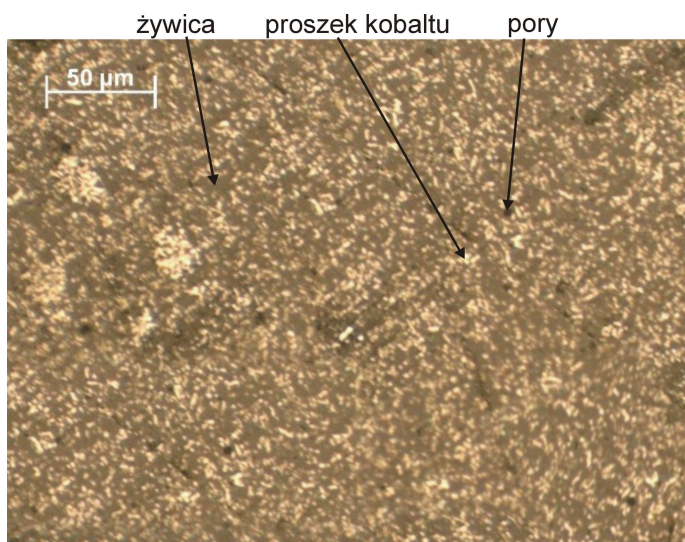
3. BADANIA METALOGRAFICZNE

Obserwacje struktury materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej wzmocnianych cząstkami żelaza lub kobaltu wykonano na mikroskopie świetlnym LEICA MEF4A, wyposażonym w komputerowy system analizy obrazu.

Przykładową strukturę materiału kompozytowego o osnowie polimerowej wzmocnionej proszkiem żelaza przedstawiono na rysunku 7, a wzmocnionej proszkiem kobaltu na rysunku 8.



Rys. 7. Mikrostruktura materiału kompozytowego wzmocnionego w 20% proszkiem żelaza o osnowie żywicy poliuretanowej z zastosowaniem odgazowania w próżni; mikroskop świetlny, pow. 500x



Rys. 8. Mikrostruktura materiału kompozytowego wzmocnionego w 60% proszkiem kobaltu o osnowie żywicy epoksydowej z zastosowaniem odgazowania w próżni; mikroskop świetlny, pow. 50x

4. ANALIZA POROWATOŚCI

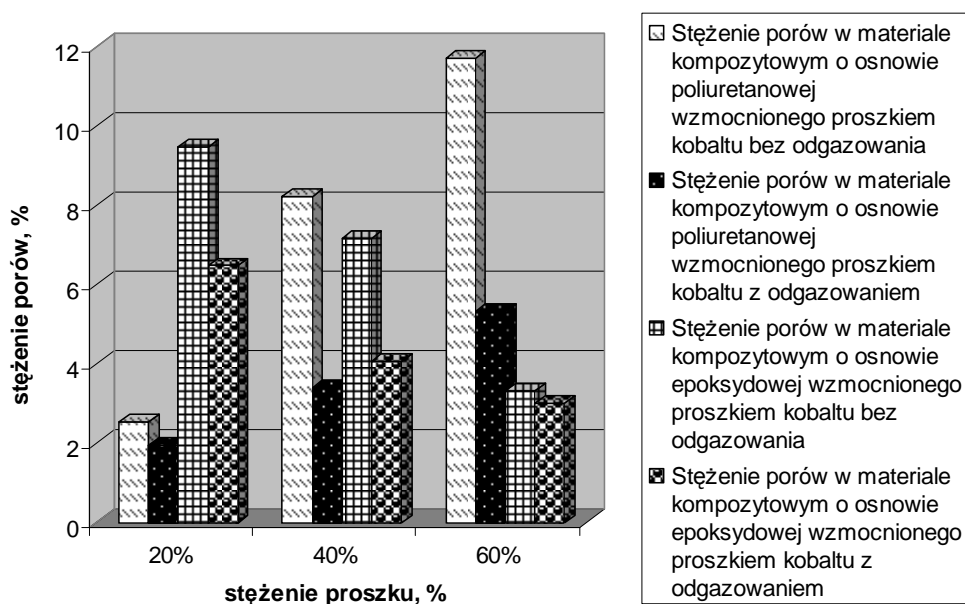
W celu określenia porowatości wykonano badania stereologiczne przy użyciu mikroskopu optycznego LEICA, wyposażonego w komputerowy system analizy obrazu Image-ProPlus. Określono udział powierzchniowy porów, wyrażony stosunkiem powierzchni porów do powierzchni całkowitej analizowanego obszaru.

Wyniki z przeprowadzonej analizy porowatości materiałów kompozytowych składających się z proszku kobaltu w osnowie żywicy epoksydowej lub poliuretanowej zestawiono w tablicy 3 oraz na rysunku 3. Na tej podstawie można stwierdzić, że największy udział porów (11,7%) zanotowano dla próbki o 60% zawartości proszku kobaltu w osnowie żywicy poliuretanowej nie poddanej odgazowaniu. Najmniejszy udział porów (1,95%) wykazała próbka z 20% zawartością proszku kobaltu w osnowie poliuretanowej poddana odgazowaniu. Ponadto zauważono, że dla materiałów kompozytowych w osnowie żywicy poliuretanowej ilość porów zwiększała się ze wzrostem zawartości proszku kobaltu, natomiast dla żywicy epoksydowej porowatość materiału zmniejszała się ze wzrostem zawartości tego proszku. W obu przypadkach odgazowanie w próżni przynosiło rezultaty w postaci zmniejszenia udziału porów w materiale kompozytowym.

Tablica 3.

Porowatość materiałów kompozytowych wzmacnianych proszkiem kobaltu

WZMOCNIENIE: PROSZEK KOBALTU				
porowatość, %				
stężenie proszku	OSNOWA			
	żywica poliuretanowa		żywica epoksydowa	
	bez odgazowania	z odgazowaniem	bez odgazowania	z odgazowaniem
20%	2,52	1,95	9,45	6,47
40%	8,22	3,40	7,14	4,07
60%	11,70	5,30	3,32	3,01



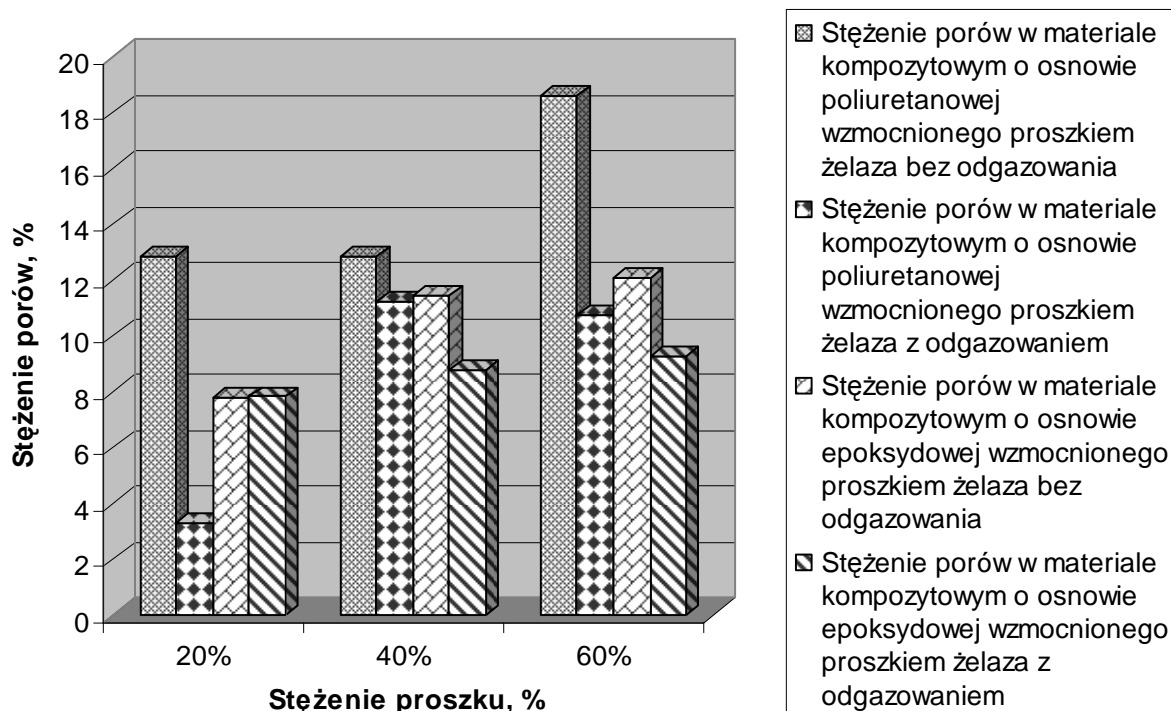
Rys. 3. Porowatość materiałów kompozytowych wzmacnianych proszkiem kobaltu

Wyniki badań pomiarów porowatości materiałów kompozytowych wzmocnianych proszkiem żelaza przedstawiono w tabelicy 4 oraz na rysunku 4. Największy udział porów (18,58%) zanotowano dla próbki o 60% zawartości proszku żelaza w osnowie żywicy poliuretanowej nie poddanej odgazowaniu, z kolei najmniejszy (3,32%) – wykazał materiał kompozytowy z 20% zawartością proszku żelaza w osnowie żywicy poliuretanowej poddanej odgazowaniu. Ponadto odnotowano, że zarówno dla żywicy poliuretanowej, jak i epoksydowej ilość porów zwiększała się wraz ze wzrostem zawartości proszku żelaza. Podobnie jak w przypadku materiałów kompozytowych wzmocnianych proszkiem kobaltu odgazowanie w próżni spowodowało zmniejszenie udziału porów w wytworzonym materiale kompozytowym.

Tabela 4.

Porowatość materiałów kompozytowych wzmocnianych proszkiem żelaza

WZMOCNIENIE: PROSZEK ŻELAZA				
porowatość, %				
zawartość proszku	OSNOWA			
	żywica poliuretanowa		żywica epoksydowa	
	bez odgazowania	z odgazowaniem	bez odgazowania	z odgazowaniem
20%	12,82	3,32	7,78	7,82
40%	12,87	11,24	11,44	8,78
60%	18,58	10,71	12,07	9,25



Rys.4. Porowatość materiałów kompozytowych wzmocnianych proszkiem żelaza

5. POMIAR TWARDOŚCI

Twardości materiałów kompozytowych wykonano metodą Vickersa na mikrotwardościomierzu FM-ARS 9000 firmy Future-Tech.

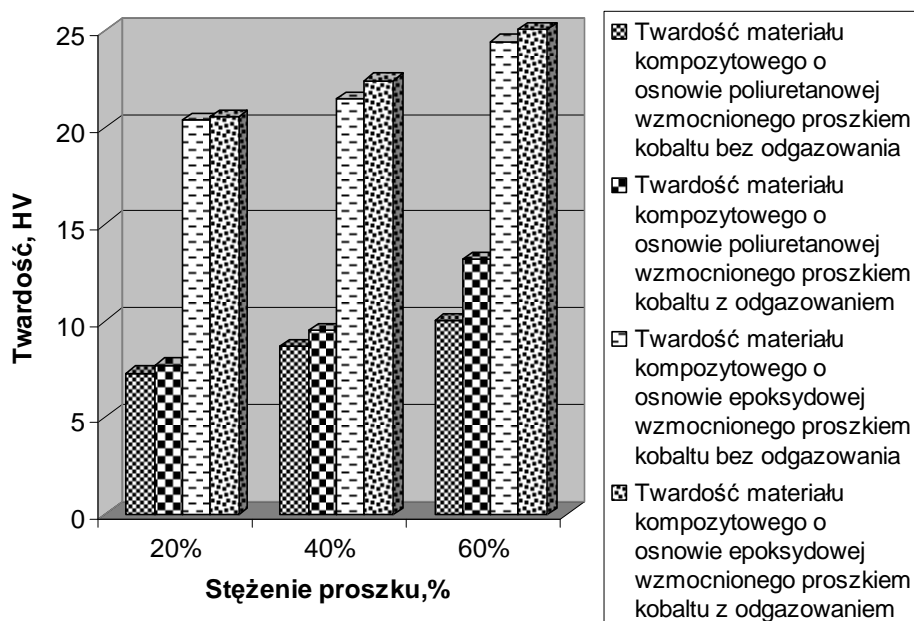
Przeprowadzona próba twardości pozwoliła na zaobserwowanie następujących zależności: w przypadku materiału kompozytowego wzmacnianego proszkiem kobaltu największą (tablica 5, rys.5) twardość (25 HV) wykazała próbka o zawartości 60% proszku w osnowie żywicy epoksydowej poddanej odgazowaniu, a najmniejszą (7,27 HV) – próbka z 20% zawartością proszku w osnowie żywicy poliuretanowej nie poddanej odgazowaniu. Spośród materiałów kompozytowych wzmacnianych proszkiem żelaza (tablica 6, rys.6) największą twardość (33,76 HV) wykazała próbka o zawartości proszku 60% w osnowie żywicy epoksydowej, a najmniejszą (6,93 HV) próbka o osnowie żywicy poliuretanowej i 20% zawartości proszku żelaza.

Stwierdzono ponadto, że zarówno dla materiałów kompozytowych wzmacnianych proszkiem kobaltu, jak i proszkiem żelaza, odgazowanie wpłynęło na zwiększenie twardości materiałów.

Tablica 6.

Twardość materiałów kompozytowych wzmacnianych proszkiem kobaltu

WZMOCNIENIE: PROSZEK KOBALTU				
Twardość, HV				
stężenie proszku	OSNOWA			
	żywica poliuretanowa		żywica epoksydowa	
	bez odgazowania	z odgazowaniem	bez odgazowania	z odgazowaniem
20%	7,27	7,72	20,34	20,53
40%	8,65	9,5	21,42	22,39
60%	10	13,15	24,4	25

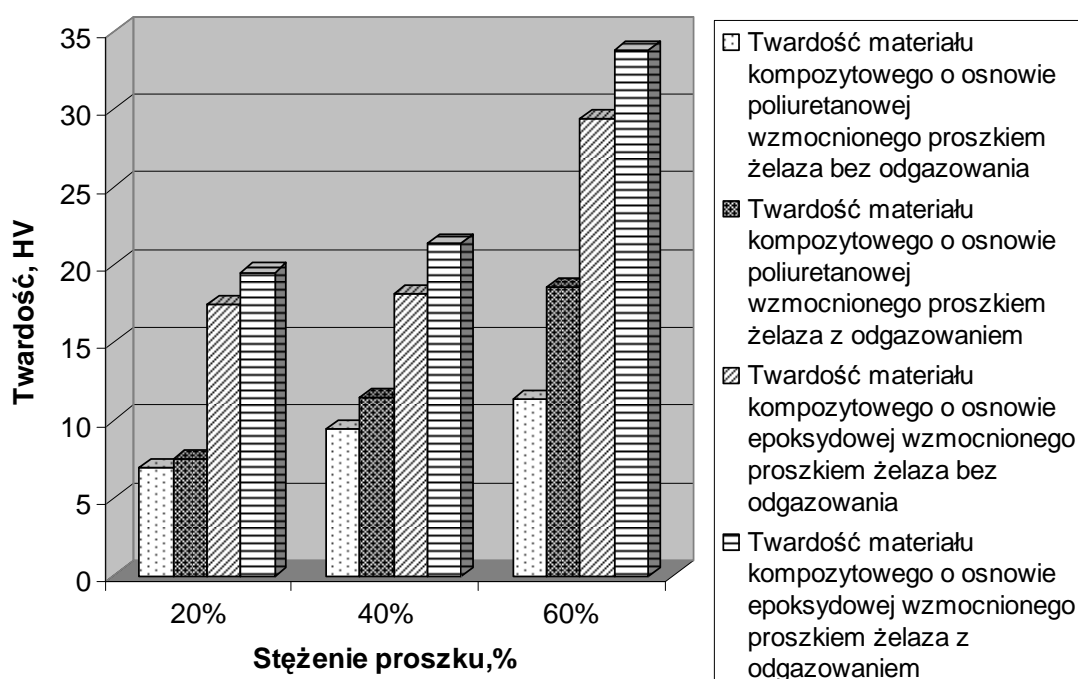


Rys. 5. Porównanie twardości materiału kompozytowego wzmacnianego proszkiem kobaltu o osnowie żywicy poliuretanowej lub epoksydowej

Tablica 5.

Twardość materiałów kompozytowych wzmocnianych proszkiem kobaltu

WZMOCNIENIE: PROSZEK KOBALTU				
Twardość, HV				
stężenie proszku	OSNOWA			
	żywica poliuretanowa		żywica epoksydowa	
	bez odgazowania	z odgazowaniem	bez odgazowania	z odgazowaniem
20%	6,93	7,48	17,4	19,53
40%	9,44	11,42	18,07	21,36
60%	11,41	18,59	29,39	33,76



Rys. 6. Porównanie twardości materiału kompozytowego wzmocnianego proszkiem żelaza o osnowie żywicy poliuretanowej lub epoksydowej

7. WNIOSKI

Na podstawie zrealizowanych badań stwierdzono, że:

- opracowana technologia materiałów kompozytowych o osnowie żywic: epoksydowej i poliuretanowej wzmocnianych cząstkami proszków kobaltu lub żelaza pozwala na wytworzenie materiałów o zamierzonych własnościach na skalę laboratoryjną;
- na twardość materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej wpływa rodzaj i udział wagowy proszku wzmocniającego. Wraz ze wzrostem udziału proszku, rośnie twardość materiału kompozytowego. Stwierdzono również, że zarówno dla materiałów kompozytowych wzmocnianych proszkiem kobaltu, jak i proszkiem żelaza istnieje zależność pomiędzy odgazowaniem a twardością: dla materiałów

wzmocnionych proszkiem kobaltu poddanych odgazowaniu odnotowano wzrost twardości średnio o 1.03 HV w stosunku do próbek nieodgazowanych, a dla materiałów wzmocnionych proszkiem żelaza – odpowiednio o 3.25 HV;

- materiały kompozytowe o osnowie poliuretanowej nie poddane odgazowaniu wykazują wysoką porowatość (7.48 % w przypadku wzmocnienia proszkiem kobaltu i 14.76 % – proszkiem żelaza). Zrealizowany proces odgazowania wpłynął na zmniejszenie porowatości: dla materiałów kompozytowych o osnowie poliuretanowej wzmocnionych proszkiem kobaltu porowatość zmniejszyła się średnio o 3.93 % w stosunku do materiałów nie poddanych odgazowaniu, a dla materiałów wzmocnionych proszkiem żelaza – o 6.33 %.

PODSUMOWANIE

Optymalizacja własności materiałów kompozytowych może być realizowana przez dobór rodzaju materiału osnowy i wzmocnienia oraz sposobu jego rozmieszczenia w materiale, udziału poszczególnych komponentów oraz dobór parametrów wytwarzania. Własności polimerowych materiałów kompozytowych wzmocnianych cząstkami metali są wypadkową własności materiału polimerowego, wykorzystanego jako osnowa i cząstek metalu, które zwiększają twardość, odporność na ścieranie, przewodnictwo cieplne i elektryczne, ale jednocześnie zmniejszają udarność materiału polimerowego.

LITERATURA

1. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe, WNT, Warszawa 2006.
2. Przybyłowicz K., Przybyłowicz J., Repetytorium z materiałoznawstwa. Część 3: Materiały niemetalowe i kompozyty, Wydawnictwo Pol. Świętokrzyskiej, Kielce 2002.
3. B. Ziębowicz, D. Szewieczek, L.A. Dobrzański, Technologia i własności materiałów kompozytowych o osnowie polietylenowej z nanokrystalicznymi proszkami $Fe_{73,5}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$, COMMENT - 3rd Scientific Conference of Materiale, Mechanical and Manufacturing Engineering, Gliwice (2005) 261–266.
4. B. Ziębowicz, D. Szewieczek, L.A. Dobrzański, Struktura i własności magnetyczne kompozytów typu nanokrystaliczny proszek stopu $Fe_{73,5}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$ – polimer, Proceedings of the 11th Jubiler International Scientific Conference Achievements in Mechanical & Materials Engineering, Gliwice (2002) 635–640.
5. A. Boczkowska, J. Kapuściński, Z. Lindemann, D. Witemberg-Perzyk, S. Wojciechowski, Kompozyty, Oficyna Wydaw. Pol. Warszawskiej, Warszawa 2003.
6. D. Żuchowska, Polimery konstrukcyjne. Przetwórstwo i właściwości, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993.
7. H. Leda, Kompozyty polimerowe z włóknami ciągłymi, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2000.
8. D. Żuchowska D., Polimery konstrukcyjne, WNT, Warszawa 2000.
9. Axson – materiały producenta.
10. Zakłady chemiczne ORGANIKA SARZYNA S.A. – materiały producenta.