

Rafał Kozera<sup>1\*</sup>, Jerzy Bieliński<sup>2</sup>, Anna Broda<sup>3</sup>, Alicja Bielińska<sup>4</sup>  
Anna Boczkowska<sup>5</sup>, Krzysztof J. Kurzydłowski<sup>6</sup>

<sup>1, 5, 6</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa, Poland

<sup>2, 3, 4</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Chemiczny, ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa, Poland

\* Corresponding author. E-mail: rkozera@meil.pw.edu.pl

Otrzymano (Received) 06.02.2009

## PRZYGOTOWANIE POWIERZCHNI WŁÓKIEN WĘGLOWYCH DLA WYTWARZANIA KOMPOZYTÓW O OSNOWIE METALICZNEJ

Prezentowane badania nad procesem przygotowywania powierzchni włókien węglowych przeznaczonych do wytwarzania kompozytów o osnowie ze stopów Al. Pierwszym etapem było usuwanie fabrycznej powłoki epoksydowej (tzw. sizingu) z powierzchni włókien. Usunięcie sizingu pozwala na uzyskanie lepszej adhezji powłok Ni-P do powierzchni włókien oraz ogranicza ryzyko powstawania podczas grzania włókien gazów gromadzących się pod powłoką, które mogą powodować odpryskiwanie powłok. W pracy sprawdzono skuteczność różnych metod przygotowania powierzchni włókien węglowych Tenax HTA40 przed metalizacją Ni-P, jak wygrzewanie w atmosferze powietrza (300+600°C), działanie rozpuszczalników (acetone, toluen) oraz roztworów HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaOH wraz z końcową aktywacją SnCl<sub>2</sub>/PdCl<sub>2</sub>. Scharakteryzowano morfologię powierzchni włókien za pomocą SEM przed i po procesach usuwania sizingu oraz zbadano ubytki mas. Zastosowany do metalizacji roztwór glicyny pozwala na metalizację podłoży w szerokim zakresie szybkości osadzania i składu warstw (2±12% wag. P). Uzyskane wyniki były podstawą do optymalizacji procesu osadzania warstw Ni-P na powierzchni włókien.

Słowa kluczowe: usuwanie sizingu, bezprądowe osadzanie Ni-P, metalizacja włókien węglowych

## PRE-TREATMENT OF CARBON FIBRES FOR FABRICATION OF METAL MATRIX COMPOSITES

In this work the results of the studies on pre-treatment of carbon fibres (Tenax HTA40) for composites with alumina alloy matrix are presented. The pre-treatment consisted in the replacement of epoxy sizing with Ni-P coating as a barrier to prevent formation of Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>. In the first step of the developed process, removal of the epoxy sizing was carried out, to assure adhesion of Ni-P coatings to carbon fibres. Removal of the sizing also decreases the risk of gas formation underneath of metal coatings in contact with liquid metal matrix. Methods of sizing removal included annealing in air (300+600°C), dissolving in solvents (acetone, toluene) and in inorganic solutions (HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaOH), followed by SnCl<sub>2</sub>/PdCl<sub>2</sub> activation. Parameters of annealing in air must be carefully control to avoid surface damages e.g. micro cracks and decrease of fibres tensile strength. It was found that annealing in 400°C in 1 h leads to micro cracks creating on the surface of annealed fibers also some peaces of the epoxy sizing was observed. Technical data of fibres used at present work indicates that consist of the epoxy sizing is between 1.3+1.5 wt. %. Small amount of the epoxy sizing making almost impossible to use standard methods of test thickness of epoxy coating before and after annealing treatments. Morphology of carbon fibres surface before and after sizing removal was characterised using SEM technique and in terms of the mass loss. Mass loss of the samples after 24 h treatments in chemical solutions didn't exceed 1% what indicates not succesfully sizing removal by chemical methods. Etching 96 h in acetone wasn't sufficient too. A glycine buffered bath was used for metal coating with a wide range of deposition rates and coating compositions (2±12 wt. % P). Two different pH of metallization bath were chosen (pH = 4.5 and pH = 8.5), time of Ni-P deposition was ranged from 5 to 30 minutes. The obtained results were used for optimization of deposition parameters of Ni-P coatings on carbon fibres and 2D and 3D woven fabrics. Modifies of treatments between following stages of metallization presented in this work allowed to increase time of 2D and 3D woven fabrics deposition to few hours.

Keywords: sizing removal, electro-less Ni-P deposition, activation of carbon surface, metallization of carbon fiber

## WPROWADZENIE

Czynnikiem decydującym o wytrzymałości kompozytu jest dobre połączenie na granicy włókno-osnowa [1]. Ze względu na bardzo słabą zwilżalność włókien węglowych przez stop aluminium konieczne jest zastosowanie odpowiednich obróbek powierzchni włókien mających

na celu zarówno podwyższenie zwilżalności włókien, jak i ochronę ich powierzchni przed degradacją. Jedną z metod podwyższenia zwilżalności włókien węglowych jest stosowanie powłok metalicznych takich metali, jak Cu lub Ni [2, 3].

Technologiczny sukces bezprądowej metalizacji (BM) uwarunkowany jest zróżnicowanym przygotowaniem powierzchni podłoża, zakończonym etapem osadzenia zarodków prekatalizatora (np. Pd). Reguła ta obowiązuje i dla różnych sposobów metalizacji włókien węglowych (CF). Proces BM umożliwia pokrycie powłokami metali i stopów niemal wszystkich dostępnych obecnie przemysłowo materiałów [4].

Analiza opisów literaturowych metalizacji CF z przeznaczeniem do wytwarzania kompozytów wskazuje na dwie duże grupy zastosowań techniki BM: metalizacja włókien dla kompozytów o osnowie polimerowej (PMC, głównie dla ekranowania przed promieniowaniem elektromagnetycznym) oraz metalizacja włókien dla kompozytów o osnowie metalowej (MMC, dla uzyskania lepszych parametrów mechanicznych). Dla obu grup zastosowań można wyodrębnić wspólny schemat (rys. 1) procesów i operacji przygotowania podłoża - włókien węglowych. Dodatkowe zróżnicowanie procesu wynika też z przygotowania włókien przez producenta, który zwykle zabezpiecza handlowe włókna cienką powierzchnią warstwą (tzw. sizing), np. polimeru, chroniącą je przed uszkodzeniem mechanicznym oraz utlenianiem podczas długotrwałego transportu i magazynowania [5].

Warstwy polimerowe dość łatwo ulegają metalizacji [6], o czym świadczą również dane literaturowe o wytwarzaniu PMC z metalizowanym włóknem węglowym [7-12]. Stosuje się w tym przypadku oczyszczanie powierzchni wyjściowego włókna acetonem lub innymi rozpuszczalnikami organicznymi z następną sensybilizacją i aktywacją.

Wytwarzanie kompozytów MMC wymaga przekroczenia wysokiej temperatury topnienia osnowy metalowej, co prowadzi do rozkładu sizingu z wytworzeniem produktów gazowych. Osłabia to adhezję warstw metalowych, osadzonych bezprądowo na powierzchni włókien. Konieczne jest zatem, przed metalizacją włókien przeznaczonych do osnowy metalicznej, usunięcie polimerowej warstwy ochronnej.



Rys. 1. Procesy i operacje przygotowania włókien węglowych i ich metalizacji

Fig. 1. Steps of carbon fibers surface pretreatments and its metallization

Opisy literaturowe dla etapu usuwania sizingu podczas wytwarzania MMC wskazują na dwie drogi usuwania warstwy ochronnej: przez działanie chemiczne oraz przez wygrzewanie przy dostępie powietrza [13-20]. Problemy usuwania sizingu są też poruszane w pracach nad zmianami struktury włókien węglowych, poddanych różnym rodzajom obróbki chemicznej i fizycznej, oraz w badaniach włókien z powłokami metali, niekoniecznie w kompozytach, np. [22-27].

Chemiczne usunięcie organicznego sizingu może nastąpić w wyniku długotrwałego działania rozpuszczalników (aceton, dichlorometan, DMF i in.) [7, 9, 11, 12, 14, 17-19, 21-25], stężonych roztworów kwasów i ługów, np. kwasu azotowego, NaOH [6, 7, 11, 14, 15, 17, 21, 25, 28], oraz roztworów innych związków, np. silnych utleniaczy [6, 27-29], a także przez anodowe utlenianie powierzchni włókna [6, 15, 24] oraz działanie plazmy [21, 28]. Brak jest szerszych porównań różnych warunków trawienia sizingu, nie jest brane pod uwagę zachodzenie szkodliwej interkalacji składników roztworu wewnątrz włókna, co jest możliwe, biorąc pod uwagę częściową grafityzację węgla w procesie wytwarzania włókien węglowych [5].

Termiczne usuwanie sizingu polega na jego wypaleniu tlenem z powietrza przy ogrzewaniu w temperaturze kilkuset stopni. Dane literaturowe wskazują na zakres od 500 do 1000°C, różne czasy wygrzewania maksymalnie do 2 godzin [7, 13, 17, 19, 20, 24, 26, 27]. W przeciwieństwie do trawienia w roztworach, możliwe jest tu częściowe utlenienie i samego rdzenia węglowego przy źle dobranych warunkach procesowych, pogorszeniu mogą więc ulec parametry wytrzymałościowe włókien. Zastosowanie atmosfery argonu [17] powoduje pirolizę i zwęglenie polimeru, może to prowadzić do trwałego złączenia włókien w wygrzewanej wiązce, a w efekcie do niejednorodnej metalizacji włókien po ich obwodzie.

Przegląd literaturowy zamieszczony zarówno w publikacji [7], jak i w obecnej pracy wykazał ogromne rozbieżności w warunkach wstępnego przygotowania różnych typów włókien węglowych do dalszej bezprądowej metalizacji. Brak jest szerszych prac porównawczych oraz, poza niepełnymi opisami [18], prac dotyczących przygotowania powierzchni i metalizacji tkanin z włókien węglowych. Celowe było zatem wykonanie szerszych badań porównawczych dla realizacji zadań obecnego projektu.

## PRZYGOTOWANIE WŁÓKIEN WĘGLOWYCH NA DRODZE CHEMICZNEJ

Przedstawione poniżej wyniki prac dotyczą wybranych obecnie do realizacji projektu [30] włókien typu Tenax HTA 5131 (aktualne oznaczenie firmowe - HTA40), przede wszystkim w postaci wiązek (rowingu) 6K i 12K, a także próbek tkanin 2D i 3D (i wiązek pochodzących z tych tkanin), wytwarzanych przez producenta z tych włókien [31]. Materiały te (jako wiązki) będą w obecnej pracy oznaczane odpowiednio: TX1D6k, [TX3]

TX1D12k, [TX4]TX2D3k [TX5] i TX3D12k. [TX2]. Podstawowym składnikiem wszystkich badanych materiałów było włókno węglowe otrzymane z poliakrylonitrylu (PAN) o nominalnej średnicy 7  $\mu\text{m}$ , zabezpieczone warstwą ochronną żywicy epoksydowej. Stan wyjściowy powierzchni pojedynczego włókna dla HTA 5131 6K (TX1D6k) przedstawiono przykładowo na obrazie mikroskopowym SEM (rys. 2a).

Badania nad usuwaniem chemicznym powłoki epoksydowej wykonano dla materiału TX1D6k oraz TX2D3k. W zależności od stosowanego medium próbki odpowiednio płukano i suszono na powietrzu oraz w suszarce w temperaturze 100÷120°C. Ubytek masy próbek określano przez ważenie. Następnie określano zmiany morfologii powierzchni włókien z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) Hitachi S5500.

Próby usuwania sizingu (w czasie 24 h) wykonano w następujących mediach:

- rozpuszczalniki organiczne: alkohole (metylowy MeOH, etylowy EtOH, propylowy, butylowy), aceton, metylo-etyloketon (MEK), toluen, ksylen, dichlorometan, trichloroetylen, dimetyloformamid (DMF);
- roztwory prostych związków nieorganicznych: kwas azotowy stężony (65%), stężone roztwory NaOH i KOH (4, 10 i 20%) oraz stężony 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  (perhydrol). Podobnie jak dla grupy (a), kryterium usuwania sizingu był ubytek masy po 24 h działania roztworu w temperaturze pokojowej. Dla  $\text{HNO}_3$  i 20% NaOH zbadano usuwanie sizingu w temperaturze podwyższonej (70°C) ze skróceniem czasu trawienia (30 min);
- roztwory złożone, stosowane w trawieniu żywicy epoksydowej: mieszaniny alkoholi - metylowego i etylowego z NaOH i KOH (roztwory 1 i 5 M tych wodorotlenków w alkoholach) oraz mieszaniny  $\text{KMnO}_4$  i NaOH lub KOH (0,5M utleniacz + 1M wodorotlenek). Trawienie w tych roztworach prowadzono w temperaturze pokojowej (24 h) oraz po podgrzaniu do 70°C (30 min).

Tabela 1 przedstawia wybrane, przykładowe wyniki pomiaru ubytku masy próbek TX1D6k, a rysunek 2b obrazuje przykład zmian na powierzchni włókna z niedostatecznym usunięciem powłoki epoksydowej.

Dane literaturowe wskazują, że udział żywicy epoksydowej w masie różnych typów włókien może wynosić 1,3÷1,5% wag. Zbyt mała zawartość żywicy w masie włókna z sizingiem uniemożliwia zastosowanie standardowych metod instrumentalnych do wyznaczenia grubości powierzchniowej warstwy ochronnej. Zastosowana metoda wagowa oraz rodzaj oddziaływań chemicznych pozwalają jedynie na ostrożne, półilościowe traktowanie oceny skuteczności usuwania sizingu.

Ubytki masy badanych próbek po 24 h działania zastosowanymi rozpuszczalnikami (tab. 1) w praktyce nie przekraczały 1%, co świadczyłoby o niepełnym usuwaniu sizingu. Nawet próby 4-dobowego usuwania sizingu w acetonie nie dały lepszego rezultatu. Przytaczane

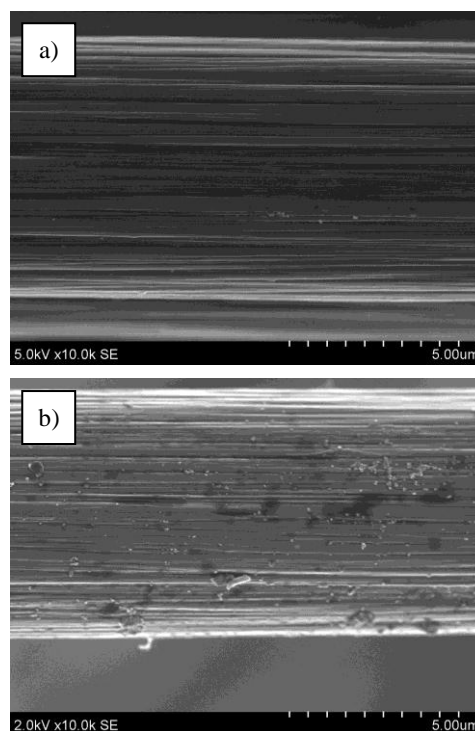
w literaturze procedury wielogodzinnego działania acetonem czy dichlorometanem w ich temperaturze wrzenia [11, 21] są trudne do przyjęcia w warunkach współczesnych przemysłowych obstrzeżeń natury ekologicznej (np. unijne normy VOC). Stosowanie acetonu cytowane w licznych pracach należy zatem traktować jako odłuszczenie.

TABELA 1. Ubytek masy włókien węglowych z powłoką epoksydową (wiązki TX1D6k, TX2D3k) po działaniu różnych czynników chemicznych

TABLE 1. Mass loss of carbon fibers covered with epoxy sizing (TX1D6k, TX2D3k roving) after different chemical pretreatments

Materiał wiązki	Rodzaj medium, temperatura, czas	Śr. ubytek masy %
TX3ac24	aceton, RT*, 24 h	0,92
TX5ac96	aceton, RT, 96 h	0,98
TX3tol24	toluen, RT, 24 h	0,18
TX3dmf24	DMF, RT, 24 h	1,52
TX5dmf24	DMF, RT, 24 h	0,99
TX3ph24	$\text{H}_2\text{O}_2$ 30%, RT, 24 h	0,89
TX5ph24	$\text{H}_2\text{O}_2$ 30%, RT, 24 h	1,69
TX3ka24	$\text{HNO}_3$ 65%, RT, 24 h	1,39
TX5ka24	$\text{HNO}_3$ 65%, RT, 24 h	0,96
TX5dmf05ka705	$\text{HNO}_3$ 65%, 70°C, 30 min	1,57
TX3ws1a24	NaOH 1M, RT, 24 h	0,28
TX3es24	NaOH+EtOH, RT, 24 h	1,39
TX3dmf05es705	NaOH+EtOH, 70°C, 30 min	1,02
TX3dmf05np705	$\text{KMnO}_4$ +NaOH, 70°C, 30 min	1,69

\*<sup>1</sup>) RT - temperatura pokojowa



Rys. 2. Obrazy SEM powierzchni badanych próbek włókien węglowych TX1D6k: a) stan wyjściowy; b) powierzchnia próbki poddanej działaniu dimetyloformamidu i roztworu NaOH w EtOH

Fig. 2. SEM images of TX1D6k carbon fibers surface: a) before; b) after pretreatments with dimetyloformamide and solution of NaOH in EtOH

Usuwanie sizingu w roztworach może być skuteczną metodą w przypadku stężonego  $\text{HNO}_3$ , lecz już tylko częściowo  $\text{H}_2\text{O}_2$  (perhydrol). Wadą stosowania tych reagentów jest ich zużywanie się w procesie, mała trwałość (perhydrol), a także konieczność utylizacji powstających odpadów. Podobnie jest dla złożonych roztworów  $\text{KMnO}_4 + \text{NaOH}$  (KOH), roztwory te wytwarzają dodatkowo osad  $\text{MnO}_2$ . Nie sprawdziły się też roztwory stężonych alkaliów, zarówno wodne, jak i alkoholowe (rys. 2b). Roztwory alkoholowe, skuteczne przy długotrwałym trawieniu, cechowało stopniowe wytrącanie osadów, związane z pochłanianiem dwutlenku węgla i wytrącaniem się węglanów, co potwierdziły obrazy SEM.

Sumując, należy stwierdzić, że usuwanie sizingu metodą chemiczną nie jest rozwiązaniem technologicznym w pełni zadowalającym potrzeby usuwania warstewki epoksydowej z włókien Tenax. Zastosowane rozpuszczalniki nie gwarantowały 100% usunięcia tych warstw, a znane z literatury roztwory związków nieorganicznych były albo mało skuteczne, albo reagowały z włóknami w sposób nie w pełni kontrolowany (pozostałości na powierzchni, przetrawienia lub możliwa interkalacja).

## PRZYGOTOWANIE WŁÓKIEN WĘGLOWYCH NA DRODZE TERMICZNEJ

Próbki TX1D6k i TX2D3k były wygrzewane w atmosferze powietrza w piecu muflowym z wykładziną ceramiczną w zakresie temperatur  $300 \div 600^\circ\text{C}$  w czasie  $0,5 \div 3$  godzin. Ubytek masy próbek określano metodą wagową oraz rejestrowano obrazy mikroskopowe SEM. Tabela 2 przedstawia wybrane wyniki pomiaru ubytku masy próbek TX1D6k, a rysunek 3 prezentuje stan powierzchni włókna po wygrzewaniu.

Obserwacje za pomocą SEM wykazały, że badane włókna w stanie wyjściowym mają powierzchnię pofalowaną z podłużnymi rowkami ułożonymi wzdłuż osi włókien. Taka morfologia powierzchni włókien jest wynikiem procesu produkcyjnego (wyciągania) włókien.

### Pomiary ubytku masy włókien

Ocenę skuteczności usuwania sizingu prowadzono za pomocą pomiarów masy włókien przed i po procesie wygrzewania (tab. 2). Przeprowadzono również analizę termogravimetryczną (TGA) włókien węglowych w celu wyznaczenia temperatury rozkładu sizingu epoksydowego.

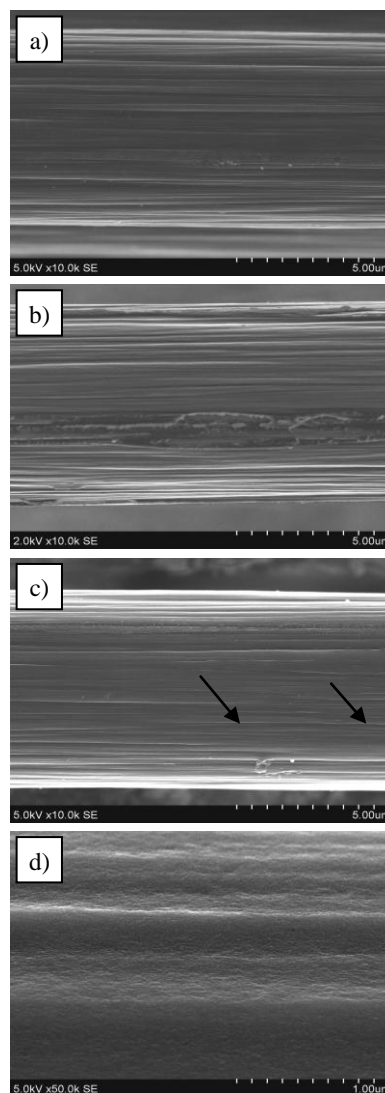
Pomiary masy nie dają jednoznacznej odpowiedzi co do skuteczności procesu usuwania sizingu epoksydowego. Może to wynikać z występowania zaadsorbowanej wilgoci na powierzchni włókien lub różnego rodzaju zanieczyszczeń, które utrudniają dokładny pomiar ubytku sizingu epoksydowego. Dopiero przy wygrzewaniu włókien w  $600^\circ\text{C}$  widać znaczne ubytki masy wskazujące na degradację - utlenianie powierzchni włókien.

TABELA 2. Parametry wygrzewania włókien węglowych HTA40  
TABLE 2. Parameters of annealing of HTA40 carbon fibers

Temperatura, °C	Czas, h	Ubytek masy, %
300	0,5	1,31
	1	1,31
	1,5	1,61
400	0,5	1,68
	1	1,95
	1,5	1,96
500	0,5	1,35
	1	1,39
	1,5	1,27
600	0,5	3,7
	1	12,3

### Morfologia powierzchni włókien

Skuteczność procesu usuwania sizingu poprzez wygrzewanie oceniana była również za pomocą obserwacji SEM powierzchni włókien. Na rysunku 3 zestawiono przykładowe wyniki analizy mikroskopowej zależnie od parametrów procesu wygrzewania.



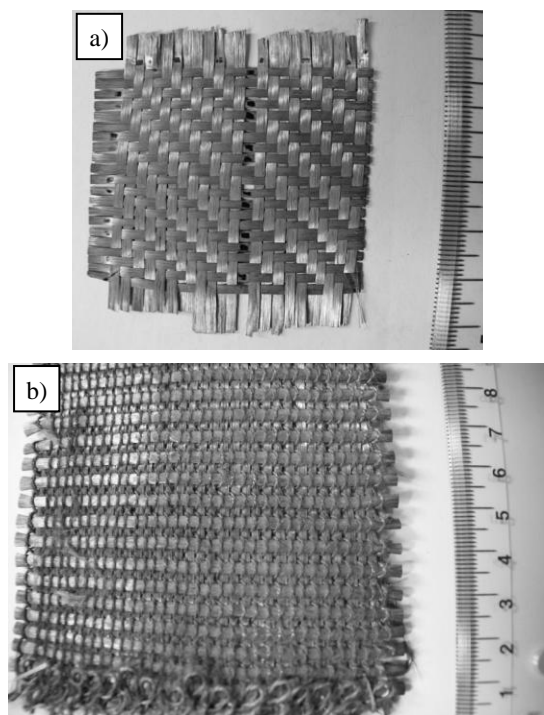
Rys. 3. Obrazy SEM włókien węglowych; a) w stanie wyjściowym; b) po wygrzewaniu w  $300^\circ\text{C}$  przez 1 h; c) po wygrzewaniu w  $400^\circ\text{C}$  przez 1 h; d) po wygrzewaniu w  $600^\circ\text{C}$  przez 0,5 h

Fig. 3. SEM images of carbon fibers surface: a) before pretreatments; after annealing in b)  $300^\circ\text{C}$  for 1 h; c)  $400^\circ\text{C}$  for 1 h; d)  $600^\circ\text{C}$  for 0,5 h

Rysunek 3a przedstawia powierzchnię włókna w stanie wyjściowym przed procesami wygrzewania. Po wygrzewaniu w 300°C przez 1 h widoczne są pozostałości sizingu na powierzchni włókien (rys. 3b). Natomiast zastosowanie temperatury 600°C, pomimo krótszego czasu, prowadzi do wyraźnie widocznej degradacji powierzchni włókien (rys. 3d). Wygrzewanie w temperaturze 400°C przez 1 h prowadzi do powstawania mikropęknięć na powierzchni włókien, a także widoczne są bardzo nieliczne pozostałości sizingu, prawdopodobnie w miejscach, gdzie poszczególne włókna stykały się ze sobą (rys. 3c). Zaletą stosowania atmosfery powietrza jest możliwość obniżenia temperatury wygrzewania oraz brak efektu „mostkowania” włókien produktami pirolizy powłoki epoksydowej. Metoda ta jednak wymaga dokładnej kontroli temperatury i czasu trwania procesu, aby uniknąć degradacji powierzchni włókien, co może obniżać ich właściwości wytrzymałościowe.

## PROCES METALIZACJI

Proces metalizacji włókien węglowych prowadzono dla próbek wiązek rowingu oraz tkanin 2D i 3D po ich wygrzewaniu na powietrzu w temperaturach w zakresie 400÷500°C. Planowane są badania zmian parametrów mechanicznych włókien po ich obróbce termicznej w celu ostatecznego wyboru temperatury usuwania sizingu.



Rys. 4. Zdjęcia tkaniny z włókna węglowego z warstwą Ni-P: a) 2D - TX2D3kT; b) 3D - TX3D12kT

Fig. 4. Images of fabrics of carbon fibers with Ni-P coatings: a) 2D - TX2D3kT; b) 3D - TX3D12kT

Próbki włókna po usunięciu sizingu poddawane były procesom nanoszenia katalizatora palladowego oraz

bezprądowej metalizacji. Metalizację wiązek (TX1D6k, TX2D3k, długość 150÷200 mm) prowadzono w sposób opisany w pracy [7] z użyciem roztworu glicynowego (pH = 4,5 oraz pH = 8,5, temperatura 70°C, czas od 5 do 30 min). W poprzedniej pracy [7] stwierdzono znacznie większą podatność na samorozkład stosowanych roztworów do osadzania warstw Ni-P dla wiązek, co można przypisać niepełnemu ich wypłukaniu z resztek soli Pd(II). Zastosowane zmiany poprawiły warunki osadzania Ni-P, możliwa była metalizacja próbek tkanin w czasie do kilku godzin. Obrazy próbek pometalizowanych tkanin 2D i 3D przedstawiono na rysunek 4. Kolejnym etapem badań jest uzyskanie maksymalnej jednorodności osadzania warstw Ni-P na obwodzie włókien tak w wiązkach, jak i w tkaninach. Rozpoczęte prace, m.in. nad szerszym zastosowaniem ultradźwięków oraz modyfikacją roztworów (dodatki związków powierzchniowo czynnych, stabilizatorów i in.), w powiązaniu z badaniami właściwości otrzymywanych kompozytów, będą przedmiotem dalszych publikacji.

## WNIOSKI

Wykonane badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- Badania nad procesem usuwania sizingu epoksydowego z włókien węglowych na drodze chemicznej wykazały, że nie jest to metoda w pełni przydatna dla dalszych prac nad technologią metalizacji włókien węglowych.
- Proces usuwania sizingu epoksydowego z włókien węglowych przez wygrzewanie na powietrzu wydaje się być bardziej przydatny, temperatura (400÷500°C) i czas wygrzewania muszą zostać zoptymalizowane poprzez dalsze badania właściwości mechanicznych włókien oraz jednorodności pokrycia Ni-P na włóknach.
- Udowodniono, że opracowane warunki metalizacji wiązek włókien (po termicznym usunięciu sizingu) mogą być wykorzystane do metalizacji tkanin 2D i 3D, wykonanych z takich wiązek.

## Podziękowania

*Praca finansowana ze środków MNiSW w ramach projektu polsko-niemieckiego „Kompozyty o osnowie aluminiowej ze wzmocnieniem tekstylnym typu 3-D (3D-CF/Al-MMC) dla elementów podlegających złożonym obciążeniom w przemyśle samochodowym i w budowie maszyn”.*

## LITERATURA

- [1] Metcalfe A.G., Academic Press, New York and London 1974.
- [2] Aggour E., Fitzer L., Heym M., Ignatowicz E., Thin Solid Films 1977, 40, 97.
- [3] Morgan P., Carbon fibers and their composites, CRC Press, Boca Raton 2005, 629-656.

- [4] Bieliński J., Bielińska A., *Inżynieria Powierzchni* 2005, 10(4), 10-19.
- [5] Donnet J.B., Wang T.K., Peng J.C.M., Rebouillat S., *Carbon Fibers*, Marcel Dekker Inc. New York 1998, 161.
- [6] Szalkauskas M., Vaszjkalis A., *Chimiczeskaja mietallizacija plastmass*, Chimija, Leningrad 1985.
- [7] Bieliński J., Broda A., Bielińska A., Boczkowska A., *Kompozyty (Composites)* 2008, 8(4), 332-337.
- [8] Huang C.Y., Pai J.F., *Eur. Polym. J.*, 1998, 34(2), 261.
- [9] Tzeng S.S., Chang F.Y., *Mat. Sci. Eng. A*, 2001, 302(2), 258.
- [10] Park S.-J., Jang Y.-S., Rhee K.Y., *J. Colloid Interface Sci.* 2002, 245, 383.
- [11] Park S.-J., Jang Y.-S., *J. Colloid Interface Sci.* 2003, 263, 170.
- [12] Huang C.Y., Mo W.W., Roan M.L., *Surf. Coat. Technol.* 2004, 184, 123.
- [13] Abraham S., Pai B.C., Satyanarayana K.G., Vaidyan V.K., *J. Mater. Sci.* 1990, 25, 2839.
- [14] Cheng H.M., Zhou B.L., Zheng Z.G., Wang Z.M., Shi C.X., *Plating Surf. Finish.* 1990, 77(5), 130.
- [15] Hall I.W., Manrique F., *Scripta Metallurg. Mater.* 1995, 33(12), 2037.
- [16] Shi Z. i in., *Appl. Surf. Sci.* 1999, 140, 106.
- [17] Jahazi M. i in., *Composites Science and Technology* 1999, 59, 1969.
- [18] Sharma S.B., Agarwala R.C., Agarwala V., Satyanarayana K.G., *J. Mat. Sci.* 2002, 37(24), 5247.
- [19] Urena A., Rams J., Escalera M.D., Sanchez M., *Comp. Sci. Technol.* 2005, 65, 2025.
- [20] Rams J., Urena A., Escalera M.D., Sanchez M., *Composites: Part A*, 2007, 38, 566.
- [21] Jang J., Yang H., *J. Mat. Sci.* 2006, 35, 2297.
- [22] Tzeng S.S., Chang F.Y., *Thin Solid Films* 2001, 388(1-2), 143.
- [23] Tzeng S.S., *Carbon* 2006, 44, 1986.
- [24] Zhang F., He D., Ge S., Cai Q., *Surf. Coat. Technol.* 2008, 203, 99.
- [25] Zhou H., Yu Q., Peng Q., Wang H., Chen J., Kuang Y., *Mat. Chem. Phys.* 2008, 110(2-3), 434.
- [26] Lee J.S., T.J., *Carbon* 1997, 35(2), 209.
- [27] Gawad O.A. i in., *Surf. Coat. Technol.* 2006, 201, 1357.
- [28] Desmear; [www.pwbr.org/bmr/desmear.htm](http://www.pwbr.org/bmr/desmear.htm)
- [29] Roizard X. i in., *Composite Structures* 2002, 56, 223.
- [30] Europejski Projekt badawczy „3D reinforced aluminium matrix composites for complex loading situations in light-weight automobile and machine parts” („Kompozyty o osnowie aluminiowej ze wzmocnieniem tekstylnym typu 3D (3D-CF/Al-MMC) dla elementów podlegających złożonym obciążeniom w przemyśle samochodowym i w budowie maszyn”); koordynator - Wydział Inżynierii Materiałowej PW.
- [31] Materiały informacyjne firmy Toho Tenax Europe GmbH; [WWW.tohotenax-eu.com](http://WWW.tohotenax-eu.com)