https://doi.org/10.62753/ctp.2001.18.2.2

Krzysztof Naplocha[1], Zdzisław Samsonowicz[2]
Politechnika Wrocławska, Instytut Technologii Maszyn Automatyzacji, ul. Łukasiewicza 3/5, 50-375 Wrocław

TWARDOŚĆ MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH O ZWIĘKSZONEJ ZAWARTOŚCI WŁÓKIEN

Analizowano metody zwiększania twardości materiałów kompozytowych umacnianych włóknami ceramicznymi o osnowie metalowej. Przedstawiono krótką analizę aktualnego stanu prac w innych ośrodkach naukowych, i na tym tle własne wyniki badań materiałów kompozytowych umacnianych włóknami Saffil na osnowie stopu AlSi9Mg. Dotychczasowe wyniki badań kompozytów umacnianych 10÷20% obj. włókien uzupełniono nowymi badaniami materiałów kompozytowych zawierających 27÷54% obj. włókien. Uzyskane twardości, osiągające wartość 255 HB, możliwe były po zastosowaniu nowej techniki wytwarzania.

HARDNESS OF COMPOSITE MATERIALS WITH HIGH FIBRE CONTENTS

The reinforcement of aluminum alloys is being investigated as a means of improving their hardness and other properties. Published literature on hardness of aluminum-based composites is however rather limited and available data tend to concentrate upon one kind of material from wide family of composites. It is hard to state which factor significantly affects on hardness. We may find only general parameters, common for all composites such as: fibre contents, properties of fibres and matrix, arrangement of fibres, quality of interface between fibre and matrix.

In this study fibre contents changed from 10 to 54 vol. % was particularly treated. Two series of composite material were fabricated. First contained 10÷20 vol. % of fibres was obtained by using squeeze casting method. Production process consisted of placing of heated porous preforms (700°C) in the heated die, pouring of overheated (780°C) molten alloy AK9 alloy into the die and pressing it in order to infiltrate the porous preforms with the molten alloy. The infiltration pressure for the particular samples was increased from 30 to 150 MPa and kept as long at the moment of alloy solidification was reached. In order to eliminate porosity in the composite material, a special design of the cast was applied, which allows for an escape of the air inside preform during infiltration.

Figure 2 shows effect of infiltration pressure on hardness. There was noticed increase of hardness with increase of fibre contents especially for composite materials fabricated by using the lowest value of infiltration pressure and increase of infiltration pressure caused very negligible increase of hardness of samples strengthened with 20% of ceramic fibres. The highest hardness of 140 HB was that of the composites containing 20% vol. of the fibre produced at high infiltration pressures. Hardness of unreinforced alloy was 80% lower than that.

Manufacturing process of second series allows introducing to aluminum alloy high quantity of fibres, unusually for these types of composites. As a result of this outstanding increase of hardness HB was observed. Composite reinforced with 54 vol. % of fibre posses 255 hardness (Fig. 2). It is three times higher then hardness of matrix.

The microscopic observations confirmed obtaining a proper link between the fibres and the matrix, unfortunately we also observed micro cracks on the fracture of same samples (Fig. 3). It proves present considerable stress inside the composite and force to search a solution of this problem. Presented results are first steps of work focused on composite material reinforced with high fibre contents.

WPROWADZENIE

Metalowe materiały kompozytowe stały się obecnie liczną rodziną materiałów, których własności mechaniczne mogą być kształtowane różnymi technikami. Zaplanowany zespół własności kompozytu można osiągnąć, dobierając odpowiednią osnowę, rodzaj umocnienia, jego zawartość, rozmieszczenie, metodę wytwarzania oraz szereg innych parametrów.

We wstępnym etapie każdych badań eksperymentalnych, po dokonaniu wyboru gatunku włókien oraz rodzaju osnowy, opracowuje się sposób wytwarzania kompozytu, a więc niejako mechanizm umocnienia osnowy. W przypadku użycia kształtek ceramicznych, już w trakcie ich wytwarzania, powstaje szkieletowa budowa kształtki, która zostanie zachowana i przeniesiona do struktury kompozytu. Ponieważ ułożenie włókien w kształtkach najczęściej jest tylko w niewielkim stopniu uporządkowane, w rozpatrywanych modelach przyjmuje się znaczne uproszczenia, pozwalające chociaż w przybliżeniu na określenie miejsca inicjacji pęknięcia.

Do opisu zachodzących zjawisk wyprowadzono dotychczas szereg różnorodnych równań teoretycznych, uzupełnianych wskaźnikami eksperymentalnymi. Opierając się na zasadzie równowagi naprężeń lub na zależnościach energetycznych, w których uwzględnia się pracę odkształcenia, poślizgu, tarcia i mechanizmy

[1] dr inż., [2] prof. dr hab. inż.

utwardzenia, wyznacza się mniej lub bardziej precyzyjne równania, określające siłę potrzebną do wyciągnięcia włókna lub określające jego długość, przy której nastąpi zniszczenie połączenia [2, 8, 9].

Jeżeli naprężenie przekroczy wartość wytrzymałości na ścinanie połączenia włókno-osnowa, to wtedy nastąpi zniszczenie połączenia końcowego odcinka włókna z osnową. Wraz z naprężeniem ścinającym, w miejscu utraty połączenia, wystąpią naprężenia wywołane siłami tarcia. Wszystkie powstające siły tarcia mogą w znacznym stopniu odciążyć niezerwane połączenia i opóźnić moment powstania przełomu. Zagadnienie to może mieć szczególne znaczenie w przypadku umacniania osnowy kształtką o nieuporządkowanym ułożeniu włókien. Obecność w niej trudnych do nasycenia połączeń między włóknami, odchylenia osi włókna od kierunku obciążenia oraz innych rozbudowanych form geometrycznych stanowi doskonałe miejsce do wystąpienia zjawisk opisanych w teorii *shear lag* czy modelu *pull-out*. Ich zrozumienie pozwala przewidzieć wielkość naprężeń oraz ograniczyć je już podczas projektowania.

Ze względu na obecność wielu odmian materiałów kompozytowych oraz stosunkowo niewielki zasób danych literaturowych trudno w jednoznaczny sposób stwierdzić, jakie czynniki i w jakim stopniu będą wywierały decydujący wpływ na twardość określonego rodzaju kompozytu. Oczywiście można odnaleźć pewne wspólne dla wszystkich grup materiałów zależności, jednakże całościowy pogląd będzie z pewnością rozwijany i uzupełniany coraz to trafniejszymi wnioskami z badań. Podstawowe czynniki wpływające na twardość kompozytów to [1, 3, 4]:

- własności włókien,
- zawartość włókien,
- rodzaj osnowy,
- jakość połączenia włókno-osnowa,
- stan naprężeń oraz gęstość defektów sieci krystalicznej wokół włókien.

Pierwszym krokiem mającym na celu otrzymanie określonego materiału kompozytowego jest dobór odpowiedniego gatunku włókien. Obecnie dostępne są włókna różniące się składem chemicznych, własnościami oraz długością i średnicą. Na ogół zastosowanie droższych włókien, o wysokiej jakości, pozwala na uzyskanie maksymalnego efektu umocnienia, jednak w wielu przypadkach zastosowanie tańszych włókien może być wystarczające [6]. Oczywiście najprostszym sposobem wpływania na twardość jest zmiana udziału włókien. W pracy [10] zaobserwowano liniowy wzrost twardości wraz ze wzrostem zawartości włókien. Pozwoliło to na zwiększenie twardości o 30÷70%.

Przedstawiane w pracy [1] badania materiałów kompozytowych wykazały korzystny wzrost twardości przy zastosowaniu umacniania mieszanego, to jest równoczesnego użycia dwóch typów włókien. Sposób ułożenia włókien oraz jakość szkieletowej struktury kształtki, w której włókna o większej średnicy są rozdzielone włóknami o średnicy mniejszej, jest istotnym czynnikiem wpływającym na twardość, ponieważ ciekły metal w trakcie procesu nasycania może łatwiej dotrzeć do trudno dostępnych styków włókien. Otrzymany w tym przypadku wzrost twardości o około 20 jednostek jest z pewnością bardzo korzystną zaletą takiego sposobu ulepszenia własności kompozytów, zwłaszcza że nie komplikuje to procesu wytwarzania oraz nie zwiększa kosztów.

Drugim ważnym czynnikiem wpływającym na twardość kompozytów jest rodzaj osnowy. Stosunkowo obszerne i wyczerpujące wyniki badań przedstawiono w pracy [7]. Wykonano między innymi badania twardości HB kompozytów na osnowie ołowiu, cynku i aluminium. Można stwierdzić, że procentowy wzrost twardości w stosunku do osnowy jest tym większy, im mniejsza jest twardość osnowy. Niestety zależności tej nie można przenieść wprost na wszystkie materiały kompozytowe umacniane innymi gatunkami włókien.

Przytoczone przykłady pokazują możliwości planowania własności kompozytów przez dobór rodzaju włókien i osnowy oraz zawartości włókien. Oczywiście konieczne jest prawidłowe przeprowadzenie procesu infiltracji i uzyskanie pożądanego połączenia między włóknem a osnową. Można stwierdzić, że największy wpływ na wzrost twardości materiałów kompozytowych umacnianych włóknami wywiera zawartość włókien oraz ich własności. Umacnianie osnowy plastycznej o małej twardości pozwala na uzyskanie większego wzrostu procentowego twardości niż w przypadku zastosowania osnowy już dostatecznie twardej.

WYTWARZANIE MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH

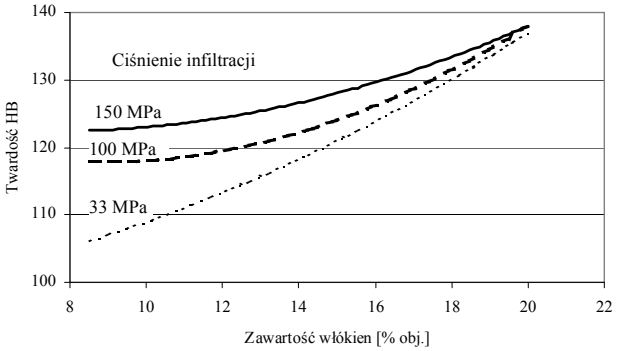
Pierwszą serię materiałów kompozytowych wytwarzano z wykorzystaniem znanej w odlewnictwie techniki prasowania w stanie ciekłym („squeeze casting"). Porowate kształtki wykonano z włókien Al_2O_3 o nazwie Saffil. Kształtka przed umieszczeniem w formie została podgrzana do temperatury 700°C, a następnie nasycona ciekły stopem AK9 o temperaturze 780°C. Wykonano zarówno odpowiednie urządzenie do wytwarzania kształtek, jak i nową pod względem konstrukcji formę do wytwarzania kompozytów. Pozwala ona na łatwą zmianę kształtu odlewu oraz eliminację pęcherzy gazowych. Szczegółowy opis opracowanej technologii został przedstawiony w pracy [5].

BADANIA TWARDOŚCI

Pomiary twardości materiałów kompozytowych pozwoliły określić wpływ zawartości włókien oraz ciś-

nienia infiltracji na stopień utwardzenia osnowy. Zasadnicze badania opierały się pomiarach twardości materiałów zawierających 10, 15, i 20% obj. włókien, które wytwarzano, stosując zróżnicowane ciśnienie infiltracji, zmieniane od 33 do 150 MPa.

Na rysunku 1 przedstawiono twardości kompozytów w funkcji zawartości włókien i ciśnienia infiltracji. Zwiększanie udziału włókien w grupie materiałów wytwarzanych przy użyciu najniższego ciśnienia infiltracji (33 MPa) przynosi bardzo wyraźny wzrost twardości.



Rys. 1. Wpływ zawartości włókien oraz ciśnienia infiltracji na twardość HB kompozytów

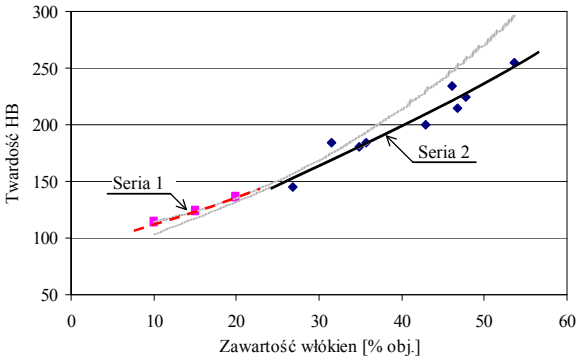
Fig. 1. Influence of fibre contents and infiltration pressure on hardness of composite

Zjawisko to zanika po zastosowaniu większych ciśnień infiltracji. Można tu zaobserwować zmianę twardości o około 10 jednostek przy zwiększaniu udziału włókien z 10 na 20%. Bez wątpienia jednak zwiększanie udziału objętościowego włókien ceramicznych w materiale osnowy powoduje wyraźny wzrost twardości i jest najefektywniejszym sposobem umocnienia osnowy. Z drugiej strony, stosując zwiększone ciśnienie infiltracji można zwiększyć twardość, unikając zwiększania udziału drogich włókien.

Wszystkie wytworzone próbki materiałów kompozytowych charakteryzowały się znacznie większą twardością w stosunku do nieumocnionej osnowy. Największą twardość 138 HB uzyskał kompozyt zawierający 20% obj. włókien, wytworzony przy zastosowaniu największego ciśnienia infiltracji (150 MPa). W przybliżeniu wartość ta jest równa 175% twardości stopu nieumocnionego.

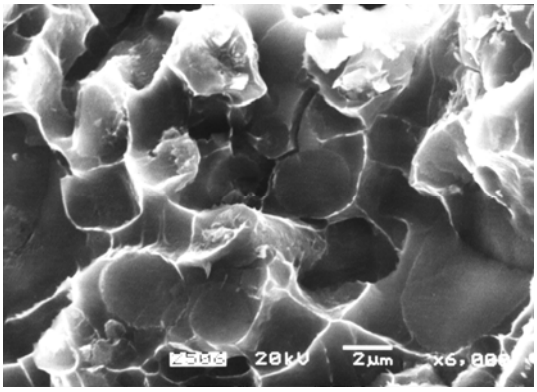
Badania twardości kompozytów o zwiększonej zawartości włókien

W wyżej przedstawionych badaniach opisano wyniki otrzymanych wartości HB dla kompozytów zawierających maksymalnie 20% obj. włókien. Postanowiono przeprowadzić badania wstępne nad możliwością otrzymania kompozytów o zwiększonej do 50% obj. zawartości włókien. Zostaną zaprezentowane pierwsze wyniki badań nad tą nową grupą materiałów, będące wstępem prac aktualnie prowadzonych w Zakładzie Odlewnictwa i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej. Przedstawiony na rysunku 2 wykres ujmuje dwie serie materiałów kompozytowych. Pierwsza to klasyczne kompozyty o zawartości włókien z przedziału 10÷20%, druga seria nowych materiałów kompozytowych umacniana jest 27÷54% obj. włókien. Można zaobserwować pewną ciągłość we wzroście twardości, który przyjmuje charakter liniowy. Pomimo zastosowania odmiennych technik wytwarzania twardość nowej serii kompozytów (seria 2) stanowi kontynuację twardości klasycznych materiałów kompozytowych (seria 1). Ten wzrostowy trend pozwolił osiągnąć takie wartości, które są charak-terystyczne dla żeliwa szarego. Twardość HB kompozytu zawierającego 54% obj. włókien wynosi 255, czyli jest ponad 3-krotnie wieksza od twardości osnowy



Rys. 2. Twardość materiałów kompozytowych

Fig. 2. Hardness HB of composite materials



Rys. 3. Przełom próbki kompozytu z widocznym pęknięciem

Fig. 3. The fracture of composite sample with visible crack

Oczywiście nie wszystkie zagadnienia dotyczące nowych materiałów są pomyślne. Przede wszystkim należy wyeliminować mikropęknięcia widoczne na przełomie próbek poddanych rozciąganiu (rys. 3). Nie wpływają one znacząco na twardość, jednak niewątpliwie pogorszą wytrzymałość na rozciąganie.

WNIOSKI

Materiały kompozytowe pomimo swych niewątpliwych zalet często nie mogą dostatecznie zainteresować producentów. Ich wysoka cena, skomplikowana technologia, nie dość korzystne własności to główne czynniki, które zniechęcają i jednocześnie wymagają znalezienia pewnych rozwiązań. W niniejszej pracy przedstawiono pierwszy etap badań nad nowymi materiałami kompozytowymi, które zawierają dość znaczną ilość włókien ceramicznych Al_2O_3. Badania te mają swój początek w pracach nad kompozytami umacnianymi 10÷20% obj. włókien. Cechują się one twardością rzędu 105÷135 HB, co należy uznać za znaczący wzrost w stosunku do osnowy o twardości 80 HB. Okazało się jednak, że jest to dopiero dolny obszar wartości twardości kompozytów. Opracowana technologia zwiększenia udziału włókien do wartości około 50% obj. sprawiła, że twardość kompozytu może być równa twardości niektórych stopów żelaza. Przy 54% udziale objętościowym włókien twardość kompozytu wynosi 255 HB. Przedstawione wyniki badań należy uznać za początkowe. Dalsze badania będą się koncentrowały na eliminacji wszelkich wad odlewniczych i dążeniu do uzyskania optymalnych własności wytrzymałościowych.

LITERATURA

[1] Jiang J.Q., Liu H.N., Ma A.P., Tan R.S., The structure and tensile properties of Al-Si alloy hybrid reinforced with alumina-aluminosilicate short fibre, J. Mater. Sci. 1994, 29, 3767-3773.

[2] Kaczmar J.W., Spiekane materiały kompozytowe uzyskiwane w procesie mechanicznego wytwarzania stopów i wyciskania, Oficyna Wydawn. Pol. Wrocł., Wrocław 1997.

[3] Kang C.G., Yun K.S., Fabrication of metal-matrix composites by the die-casting technique and the evaluation of their mecha- nical properties, J. Mater. Proc. Technol. 1996, 62, 116-123.

[4] Kaufmann H., Auer-Knöbl R., Degischer H.P., Elevated tem- perature properties of short-fiber reinforced AlSi9Cu3 produced by pressure die-casting, Z. Metallkd. 1994, 85, 241-248.

[5] Naplocha K., Optymalizacja parametrów technologicznych procesu wytwarzania materiałów kompozytowych na osnowie stopu Ak9 umacnianych włóknami ceramicznymi typu Al_2O_3, Praca doktorska, ITMiA PWr., Wrocław 1999.

[6] Sobczak J., Dybczak S., Piech K., Sobczak N., Tłoki kompozytowe prasowane w stanie ciekłym, Mat. Konf. Odlewnictwo XXI wieku, Kraków 1996, 7-16.

[7] Sobczak N., Sobczak J., Karamara A., Dybczak S., Squeeze casting of non-ferrous metal matrix composites reinforced with carbon felt, Mat. Konf. Cast Composites '95, 87-90.

[8] Szymaniak E., Łodygowski T., Numeryczne modelowanie zachowania się warstwy interfejsu w kompozytach metalowych, Mat. Konf. Kompozyty - Teoria i praktyka, Częstochowa 1997, 119-126.

[9] Walls D.P., Bao G., Zok F.W., Mode i fatigue cracking in a fiber reinforced metal matrix composite, Acta Metall. Mater. 1993, 41, 7, 2061-2071.

[10] Wang A.G., Hutchongs I.M., Wear of alumina fibre - aluminium metal matrix composites by two-body abrasion, Mater. Sci. Technol. 1989, 5, 71-75.

Recenzent
Izabella Hyla