

JACEK W. KACZMAR^{*)}, ROMAN WRÓBLEWSKI, LESZEK NAKONIECZNY, JACEK IWKO

Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczny
Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji
Laboratorium Tworzyw Sztucznych
ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław

Wytwarzanie i właściwości elementów hybrydowych typu metal–tworzywo polimerowe

Streszczenie — Przedstawiono podstawowe techniki wytwarzania elementów hybrydowych typu metal–tworzywo polimerowe. Technika Insert polega na wytwarzaniu kształtek technicznych z zapraskami metalowymi metodą obtryskiwania. Technika Outsert pozwala na zwiększenie funkcjonalności prostych profili metalowych dzięki wtryskiwaniu subelementów z tworzywa polimerowego. Metodą PMA (*plastic metal assembly*) elementy hybrydowe otrzymuje się za pomocą klasycznego montażu usztywniających wkładek i żeberowań z tworzyw polimerowych, uzyskanych w wyniku wtryskiwania, w cienkościennych profilach metalowych. Natomiast w technice MOM (*metal over molding*) stosuje się bezpośrednie wtryskiwanie żeberowań umacniających w cienkościenne profile stalowe. Jako ostatnie omówiono dwie podobne do siebie techniki: Metal-Gaim (*metal-gas assisted injection molding*) i Metal-Waim (*metal-water assisted injection molding*), które umożliwiają wytwarzanie elementów hybrydowych powstałych z profili metalowych i wzmacniających pustych w środku części z tworzyw polimerowych. Część polimerową otrzymuje się w wyniku wtryskiwania a następnie usuwania zbędnej objętości tworzywa, zależnie od metody, za pomocą gazu obojętnego lub wody. Omówiono również wpływ kształtu i rozmieszczenia polimerowych żeberowań wzmacniających na wytrzymałość na zginanie i skręcanie elementów hybrydowych. Wykazano, że elementy hybrydowe typu metal–tworzywo polimerowe charakteryzują się lepszymi właściwościami mechanicznymi w odniesieniu do ich ciężaru niż konwencjonalne elementy metalowe.

Słowa kluczowe: elementy hybrydowe typu metal–tworzywo polimerowe, elementy otwarte, elementy zamknięte, właściwości mechaniczne.

MANUFACTURING AND PROPERTIES OF METAL-POLYMER TYPE HYBRID ELEMENTS

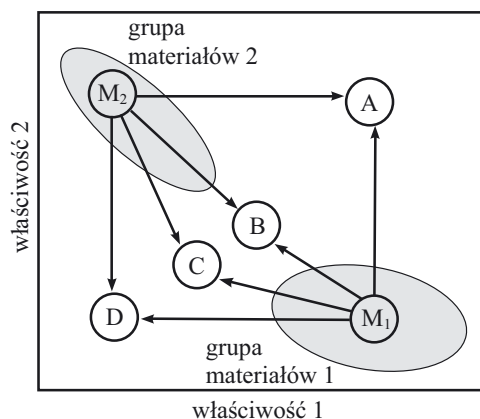
Summary — The basic techniques of manufacturing of metal-polymer type hybrid elements were presented. Insert technique consists in preparation of elements with metal inserts by injection molding method. Outsert technique let improve the functionality of simple metal profiles by injection molding of polymer sub-elements. In the PMA (*plastic metal assembly*) method the classic assembly of polymer stiffening pieces or finning (produced by injection molding) in thin-wall steel profiles, manufactures the hybrid elements. In the MOM (*metal over molding*) method the direct injection molding of polymer strengthening finnings into thin-wall steel profiles is applied. Two similar techniques: Metal-Gaim (*metal – gas assisted injection molding*) and Metal-Waim (*metal – water assisted injection molding*) were also discussed. They both allow producing the hybrid elements made of metal profiles and polymer hollow strengthening parts. Polymer parts are made by injection molding and subsequent removing of superfluous polymer with use of inert gas or water, dependently on the method used. The effects of shape and spacing of polymer strengthening ribs on bending strength and torsional strength of hybrid elements were also discussed. It was demonstrated that metal-polymer type hybrid elements showed better mechanical properties in relation to the weight than conventional metal parts.

Key words: metal-polymer type hybrid elements, open elements, closed elements, mechanical properties.

Elementy hybrydowe typu metal–tworzywo polimerowe stanowią nowe i bardzo interesujące rozwiązanie

konstrukcji nośnych. Pierwsze informacje o tego typu rozwiązaniach pochodzą z początku lat 90-tych [1, 2]. Pozwalają one łączyć w jednym elemencie korzystne właściwości metali (np. duża sztywność oraz duża wy-

^{*)} Autor do korespondencji; e-mail: jacek.kaczmar@pwr.wroc.pl



Rys. 1. Schemat ilustrujący możliwości wytwarzania elementów hybrydowych o wybranych właściwościach [2]

Fig. 1. Scheme illustrating the possibilities of manufacturing of hybrid elements characterized by selected properties (according to [2])

trzymałość mechaniczna) z zaletami tworzyw polimerowych (np. bardzo dobre możliwości kształtowania, mały ciężar właściwy oraz odporność na korozję i naprężenia ściskające [2—5]).

Podczas projektowania nowej grupy elementów hybrydowych, najważniejsza jest analiza możliwych do uzyskania właściwości tych elementów. Schemat takiej analizy w przypadku dwu grup materiałów przedstawiono na rys. 1 [2]. Grupa materiałów M_1 charakteryzuje się dobrymi właściwościami 1, lecz słabymi właściwościami 2, natomiast grupa materiałów M_2 — odwrotnie. Na rysunku pokazano jakie hipotetyczne właściwości może osiągnąć element hybrydowy utworzony z tych dwu materiałów. Jeżeli potrzebne jest wytworzenie elementu hybrydowego mającego dobre właściwości zarówno 1 jak i 2, to idealnie byłoby, gdyby dzięki hybrydyzacji osiągnięto właściwości nowego materiału zobrazone w obszarze A. Najczęściej, choć nie zawsze, osiąga się to w przypadku, gdy właściwości osnowy jednego z materiałów połączone są z właściwościami powierzchniowymi drugiego [2]. Taka sytuacja występować może właśnie w przypadku omawianych konstrukcji hybrydowych typu metal–tworzywo polimerowe.

Dążąc do uzyskania oszczędności materiałowych i energetycznych stosuje się obecnie elementy o coraz mniejszych przekrojach i ciężarach. Działania takie ogranicza jednak wymagany stosunek wytrzymałości do ciężaru takich konstrukcji. Z tych powodów poszukuje się nowych metod umożliwiających otrzymywanie lekkich, ale wytrzymałych elementów. Najnowsze badania wskazują, że tego typu warunki spełniają elementy hybrydowe typu metal–tworzywo polimerowe [2—4, 6—9]. Zintegrowanie obu materiałów zachodzi dzięki połączeniom adhezyjnym oraz połączeniom mechanicznym tworzywa polimerowego z metalem.

Części metalowe w elementach hybrydowych (zwykle z blachy stalowej), mają za zadanie przenieść duże

obciążenia mechaniczne, natomiast uźebrowania i części elementów z tworzyw polimerowych przyczyniają się do zmniejszenia ciężaru całkowitego elementu oraz zwiększają jego funkcjonalność i zakres zastosowań.

We wszystkich technikach wytwarzania omawianych elementów hybrydowych stosuje się formowanie wtryskowe tworzyw polimerowych. Ta bardzo wydajna metoda przetwórstwa tworzyw polimerowych pozwala na wykonanie w bardzo krótkim cyklu elementu hybrydowego składającego się z części polimerowych i metalowych.

TECHNIKI WYTWARZANIA ELEMENTÓW HYBRYDOWYCH METAL–TWORZYWO POLIMEROWE

Insert

Technika Insert polega na wytwarzaniu kształtek technicznych z zapraskami mosiężnymi, stalowymi lub ze stopów aluminium metodą obtryskiwania. Elementy wykonane tą techniką są bardzo szeroko stosowane w przemyśle, zwłaszcza motoryzacyjnym (rys. 2) i elektrotechnicznym. Są to często elementy nośne, które zastępują elementy całkowicie metalowe. Zasadniczą część takiego elementu hybrydowego jest wykonana z tworzywa polimerowego, natomiast miejsca obciążone



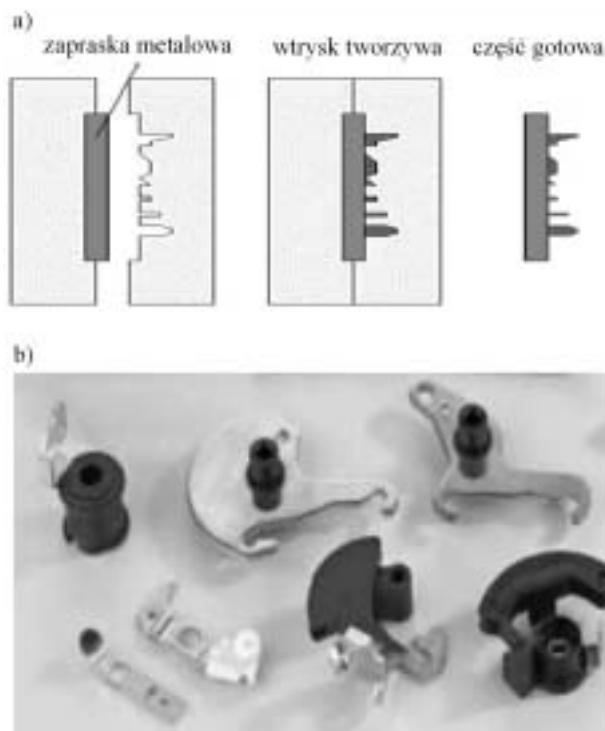
Rys. 2. Przykładowy element hybrydowy wytworzony za pomocą techniki Insert

Fig. 2. Example of hybrid element manufactured by Insert technique

(mocowania, pozycjonowania) wzmocnione są wstawkami z elementów metalowych [6, 10]. Zapraski metalowe przejmują obciążenia wynikające z montażu i późniejszej eksploatacji, natomiast część polimerowa jest dopełnieniem kształtu, konstrukcji i innych funkcji wyprodukowanego przedmiotu.

Outsert

Technika Outsert polega na wtryskiwaniu subelementów z tworzywa polimerowego do prostych elemen-



Rys. 3. Schemat ilustrujący etapy wytwarzania elementu hybrydowego techniką Outsert (wg [18]) (a) oraz przykłady gotowych wytworów (opublikowano za zgodą firmy HBW-Gubesch Kunststoff-Engineering GmbH, Emskirchen, RFN) [11] (b)

Fig. 3. Scheme illustrating the stages of hybrid element manufactured by Outsert technique (a) (according to [18]) and examples of final parts (b) (with permission of HBW - Gubesch Kunststoff - Engineering GmbH, Germany [11])

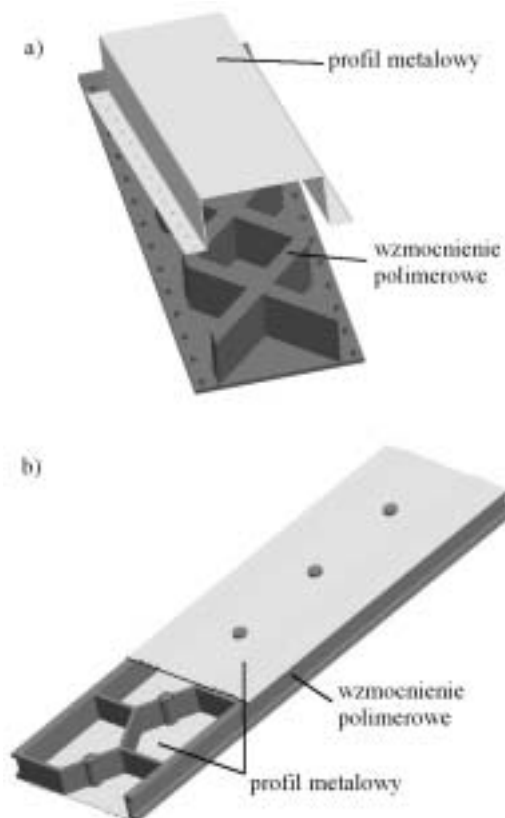
tów metalowych w celu zwiększenia ich funkcjonalności (rys. 3) [10, 11]. Tworzywo polimerowe nadaje się do formowania relatywnie skomplikowanych kształtów. Stopień skomplikowania elementu z tworzywa polimerowego jest ograniczony jedynie możliwościami wtryskiwania.

Obie opisane powyżej techniki stopniowo eliminują dotychczasowe sposoby otrzymywania skomplikowanych elementów metalowych o zwiększonej funkcjonalności, polegające na wykorzystaniu klasycznych technik spawania i zgrzewania.

W odniesieniu do techniki Insert i Outsert, funkcjonuje w języku angielskim pojęcie „in molding assembly” (IMA), które oznacza wytwarzanie wyrobów metodą łączenia różnych materiałów w procesie wtryskiwania [6].

PMA (plastic metal assembly)

Wytwarzanie elementów hybrydowych techniką PMA polega na łączeniu na zasadzie montażu wytłoczki stalowej i części wzmacniającej, wykonanej z tworzywa polimerowego metodą wtryskiwania (rys. 4). Można wytwarzać w ten sposób wyroby o strukturze otwartej, jak i zamkniętej dobierając odpowiednio kształt części



Rys. 4. Elementy hybrydowe zamknięte wykonane techniką PMA: a) zamknięcie elementu metalowego uzyskane za pomocą wzmacniającego uźebrowania polimerowego (wg [6]), b) zamknięcie uzyskane dzięki użyciu dwu elementów metalowych (wg [3])

Fig. 4. Closed hybrid elements made by PMA technique: a) closing of metal element obtained with polymer strengthening finning (according to [16]), b) closing made of two metal elements (according to [3])

wzmacniającej. W najprostszym przypadku wzmacnienie może mieć postać usztywniającej płyty polimerowej z uźebrowaniem zamykającym element stalowy (rys. 4a). Mogą to być także dwie płyty stalowe zamykające polimerowe otwarte uźebrowanie wzmacniające (rys. 4b), przy czym układ żeber może mieć różne wymiary i kształty. Oba przedstawione przykłady polimerowych części wzmacniających dotyczą wytwarzania elementów zamkniętych. Wytworzenie elementu otwartego polega na takim doborze kształtu części wzmacniającej, aby po połączeniu z wytłoczką stalową element pozostał otwarty. Gdy priorytetem jest oszczędność materiału i zmniejszenie ciężaru elementu hybrydowego, dopuszcza się umieszczenie kilku mniejszych polimerowych elementów wzmacniających. Połączenie między elementem stalowym a wzmacnieniem z tworzywa polimerowego może być uzyskane za pomocą układu zatrzasków, wykonanych w elemencie wzmacniającym. Połączenia możliwe są także z zastosowaniem specjalnie do tego przygotowanych występow w elemencie wzmacniającym. Występy te, po złożeniu obu części,

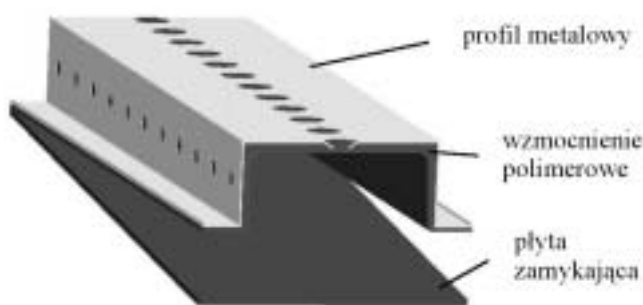
przechodzą przez ściankę profilu stalowego, a następnie są zaprasowywane.

Zaletą techniki PMA jest możliwość uzyskania zamkniętego elementu hybrydowego o bardzo skomplikowanym układzie żeber wzmacniających [3].

MOM (*metal over molding*)

Technika MOM umożliwia wytwarzanie elementów hybrydowych za pomocą wtryskiwania umacniających uźebrowań polimerowych w wielkowymiarowe cienkościennie wytłoczki metalowe. Elementy takie charakteryzują się zmniejszonym ciężarem całkowitym, a jednocześnie podobną sztywnością w porównaniu z elementami wykonanymi całkowicie z metalu [6]. Efekt dużej sztywności rozumianej jako stosunek naprężenia i odkształcenia elementu hybrydowego, oraz wytrzymałości właściwej, definiowanej jako iloraz wytrzymałości elementu hybrydowego i jego ciężaru właściwego, jest możliwy dzięki usztywnieniu takiego elementu uźebrowaniem z tworzywa polimerowego o znacznie mniejszym ciężarze właściwym niż ciężar właściwy metalu [7, 12, 13]. Należy zaznaczyć, że polimerowe uźebrowania wzmacniające można wykonać, bądź przez ich wtryskiwanie lokalne bądź w całym obszarze wytłoczki metalowej. Uźebrowanie wzmacniające może mieć różne kształty i wymiary dostosowane do potrzeb. Łatwość formowania wybranych kształtów uźebrowań wzmacniających oraz subelementów funkcjonalnych umożliwia ponadto różnicowanie wytrzymałości elementu oraz maksymalizację funkcji integracyjnych elementu hybrydowego [6, 12].

W przypadku elementów wytwarzanych techniką MOM cienkościenny element metalowy łączony jest z polimerowym tworzywem wzmacniającym bezpośrednio w procesie wtryskiwania. Zaletą tej techniki jest możliwość wykonywania elementu hybrydowego metal–tworzywo polimerowe w jednej operacji technologicznej. Wadą jest natomiast duży stopień skomplikowania konstrukcji formy wtryskowej, w której musi być przewidziany sposób mocowania wytłoczki metalowej



Rys. 5. Element hybrydowy z dodatkową płytą zamykającą wytworzony techniką MOM (wg [6])

Fig. 5. Hybrid element with an additional closing plate, manufactured by MOM technique (according to [6])

w gnieździe formującym. W zależności od rodzaju i stanu obciążeń elementu hybrydowego wzmocnienia polimerowe mogą mieć różne kształty, od najprostszych, w postaci warstwy pogrubiającej ściankę elementu metalowego oraz płytę zamykającą (rys. 5), do bardzo skomplikowanych konstrukcji o strukturze prętowej lub z układem żeber. Kolejną charakterystyczną cechą tej techniki jest sposób połączenia wzmocnienia z tworzywa polimerowego z wytłoczką metalową. Można wyróżnić tutaj dwa zasadnicze typy takich połączeń.

Pierwsze z nich są połączeniami mechanicznymi uzyskiwanymi za pomocą przetrysku tworzywa przez specjalnie do tego celu przygotowane otwory w wytłoczce metalowej [14] w wyniku czego powstają połączenia quasi-nitowe. Tworzywo polimerowe stosowane do takich połączeń powinno cechować się dużą sztywnością i niskimi wartościami naprężeń własnych oraz małą skłonnością do pęknięć [14]. Tworzywo to musi charakteryzować się także dobrą płynnością i odpornością na działanie olejów, smarów i środków myjących. Połączenia mechaniczne uzyskiwane są również metodą wtryskiwania w wytłoczkę metalową elementu posiadającego postać klamry, która obejmuje krawędź wytłoczki blaszanej. W zależności od potrzeb połączenie tego typu może być wykonane na całej długości krawędzi, lub tylko na jej części [15]. W licznych zastosowaniach techniki MOM stosowane są przeważnie oba rodzaje wymienionych połączeń mechanicznych łącznie.

Drugą grupę stanowią połączenia adhezyjne. Jakość takiego typu połączeń zależy od zastosowanego rodzaju i jakości tworzywa oraz stopnia przygotowania powierzchni wytłoczki metalowej. Istotną wadą elementów hybrydowych, w których dominuje ten rodzaj połączeń, jest duży skurcz tworzywa polimerowego. Może to doprowadzić do powstawania naprężeń w połączeniach adhezyjnych metal–tworzywo polimerowe, a także do odkształcenia wytworzonego elementu hybrydowego. Z tego powodu dużą wagę przywiązuje się do analizy naprężeń w elementach hybrydowych, zwłaszcza uźebrowań polimerowych wzmocnionych włóknami szklanymi, których orientacja silnie wpływa na skurcz [15]. Odpowiadając na zapotrzebowanie firma Bayer AG opracowała kompleksowy model obliczeniowy umożliwiający określenie skurczu tworzywa polimerowego wzmocnionego włóknem szklanym stosowany w elementach hybrydowych [16].

W przypadku elementów hybrydowych łączonych adhezyjnie istotne jest zachowanie wytrzymałości takiej struktury po upływie długiego czasu. Warunki, w których użytkowane są elementy hybrydowe i okres eksploatacji przyczyniają się do zmian zachodzących na granicy metal–tworzywo, na co wpływać może anizotropia budowy wzmocnionego tworzywa. W celu zmniejszenia ryzyka powstawania pęknięć w połączeniu adhezyjnym metal–tworzywo polimerowe zaproponowano naniesienie warstwy pośredniej, w postaci nie wzmocnionego tworzywa, w najbardziej obciążonych

miejscach połączenia tworzywa z metalem [4]. Elementy wykonywane techniką MOM są w zasadzie konstrukcjami o strukturze otwartej. Zamknięcie takiego elementu jest realizowane przez dodanie płyty wykonanej z tworzywa polimerowego, którą należy połączyć metodą zgrzewania z wykonanym już wzmocnieniem polimerowym.

Metal-Gaim (*metal-gas assisted injection molding*) i Metal-Waim (*metal-water assisted injection molding*)

Technika ta polega na tym, że podobnie jak w technice MOM, tworzywo wtryskiwane jest do gniazda formującego, w którym uprzednio umieszczono wytłoczkę stalową. Jednak w tym przypadku płynny rdzeń usuwa się przy pomocy gazu podawanego pod ciśnieniem (Metal-Gaim) lub wody (Metal-Waim) [3]. Elementy hybrydowe wytwarzane tą metodą są puste w środku (rys. 6). Obie omawiane techniki mogą być wykorzystywane tyl-



Rys. 6. Element hybrydowy wytworzony techniką Metal-Gaim (wg [6])

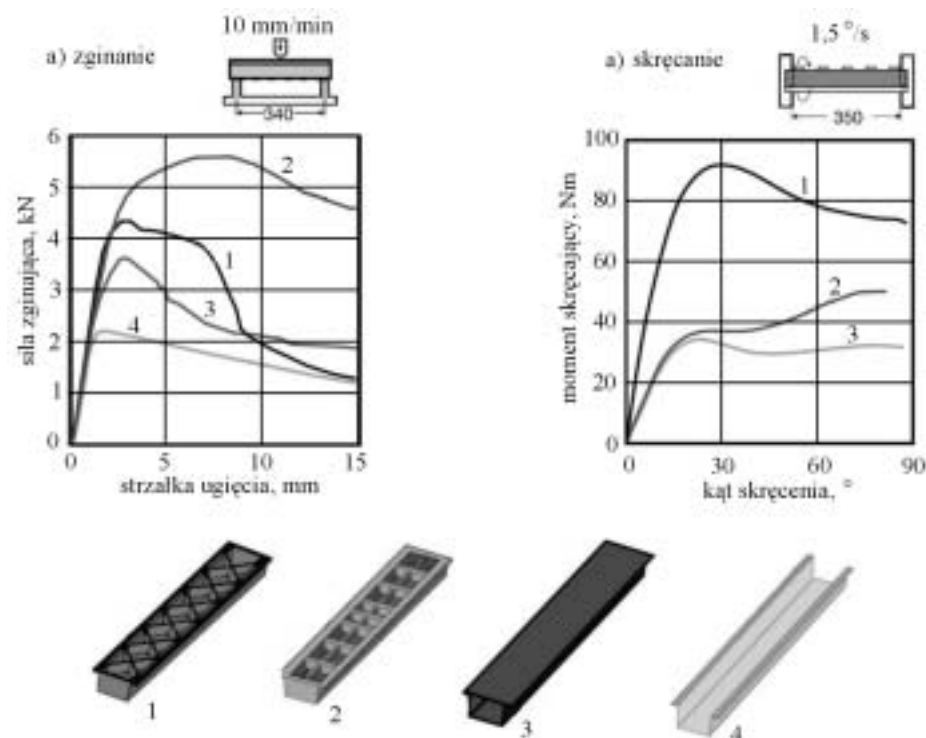
Fig. 6. Hybrid element manufactured by Metal-Gaim technique (according to [6])

ko do wytwarzania elementów hybrydowych zamkniętych.

WPLYW STRUKTURY ELEMENTÓW HYBRYDOWYCH NA ICH WYTRZYMAŁOŚĆ MECHANICZNĄ

Struktura otwarta

W celu łatwiejszej identyfikacji elementów o strukturze otwartej wprowadzono pojęcie ORS (*Open Ribbed Structure*) [6]. Odnosi się ono do wszystkich elementów hybrydowych o strukturze otwartej, niezależnie od zastosowanej techniki wykonania. Szczególną zaletą takich struktur jest duża sztywność elementów o relatywnie małym ciężarze [7, 8]. Cienkościenne elementy metalowe wzmocniane uźebrowaniem polimerowym powinny być tak obciążane, aby naprężenia rozciągające przenosił głównie element metalowy, a naprężenia zginające i skręcające przenosiło uźebrowanie polimerowe [6]. Istotne znaczenie ma ponadto kształt i rozmieszczenie uźebrowania. W zależności od przewidywanego kierunku i rodzaju obciążenia możliwe jest takie dobranie kształtu uźebrowania wzmocniającego, aby uzyskana konstrukcja charakteryzowała się największą wytrzymałością i sztywnością. W przypadku działania na element hybrydowy momentów skręcających największą sztywność zapewnia uźebrowanie diagonalne, a w przypadku momentów zginających uźebrowanie prostokątne [17]. Gdy na element hybrydowy działa złożone obciążenie, konieczne jest zaprojektowanie uźebrowania diagonalno-prostokątnego, uwzględniającego relacje pomiędzy poszczególnymi naprężeniami.



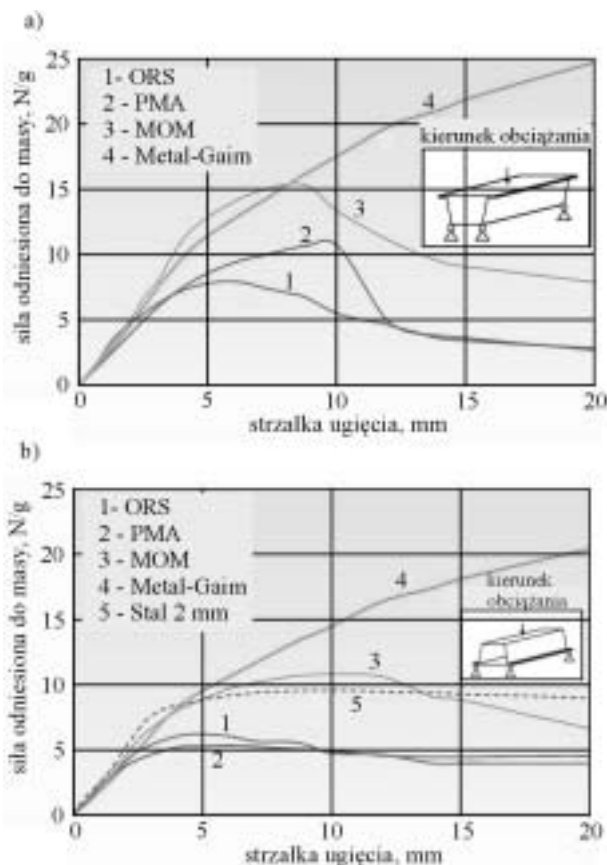
Rys. 7. Wyniki próby zginania (a) i skręcania (b) elementów hybrydowych o różnej strukturze: 1 — element z polimerowym uźebrowaniem diagonalnym, 2 — element z uźebrowaniem prostokątnym z żebrem centralnym, 3 — element stalowy zamknięty, 4 — element stalowy otwarty (wg [17]); a) zależność siły zginającej od strzałki ugięcia, b) zależność momentu skręcającego od kąta skręcenia

Fig. 7. Results of bending (a) and torsion (b) tests of hybrid elements of different structures: 1 — element with polymer diagonal finning, 2 — element with rectangular finning with central rib, 3 — closed steel element, 4 — open steel element (according to [17]); a) bending force versus deflection, b) torque moment versus torsion angle

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki prób zginania i skręcania elementów stalowych wzmocnianych żebrami polimerowymi z uźebrowaniem diagonalnym (krzywa 1) oraz uźebrowaniem prostokątnym z żebrami umieszczonymi centralnie (krzywa 2). Dla porównania pokazano również analogiczne wykresy dotyczące umocnionego profilu stalowego zamkniętego (krzywa 3) i otwartego (krzywa 4). W przypadku prób zginania najlepszymi właściwościami wytrzymałościowymi charakteryzuje się element stalowy wzmocniony układem żeber o układzie prostokątnym, z żebrami umieszczonymi centralnie i symetrycznie wzdłuż ścianek elementu, gdyż przenosi ono największe obciążenia. W przypadku obciążeń skręcających najlepszymi właściwościami charakteryzuje się element stalowy wzmocniony żebrami rozmieszczonymi diagonalnie.

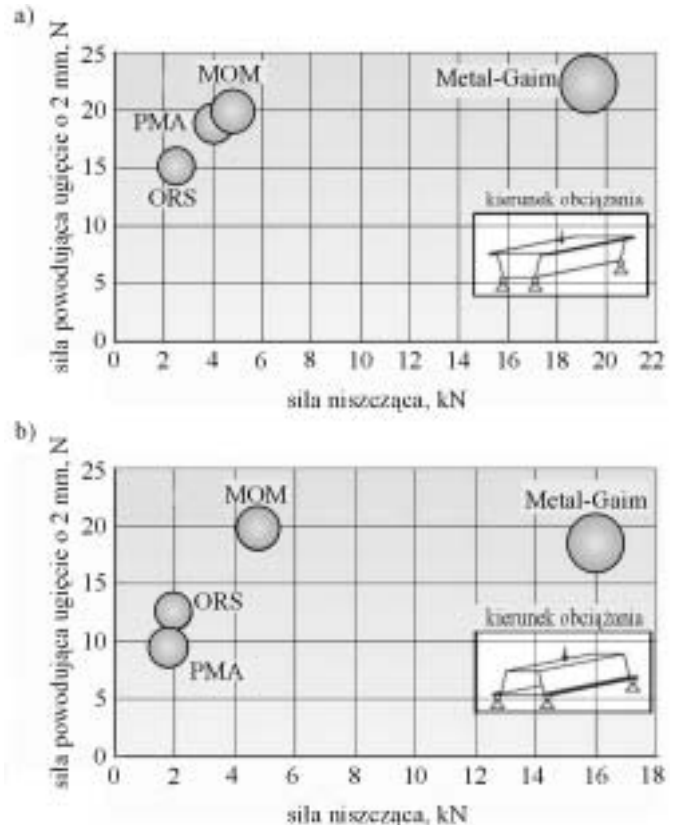
Struktura zamknięta

W przypadku elementów zamkniętych, niezależnie od kierunku obciążania takiej struktury, naprężenia są



Rys. 8. Porównanie siły odniesionej do masy elementu hybridowego w zależności od strzałki ugięcia i kierunku obciążenia profilu (a i b) w przypadku elementów hybridowych wytworzonych różnymi technikami (wg [6])

Fig. 8. Comparison of force in relation to mass of hybrid element dependently on deflection and direction of profile loading (a or b) for hybrid elements manufactured by various techniques (according to [6])



Rys. 9. Porównanie możliwości obciążania próbek w zależności od kierunku obciążania profili (a i b) z uwzględnieniem kosztów wytwarzania elementów hybridowych otrzymanych różnymi technikami (wg [6])

Fig. 9. Comparison of possibilities of profile samples loading dependently on loading direction (a or b) and costs of manufacturing of hybrid elements prepared by various techniques

przenoszone przez część metalową, jak i uźebrowanie polimerowe. Struktury takie charakteryzują się wyższą wytrzymałością niż konstrukcje otwarte, a efekt taki uzyskuje się nieznacznie tylko zwiększając ciężar elementu hybridowego. Na rysunku 8 przedstawiono wyniki badań zginania elementów hybridowych o tych samych wymiarach wykonanych różnymi technikami [6]. W celu lepszego porównania różnych konstrukcji odniesiono siłę obciążającą do masy elementu hybridowego. Z przedstawionych zależności wynika, że elementy o konstrukcji zamkniętej charakteryzują się większą wytrzymałością niż elementy o konstrukcji otwartej. Różnice te są wyraźniejsze, gdy elementy są obciążane w sposób pokazany na rysunku 8b. Dla porównania umieszczono na tym rysunku także wykres zginania zamkniętego profilu stalowego.

Na rysunku 9 porównano wytrzymałość elementów hybridowych wykonanych różnymi technikami na obciążenia działające w dwu różnych kierunkach [6]. Umieszczenie pól na diagramach informuje o wytrzymałości danej konstrukcji, natomiast średnica koła informuje o kosztach bezpośrednich poniesionych przy wytwarzaniu danego elementu hybridowego. Niezależnie

od zastosowanego kierunku obciążania, największą wytrzymałością cechował się element hybrydowy wytworzony techniką Metal-Gaim.

PODSUMOWANIE

Zaletą stosowania elementów hybrydowych typu metal–tworzywo polimerowe jest przede wszystkim zmniejszenie ich masy w porównaniu z elementami całkowicie metalowymi wykazującymi taką samą sztywność i wytrzymałość mechaniczną. Ze względu na duży udział objętościowy polimeru masa elementu hybrydowego ulega znacznemu zmniejszeniu (nawet do 40 %) w stosunku do elementu o podobnej sztywności i wytrzymałości wykonanego z metalu (zwykle stali) [14, 15]. Inną ważną zaletą stosowania elementów hybrydowych metal–tworzywo polimerowe jest wyeliminowanie technik łączenia elementów stalowych, takich jak spawanie i zgrzewanie stosowanych do wytworzenia klasycznego wyrobu. Pozwala to na redukcję kosztów wytwarzania o około 10 % [8]. Jednak największą zaletą jest użycie do konstrukcji omawianych elementów tworzywa polimerowego, które daje duże możliwości kształtowania, a tym samym umożliwia integrację wielu funkcji w elemencie hybrydowym.

LITERATURA

1. Potente H., Heim H. P., Ridder H., Kaiser E.: *Kunststoffe* 2002, **92**, Nr 1, 26.
2. Ashby M. F., Brechet Y. J. M.: *Acta Mater.* 2003, **51**, 5801.

3. Endemann U., Glaser S., Völker M.: *Kunststoffe* 2002, **92**, Nr 1, 110.
4. Steiner G., Gerndorf R.: *Kunststoffe* 2004, **94**, Nr 7, 83.
5. Anonim: *Plast. Addit. Comp.* 2001, **3**, Nr 2, 32.
6. Op de Laak M., Pötsch G., Schwitzer K.: *Kunststoffe* 2001, **91**, Nr 9, 112.
7. Zoellner O. J.: „Plastic/Metal Hybrid — A new development in injection molding technology”, materiały informacyjne firmy Bayer, Bayer Corp., Pittsburgh 2002.
8. Kuvín B. F.: *Metal Forming* 2005, Nr 4, 22.
9. Kaczmar J., Bielański A., Nakonieczny L.: *Mechanik* 2004, Nr 8/9, 534.
10. Praca zbiorowa: „Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych” (red. R. Sikora), Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
11. Materiały informacyjne ze strony internetowej: www.hbw-gubesch.de, stan aktualności: 9.06.2006.
12. Bürkle E.: *Kunststoffe* 2000, **90**, Nr 1, 40.
13. Bangert H., Erlenkämpfer E., Hock P., Joisten S., Wübken G.: *Kunststoffe* 1999, **89**, Nr 1, 74.
14. Johannaber F., Michaeli W.: „Handbuch Spritzgießen”, Carl Hanser Verlag, Wien 2002, 499—504.
15. Koch B., Knötzing G., Pleschke T., Wolf H. J.: *Kunststoffe* 1999, **89**, Nr 3, 82.
16. Lutter F., Müncker M., Wanders M.: *Kunststoffe* 2002, **92**, Nr 1, 62.
17. Singer R. F.: „Kunststoff-Metall-Hybridtechnik”, ze strony internetowej: www.nmfngmbh.de, stan aktualności: 9.06.2006.
18. Materiały informacyjne ze strony internetowej: www.designinsite.dk, stan aktualności 9.06.2006.

Otrzymano 3 IV 2007 r.