

# Kompozyty w technice w aspektach materiałów nowej generacji

Dariusz Woźniak, Leon Kukielka

## Streszczenie

W artykule przedstawiono zarys wiedzy o kompozytach, ich klasyfikacji, niektórych zastosowaniach w technice militarnej i kosmicznej, jak też w wybranych aplikacjach przemysłowych.

**Słowa kluczowe:** laminaty, włókna, kompozyty wzmacnione, klasyfikacja, trwałość, aplikacje technologiczne.

## Wstęp

Współczesny przemysł, a w szczególności maszynowy i samochodowy poszukuje nowych materiałów konstrukcyjnych o znacznie wyższej trwałości i lepszych właściwościach użytkowych od stosowanych dotychczas. Za wiodącą grupę materiałów, które w przyszłości mogą w istotny sposób wpływać na rozwój przemysłu motoryzacyjnego uważa się kompozyty, stanowiące połączenie komponentów o różnych i uzupełniających się wzajemnie właściwościach. Jednym z kierunków poszukiwań badawczych są materiały kompozytowe na osnowie stopów aluminium, zbrojone cząstkami lub włóknami ceramicznymi.

Materiały kompozytowe są szeroko stosowane w różnych działach techniki, a perspektywy ich dalszego rozwoju są niezwykle korzystne. Wynika to z faktu, iż uzyskiwane przez nie właściwości często przewyższają znacznie właściwości materiałów klasycznych i powszechnie uważa się, że kompozyty są perspektywiczną rezerwą materiałową dla rozwijającej się techniki, wymagającej materiałów o coraz wyższych właściwościach mechanicznych, fizycznych czy chemicznych [3, 9].

Zapotrzebowanie na lekkie materiały konstrukcyjne o dużej wytrzymałości, twardości oraz odporności na zużycie staje się coraz bardziej powszechne. Zainicjowane ono zostało przez rozwój lekkich konstrukcji, jak: samoloty, statki kosmiczne, rakiety, pojazdy mechaniczne, a następnie pojawiło się w wielu innych dziedzinach działalności człowieka tak odległych od siebie, jak np. budownictwo i produkcja wyczynowego sprzętu sportowego. Wysokich wymagań pod względem właściwości mechanicznych nie mogły spełnić materiały uważane dotychczas za klasyczne.

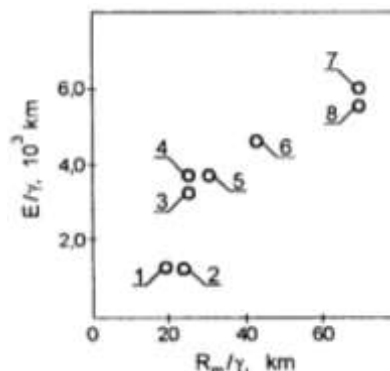
Coraz większą, więc uwagę zaczęto zwracać na materiały złożone, składające się z dwóch lub więcej komponentów. Materiały te umożliwiają lepsze wykorzystanie cech komponentów oraz uzyskanie nowych właściwości, których nie mają komponenty zastosowane oddzielnie. W wielu współczesnych zastosowaniach tworzyw konstrukcyjnych wymagana jest jednocześnie wysoka wytrzymałość, sztywność i mała masa; dlatego jako kryterium porównawcze właściwości mechanicznych materiałów coraz częściej przyjmuje się wskaźniki lekkości, jak: względną wytrzymałość na rozciąganie, zginanie i ściskanie, odniesione do gęstości lub też względny moduł sprężystości. Korzystny zespół tych cech zapewnia grupa

nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych zwanych **kompozytami**.

Najczęściej do grupy tej można zaliczyć tworzywa spełniające następujące warunki:

- zostały wytworzone sztucznie,
- składają się z co najmniej dwóch różnych chemicznie komponentów o wyraźnej granicy rozdziału między nimi,
- rozmieszczenie komponentów (w skali makro) jest równomierne w całej objętości tworzywa,
- właściwości ich różnią się od właściwości komponentów.

Reasumując, do kompozytów można zaliczyć materiały, które makroskopowo jednorodne, składające się z połączonych wzajemnie komponentów, mają właściwości nowe w stosunku do komponentów. Każdy materiał kompozytowy zawiera co najmniej dwa składniki: **osnowę** i fazę zbrojącą, najczęściej określaną mianem **zbrojenia**.



**Rys. 1.** Wytrzymałość właściwa i właściwy moduł sprężystości wybranych materiałów [10]: 1 – aluminium, 2 – tytan i stal, 3 – stop Ti+włókna Be, 4 – stop Ti+włókna SiC 5 – stop Ti+włókna borsiku (SiC/B/W), 6 – stop Al+włókna B, 7 – żywica epoksydowa + włókna węglowe, 8 – żywica epoksydowa + włókna B

Dzięki kompozytom stał się możliwy jakościowy skok we wzroście mocy silników, zmniejszenie gabarytów maszyn i konstrukcji, zwiększenie ładowności pojazdów i przyczep oraz jednostek lotniczych i kosmicznych [10], wzmocnienie pancerzy

czołgów i wozów bojowych, rozwój różnych typów kamizelek kuloodpornych, hełmów wojskowych i sportowych, tarcz i osłon, specjalnych koców i plandek, komponent do opon, zbrojenie kabli i innych.

Jednym z rozstrzygających kryteriów przydatności materiałów pracujących w tych warunkach jest ich wytrzymałość właściwa (względna)  $R_m/\gamma$ , gdzie:  $R_m$  - wytrzymałość na rozciąganie,  $E$  - moduł sprężystości  $E/\gamma$  - ciężar właściwy materiału. Pod tym względem odpowiednie kompozyty przewyższają wszystkie znane konstrukcyjne stopy metali (rys. 1).

## 1. Podział i klasyfikacja kompozytów

Kompozyty są już liczną grupą materiałów, że podzielono je na grupy i sklasyfikowano. Uwzględniając za podstawę klasyfikacji materiał osnowy, wyróżniamy kompozyty: *metalowe*, *polimerowe* i *ceramiczne*. Wariantem jest przy tym możliwość odwrócenia roli tych materiałów i wykonania z nich zbrojenia. Przy wariacie „każdy z każdym” osnowa-zbrojenie otrzymujemy 9 grup kompozytów co stanowi podstawę kolejnej klasyfikacji, którą przedstawiono w tabeli 1. Wówczas uzyskujemy kompozyty o osnowie: m – metalowej, p – polimerowej, c – ceramicznej.

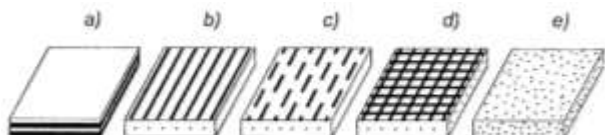
Tab. 1. Schemat możliwych kombinacji materiałów kompozytowych [10]

Umocnienie \ Osnowa	Umocnienie		
	metal	polimer	ceramika
metal	m - m	m - p	m - c
polimer	p - m	p - p	p - c
ceramika	c - m	c - p	c - c

## 2. Klasyfikacja kompozytów

W zależności od sposobu wzmocnienia osnowy i rodzaju wzmocnienia najczęściej stosuje się poniższe rodzaje włókien: węglowe np. typu PAN, szklane np. typu E, borowe, organiczne aramidowe, korundowe, z węgla krzemu. Wówczas uzyskujemy podstawowe typy:

- warstwowe,
- włókniste – umacnianie włóknami (ciągłymi lub krótkimi) o średnicy od ułamka  $\mu\text{m}$  do kilkuset  $\mu\text{m}$  i udziale objętościowym: od kilku do 70%, a także siatką, tkaniną, dzianiną i „quasi-dzianiną”,
- umacnianie cząstkami, w tym dyspersyjnymi o wielkości 0,01-1  $\mu\text{m}$  i więcej oraz udziale objętościowym najczęściej 2-25%,
- kompozyty in situ otrzymywane bezpośrednio ze stanu ciekłego przez kierunkową krystalizację eutektyk.

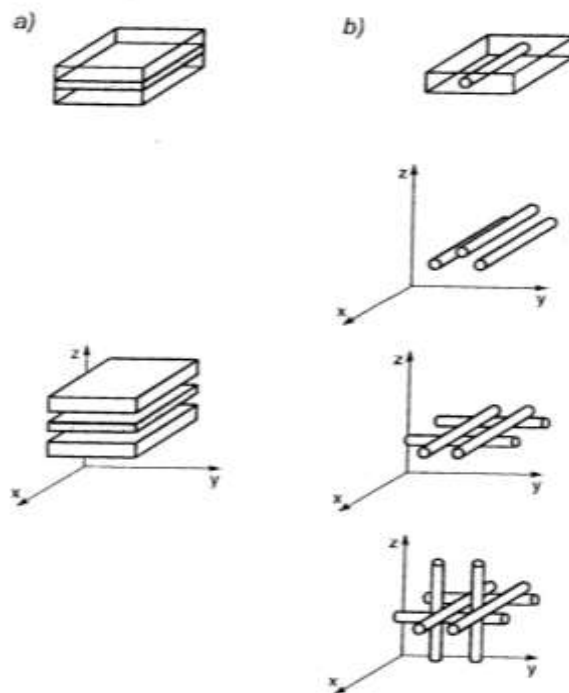


Rys. 2. Modele budowy kompozytów [10]: (a) warstwowe, (b) umacnianie włóknami długimi, (c) umacnianie włóknami krótkimi, (d) umacnianie siatką, tkaniną, (e) umacnianie cząstkami

Kompozyty warstwowe- rysunek 2a i 3a [10] zbudowane są z naprzemian złożonych warstw osnowy i wypełniacza (napelniacza) tzw. sandwich.

Umocnienie w kompozytach włóknistych umacnianych włóknami stanowią włókna różnych konstrukcji: linki, druty, kryształy włosowate tzw. wiskersy, a także taśmy, tkaniny, siatki, o różnym splocie. Realizuje się w ten sposób jedno-, dwu- lub trójosiowe umocnienie kompozytu z wysokim wskaźnikiem przyrostu wytrzymałości - rysunek 2b, c, d i rysunek 3b.

Kompozyty umacniane cząstkami dyspersyjnymi zawierają sztuczne wprowadzane, równomierne rozłożone cząstki węglików, tlenków, azotków i inne trwałe termicznie związki, nie reagujące ani nie rozpuszczające się w osnowie aż do temperatury topnienia faz. Przyjmuje się, że im drobniejsze są cząstki napelniacza i im mniejsza jest między nimi odległość (do określonego granicznego minimum), tym wyższa jest efektywność umocnienia.



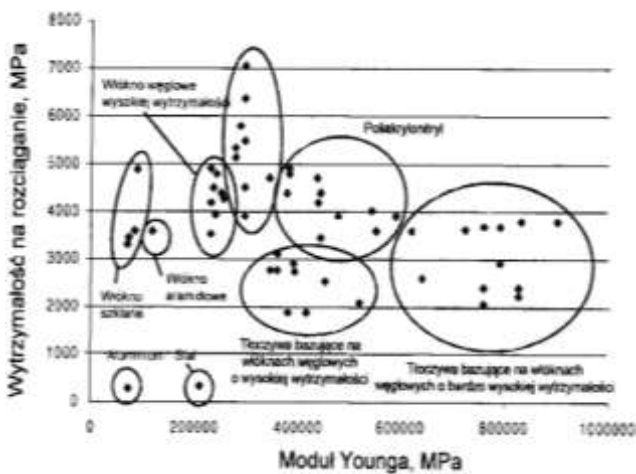
Rys. 3. Schemat zbrojenia kompozytów warstwowych [10]: (a) włóknistych (b)

Na rysunku 4 przedstawiono analizę podstawowych typów włókien wzmacniających i porównanie ich właściwości mechanicznych ze stalą i aluminium.

## 3. Przykłady wykorzystania kompozytów warstwowych

Materiały kompozytowe o budowie warstwowej [1,10,11,12] to najczęściej warstwy tkanin, włókien, dzianin, połączone na przemian z warstwami osnowy. Materiałem osnowy może być tworzywo sztuczne, metal lub ceramika. Produkowane od dawna laminaty z żywic zbrojonych włóknem lub tkaniną szklaną są bardzo przystępnym przykładem kompozytu warstwowego. Są one szeroko stosowane w budownictwie, przemyśle maszynowym, meblowym, modelarstwie, sprzęcie sportowym, gospodarstwie domowym itd. Do tej samej grupy kompozytów należą materiały ablacyjne do ochrony termicznej promów i

rakiet, wykonywane m.in. na bazie żywic fenolowo – formaldehydowych z włóknem szklanym lub węglowym. Niekiedy w tych materiałach stosuje się tkaninę szklaną, która w kilkuwarstwowym ułożeniu w spoiwie żywicznym zapewnia odpowiednio wysokie właściwości mechaniczne wyrobów. Są to najczęściej cienkościennie, lekkie rury, tuleje o dużej sztywności, przenoszące znaczne obciążenia osiowe i promieniowe. Nową generację stanowią kompozyty, w których spoiwo warstwowe stanowią blachy aluminiowe, tytanowe, miedziane, niklowe, kobaltowe, a warstwy głównych właściwości stanowią: ceramika, związki międzymetaliczne, inne metale lub polimery. W tabeli 2 przedstawiono parametry wybranej grupy włókien aramidowych stosowanych w pancerzach czołgów i wozów bojowych.



Rys. 4. Właściwości mechaniczne typowych włókien zbrojących [12]

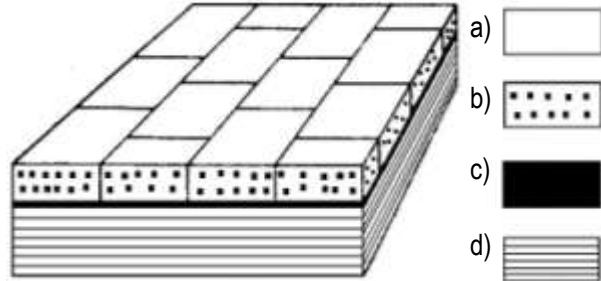
Tab. 2. Parametry włókien aramidowych stosowanych w pancerzach [12]

Parametry	Włókna stosowane w pancerzach		Włókna konstrukcyjne					
	Kevlar® Kevlar® HT	Kevlar® HT (1129)	Kevlar® HT (1179)	Kevlar® 49	E-szkło	Węgiel HT-300	Dłut stalowy	Nylon HT (T-728)
Wytrzymałość właściwa, cN / tex	29	235	208	206	-	-	-	86
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	2900	3320	2900	2900	3400	3530	2600	990
Moduł podłużny rozciągania, GPa	80	75	45	120	70	235	200	5,6
Wydłużenie przy wyrywaniu, %	3,6	3,6	4,5	1,9	4,5	1,5	2,0	1,8
Higroskopijność, %	7	7	7	3,5	0,1	-	0	4,5
Gęstość, g / cm <sup>3</sup>	1,44	1,44	1,44	1,44	2,60	1,78	7,85	1,14
Temperatura rozkładu, °C	-500	-500	-500	-500	-800	-	1600	265

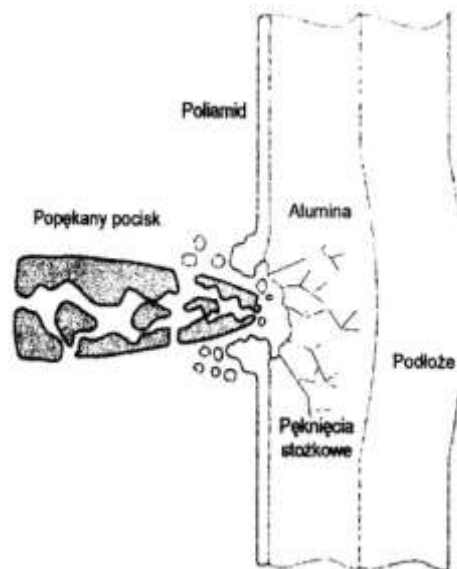
Warstwowe kompozyty ceramiczne produkuje się do pracy w różnych warunkach np. temperaturowych, dlatego ich zastosowanie jest nadal wyłącznie specjalne, np. systemy osłon termicznych wahadłowców kosmicznych, płyty pancerne, elementy rakiet dalekiego zasięgu, materiały o specjalnych właściwościach optycznych i magnetycznych. Komponentami tego typu materiałów są najczęściej: ceramika, węgiel i metale, a zwłaszcza korund, grafit pizolityczny, węgliki, tlenki, azotki w kompozycji z aluminium, miedzią, tytanem, niklem, kobaltem, tantalum, żelazem. Budowę pancerza kompozytowego przedstawiono na rysunku 5.

W przedstawionym rozwiązaniu zastosowanie kompozytu polimerowego ma różnorakie znaczenie. Zewnętrzna powierzchnia płytek ceramicznych pokryta jest warstwą kompozytu nylonowego z wzmocnieniem tkaniną poliamidową.

Warstwę podkładową pod ceramikę stanowi kompozyt aramidowy. System działania takiego pancerza przedstawiono na rysunku 6.

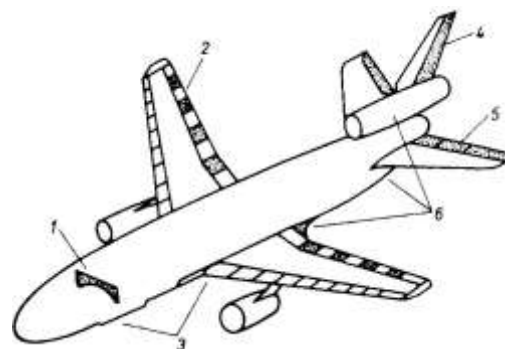


Rys. 5. Budowa ceramiczno-polimerowego pancerza kompozytowego [12]: a) folia antyodpryskowa, b) ceramika, c) klej, d) podłoże



Rys. 6. Mechanizm penetracji ceramiczno-polimerowego pancerza kompozytowego [12]

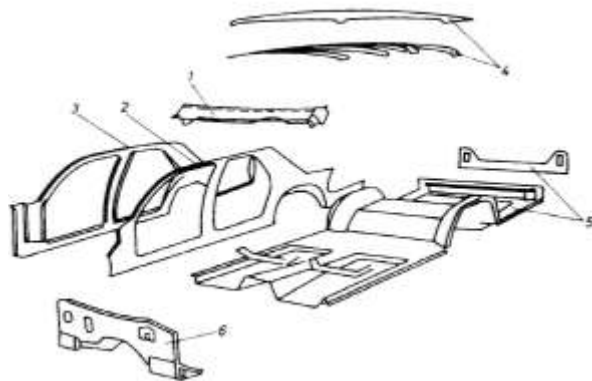
Innymi aplikacjami technicznymi z wykorzystaniem kompozytów są konstrukcje lotnicze, głównie wojskowe, chociaż coraz częściej i niektóre samoloty cywilne (rys. 7).



Rys. 7. Niektóre zastosowania zbrojonych włókien węglowymi kompozytów polimerowych w konstrukcji samolotu pasażerskiego [7]: 1 - wręgi kadłuba; 2 - interceptory; 3 - ...

pokrywy wnęk podwozia przedniego głównego; 4 – ster kierunku; 5 – ster wysokości; 6 – owiewki skrzydeł i sterów

Coraz częściej wykorzystuje się zwłaszcza kompozyty polimerowe w konstrukcjach samochodów wyścigowych, jak też osobowych (rys. 8).



**Rys. 8.** Niektóre zastosowania zbrojonych włóknami węglowymi kompozytów polimerowych w konstrukcji samochodu [7]: 1 – maska silnika; 2 – część wewnętrzną nadwozia; 3 – część zewnętrzną nadwozia; 4 – konstrukcja dachu; 5 – podwozie; 6 – tablica rozdzielcza

We współczesnej technice występują już materiały kompozytowe wykonywane ze wszystkich grup materiałowych i ze wszystkimi systemami umocnienia jednocześnie. Są to nadal kompozyty, ale wchodzą w nowy układ kompozytowy, już o nowej klasyfikacji [2,4,5,8,9,12].

### Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono zarys przemysłowego wykorzystania niektórych kompozytów w tym w technice motoryzacyjnej, wojskowej i innych aplikacjach przemysłowych.

Materiały kompozytowe stanowią obecnie jedną z najbardziej obiecujących i rozwijających się grup materiałów konstrukcyjnych. Analiza ich właściwości upoważnia do stwierdzenia, że są one niejednokrotnie w stanie spełnić bardzo wysokie wymagania nowoczesnej i stale rozwijającej się techniki w dość szerokim ujęciu. Podstawową korzyścią płynącą z zastosowania ich jako materiałów nowej generacji, może być znaczne obniżenie masy konstrukcji, przy jednoczesnym zachowaniu wysokich właściwości mechanicznych.

Intensywnie rozwijającą się grupę tych materiałów stanowią m.in. kompozyty z osnową ze stopów aluminium, które często zbrojone są cząstkami  $Al_2O_3$  lub  $SiC$ .

Pewnym ograniczeniem zastosowań rozpatrywanego materiału w przemyśle krajowym mogą okazać się jednak problemy technologiczne. Mogą one dotyczyć nie tylko procesu wytwarzania, ale również i samej obróbki mechanicznej, która z uwagi na obecność bardzo twardych cząstek  $Al_2O_3$  w strukturze materiału, jest znacznie utrudniona. Konieczność zastosowania w procesie produkcyjnym nowoczesnych urządzeń i narzędzi o wysokiej jakości z pewnością może mieć niekorzystny wpływ na efekt ekonomiczny, jednak pokonanie trudności powstających w procesach wytwórczych stanie się kluczem do komercjalizacji kompozytów w przemyśle samochodowym.

Ze względu na obszerność zagadnienia i wymogi redakcyjne autorzy przedstawili minimum wiedzy w ujęciu praktycznym.

### Bibliografia

1. Ashby M. F., Jones D. R. H.: *Materiały inżynierskie*. WNT Warszawa 1996, tom 2.
2. Ciszewski B., Przetakiewicz W.: *Nowoczesne materiały w technice*. Bellona Warszawa 1993.
3. Kapuściński J., Puciłowski K., Ciechowski S.: *Projektowanie i technologia materiałów kompozytowych*. Politechnika Warszawska. Warszawa 1981.
4. Gierek A.: *Niektóre problemy inżynierii materiałowej*. Skrypt. Politechnika Śląska. Gliwice 1994.
5. Neffe S.: *Carbon*, 25 (1987) 761.
6. Pampuch R., Białoskórski J., Walasek E.: *Ceram. Intern.*, 13 (1987) 63.
7. Pampuch R., Błażewicz S., Chłopek J., Górecki A., Kuś W.: *Nowe materiały węglowe w technice i medycynie*. PWN, Warszawa 1989.
8. Piekarczyk J., Walasek E., Białoskórski J.: 3rd Conf. Stereology In Materiale Science STERMAT'90. Szczyrk 1990.
9. Wojciechowski S., Pawłowski S., Gierek A., Ciszewski B.: *Ekspertyza – Kompozyty i ich wykorzystanie w różnych działach techniki*. PAN. Komitet Naukoznawstwa i Komitet Nauki o Materiałach. Warszawa 1978.
10. Wojtkun F., Sołncew J. P.: *Materiały specjalnego przeznaczenia*. Politechnika Radomska. Radom 2001.
11. Wojtkun F., Sołncew J. P.: *Niektóre problemy inżynierii materiałowej*. Politechnika Radomska. Radom 1999, tom 2.
12. Wiśniewski A.: *Ochrona wozów bojowych*. Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia. Zeszyt 89. Zielonka 2003.

## Composites in technology in the aspects of new generation materials

### Abstract

This article presents the outline of the information on composites, their classification, basic properties and usage in military and space technology, as well as other industrial applications.

**Key words:** laminated, fibrous, strenghtened composites, in situ, classification, durability, technological applications.

**Autorzy:**

Mgr inż. **Dariusz Woźniak** - Stowarzyszenie Rzeczoznawców Techniki Samochodowej i Ruchu Drogowego w Warszawie, Oddział w Koszalinie

Prof. dr hab. inż. **Leon Kukielka** - Politechnika Koszalińska