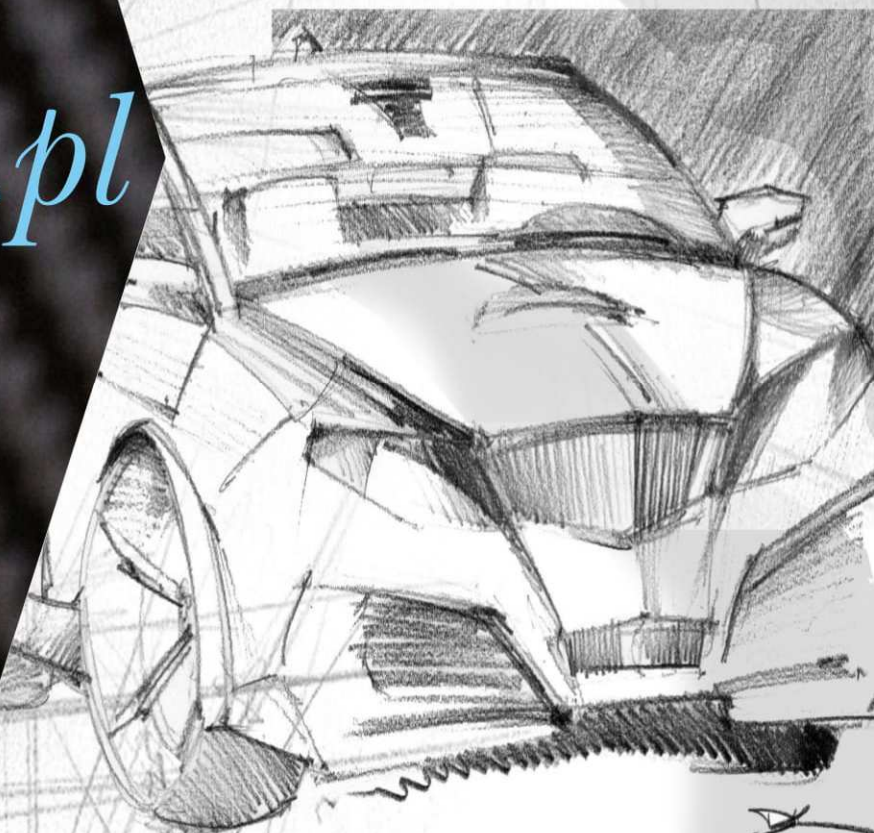
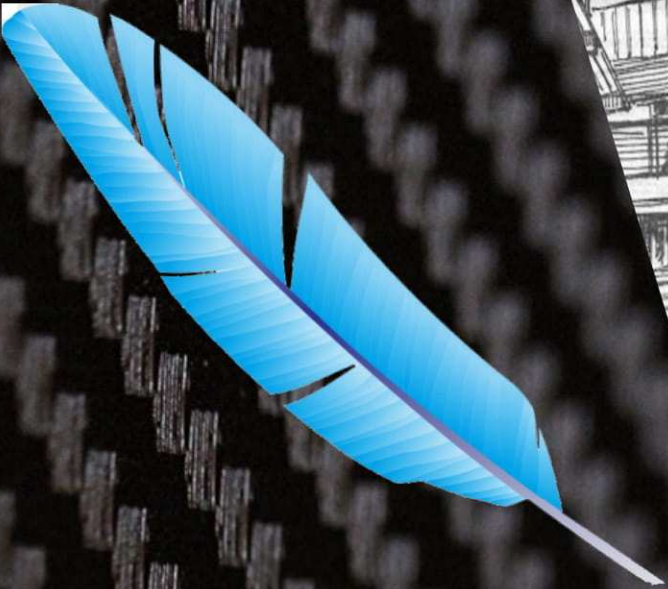




lightweight.pl

2 spotkanie Polskiego
Klastra Technologii
Kompozytowych (PKTK)
str. 7

Design w kompozytach
str. 14

Analiza możliwości
integracji sensorów
optycznych w diagnostyce
materiałów kompozytowych
str. 24

Szanowni Państwo!

Oddajemy w Państwa ręce nowy magazyn **LIGHTWEIGHT** stworzony z myślą o integracji środowiska naukowego z Polskim przemysłem materiałów kompozytowych. Idea czasopisma narodziła się w głowach założycieli Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych, i jest wpisana w wizję działalności i rozwoju tej organizacji. Magazyn ten ma być dodatkową możliwością wymiany Państwa doświadczeń i zaprezentowania wachlarza Państwa ofert zarówno w ramach Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych, jak i poza nim.

Proponujemy Państwu trzy rodzaje publikacji, zależne od profilu Państwa działalności:

1. Notatka o wydarzeniu/działalności

W tym obszarze mają Państwo okazję zaprezentować profil własnej działalności, a także zareklamować wszelkie eventy z Państwa udziałem. Mamy nadzieję, że stworzy bardzo dobrą możliwość do integracji wszystkich członków Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych, jak również przyniesie wymierne korzyści w Państwa działalności.

2. Artykuł ogólnonaukowy

Polski Klaster Technologii Kompozytowych zrzesza w swoim gronie najlepszych specjalistów z branży. Jednym z celów działalności Klastra jest rozwój przemysłu kompozytowego w Polsce, tak aby stać się silnym podmiotem konkurencyjnym dla rynków zagranicznych. Zatem zachęamy Państwa do publikacji własnych doświadczeń, analiz rynku, a także ogólnej wiedzy z obszaru materiałów kompozytowych, tak aby przedstawione cele zostały osiągnięte w jak najkrótszym czasie. Wierzymy, że wymiana wiedzy pomiędzy partnerami stanowi podstawę do naszego wspólnego rozwoju.

3. Artykuły naukowe

Tych z Państwa, którzy poruszają się w sferze nauki oferujemy specjalny dział magazynu poświęcony wymianie wiedzy akademickiej. Celem tego obszaru jest publikacja wysokiej jakości artykułów naukowych, tak aby w możliwie krótkim czasie uzyskać indeksowanie na listach punktowanych.



Redaktor naczelny:
dr inż. Andrzej Czulak





LIGHTWEIGHT COMPOSITES MAGAZINE

Redaktor naczelny:

Andrzej Czulak

Redaktorzy:

Andrzej Czulak
Marcin Godzier
Bartosz Hekner

Oprawa graficzna:

Dariusz Kronowski
Elżbieta Godzier

Skład:

Marcin Godzier
Elżbieta Godzier

Założenia czasopisma

- **Okres wydawania:** kwartalnik
- **Język publikacji:** polski lub angielski dla działów notatek i artykułów ogólnonaukowych; angielski dla artykułów naukowych
- **Recenzowanie:** brak recenzji w działach notatek i artykułach ogólnonaukowych; zewnętrzne recenzje dla artykułów naukowych

Z racji ogromnego wyzwania, a jednocześnie olbrzymiej przyjemności i satysfakcji, zapraszamy Państwa do współpracy w ramach czasopisma. Jeśli posiadacie Państwo wiedzę, chęci lub możliwości i chcecie dołączyć do dynamicznego zespołu wspierającego rozwój branży kompozytowej, zapraszamy!

Na zgłoszenia czekamy pod adresem:
kontakt@kompozyty.net

Spis treści:

Nota od redakcji	Str. 2
XX Międzynarodowa Studencka Sesja Naukowa „Materiały i Technologie XXI wieku”	Str. 4
Polski Klaster Technologii Kompozytowych	Str. 5
Kompozyty w budownictwie – JEC 2018	Str. 6
2. Spotkanie Partnerów Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych (PKTK)	Str. 7
Działalność Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych na kongresach Impact’18 i Impact mobility rEvolution’18	Str. 7
Analiza zastosowania kompozytów w produkcji energii odnawialnej – wiatrowej	Str. 8
Politereftalan etylenu (PET): produkcja, cena, rynek i jego właściwości	Str. 11
Design w kompozytach	Str. 15
Metalowe Materiały Kompozytowe – wybrane przykłady wdrożeń, nowe rozwiązania	Str. 16
Materiały kompozytowe w lotnictwie – analiza rynku	Str. 18
Przestrzenne struktury szkieletowe – innowacyjna forma wzmocnienia w kompozytach	Str. 22
Analiza możliwości integracji sensorów optycznych w diagnostyce materiałów kompozytowych	Str. 24
Optymalizacja procesu powlekania drutu poliamidem z wykorzystaniem analizy regresji	Str. 28
Technologie wytwarzania elementów i podzespołów pojazdów samochodowych z kompozytów polimerowych	Str. 34



Published by:



XX Międzynarodowa Studencka Sesja Naukowa „Materiały i Technologie XXI wieku”

Dnia 17.05.2018 odbyła się jubileuszowa XX Międzynarodowa Studencka Sesja Naukowa „Materiały i Technologie XXI wieku” organizowana przez Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej. Ideą konferencji, której Polski Klastr Technologii Kompozytowych został partnerem była integracja społeczeństwa naukowego z polskim przemysłem, a w szczególności branżą kompozytową.

XX Międzynarodowa Studencka Sesja Naukowa była doskonałą możliwością poznania młodych przedstawicieli nauki, co stwarza możliwości współpracy Klastra z kadrą inżynierską, zarówno w obszarze stażów, jak i pozyskiwania nowych, wysoko wykwalifikowanych pracowników. W ramach sesji studenci z wielu ośrodków naukowych zarówno krajowych, jak i zagranicznych prezentowali wyniki swoich prac badawczych. Wygłoszono ponad 60 referatów zarówno w języku polskim i angielskim. Dodatkowo, studenci prezentowali swoje osiągnięcia w formie posterów.

XX Międzynarodowa Studencka Sesja Naukowa była także okazją do spotkania partnerów Klastra w celu zacieśnienia obszarów współpracy pomiędzy podmiotami. Na konferencji nie zabrakło przedstawicieli polskiego przemysłu kompozytowego. Z ramienia organizatorów w konferencji udział brali przedstawiciele Politechniki Śląskiej. Jako sponsor sesji wystąpiła firma New Era



Materials

Sp. z o.o.,
prezentując
profil swojej

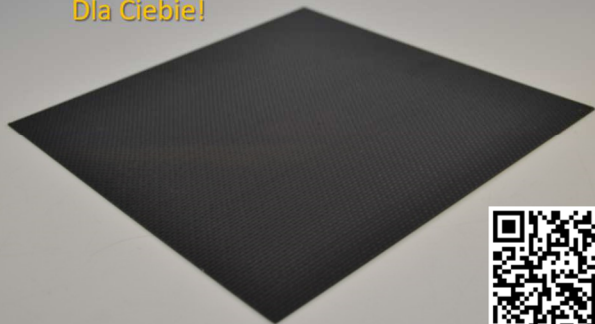
działalności. Aktywnym udziałem wykazali się również członkowie Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych reprezentujący różne obszary przemysłu: GUSSTECH Wójcik A. Kołodziej K. sp.j., Ciech S.A. oraz Atest-Gaz A. M. Pachole sp. j.

Dla partnerów Klastra była to także możliwość nawiązania współpracy z podmiotami z innych obszarów przemysłu. Wśród sponsorów można wyróżnić firmy: Sandvik Coromant, Formes Toys, Hoppe Wartenberg Prestiż, Anga Uszczelnienia Mechaniczne czy BHP Protect System.



mgr inż. Bartosz Hekner

Dla pasjonatów...
Dla profesjonalistów...
Dla Ciebie!



kompozyty.net

www.kompozyty.net/sklep

-Nowy sklep z komponentami do kompozytów-

Polski Klaster Technologii Kompozytowych

Rynek materiałów kompozytowych na świecie rozwija się bardzo dynamicznie i prognozy na kolejne lata są bardzo pozytywne. Przewiduje się średnio 7,5% wzrostu światowego zapotrzebowania na włókna węglowe natomiast w przypadku kompozytów polimerowych prognozy sięgają średnio 9% wzrostu światowego zapotrzebowania.

Jest to głównie spowodowane spadającymi cenami włókien, ale również wzrostem zainteresowania materiałami kompozytowymi w nowoczesnych przemysłach takich jak lotnictwo, przemysł odnawialnej energii, przemysł morski czy samochodowy.

Analizując rozwój rynku materiałów kompozytowych w Europie w latach 2007-2016, można zauważyć, że trendem wzrostowym mogą pochwalić się jedynie kraje takie jak Niemcy, Anglia i Irlandia oraz kraje Europy Wschodniej, w których jedną z najważniejszych ról odgrywa Polska.

Rynek technologii kompozytowych bardzo dobrze rozwija się w państwie naszych zachodnich sąsiadów dzięki rozbudowanej współpracy pomiędzy przemysłem i nauką w ramach klastrów branżowych, a należy dodać, że ze względu na złożoność kompozytów konieczne jest interdyscyplinarne podejście do rozwiązywania złożonych problemów związanych z projektowaniem konstrukcji oraz opracowywaniem nowych technologii wytwarzania, które możliwe jest tylko w ramach zespołu wysokiej klasy specjalistów o odpowiedniej wiedzy fachowej.



Wystąpienia inauguracyjne Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych w trakcie Pierwszego Saksońsko-Polskiego Dnia Innowacji we Wrocławiu (od góry, Dr Andrzej Czulak, Prof. Tadeusz Uhl); źródło xborderinnovation.eu

Właśnie z tego względu, w październiku 2017 roku przez 68 instytucji (58 firm i 10 największych polskich uczelni) został utworzony Polski Klaster Technologii Kompozytowych (PKTK) w ramach Pierwszego Saksońsko-Polskiego Dnia Innowacji we Wrocławiu oraz wystawy Kompozyt-Expo w Krakowie.

Inicjatorami Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych była firma New Era Materials Sp. z o.o. reprezentowana przez Dr. Andrzeja Czulaka, oraz EC Engineering Sp. z o.o. reprezentowana przez Prof. Tadeusza Uhla.

Główne cele klastra koncentrują wokół promocji polskich technologii, firm i instytucji zajmujących się wytwarzaniem, badaniem i projektowaniem elementów kompozytowych, oraz polskiej myśli technologicznej dotyczącej urządzeń oraz komponentów służących do produkcji kompozytów, jak również promocji ich produktów i usług na międzynarodowych targach i konferencjach. W ramach działalności klastra planowane jest również stworzenie silnego podmiotu reprezentującego potrzeby branży kompozytowej dążącego do stworzenia programu sektorowego oraz doskonalenie wiedzy z zakresu materiałów kompozytowych poprzez organizowanie szkoleń i wyjazdów do wiodących ośrodków międzynarodowych.

Tworząc Polski Klaster Technologii Kompozytowych kierowaliśmy się przesłaniem: – „Kto pracuje sam, dodaje. Ten kto pracuje w sieciach, mnoży. Jednak, partnerzy pracujący w klastrach, zwiększają efekty wykładniczo”.

Obecnie wszystkie informacje dotyczące Polskiego Klastra technologii Kompozytowych można znaleźć na portalu internetowym Kompozyty.net, a ewentualnych zainteresowanych prosimy o kontakt pod adresem: kontakt@kompozyty.net.

dr inż. Andrzej Czulak
Lider Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych

Kompozyty w budownictwie – JEC 2018

W dniach 18-19. Lipca 2018 roku odbyła się konferencja organizowana przez JEC pod tytułem JEC-Composites in Building Constructions, czyli kompozyty w budownictwie.

Konferencja miała miejsce w Bangkoku i wzięło udział około 150 uczestników. Większość prezentacji oczywiście dotyczyła materiałów możliwych do zastosowania w wytwarzaniu elementów przeznaczonych do branży budowlanej, ale najbardziej interesujące przedstawiały możliwości materiałów kompozytowych, oraz konstrukcji z nich wykonanych. Oczywiście w takich rozwiązaniach prym wiodą kraje takie jak Emiraty Arabskie. Prezentacja przedstawiona przez właściciela firmy „AFFRAN” pokazała trendy w rozwoju konstrukcji budynków użyteczności publicznej. Ostatnią realizację firmy jest „Muzeum Przyszłości” („Museum of the future”) pokazującą możliwości obecnych tworzyw i kompozytów. Działalność firmy jest imponująca, ale należy zauważyć, że większość elementów wykonywana jest w postaci prefabrykatów i montowana bezpośrednio w miejscu instalacji.

Można również zaobserwować trend w wytwarzaniu preimpregnowanych gotowych domów kompozytowych. Ogromną popularność zdobywają szczególnie w Ameryce Południowej, gdzie firmy wytwarzają gotowe prefabrykowane domy dla mniej zamożnych obywateli.

Oprócz prezentacji firm, można było posłuchać znanych architektów, którzy również demonstrowali potencjał materiałów kompozytowych, z zaznaczeniem, że pomysły pojawiły się już w latach 80' tych 20. wieku, jednak wtedy materiały kompozytowe nie były tak dostępne jak obecnie.

Oprócz wyjątkowo interesujących prezentacji w Bangkoku można było zobaczyć również stanowiska firm rodzimych, z których najbardziej wyróżniała się firma COBRA.



dr inż. Andrzej Czulak

kompozyty.net

2. Spotkanie Partnerów Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych (PKTK)

Spotkanie Partnerów Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych (PKTK) odbyło się 18. czerwca 2018 roku na Politechnice Warszawskiej na Wydziale Inżynierii Materiałowej. Na spotkaniu pojawili się partnerzy z obszaru nauki i biznesu: EC Grupa, New Era Materials Sp. z o.o., Buster Sp. z o.o., Rymatex Sp. z o.o., Politechnika Warszawska, Roma, Invenco, Uniwersytet Poznański, Andrzej Puka, Targi w Krakowie, Politechnika Śląska, Linetech, Gofar, TAPS, Politechnika Lubelska, Milar Sp. z o.o., S.O.D.E. Lab. Partnerzy zapoznali się z prezentacją Wydziału Inżynierii Materiałowej, wygłoszoną przez prodziekana ds. studenckich prof. dr hab. inż. Waldemara Kaszuwara, jak również istniała możliwość odwiedzenia laboratoriów instytutowych.

Spotkanie dotyczyło głównie kierunków rozwoju Klastra, promocji materiałów i technologii kompozytowych w Polsce i na świecie oraz przyszłych wspólnie realizowanych projektów.

W ramach spotkania mieliśmy również możliwość spotkania i dyskusji z panem Andrzejem Puką, pełniącym rolę Rzecznika Innowacji w Izbie Celnej w Krakowie.

Partnerzy dyskutowali na temat możliwości prezentacji swoich produktów na targach materiałów kompozytowych JEC 2019, jak również zdefiniowali również problemy występujące w obszarze wprowadzenia nowych produktów kompozytowych na rynki np.: brak istniejącej certyfikacji oraz dostępnych baz danych właściwości materiałowych kompozytów.

Zdefiniowano również kolejne kroki, na których PKTK w następnych miesiącach powinien się skoncentrować.

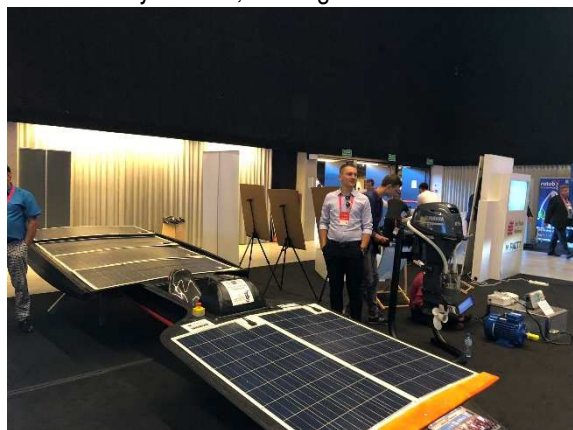
dr inż. Andrzej Czulak



Działalność Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych na kongresach Impact'18 i Impact mobility rEVolution'18

W tym roku Polski Klaster Technologii Kompozytowych miał możliwość zaprezentowania swoich partnerów na kongresach **Impact 2018**, dwudniowym kongresie gospodarki i innowacji, jak również na kongresie **Impact mobility rEVolution'18**, dotyczącym głównie rozwiązań w dziedzinie rozwiązań mobilności elektrycznej.

Tegoroczny **Impact'18** to dwa dni spotkań, debat, prelekcji, cztery sceny, osiem bloków tematycznych i 6000 uczestników w jednym miejscu. Przedstawiono uczestnikom Sophie – robota humanoidalnego, stworzonego przez Hanson Robotics. Rozmawiano o Czwartej Rewolucji Przemysłowej tzw. Przemysłu 4.0, którego nowoczesne technologie kompozytowe są częścią.



Stoisko Polskiego Klastra Technologii

Kompozytowych i Politechniki Warszawskiej zostało odwiedzone przez pana premiera Mateusza Morawieckiego, który żywo był zainteresowany nowoczesnymi rozwiązaniami w obszarze materiałów i technologii kompozytowych.

Bardzo dziękujemy partnerom Klastra, szczególnie Politechnice Warszawskiej, oraz firmom: TAPS, New Era Materials oraz Mould, za pomoc w organizacji stoiska i dostarczenie interesujących produktów kompozytowych.

Na kongresie **Impact mobility rEVolution'18** członkowie Klastra zaprezentowali produkty i rozwiązania, jak również przeprowadzili wiele interesujących rozmów dotyczących współpracy. Można było zauważyć,



że różnorodność modeli samochodów elektrycznych stale rośnie wraz z zaangażowaniem przemysłu w ich opracowywanie, obejmując również sektor infrastruktury odpowiedzialnej za ładowanie akumulatorów tych pojazdów. Przy bliższym spojrzeniu na rozwój tej branży można zauważyć różne podejścia do osiągnięcia wcześniej wyznaczonego celu. Wiele projektów koncentruje się na dopasowaniu obecnej konstrukcji pojazdów do zasilania elektrycznego, w których to silnik spalinowy zostaje zamieniony na silnik elektryczny z zestawem akumulatorów. Pozostałe projekty dotyczą zupełnie nowego podejścia do opracowania konstrukcji samochodu elektrycznego przeznaczonego do wytwarzania w procesie seryjnym.

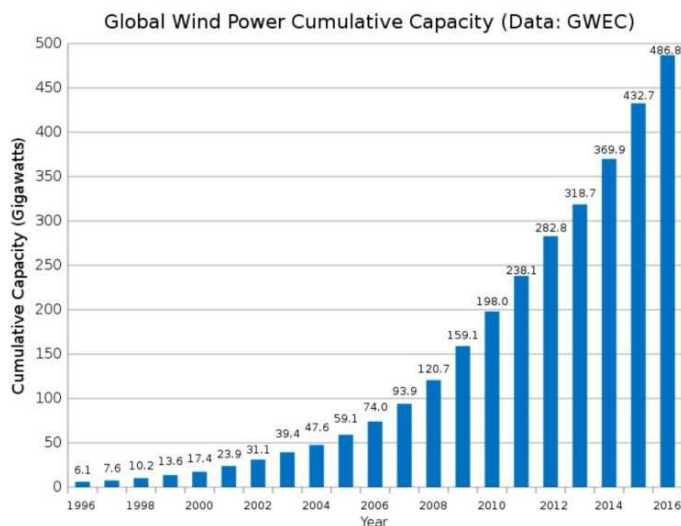
dr inż. Andrzej Czulak



Analiza zastosowania kompozytów w produkcji energii odnawialnej – wiatrowej

W ciągu ostatnich 20 lat energia wiatrowa wyprzedziła węgiel i jest obecnie uważana za drugą, co do wielkości formę wytwarzania energii (Wind Europe, statystyki za rok 2016). Całkowita moc elektrowni wiatrowych w UE wynosi 153,7 GW – w tym 141,1 GW na lądzie i 12,6 GW na morzu – i pokrywa 10,4 % zapotrzebowania UE na energię elektryczną. W 2016 r. Niemcy były największym rynkiem dla nowych instalacji wiatrowych (44% wszystkich instalacji w UE), a następnie Hiszpania, Wielka Brytania i Francja. Produkcja energii wiatrowej na morzu rośnie na całym świecie, a kolejną generacją są pływające platformy. Pierwsza pływająca platforma energii wiatrowej została zainstalowana w Norwegii na morzu o głębokości 220 metrów. Jak wypowiadają się projektanci farm wiatrowych, energia wiatrowa mogłaby pokryć całość dostaw energii elektrycznej w Niemczech, gdyby udało się rozwiązać problemy z magazynowaniem energii. Obecnie, jeden z największych dostawców energii odnawialnej w Niemczech, pracuje nad dużymi akumulatorami. W warunkach laboratoryjnych pierwsze testy wykazały sukces przechowywania energii w grotach solnych przy użyciu specjalnych tworzyw sztucznych. Należy zaznaczyć, że obecnie jedna trzecia całej energii elektrycznej w Niemczech pochodzi z odnawialnych źródeł energii, takich jak energia wiatru.

Podnoszenie wydajności produkcji energii wiąże się również z nowym wyzwaniem dla logistyki. Transport gotowych elementów elektrowni wiatrowych wymaga nie lada wysiłku. Wszystkie przewidywania dotyczące dalszego rozwoju wielkości łopat i wiatraków zostały już dawno przekroczone. Średnice wirników na lądzie wynoszą obecnie od 60 do 70 metrów, podczas gdy średnice wirników na morzu są już dwa razy większe. Firmy, które wykonały już prototypy mogą pochwalić się osiągnięciami na poziomie 8 MW przy średnicy wirnika 164 m. Rozwiązaniem mogą być np.: dwuczęściowe łopatki wirnika z żywicy epoksydowych. Z technicznego punktu widzenia jest to spore wyzwanie, jednak ułatwia transport.



Wyzwaniem są również lokalizacje o słabym wietrze, które wymagają większych łopat wirnika, a dodatkowo wyższa szybkość oraz większe wirniki oznaczają zwiększenie wydajności przy jednoczesnym utrzymaniu kosztów serwisu urządzeń na mniej więcej tym samym poziomie. Ponieważ lokalizacje nadmorskie i inne dobre lokalizacje są już zajęte, turbiny wiatrowe muszą być eksploatowane w lokalizacjach, w których wiatr wieje z minimalną akceptowaną siłą.

Instalacje te wymagają jeszcze większych wirników, aby osiągnąć tą samą wydajność przy znacznie niższych prędkościach wiatru.

Ze względu na długie użytkowanie elektrowni wiatrowych wyzwaniem staje się również sam proces serwisowania i naprawy platform, wierz, gondoli oraz łopat. Te ostatnie są szczególnie narażone na uszkodzenia, ze względu na dynamikę pracy. Coraz częściej poszukuje się rozwiązań pozwalających na redukcję czasu diagnostyki oraz naprawy łopat.



Ważnym czynnikiem są również ograniczenia pogodowe pozwalające na sprawną naprawę łopat i skracaniu czasu postoju elektrowni wiatrowej. Ciekawe rozwiązania zaprezentowano na wystawie w Husum, gdzie firma Structrepair w kontrolowany sposób naprawiła łopatą wirnika w ciągu 30 min.

Niestety, w Polsce energetyka wiatrowa od 2016 roku nie wykazuje wzrostu porównywalnego z europejskim, ale jak przewiduje agencja ICIS w kolejnych latach planowany jest rozwój farm morskich na Bałtyku.

dr inż. Andrzej Czulak



Fot. Andrzej Czulak

Stoisko firmy New Era Materials na kongresie Impact mobility rEvolution'18, Katowice, 12.09.2018r.

kompozyty.net



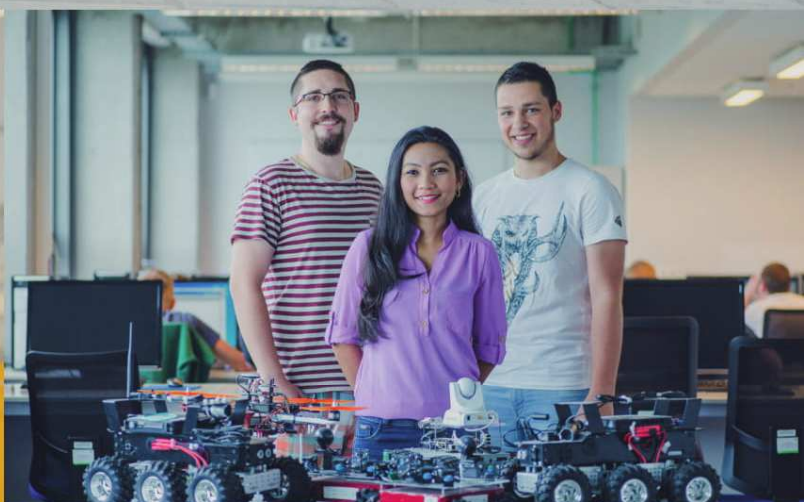
Politechnika
Śląska

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

Praca, moc, energia!

$$E = m \cdot c^2$$



Z nami po sukces!

www.polsl.pl

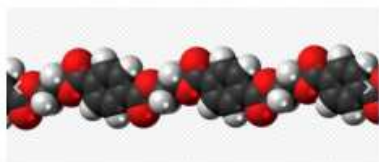


Politereftalan etylenu (PET): produkcja, cena, rynek i jego właściwości

Czym jest politereftalan etylenu (PET)?

Politereftalan etylenu powszechnie znany jako PET lub PETE jest najczęściej stosowanym polimerem na świecie. Jest to naturalnie przezroczyste i półkryształiczne tworzywo sztuczne, szeroko stosowane w produktach codziennego użytku. W przemyśle włókienniczym polimer PET jest lepiej określany mianem "poliestru". Jest szeroko stosowany jako włókno odzieżowe, ponieważ stanowi doskonałą barierę dla wilgoci, a także do butelkowania i pakowania. Największy udział w produkcji tworzyw PET stanowią włókna syntetyczne (do 60%), a pozostałe 30% przypada na produkcję butelek światowego zapotrzebowania.

Materiał PET składa się z polimeryzowanych cząstek monomeru tereftalanu etylenu, a gdy te dodatkowo są połączone z innymi materiałami, takimi jak włókno szklane lub nanorurki węglowe, ich wytrzymałość wzrasta. PET jest uważany za bezpieczny, mocny, lekki, elastyczny i nietoksyczny surowiec, który można łatwo poddać recyklingowi. Tworzywa sztuczne PET stały się światowym numerem jeden w branży opakowań. Jest on powszechnie stosowany do konfekcji wielu produktów spożywczych i napojów, ponieważ jest higieniczny, mocny, lekki, zachowuje świeżość produktów i nie pęka. Najczęściej stosuje się go do pakowania wody i napojów gazowanych. Pojemniki PET można łatwo zidentyfikować na podstawie trójkątnego kodu identyfikacyjnego, który znajduje się na pojemnikach PET (butelki lub słoiki).



Historia żywicy PET

Obecnie politereftalan etylenu (PET) stał się jednym z najszerzej stosowanych, uniwersalnych i godnych zaufania tworzyw sztucznych na świecie. Ponad połowę światowego popytu na włókna i butelki syntetyczne zaspokajają tworzywa PET. PET został po raz pierwszy przygotowany w Stanach Zjednoczonych w połowie lat 40. ubiegłego wieku, kiedy to naukowcy poszukiwali polimeru, który mógłby być wykorzystywany do produkcji nowych polimerów tekstylnych. Później te poliestry zostały nazwane przez DuPont "Dacron". Ponadto pod koniec lat 50-tych naukowcy znaleźli sposób na rozciągnięcie cienkiego wytłaczanego arkusza PET w celu stworzenia folii, który jest obecnie szeroko stosowany jako folie rentgenowskie lub fotograficzne. Do lat siedemdziesiątych XX wieku opracowano nową technologię formowania PET w mocne i lekkie butelki, a w 1977r. wyprodukowano również butelki PET z recyklingu.

Produkcja żywicy PET

Politereftalan etylenu (PET) jest produkowany głównie w drodze polimeryzacji glikolu etylenowego i kwasu tereftalowego. Glikol etylenowy i kwas tereftalowy są uważane za elementy składowe żywicy PET. Ponadto żywice te są podgrzewane do temperatury topienia, która może być łatwo formowana w przedmioty o dowolnym kształcie. Obecność dużych pierścieni benzenowych w procesie dodaje polimerom elementom wykonanym z PET sztywności i wytrzymałości, zwłaszcza gdy łańcuchy polimerowe ułożone są równolegle względem siebie.

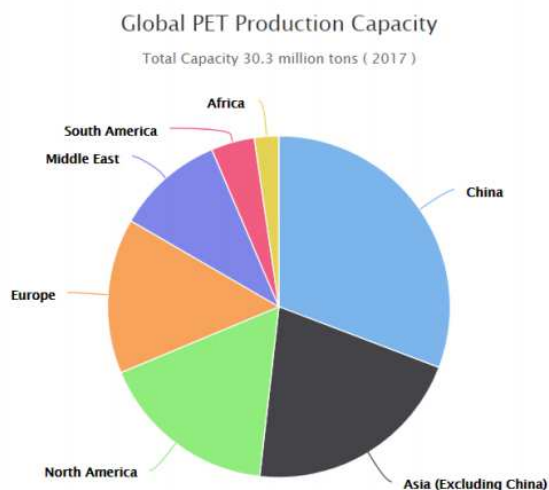
Mówiąc dokładniej, gdy dwa surowce - glikol etylenowy PET i kwas tereftalowy - połączone są w podciśnieniu i przy wysokiej temperaturze, powstają długie łańcuchy polimeru. W miarę zagęszczania mieszanek powstają dłuższe łańcuchy i proces ten zostaje zatrzymany po osiągnięciu odpowiedniego łańcucha. Ponadto, kiedy polimer PET jest trzymany w wyższych temperaturach, zaczyna krystalizować, staje się nieprzezroczysty i bardziej sztywny. Ta skryształizowana forma PET jest używana do przygotowywania innych produktów, takich jak pojemniki i tace, które mogą być również ponownie podgrzewane.

Światowa produkcja i rynek żywicy PET

W 2017 roku światowe moce produkcyjne żywicy PET wyniosły 30,3 mln ton. Światowa produkcja zdominowana była przez Chiny, które odpowiadały za 30,8% całkowitej produkcji polimerów PET. Na region azjatycki, z wyłączeniem Chin, przypadało 21% udziału w produkcji.

Region Ameryki Północnej miał 16,9% udziału w rynku wraz z wiodącym krajem produkującym w Stanach Zjednoczonych. Nowa fabryka PET firmy MG Chemical of Corpus Christi w Teksasie (USA) ma światową skalę i zdolność produkcyjną wynoszącą 1,1 mln ton rocznie.

Na region europejski przypadło 14,7% całkowitych mocy produkcyjnych PET, a następnie Bliski Wschód (10,2%), Ameryka Południowa (4,1%) i Afryka (2,3%).



W produkcji polimerów PET dominuje niewiele firm. Indorama Ventures była największym na świecie producentem polimerów PET o zdolnościach produkcyjnych 4,2 mln ton w 2017 roku. Inne wiodące firmy to MG Chemical o zdolności produkcyjnej 2,7 mln ton, Zhejiang Yisheng Petrochemical Co (2,5 mln ton), Sang Fang Xiang (2,1 mln ton) i DAK America (1,8 mln ton).

Rynek żywicy PET

Chiny są nie tylko największym na świecie producentem żywicy PET, ale również największym konsumentem. Rynek żywicy PET jest napędzany przez sektor napojów butelkowanych oraz folii i arkuszy. Rynek żywicy PET wraz z rPET w 2016 roku wyniósł 23,5 mln ton.

Na rynku produktów końcowych dominowała butelkowana woda, której udział w rynku wyniósł 26,3%. W porównaniu do butelek CSD (Carbonated Soft Drink) udział tego produktu w żywicy PET wyniósł 26,1%. Przesłanie się na spożywanie więcej wody butelkowanej niż gazowanego napoju

- Dobra stabilność dzięki niskiej absorpcji wody,
- Niska absorpcja wody (z wyjątkiem nylonów),
- Doskonała odporność na chemikalia (kwasy i zasady rozcieńczone, oleje i smary, węglowodory i alkohole),
- Dobra stabilność koloru i właściwości ściernie.

Podstawowe właściwości fizyczne materiałów PET:

- Wytrzymałość na rozciąganie 2,5 MPa i udarność 1,5-3,5 KJ/m²,
- Współczynnik rozszerzalności cieplnej $70 \cdot 10^{-6}$ 1/K,
- Gęstość 1,37 g/cm³.

PET jest tworzywem sztucznym naturalnie przezroczystym. Wyjątkowe właściwości żywicy PET polegają na tym, że nie wchodzi w reakcję z wodą i żywnością, co sprawia, że nadają się do opakowań konsumpcyjnych. Może być półsztywny do sztywnego i jest bardzo lekki. Jest ono odporne na pękanie, co oznacza, że są dobrym zamiennikiem dla pojemników na gaz.

Top 5 Companies PET Resin Production Capacity

(In 2017)

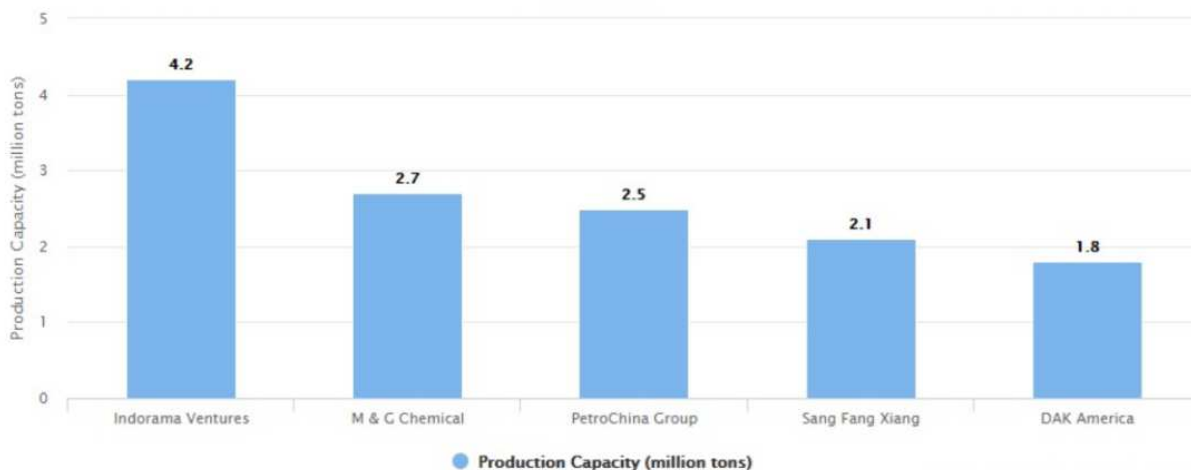


Fig. 2 | PlasticsInsight.com | Data Source: Industry

bezalkoholowego wynika z tego, że konsumenci stają się być coraz zdrowsi i zmniejszają spożycie cukru.

Pozostałe główne sektory, w których spożywano żywicę PET to: folia i arkusze (13,8 %), żywność (9,1 %) oraz produkty nieżywnościowe (6,1 %).

Przewiduje się, że w nadchodzących latach rynek opakowań z PET będzie się powiększać, ponieważ opakowania z PET coraz częściej zastępują szkło i metalowe pojemniki. Czynnikiem napędzającym stosowanie pojemników PET w krajach rozwijających się jest rosnący dochód i zmieniający się styl życia.

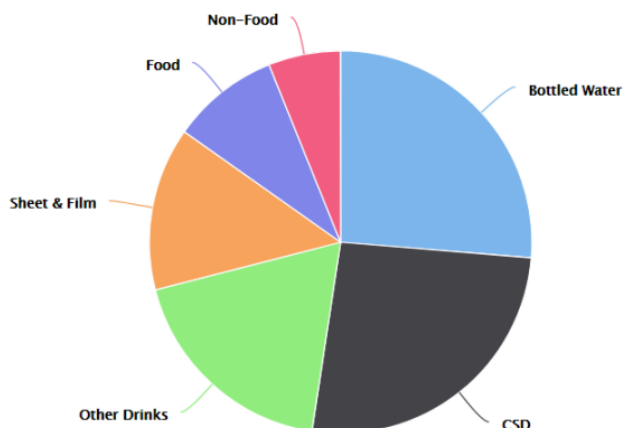
Właściwości żywicy PET

Tworzywa sztuczne PET są tworzywem konstrukcyjnym o wysokiej wytrzymałości i sztywności, przeznaczonym do szerokiego zakresu zastosowań. Tworzywa sztuczne PET są powszechnie stosowanymi tworzywami termoplastycznymi, szczególnie w przemyśle opakowaniowym i tekstylnym. Polimery te są uprzywilejowane w stosunku do innych ze względu na ich właściwości różniące:

- Dobra odporność termiczna i niskie pękanie nawet w podwyższonych temperaturach,

Global PET Consumption by End-Segment

Total Consumption 23.5 million tons (2016)



Zastosowania żywicy PET

Żywice PET są polimerami wydajnościowymi. Oferują one szeroki zakres zastosowań na rynkach końcowych. Tworzywa sztuczne PET zajmują znaczącą pozycję na takich rynkach jak transport, przemysł motoryzacyjny, elektryczny/elektroniczny, urządzenia gospodarstwa domowego, opakowania i przemysł tekstylny.

Ponieważ materiał PET jest doskonałą barierą dla wody i wilgoci, jest on szeroko stosowany w przemyśle opakowaniowym, zwłaszcza do opakowań konsumpcyjnych (butelki z wodą, napoje bezalkoholowe, pakowana żywność). Wysoka wytrzymałość mechaniczna polimerów sprawia, że folie PET znajdują zastosowanie w taśmach, takich jak nośniki taśm magnetycznych lub nośniki taśm samoprzylepnych, które są wrażliwe na nacisk. Krystalizowane tworzywa PET stosowane są do produkcji blach, które są odporne zarówno na temperatury zamarzania jak i pieczenia w piekarniku.

Żywice PET są podgrzewane do stopionej cieczy, a następnie łatwo wytłaczane do pożądanego kształtu. Żywice PET wykonane z połączenia cząsteczek szklanych lub włókien szklanych okazują się trwalsze i wytrzymalsze. Żywice te są stosowane w różnych sektorach w zależności od ich właściwości, co jest wymogiem produktu. Do najważniejszych i wielkoskalowych zastosowań tworzyw PET należą m.in.:

• Druk trójwymiarowy

Politereftalan etylenu jest mocnym i elastycznym polimerem, który doskonale nadaje się do druku 3D. Druk trójwymiarowy wymaga połączenia elastyczności i wytrzymałości, które można łatwo osiągnąć przy użyciu żywicy PET. PET jest powszechnie znany z emitowania mniejszego zapachu niż jakiegokolwiek inny materiał, taki jak akrylonitryl-butadien-styren (ABS) lub kwas polilaktowy (PLA) stosowany w druku 3D.

• Formowanie wtryskowe

Politereftalan etylenu jest szeroko stosowany w technice wtryskiwania tworzyw sztucznych w postaci granulek do produkcji wyrobów o skomplikowanych kształtach. Właściwości materiału PET sprawiają, że nadaje się on do procesu formowania wtryskowego. Ponieważ PET jest higroskopijny, musi być osuszony przed użyciem w maszynie formierskiej. Skurcz tworzywa PET jest niski, ale zależy również od wielu czynników, takich jak temperatura, czas wiązania, grubość ścianek formy, temperatura formy i rodzaj zastosowanych dodatków.

• Obróbka CNC

Materiały PET są szeroko stosowane jako zapasy arkuszy do maszyn CNC. Maszyna CNC jest używana do wytwarzania wielu produktów, w których materiał PET jest używany jako podstawowy materiał w procesie produkcyjnym.

Wyroby z żywicy PET:

• Folia i arkusz PET

Politereftalan etylenu jest przede wszystkim wykorzystywany do produkcji arkuszy i folii, które są następnie wykorzystywane do produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych. Folia i arkusze PET są powszechnie stosowanymi arkuszami z tworzyw termoplastycznych, ponieważ oferują szereg korzyści, takie jak:

- Folia PET wraz z arkuszami zapewniają wysoką barierowość, doskonałe właściwości chemiczne oraz wytrzymałość na rozciąganie,
- Można je łatwo modyfikować w kształtach butelek lub innych plastikowych materiałów eksploatacyjnych,
- Oferują one większą stabilność i odporność na rozrywanie produktu,
- Są to folie lekkie i tańsze.

Folie PET są stosowane na bardzo szeroką skalę na całym świecie, ale nadal istnieją pewne ograniczenia dostępne w przypadku tych folii, które działają w zależności od ich zastosowania. Folia PET mogą być toksyczne, ponieważ mogą uwalniać ftalany w niektórych przypadkach, co może mieć wpływ na konsumpcyjne produkty żywnościowe. Innym problemem, z którym boryka się również stosowanie folii i arkuszy PET, jest przepuszczalność gazu. Przepuszczalność gazu często powoduje problemy z pakowaniem gazowanych napojów bezalkoholowych.

• Butelka PET

Większa część produkowanej żywicy PET jest wykorzystywana do produkcji butelek PET. Te butelki lub pojemniki są używane do szerokiej gamy produktów konsumpcyjnych, takich jak napoje bezalkoholowe, napoje alkoholowe, detergenty, leki i kosmetyki. Produkowane butelki z tworzyw PET można podzielić na dwie szerokie kategorie: butelki z wodą butelkowaną i napoje bezalkoholowe gazowane. Butelki wykonane z żywicy PET można łatwo poddać recyklingowi i ponownie wykorzystać do produkcji nowego produktu. Butelki PET są maksymalnym produktem z tworzyw sztucznych w segmencie końcowym rynku tworzyw sztucznych. Nadmiar produkcji plastikowych butelek PET w ostatnich latach zaczął oddziaływać na nasze środowisko (wysypiska śmieci i oceany lub inne zbiorniki wodne). W celu utrzymania równowagi w stosowaniu butelek PET recykling stał się koniecznością. Recykling PET może być dalej wykorzystywany do wytwarzania produktów niższej jakości, takich jak dywany, pojemniki lub butelki PET niższej jakości.

Korzyści z butelek PET:

- Są lekkie, łatwe w transporcie i bezpieczne w użyciu,
- Można je łatwo ponownie uszczelnić lub poddać recyklingowi w celu wyprodukowania nowych produktów,
- Butelki PET można łatwo formować na różne złożone kształty,
- Produkcja butelek PET z wykorzystaniem żywicy PET zapewnia producentom wysoki poziom elastyczności,
- Są one niedrogie i łatwo dostępne.

Nadmiar produkcji butelek PET w ostatnich latach zaczął oddziaływać na nasze środowisko (wysypiska śmieci i oceany lub inne zbiorniki wodne). W celu utrzymania równowagi w stosowaniu butelek PET recykling stał się koniecznością. Recykling PET może być dalej wykorzystywany do wytwarzania produktów niższej jakości, takich jak dywany, pojemniki lub butelki PET niższej jakości.

Zalety i wady żywicy PET

Politereftalan etylenu oferuje szeroki zakres zastosowań, szczególnie w sektorze opakowań. Żywice PET są powszechnie stosowane w produkcji butelek, pojemników i taśm opakowaniowych. Okazuje się doskonałym materiałem barierowym, zapobiegającym transferowi chemikaliów, co czyni go najbardziej odpowiednim dla przemysłu spożywczego i kosmetycznego. Żywica PET jest powszechnie stosowanym tworzywem termoplastycznym, ponieważ oferuje wiele korzyści, takich jak:

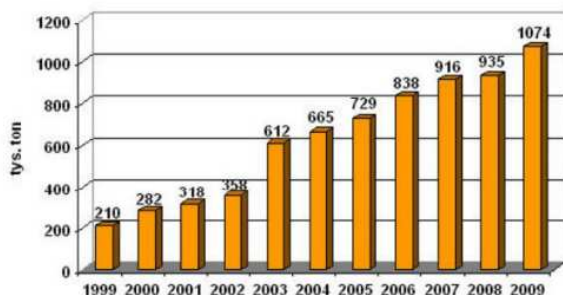
- Polimery są łatwo dostępne i niedrogie,
- Polimery PET są bardzo odporne na wilgoć i odporne chemicznie na substancje organiczne i wodę,
- Charakteryzuje się wysokim stosunkiem wytrzymałości do wagi,
- Jest wysoce przezroczysty i odporny na pękanie (nie pęka jak opakowanie szklane),
- Materiały PET są w różnych kształtach i kolorach, które oferują dobry wybór w produkcji atrakcyjnych produktów.

Politereftalan etylenu można łatwo poddać recyklingowi. Tworzywa PET są jednym z najczęściej odzyskiwanych tworzyw sztucznych i są ponownie wykorzystywane do produkcji takich produktów jak pojemniki, izolacja śpiworów, tkaniny poliestrowe, dywany itp.

Chociaż politereftalan etylenu jest maksymalnie używanym tworzywem termoplastycznym i jest stosowany prawie we wszystkich produktach z tworzyw sztucznych, które są używane

w naszym codziennym życiu, polimery te mają pewne ograniczenia, takie jak:

- W porównaniu do innych polimerów polimer PET ma niższą odporność termiczną,
- Żywice PET są nawet podatne na utlenianie. Na przykład nie są one używane do przechowywania piwa lub wina, ponieważ ich okres przydatności do spożycia jest tak długi, że może dojść do degradacji smaku,
- Tworzywa PET nie ulegają biodegradacji, co może być dobre lub złe w zależności od ich zastosowania.



Recykling butelek PET w krajach UE

Recykling żywicy PET

Recykling produktów z tworzyw termoplastycznych jest powszechny w ostatnich latach. Termoplasty, takie jak żywice PET, są stosunkowo łatwe do recyklingu, ponieważ łańcuch polimerowy ulega łatwo rozkładowi w niskich temperaturach. Tworzywa PET są poddawane recyklingowi na bardzo szeroką skalę na całym świecie. Recykling politereftalanu etylenu określa się mianem RPET (recyklowany politereftalan etylenu). Według PETRA (PET Resin Association), amerykański wskaźnik recyklingu PET wynosi około 30%, a w Unii Europejskiej prawie 52%. W 2015 r. na całym świecie poddano recyklingowi prawie 1,8 mld PET, który wykorzystano do produkcji różnych produktów końcowych.

Proces recyklingu PET może być różny dla różnych zakładów, ale ogólne etapy tego procesu są następujące:

- Butelki są segregowane indywidualnie, a niechciane materiały są usuwane ręcznie lub za pomocą zautomatyzowanego systemu,
- Aby zapobiec wszelkim zanieczyszczeniom, butelki są dokładnie czyszczone wewnątrz i na zewnątrz w celu usunięcia wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń,
- Po oczyszczeniu butelki są sortowane przy użyciu techniki promieniowania podczerwonego w celu określenia rodzaju polimerów obecnych w butelkach. Butelki są również sortowane według koloru (niebieski, naturalny zielony lub mieszany),
- Kolejne butelki rozdrabnia się na płatki, które należy ponownie umyć. Nawet ten krok może zostać pominięty i butelki mogą być bezpośrednio stopione, aby uzyskać różne kształty,
- W końcu rozdrobniony PET, tworzywa sztuczne są topione w celu dalszej produkcji granulatu z tworzyw sztucznych.

RPET produkowany po recyklingu żywicy PET jest wykorzystywany do produkcji szeregu produktów segmentu końcowego, takich jak części samochodowe, pojemniki PET, arkusze i folie, taśmy przemysłowe, bagaż, włókna dywanowe z poliestru oraz w odzieży (koszulki, odzież sportowa, obuwie sportowe itp.).

Korzyści środowiskowe recyklingu

Recykling PET może być bardzo pomocny dla zrównoważonego rozwoju. Może pomóc w osiągnięciu równowagi w ekosystemie, która jest silnie zaburzona przez nadmiar produkcji tworzyw sztucznych. Recykling PET może przyczynić się do zmniejszenia zależności od ropy naftowej i gazu, zmniejszenia ilości odpadów pochodzących z oceanów i wysypisk oraz emisji gazów cieplarnianych do atmosfery.

dr inż. Andrzej Czulak

Design w kompozytach

„Kto poczuje się lepiej na stacji benzynowej, wsiadając do pociągu, chodząc po mieście – skorzystał z pracy designera. Nie jestem celebrytą: nie stać mnie, żeby jeździć którymkolwiek z modeli Ferrari... Słowo 'design' weszło do polszczyzny w ubłoconych butach, ja chcę je oczyścić. Designer to nie wylansowany gość bywający w modnych klubach. Projektant to fascynujący zawód... najlepszy sposób przewidywania przyszłości to tworzyć ją samemu.”

„Design”
Janusz Kaniewski

W projektowaniu liczą się dwie najważniejsze kwestie, wyobraźnia i zrozumienie potrzeb klienta. Współczesne materiały pozwalają na kształtowanie dowolnej formy. Jednym z materiałów na które warto zwrócić uwagę są kompozyty. Pozwalają one na optymalne zaprojektowanie struktury pozwalającej na zachowanie określonych własności termicznych oraz lekkości przedmiotu. Należy zwrócić uwagę na fakt, że elementy kompozytowe są często zbudowane z laminatu warstwowego wzmocnionego włóknami.

Najczęściej stosowanym kompozytem jest karbon. Lekki, a jednocześnie wytrzymały w formie maty z włókien węglowych usztywnionych żywicą epoksydową, utorował drogę w wielu branżach przemysłu. Ten niezwykły materiał może być wykorzystywany w wielu gałęziach, nie tylko przemysłu ale również życia. Historia karbonu sięga roku 1963. W latach 60 XX w. zaczął być wykorzystywany przez NASA oraz branży lotniczej. Głównym minusem zastosowania karbonu była droga produkcja i tylko dwie branże wykorzystywały tę technologię. W latach 80 XX w. karbon był i jest do dziś wykorzystywany w bolidach F1, ze względu na jego rewelacyjne właściwości i wspomnianą wagę. W 1981 roku zbudowano pierwszy bolid z karbonu przez zespół McLarena.

Obecnie to samochody sportowe oraz elementy części rowerowych i sportów wyczynowych najlepiej testują właściwości karbonu. Dzięki temu karbon wkracza również do salonów, zastępując zastawę stołową oraz przedmioty użytkowe. Karbon w XXI wieku jest obecny nie tylko w bolidach F1, ale również na drogach publicznych w prywatnych modelach różnego rodzaju pojazdów.

Jest to materiał, który występuje w formie plecionej tkaniny z włókna pojedynczego, zbudowanego z 12 tys. pojedynczych nitów włókna węglowego, określa się je mianem 12k. Grubość oczek mieści się w przedziale od 0,005 do 0,010 mm, czyli 1/10 grubości włosa. Formę karbonu wyróżnia również splot tkaniny określany np. Plain Weave lub Twill Weave.

Splot wpływa na charakter procesu wytwarzania oraz wygląd i wytrzymałość. Wyróżniamy trzy odmiany.

Jednokierunkową, charakteryzującą się wysoką wytrzymałością wzdłuż włókien, ale małą w poprzek, która

sprawdza się doskonale w przypadku obciążenia w jednym wymiarze. Jeżeli poszukujemy wysokiej wytrzymałości, warstwy powinny być układane pod różnymi kątami.

Innym rodzajem splotu jest twill, w którym włókna krzyżują się pod kątem 90 stopni i charakteryzują się wielokierunkową wytrzymałością. Ostatnim splotem jest plain, który ma małą rozciągliwość i przeznaczony jest do prostych kształtów.

Jednak aby uzyskać oczekiwaną formę mata powinna być poddana odpowiedniej obróbce ponieważ samodzielnie jest tylko półproduktem, któremu nie da się nadać stałego kształtu ze względu na wiotkość. Aby uzyskać oczekiwany, zaprojektowany kształt należy ją nasączyć żywicą epoksydową. Liczba warstw oraz ich ułożenie, a także ilość wykorzystanej żywicy odpowiadają za finalny produkt i jego jakość.

Współcześnie włókna węglowe można wykorzystać praktycznie do każdego rodzaju elementu od noża do zestawu sushi, okularów przeciwsłonecznych, indywidualnego zestawu do cygar lub eleganckiego pióra pasującego do prywatnego ferrari, aż po wyposażenie samochodów, ich konstrukcję, przemysł lotniczy oraz budowlany. Za sprawą przystępnej ceny karbon zaczyna być szerzej stosowany. Na początku elementy takie były bardzo drogie, a ich cena była niewspółmierna do jakości produktu. W XXI w. przemysł uczynił znaczny postęp w projektowaniu i wykonywaniu elementów z karbonu, który niebawem stanie się częścią większości przedmiotów z których korzystamy w życiu codziennym, dzięki opracowaniu doskonalszych metod łączenia tego materiału. Obecnie powstają przedmioty i elementy lepsze jakościowo, często o skomplikowanych i trudnych technologicznie kształtach.

W produkcji np. części samochodowych karbon ma dużą przewagę nad dopracowaną już technologią produkcji elementów aluminiowych, ponieważ tłumi mikrodrżania, czego nie robi aluminium oraz jest znacznie lżejszy.

Jeżeli chodzi o metody wytwarzania elementów z karbonu, obecnie najpopularniejszą jest metoda Monocoque, czyli skorupowa. Elementy w tej technologii są wykonane w jednym kawałku w specjalnie przygotowanej do tego celu formie i kolejno wypiekane. Rdzeniem formy jest pianka lub silikonowe elementy

tw. balony. Technologia ta daje możliwość kształtowania nieograniczonych kształtów. Dzięki oprogramowaniu komputerowemu możliwe jest obliczenie przebiegu warstw tkaniny karbonu. Elementy wykonane z karbonu są bardzo wytrzymałe, ponieważ nie posiadają łączeń i mają możliwość odpowiedniego ułożenia włókien w obciążonych miejscach.

Technologia produkcji z karbonu sprawia, że otrzymujemy trwałą i spójną strukturę kompozytową. Jednak problemem jest tworzenie nowej formy do innej wielkości przedmiotu. Stąd też chcąc uzyskać zestaw przedmiotów, tworzących grupę, inwestor musi się liczyć z początkowym nakładem kosztów. W dalsze produkcji koszty są niższe ponieważ posiadamy już formy. Każdy kolejny element tworzy się również ręcznie, poprzez szlifowanie, szpachlowanie oraz malowanie i doprowadzenie do efektu końcowego jaki projektant chciał uzyskać.

Zatem podsumowując, projektowanie w kompozytach kształtuje przyszłość XXI wieku. W poszukiwaniu lekkości i subtelności materiału, a także doskonałości przedmiotu materiał ten jest kluczowy w dalszym rozwoju cywilizacyjnym. Niegdyś aluminium zastąpiło stal ze względu na swoje właściwości. Obecnie kompozyty zastępują elementy aluminiowe, wkraczając na nowe nienazwane obszary futurystycznych rozwiązań w przemyśle i życiu codziennym.

dr inż. arch. Dariusz Kronowski



Metalowe Materiały Kompozytowe – wybrane przykłady wdrożeń, nowe rozwiązania

Zapoczątkowane w latach 70-tych XX wieku prace badawcze zaowocowały opracowaniem nowych materiałów konstrukcyjnych, które znajdują zastosowanie przede wszystkim w przemyśle kosmicznym, lotniczym i motoryzacyjnym. Mowa tutaj o metalowych materiałach kompozytowych (ang. MMCs – metal matrix composites).

Najbardziej spektakularnym zastosowaniem kompozytów o osnowie metalowej było wykorzystanie rur kompozytowych wykonanych ze stopu aluminium zbrojonego włóknami boru do konstrukcji kratownicy wzmacniającej komorę ładunkową promów kosmicznych (rys.1a) oraz wysięgnik anteny teleskopu Hubble'a wykonany z kompozytu o osnowie stopu Al6061 zbrojonego włóknami grafitu (rys. 1b).

Główne zalety MMCs w porównaniu z niezbrojonym materiałem osnowy to: podwyższona wytrzymałość, większa sztywność, podwyższona odporność na zużycie tribologiczne, lepsze właściwości mechaniczne, stabilność wymiarowa w podwyższonych temperaturach oraz korzystny stosunek gęstości do poziomu uzyskiwanych właściwości.

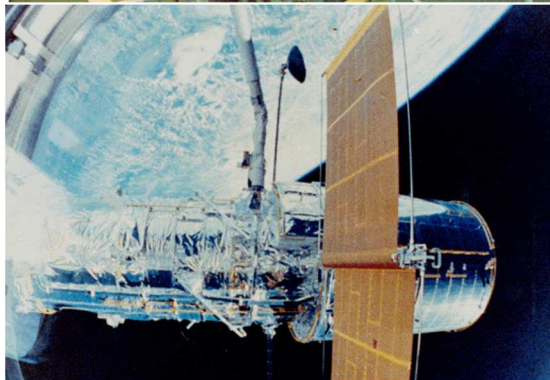
„Sprowadzone z kosmosu na ziemię” znalazły zastosowanie zwłaszcza:

- w przemyśle motoryzacyjnym jako materiały: na tłoki, tarcze i bębny hamulcowe;
- w przemyśle lotniczym jako materiały na części do samolotów wojskowych i cywilnych, takie jak: elementy nośne, obudowy skrzyń biegów, łopatki wentylatora i sprężarki;
- w przemyśle elektrotechnicznym jako materiały stosowane na radiatory i obudowy urządzeń elektrycznych.

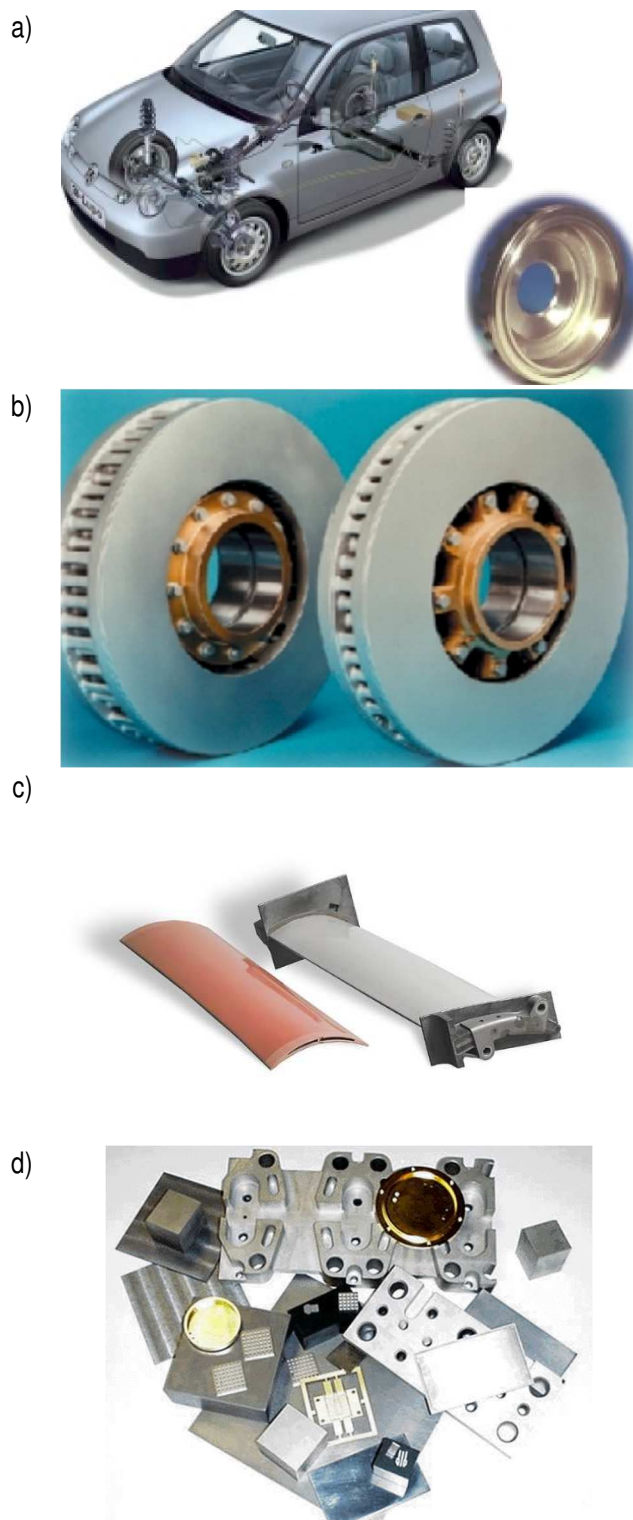
a)



b)



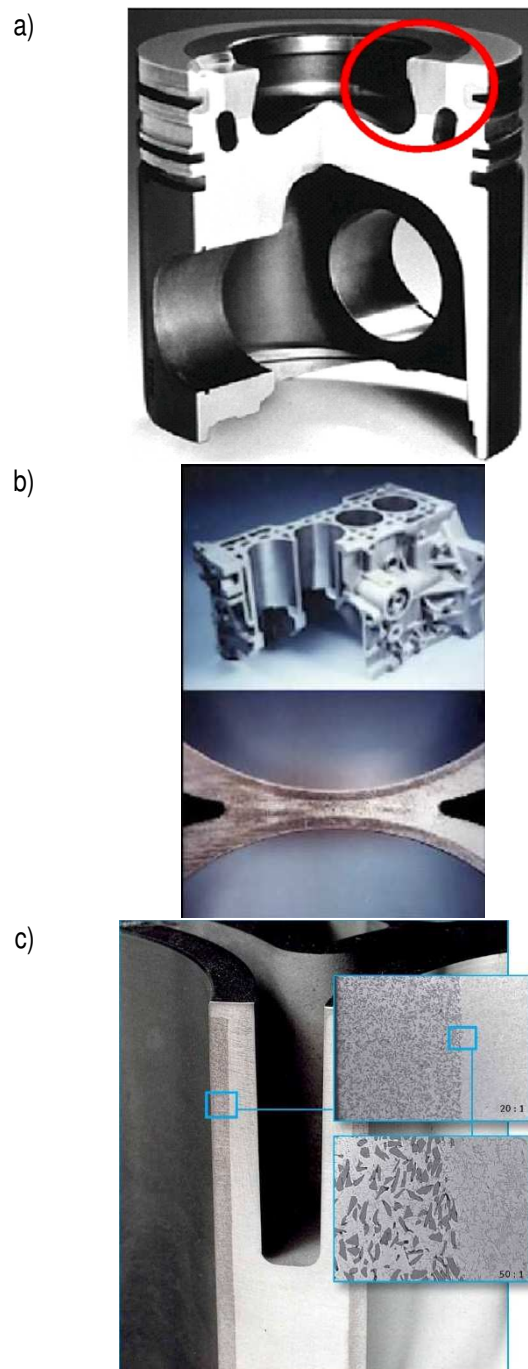
Rys. 1. Przykłady zastosowania MMCs: a) rury B/Al zastosowane w kratownicy wzmacniającej komorę ładunkową promów kosmicznych; b) wysięgnik anteny wykonany z kompozytu Gr/Al



Rys. 2. Przykłady zastosowania AIMCs w różnych dziedzinach przemysłu: a) kompozytowy bęben hamulcowy^{II}, b) kompozytowe tarcze hamulcowe wagonu kolejowego niemieckiego superekspresu ICE-2^{II}, c) łopatki układu wlotowego (FEGVs) w silniku Pratt & Whitney's PW4000^{II}, d) radiatory^I

Największą grupę wśród kompozytów o osnowie metalowej stanowią materiały o osnowie stopów aluminium (ang. AIMCs – aluminium matrix composites), głównie ze względu na korzystne właściwości, takie jak: niska gęstość, dobre przewodnictwo cieplne, duża wytrzymałość na ścinanie, odporność na ścieranie oraz zdolność do formowania i obróbki na konwencjonalnych

urządzeniach. Dzięki temu kompozyty o osnowie stopów Al mogą zastępować materiały monolityczne takie jak aluminium, żelazo, stopy tytanu i kompozyty o osnowie polimerowej.



Rys. 3. Przykłady zastosowania lokalnego zbrojenia: a) aluminiowy tłok zbrojony lokalnie wkładką kompozytową^{IV}, b) aluminiowy blok silnika zbrojony lokalnie w obszarze tulei cylindrowych^{III}, c) struktura tulei cylindrowej w obszarze zbrojenia^V

Należy jednak nadmienić, że poprawa właściwości użytkowych niektórych części maszyn, takich jak: tuleje, tłoki czy łożyska jest związana głównie z odpowiednim ukształtowaniem struktury i właściwości wybranych obszarów, szczególnie tych narażonych na pracę w złożonym stanie obciążeń. Przykładem praktycznego wykorzystania tego typu rozwiązań są lokalnie wzmocnione tłoki i bloki silników wytwarzane w procesach wysokociśnieniowej infiltracji preform ceramicznych ciekłym stopem Al, (rys. 3). Tego

rodzaju elementy kompozytowe wykorzystano do produkcji tulei cylindrycznych w silnikach Hondy Prelude 2.3 L i Toyoty Celica. Co istotne, zastosowanie preformy z 12 % udziałem krótkich włókien Al_2O_3 i 9 % udziałem włókien węglowych pozwoliło na obniżenie masy bloku silnika, poprawę warunków chłodzenia oraz zmniejszenie zużycia w warunkach tarcia.

Jednak w porównaniu z metodami odlewniczymi, metody infiltracji wysokociśnieniowej są o 1/3, a w produkcji wielkoseryjnej nawet o połowę droższe. Dlatego też nadal wiele ośrodków naukowych, zarówno krajowych jak i zagranicznych, prowadzi prace badawcze celem opracowania wydajnych i ekonomicznych procesów wytwarzania wyrobów z kompozytów AIMCs.

Obecnie duży nacisk kładzie się na rozwój technologii „net shape” lub „near net shape”, które pozwalają wyeliminować lub

w znacznym stopniu ograniczyć konieczność stosowania obróbki wykończeniowej wyrobów, tym samym zmniejszyć ilość odpadów, a finalnie obniżyć koszty produkcji.

Nowe obszary badań w zakresie metalowych materiałów kompozytowych obejmują zagadnienia związane między innymi z:

- wytwarzaniem kompozytów wielofazowych zbudowanych z trzech lub więcej składników, zawierających osnowę i różne co do właściwości typy zbrojenia, tzw. kompozyty hybrydowe, heterofazowe (*ang. hybrid composites*),
- projektowaniem struktur przestrzennych i opracowaniem ekonomicznej technologii wytwarzania materiałów o wzajemnie

przenikających się fazach, np. metalowej i ceramicznej, kompozyty IPCs (*ang. interpenetrating phase composites*);

- opracowaniem efektywnych metod wytwarzania funkcjonalnych kompozytów o celowo ukształtowanej, niejednorodnej strukturze warstwowej lub gradientowej, zapewniającej stopniową (ciągłą) lub dyskretną (skokową) zmianę właściwości, (*ang. functionally gradient composites*);

- wytwarzaniem elementów konstrukcyjnych wzmocnionych lokalnie warstwą kompozytową w obszarach silnie narażonych na zużycie.

dr hab. inż. Anna Janina Dolata

dr inż. Maciej Dyzia

Politechnika Śląska,

Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii

Źródła:

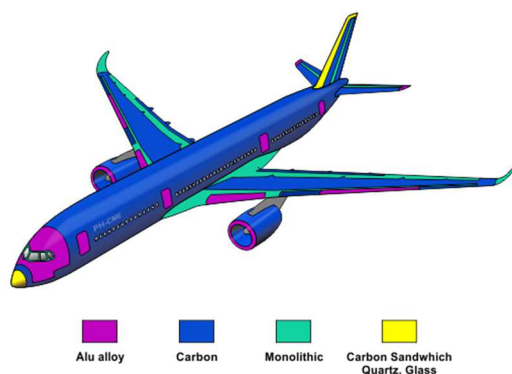
- I. <http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/0104/Rawal-0104.html>
- II. <http://mmc-assess.tuwien.ac.at>
- III. <https://www.dwa-usa.com/pratt-and-whitney-fan-exit-guide-vanes.html>
- IV. <https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mat/department/news/materialsday/materialsday-2001-beffort.pdf>
- V. <http://focusello.ru/blok-cilindrov/vidy-i-tekhnologii-rab.html>

Materiały kompozytowe w lotnictwie – analiza rynku

Przemysł lotniczy to najmocniejszy i najszybciej rozwijający się rynek konstrukcji lekkich, gdzie komponenty kompozytowe wykorzystywane są zarówno w konstrukcjach wewnętrznych jak i zewnętrznych samolotów. Te wewnętrzne (secondary structures) obejmują elementy kabiny, takie jak panele podłogowe, pojemniki na bagaż, wózki, sufity, panele ściennie, fotele i inne konstrukcje. Jednak to zewnętrzne zastosowania (primary structures) stanowią główny rynek materiałów kompozytowych stosowanych w lotnictwie. Wzrastające zapotrzebowanie na kompozyty wzmacniane włóknem węglowym w strukturach lotniczych jest spowodowane bardzo dobrym stosunkiem wytrzymałości do masy elementów kompozytów włóknistych pozwalającym na znaczne oszczędności paliwa, lepsze osiągi, oraz prostszy i szybszy serwis dzięki integracji funkcji w elementach pozwalających w efekcie na redukcję ich liczby.

Przewiduje się, że rynek materiałów kompozytowych w przemyśle lotniczym osiągnie w przybliżeniu 32 mld USD w 2021 r. przy CAGR 8,95% (skumulowany roczny wskaźnik wzrostu). Obniżenie masy oraz wzrost zapotrzebowania na wysokowytrzymałe kompozyty jest głównie spowodowane wprowadzeniem nowych norm ograniczających spalanie oraz

emisję dwutlenku węgla do atmosfery. Dzięki temu, kompozyty z włókna węglowego mają obecnie największy udział zarówno w rynku lotniczym jak i kosmicznym w stosunku do innych branż i jest duża szansa, że w najbliższym czasie jeszcze się zwiększy.



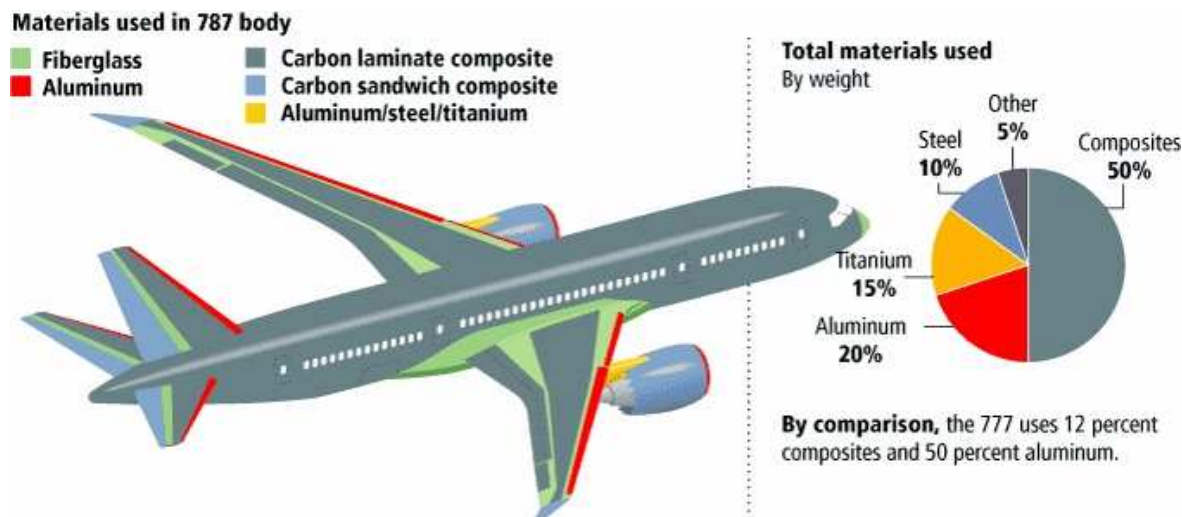
Rys. 1. Zastosowane materiały w samolocie Airbus A350 źródło: airliners.net

Najwięksi producenci samolotów pasażerskich, Airbus i Boeing w najnowszych swoich produktach (A350 i Dreamliner 787)

zastosowali więcej niż 50% struktur kompozytowych co oczywiście generuje wzrost zapotrzebowania na samo włókno węglowe oraz żywice epoksydowe [Rys. 1, 2].

Ponadto oczekuje się, że kończące się właśnie projekty lotnicze, obniżenie kosztów surowców stosowanych do produkcji włókna węglowego, oraz zwiększenie udziału struktur

Toray Industries, która powiększyła zakład produkcyjny włókien węglowych i prepegów w Stanach Zjednoczonych, aby zagwarantować stabilną dostawę komponentów do produkcji samolotów Boeing 787. Co więcej, udział firm amerykańskich w ryku kompozytów w prognozowanym okresie ma jeszcze wzrosnąć ze względu na niskie stopy procentowe i stabilną



Rys. 2. Zastosowane materiały w samolocie Boeing 787 ; źródło: wikipedia.org

kompozytowych w kolejnych wersjach samolotów pasażerskich zarówno w strukturach nośnych, jak również w elementach wyposażenia wnętrz dodatkowo będą stymulatorem zapotrzebowania na włókno węglowe [Rys. 3].

Oczywiście największy udział w rynku produkcji materiałów kompozytowych dla przemysłu lotniczego ma Ameryka Północna. Jest to spowodowane nie tylko obecnością dużej liczby producentów materiałów kompozytowych, ale również wprowadzeniem przez rządy przepisów wymagających od linii lotniczych preferowania samolotów przyjaznych dla środowiska.

Światowe zapotrzebowanie na kompozyty polimerowe wzmacniane włóknem węglowym w latach 2010-2020



Rys. 3. Prognoza światowego wzrostu zapotrzebowania na kompozyty węglowe

Dlatego można zauważyć, że branża technologii kompozytowych koncentruje się obecnie, na zwiększeniu zdolności produkcyjnych w celu zaspokojenia dużego zapotrzebowania rynku lotniczego. Przykładem może być firma

gospodarkę, powiększenie budżetu przeznaczanego na obronność, wzrost dostaw nowych samolotów oraz wymianę starych samolotów na bardziej zaawansowane.



Rys. 4. Uszkodzenie powłoki kompozytowej podczas pożaru instalacji ELT (Emergency Locator Transmitter) na pokładzie B787 linii

Wraz ze wzrostem udziału materiałów kompozytowych w strukturach lotniczych pojawia się kolejny problem związany z naprawami i serwisowaniem tych dużych pasażerskich jednostek, których liczba z roku na rok się zwiększa. W 2016 roku Boeing dostarczył 137 szt. Samolotów B 787, natomiast Airbus 49 szt. A 350. Te nowoczesne technologie i materiały zastosowane w tak dużych konstrukcjach wymagają ogromnej wiedzy, doświadczenia i uwagi podczas codziennej eksploatacji jak i obsługi rutynowych przeglądów.

Do dzisiaj na całym świecie zdarzyło się kilka drobnych incydentów, gdzie konstrukcja kompozytowa uległa uszkodzeniu.

Jednym z pierwszych groźnych przypadków był pożar instalacji ELT (emergency locator transmitter) na pokładzie B787 linii Ethiopian na lotnisku Heathrow pod Londynem w 2014r. Pożar spowodował poważne uszkodzenie fragmentu górnej sekcji (korony) kadłuba w tylnej części samolotu [Rys. 4].

Jeśli możemy stwierdzić, że naprawy konstrukcji metalowych są opanowane prawie w 100%, to w przypadku struktur kompozytowych, wykorzystanych obecnie na tak wielką skalę jaka jest w lotnictwie pasażerskim, firmy usuwające tego rodzaju usterki są pionierami analizującymi i wprowadzającymi nowe metody naprawcze, biorące pod uwagę zachowanie elementu kompozytowego przed uszkodzeniem jak również po jego naprawie.

Z tego względu, wraz z wprowadzeniem samolotów pasażerskich wykonanych z elementów kompozytowych silnie rozwija się rynek napraw materiałów kompozytowych wraz z usługami badań nieniszczących NDT, a w przyszłości będzie miejsce dla przedsiębiorstw zajmujących się recyklingiem dużych struktur kompozytowych.

Artykuł przygotowany we współpracy z portalem kompozyty.net

dr inż. Andrzej Czulak
inż. Tomasz Stański



PRACOWNIA ARCHITEKTURY I RYSUNKU ELIPSA
SANDRA KRONOWSKA I DARIUSZ KRONOWSKI S.C.

WWW.PRACOWNIA-PROJEKTY.PL

PROJEKTY BUDOWLANE
WYKONAWCZE
WNĘTRZ
DESIGN I MAŁA ARCHITEKTURA

PROJEKTY DOMÓW JEDNORODZINNYCH
WIELORODZINNYCH
HALE PRZEMYSŁOWE I MAGAZYNOWE
BUDYNKI BIUROWE

KROWODERSKA 6/14
31-142 KRAKÓW
TEL. 692415013
MAIL: BIURO@PRACOWNIA-PROJEKTY.PL





MOBILITY



AUTOMOTIVE



PUBLIC



AERONAUTICAL

LIGHT, STRONG AND RELIABLE IN PERFECT BALANCE.

As the world gets smaller, horizon grows larger. People worldwide spend more time on the road commuting than ever before in history. That makes us work relentlessly on innovative solutions that give you a safe, comfortable and stylish travel. Our products accompany you wherever your journey leads. Everyday. Everywhere.

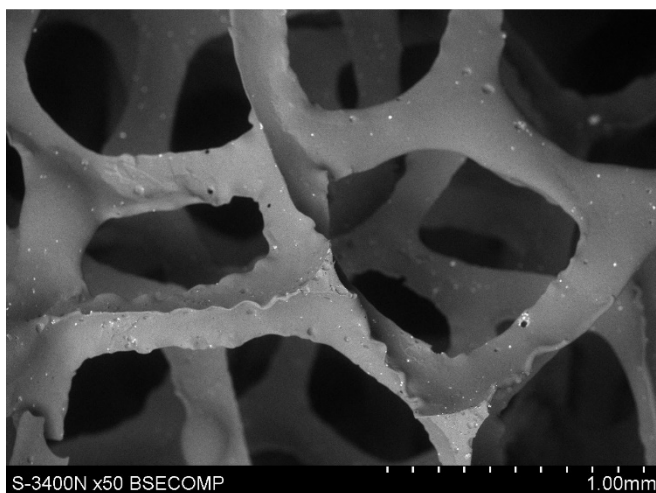
Przestrzenne struktury szkieletowe – innowacyjna forma wzmocnienia w kompozytach

Technologie ciekłofazowe są jedną z najczęściej stosowanych technik uzyskiwania kompozytów na osnowie metali lekkich. O ich popularności decyduje zarówno prostota technologiczna, aspekty ekonomiczne, jak również dostępna wiedza w tym obszarze. Jednak procesy te wykazują liczne problemy, nierozłącznie związane z tego typu technikami. Do najbardziej istotnych z nich należy zaliczyć problemy z homogenizacją wzmocnienia w objętości kompozytu, sedimentację cząstek, a także jakość połączenia na granicy rozdziału faz.

Proponowanym, innowacyjnym rozwiązaniem materiałowym w tym zakresie są przestrzenne struktury szkieletowe wykonane z materiałów ceramicznych. Materiały te, o porowatości otwartej przekraczającej 90 % i kontrolowanej ilości porów na cal stanowią alternatywę do aktualnie stosowanych wzmocnień w formie cząstek.

Struktury węglowe

Przestrzenne struktury szkieletowe zostały wykonane w oparciu komercyjne pianki poliuretanowe, stanowiące matrycę budowy przestrzennej. W procesie produkcji pianki te zostają pokrywane warstwą żywicy fenolowo- formaldehydowej, która zostaje sieciowana w warunkach typowych dla tego rodzaju żywic. Następnie przygotowany materiał poddawany jest pirolizie w warunkach nierównowagowych. Proces ten ma na celu karbonizację tworzyw z usunięciem wszystkich składników poza węglem z układu.

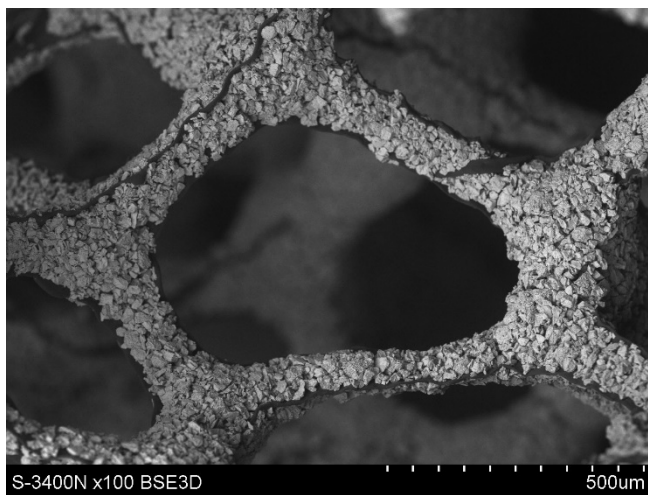


Rys. 1. Przestrzenna, węglowa struktura wzmocnienia.

Struktury heterofazowe

Prezentowane rozwiązanie dodatkowo wykazuje możliwość łatwej modyfikacji składu fazowego dzięki wprowadzeniu dodatkowych cząstek wzmocnienia do układu już na etapie nakładania warstwy

żywicy fenolowo- formaldehydowej na piankę poliuretanową. Dzięki wytworzeniu zawiesiny cząstek w żywicy możliwe jest stosowanie wszelkiego rodzaju cząstek, zarówno w skali mikro, np. Si, SiC, Ti itp., jak i nano, np. CNT, GR, GRO. Niewątpliwą zaletą tego rozwiązania jest możliwość projektowania udziału faz dodatkowych, jak również możliwość pełnej kontroli nad rozmieszczeniem w objętości materiału.



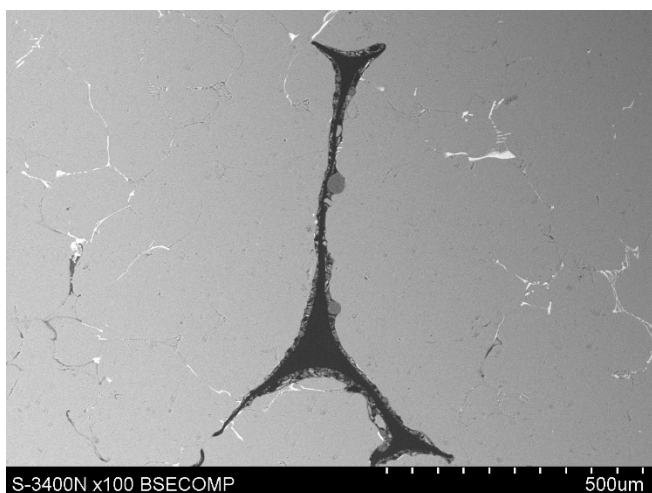
Rys. 2. Struktura struktury węglowej pokrytej warstwą ceramiczną.

Materiały kompozytowe

Prezentowane struktury przestrzenne, dzięki wysokiej porowatości otwartej wykazują silny potencjał aplikacyjny pod kątem zastosowania w materiałach kompozytowych. Wprowadzenie do struktury ceramicznej ciekłego metalu technikami infiltracji ciśnieniowej prowadzi do wytworzenia materiału, który w swojej objętości przypomina system przenikających się kanałów osnowy oraz wzmocnienia. Takie rozwiązanie pozwala zarówno na pełną kontrolę rozmieszczenia faz wzmacniających w kompozycie, a także uzyskanie poprawnego połączenia na granicy rozdziału faz.

Zastosowania specjalne

Proponowana technologia stwarza również możliwość łatwego rozwiązywania problemów związanych z reaktywnością układu. Przekładem takiego rozwiązania są kompozyty na osnowie aluminium, gdzie kontakt ciekłego aluminium z węglem może prowadzić do wytworzenia niekorzystnych faz w układzie. Wytworzona ciągła, szczelna warstwa ceramiczna na powierzchni struktury węglowej stanowi barierę ograniczającą możliwość kontaktu ciekłego metalu z węglem.



Rys. 3. Mikrostruktura kompozytu na osnowie Al wzmocnionego pianką heterofazową.

Ponadto proponowane materiały mogą być stosowane w formie insertów dedykowanych do aplikacji w najbardziej wyężonych miejscach materiału kompozytowego. Stwarza to możliwość wytworzenia selektywnego w materiałach kompozytowych.

Potencjał aplikacyjny

Prezentowane struktury wykazują wysoki potencjał aplikacyjny, głównie ze względu na szereg zalet, takich jak:

- Możliwość wytworzenia układów zarówno homo-, jak i heterofazowych
- Ograniczenie problemów znanych z klasycznych technologii ciekłofazowych, tj. aglomeracja, sedimentacja, klastry itp.;
- Poprawna jakość połączenia na granicy rozdziału faz nawet w przypadku materiałów trudnych do połączenia;
- Możliwość aplikacji wzmocnienia jedynie w miejscach wymaganych - wzmocnienie selektywne;
- Możliwość nadawania pożądanego kształtu prefabrykatom wzmocnienia;
- Prostota procesu przekładająca się na ekonomię procesu.

Źródło finansowania: Narodowe Centrum Nauki, projekt UMO-2016/23/N/ST8/00994

mgr inż. Bartosz Hekner, Bartosz.Hekner@polsl.pl
dr hab. inż. Jerzy Myalski, prof. PŚ., Jerzy.Myalski@polsl.pl



Fot. Andrzej Czulak

Kompozytowa konstrukcja pojazdu latającego zaprezentowana na targach JEC – Planet AERO w Paryżu, 12.04.2018r.

Analiza możliwości integracji sensorów optycznych w diagnostyce materiałów kompozytowych

Werner A. Hufenbach, Andrzej Czulak, Tomasz Gajda, Martin Kretschmann

STRESZCZENIE

Obecnie wytwarzane wysokowytrzymałe konstrukcje kompozytowe wymagają zastosowania systemu monitoringu pozwalającego na kompleksową analizę stanu struktury w trakcie jej wytwarzania i eksploatacji. Kontrola jakości jest to niezbędny etap procesu produkcji, który pozwala zagwarantować wysoką jakość wytwarzanego elementu oraz zagwarantować powtarzalność produkcji. Pośród wielu systemów dostępnych na rynku na szczególną uwagę zasługują sensory optyczne. Zalety stosowania czujników wykorzystujących tzw. rozproszenie Reyligha wynikają z możliwości uzyskania bardzo dokładnego systemu pomiaru naprężeń o bardzo wysokiej gęstości punktów pomiarowych, niewielkiej średnicy oraz łatwości ich zastosowania. Atutem sensorów optycznych jest możliwość integracji w materiale kompozytowym zbrojonych włóknem ciągłym, dzięki czemu można uzyskać układ pomiarowy o odporności na czynniki zewnętrzne oraz uszkodzenia mechaniczne zdefiniowane przez własności materiału kompozytowego. Umieszczenie sensorów już na etapie produkcji kompozytu pozwala na wykorzystanie ich do diagnostyki procesu produkcji oraz kontroli jakości produktu, a później do monitorowania eksploatacji. Umieszczenie światłowodu wewnątrz materiału kompozytowego jest możliwe przy zastosowaniu wielu technologii, jednak każda z nich wymaga zastosowania różnych narzędzi i metod. W pracy przedstawiono metody integracji czujników optycznych kolejno w procesach wyplatania zbiorników kompozytowych oraz nawijania płyt kompozytowych o kącie ułożenia wzmocnienia zbliżonym do 90 stopni, jak również podczas wytwarzania elementów płaskich z wykorzystaniem techniki próżniowej oraz prasowania. Badania pokazały dużą odporność na warunki procesu zastosowanych czujników optycznych, jak również perspektywy ich szerokiego zastosowania w diagnostyce materiałów kompozytowych wzmocnionych włóknem ciągłym.

Wstęp

Produkowanym dziś zaawansowanym konstrukcjom kompozytowym stawiane są wysokie wymagania dotyczące jakości wykonania oraz wytrzymałości. Dlatego niezbędna jest kontrola jakości procesu produkcyjnego, jak również w wielu przypadkach monitoring eksploatacji produktu. Sprawdzenie jakości materiałów kompozytowych wymaga odpowiednich narzędzi pomiarowych oraz technik. Jednym z takich narzędzi są czujniki światłowodowe wykorzystujące mechanizm rozproszenia wstecznego Reyleigha. Czujniki te są znane pod nazwą czujników OTDR (Optical Time Domain Reflectometry). Wielkością pomiarową jest lokalna zmiana rozproszenia wstecznego wywołana oddziaływaniem siły zewnętrznej na włókno optyczne. Układ pomiarowy zbudowany w oparciu o czujniki OTDR charakteryzuje się wysoką czułością, możliwością monitorowania naprężeń oraz temperatury, ciągłością pomiaru, wykrywalnością niewielkich zmian temperatury.

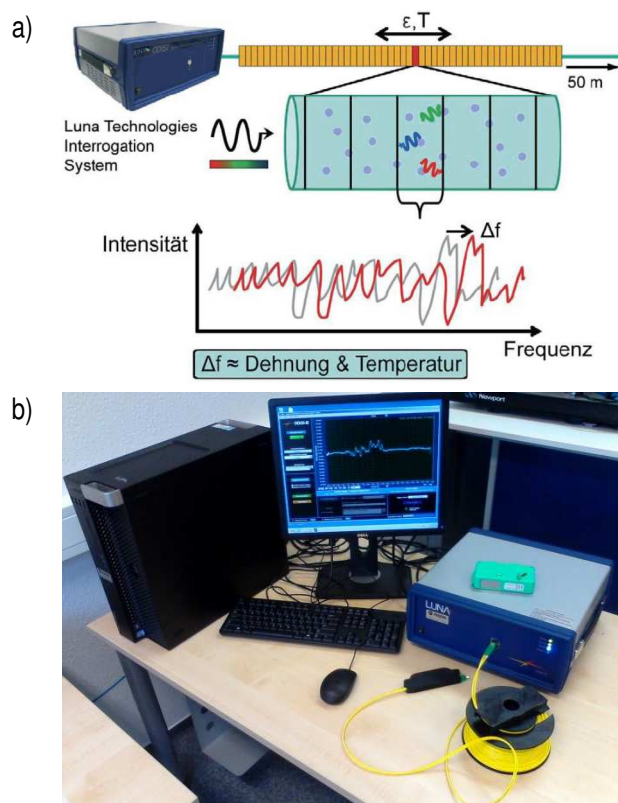
Układy pomiarowe zbudowane z światłowodów, wykazują duży potencjał w zakresie ich integracji w strukturę produkowanego elementu w zautomatyzowanym procesie produkcji, a tym samym do monitorowania stanu seryjnie produkowanych elementów kompozytowych. Integracja światłowodu na etapie produkcji pozwala na wykorzystaniu go do kontroli kolejnych procesów produkcji, jak również na monitorowanie całego cyklu życia produktu. Bardzo istotną cechą zintegrowanego elementu pomiarowego jest jego wysoka odporność na czynniki zewnętrzne, definiowana przez wytrzymałość całego materiału oraz niewielki wpływ na własności struktury, co ze względu na ograniczoną odporność mechaniczną światłowodu jest ogromną zaletą. Pozwala to na zastosowanie tego typu układu pomiarowego w zupełnie nowych rozwiązaniach, ponieważ włókno optyczne jest chronione przez warstwę kompozytu. W artykule pokazano

możliwość integracji czujnika światłowodowego różnymi metodami w różnych technologiach z zastosowaniem technologii dostępnej na Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden.

Światłowody i układ pomiarowy

Światłowody to podstawowy element budowy układu pomiarowego. W tym przypadku we wszystkich próbach integracji zastosowane zostały światłowody jednomodowe ze szkła krzemionkowego Corning ITU-T G.652.D. Ze względu na podobny skład chemiczny włókna optycznego do włókna szklanego pozwala na zastosowanie światłowodów w niemal wszystkich technologiach związanych z włóknem szklanym, jednocześnie warunki dotyczące kąta zagięcia oraz ułożenia utrudniają integrację w proces produkcyjny. Analiza rozproszenia w falowodzie optycznym pozwala na budowę układów pomiarowych skomplikowanych elementów, co nie byłoby możliwe z zastosowaniem innych technologii bez dużego nakładu finansowego i technologicznego. Do głównych zalet stosowania optycznych układów pomiarowych należy zaliczyć ciągłość pomiaru, wykrywalność niewielkich zmian temperatury i naprężenia, wysoka czułość, rozdzielczość pomiaru 1mm, średnica czujnika 155 mikronów, wszystkie informacje są odczytywane jednocześnie na całej długości czujnika, niski koszt czujnika, dostępność różnych rodzajów światłowodów (łatwość integracji w technologii), odporne temperaturowo do 350 stopni (ze złotą powłoką do 700stopni), wysoka elastyczność, niewielkie ryzyko uszkodzenia. Układ pomiarowy, to stworzona przez firmę LUNA Technologies jednostka ODiSI B.

System pomiarowy działa w oparciu o analizę rozproszenia Rayleigha, dzięki czemu jest zdolny do pomiaru temperatury i odkształcenia, własności układu przedstawia tabela (Tab.1).



Rys. 1. a) układ pomiarowy LUNA, b) Stanowisko laboratoryjne w ILK.

Tab. 1. Podstawowe parametry układu pomiarowego^{II}

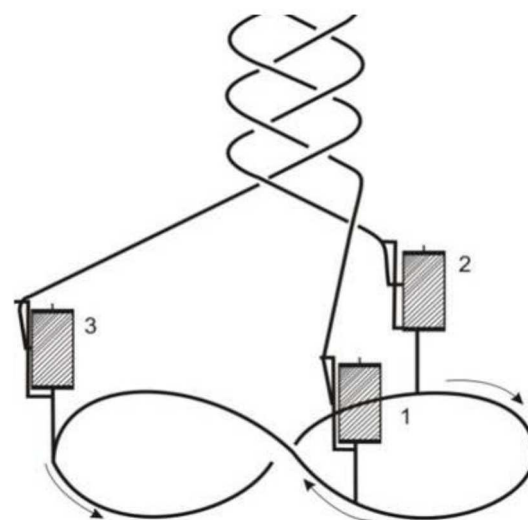
Parameters	Specification
Stand off	50 m
Maximum Sensing Length	10 m
Acquisition Rate	100 Hz
Sensor Spacing	5 mm
Gage Length	5 mm
Wavelength Accuracy	1.5 pm
Strain Range	$\pm 10,000 \mu\text{Strain}$
Strain single-scan repeatability	$\pm 5 \mu\text{Strain}$
Temperature Range	-50 to 300 °C
Temperature Single-scan repeatability	$\pm 0.4 \text{ } ^\circ\text{C}$

Wyplatanie

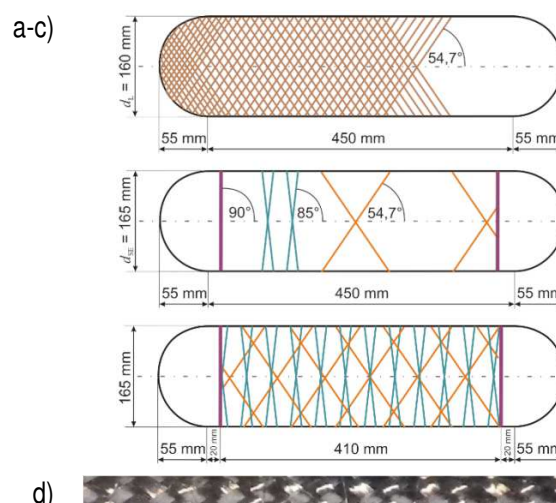
Proces wyplatania jest jedną z metod wykonywania zbrojenia z włókna ciągłego dla elementów kompozytowych. Istotą procesu jest odpowiednie zaplecenie włókien tworzących wzmocnienie wokół rdzenia. Szpulki z włóknem wykonują główny ruch roboczy (przemieszczając się tworzą splot), a rdzeń wykonuje ruch dodatkowy, decydujący o kącie ułożenia. Technologia wymaga zastosowania rdzenia (stały lub usuwalny), który zostaje w całości przykryty splotem, o kącie nachylenia między 5, a 85 stopni.

Metoda integracji światłowodu w element wykonany metodą wyplatania jest zależna od siatki pomiarowej, jaką chcemy uzyskać. W zaprezentowanym przykładzie zbiornik ciśnieniowy wykonano z kompozytu ze zbrojeniem wyplatany z włókna węglowego. Siatka pomiarowa składała się z pojedynczego światłowodu nawiniętego z regularnym odstępem (rys. 3) pomiędzy dwiema warstwami wzmocnienia. Jest to automatyczna metoda integracji czujnika, wykonywana za pomocą głowicy

opracowanej w ILK, która umożliwia wykonanie układu pomiarowego bezpośrednio na stanowisku do wyplatania. Głowica ta daje dużą dowolność w projektowaniu siatki pomiarowej, gdyż umożliwia nawijanie pod dowolnym kątem.



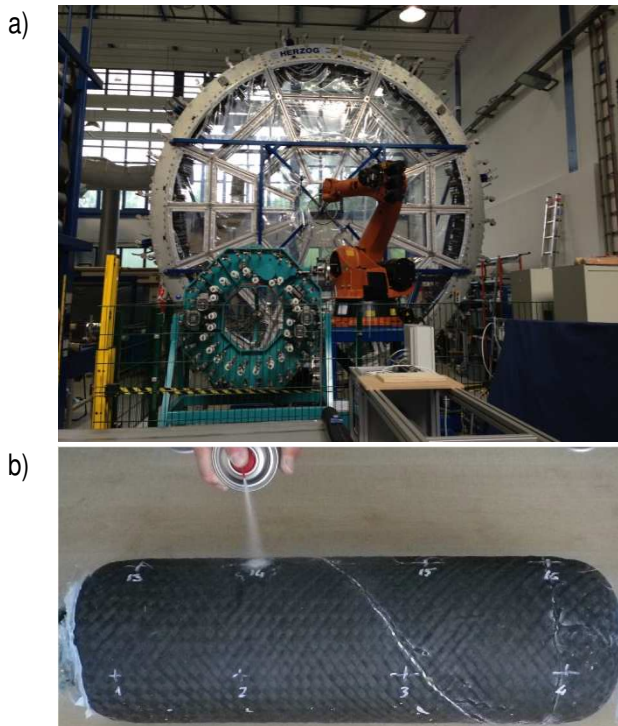
Rys. 2. Idea wyplatania na przykładzie 3 włókien^{III}



Rys. 3. Ułożenie włókna na zbiorniku: a) włókno węglowe, b) kąty włókna optycznego, c) opłot włóknem optycznym, d) zdjęcie włókna na zbiorniku

Tak wykonany układ pomiarowy jest zabezpieczony przed działaniem czynników zewnętrznym, nie można go uszkodzić mechanicznie nie niszcząc samego zbiornika. Układ jest zdolny do punkowego pomiaru temperatury i naprężeń wzdłuż włókna, dlatego gęstość punktów pomiarowych na powierzchni zbiornika

zależy od ilości owinięć na długości zbiornika (im mniejszy skok między owinięciami, tym dokładniejsza siatka pomiarowa). Dodatkowo można tworzyć kombinacje siatek pomiarowych pod różnymi kątami.



Rys. 4. a) wyplatarka, b) zbiornik w czasie testów pomiaru temperatury

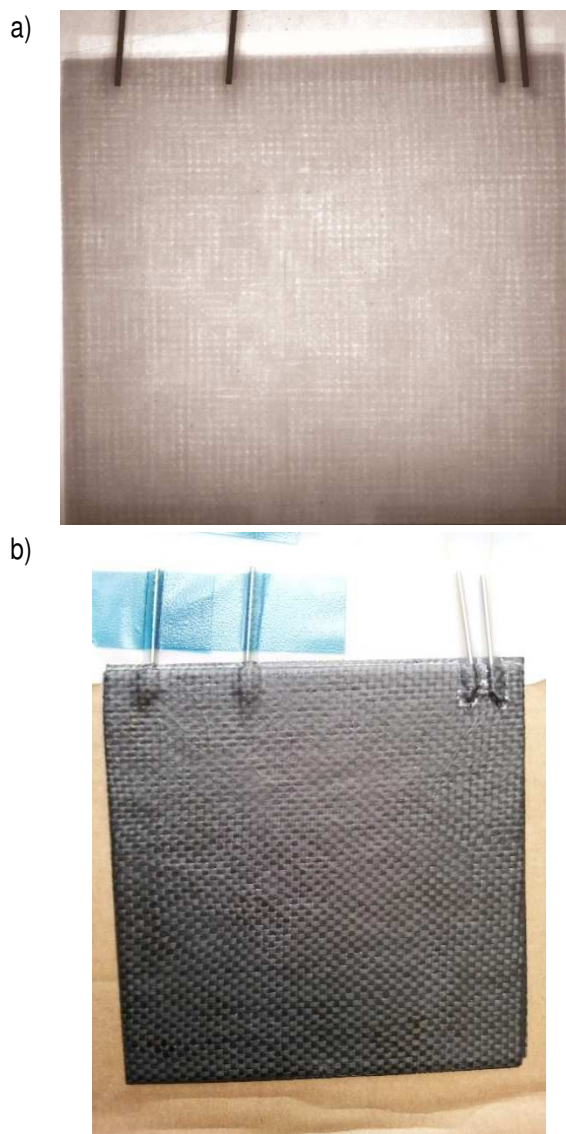
Nawijanie

Proces nawijania pozwala na uzyskanie równoległego wzmocnienia w materiale kompozytowym. Istotą procesu jest owinięcie włókna ciągłym rdzenia, przy czym rdzeń wykonuje głównych ruch roboczy (obrót), a głowica nawijarki ruch dodatkowy (przesunięcie wzdłuż rdzenia). Metodą tą można uzyskać wzmocnienia o kącie od niemal 0 do prawie 90 stopni. Nakładanie włókna optycznego odbywa się identycznie jak nakładanie wzmocnienia, przy czym ważnym ograniczeniem są kąty ugięcia światłowodu, ponieważ przekroczenie wartości dopuszczalnych spowoduje jego uszkodzenie. Integracja włókna optycznego w procesie nawijania jest metodą półautomatyczną, ponieważ wymaga ona przebrojenia przez operatora urządzenia z nawijania wzmocnienia, na nawijanie włókna optycznym. Podobnie jak w przypadku włókna stanowiącego wzmocnienie, włókno optyczne możemy ułożyć pod dowolnym kątem i z dowolną gęstością, zgodnie z możliwościami nawijarki, co podobnie jak w przypadku wyplatania daje dużą swobodę przy projektowaniu i wykonaniu siatki pomiarowej.

Przykładem takiej realizacji jest nawijanie wzmocnienia z włókna węglowego na nawijarce 5-cio osiowej.



Rys. 5: Nawijanie włókna optycznego na wzmocnienie płyty



Rys. 6. a) zdjęcie rentgenowskie płyty kompozytowej z widoczną siatką światłowodów, b) płyta kompozytowa z zintegrowanym włókna optycznym

Autoklaw

Formowanie w autoklawie jest to jedna z metod formowania ręcznego, stosowaną do produkcji jednostkowej. Proces polega na ułożeniu zbrojenia, infiltracji, a następnie poddaniu działaniu nadciśnienia w autoklawie. Integracja włókna optycznego odbywa się ręcznie i polega na ułożeniu światłowodu pomiędzy warstwami zbrojenia lub na nim. Trudność uzyskania dobrze wykonanej siatki pomiarowej polega na konieczności odkształcenia w zakresie sprężystym włókna optycznego oraz utrzymania go na pożądanym miejscu do czasu zakończenia procesu.

Przykładem realizacji jest płyta kompozytowa ze zbrojeniem z włókna węglowego. W płycie zintegrowano 2 światłowody, które odpowiednio ułożone tworzą prostokątną siatkę pomiarową.

Podsumowanie

Integracja włókna optycznego jest efektywnym sposobem uzyskania siatki pomiarowej zabezpieczonej przed wpływem czynników zewnętrznych. Proces integracji wymaga zastosowania dodatkowych narzędzi i metod, może zostać przeprowadzony ręcznie, jak również stać się krokiem w zautomatyzowanym wytwarzaniu. Funkcjonalność jaką zapewnia zintegrowany układ

pomiarowy pozwala zaoferować produkt o dodatkowej funkcjonalności.

Bibliografia

- I. Samiec, D.: Verteilte faseroptische Temperatur- und Dehnungsmessung mit sehr hoher Ortsauflösung. Z. Photonik, 6 (2011).
- II. Luna ODISI B data sheet, Luna Inc, 2013.
- III. Relligmann, H.: Unterrichtshilfen Textiltechnik Maschinengeflechte. Frankfurt/Main: Arbeitgeberkreis Gesamttextil, 1981.
- IV. Boczowska A.; Kapuściński J.; Puciłkowski K.; Wojciechowski J.: Kompozyty. Warszawa, 2000.
- V. Hufenbach, W.; Gude, M.; Czulak, A.; Gąsior, P.; Kretschmann, M.: Manufacturing and pressure tests of braided vessels with integrated optical fiber sensors. Z. Przetwórstwo Tworzyw, 6 (2011).



Fot. Andrzej Czulak

Przykłady wyrobów kompozytowych zaprezentowanych na targach JEC – Composite in Buildings, Bangkok, 18.07.2018r.

Optymalizacja procesu powlekania drutu poliamidem z wykorzystaniem analizy regresji

Marcin Godzierz^{1,*}, Jerzy Myalski¹, Szymon Pawlak²

¹ Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Instytut Inżynierii Materiałowej, Katowice;

² Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Katedra Inżynierii Produkcji, Katowice

* Korespondencja: marcin.godzierz@polsl.pl

STRESZCZENIE:

W artykule opisana została optymalizacja procesu produkcyjnego, powlekania linki stalowej tworzywem sztucznym, realizowana w zakładzie produkcyjnym, zajmującym się przetwórstwem tworzyw sztucznych. W celu przeprowadzenia optymalizacji opracowane zostały wzory, pozwalające na opis zależności lepkości tworzywa od parametrów konstrukcyjnych wylączarki, prędkości obrotowej ślimaka i jego cech charakterystycznych, jak i właściwości typowych dla wykorzystywanego tworzywa. Do wykonania optymalizacji analizowanego procesu produkcyjnego zastosowana została analiza regresji.

Słowa kluczowe: optymalizacja, proces produkcyjny, przetwórstwo tworzyw polimerowych

Wprowadzenie

Procesy produkcyjne definiowane są jako złożone zbiory współzależnych wzajemnie działań, mające bezpośredni wpływ na stopień efektywności procesu wytwarzania wyrobów. Miarę efektywności procesu określa się z wykorzystaniem cząstkowych, syntetycznych wskaźników należących do grupy produktywności, wykorzystania posiadanych zasobów. Maksymalne wykorzystanie zasobów oraz dążenie do ciągłego doskonalenia, mającego na celu minimalizację kosztów i czasu trwania procesu pozwala na zoptymalizowanie analizowanego zagadnienia produkcyjnego. Optymalizacja procesu zazwyczaj przeprowadzona jest pod kątem zrealizowania określonych na wcześniejszym etapie kryteriów wraz z uwzględnieniem wszystkich jego składowych^{I-IV}.

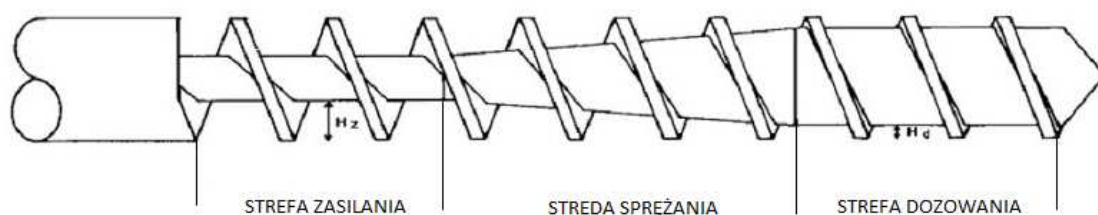
W przedstawionym artykule, analizie poddany został proces produkcyjny powlekania metalowej linki tworzywem polimerowym. Podjęta została próba opisu zależności pomiędzy parametrami procesu nakładania powłoki poliamidem typu PA6 na jakość wyrobu i wydajność. Model matematyczny, pozwalający na automatyzację procesu produkcyjnego, pozwala na ograniczenie kosztów, co jest istotnym elementem przemysłu motoryzacyjnego, jak również pozwala na uniknięcie tzw. „błędów ludzkich” występujących podczas produkcji. W tym celu wykonano badania pozwalające na opis przepływu tworzywa, jak również wykorzystano metody analizy regresji. Już samo tworzywo stosowane jako powłoka z uwagi na swoje cechy bardzo silnie

może wpływać na parametry procesu. Poliamid PA6 zaliczany jest do tworzyw o strukturze krystalicznej, charakteryzuje się dobrymi właściwościami mechanicznymi oraz tribologicznymi. Zapewnia dobrą wytrzymałość, odporność termiczną i stabilność kształtu w podwyższonej temperaturze, jest jednakże trudny z punktu widzenia przetwórstwa.

Wytwarzanie powłok polimerowych metodą wylączania powlekającego jest zjawiskiem trudnym do opisu, głównie przez ilość czynników istotnych wpływających na proces wytwarzania^{V-XI}. Ich zdefiniowanie zależy od rodzaju wykorzystanego tworzywa, jego wrażliwości na temperaturę otoczenia, stopnia krystalizacji, wilgotności początkowej oraz lepkości, przez co nie jest możliwe zastosowanie jednego modelu matematycznego dla opisu wielu procesów tego typu^{VI, IX}.

Ponadto, nie tylko zastosowane tworzywo ma wpływ na proces, lecz również budowa wykorzystanej wylączarki – a zwłaszcza jej ślimaka. Szczególnie istotnymi wartościami są długość strefy dozowania (Rys. 1) ślimaka, stosunek jego długości i średnicy, kształt i geometria zwojów ślimaka w strefie dozowania, kąt pochylenia zwojów ślimaka jak również spadek ciśnienia za strefą dozowania^{V, IX}.

W artykule opracowane zostały zależności matematyczne, pozwalające na opis zmiany lepkości tworzywa od parametrów konstrukcyjnych wylączarki, prędkości obrotowej ślimaka i jego cech geometrycznych, jak i właściwości charakterystycznych dla



Rys. 1. Podział ślimaka na strefy robocze: L_z – strefa zasilania, L_s – strefa sprężania, L_d – strefa dozowania. Na rysunku zaznaczono również wysokości kanału w strefie zasilania (H_z) oraz dozowania (H_d). W strefie sprężania wielkość ta jest zmienna i charakterystyczna dla danego ślimaka

Grubość				Prędkość	Temperatury						Ślimak		Ciśnienie
					Cylinder			Głowica			Obroty ślimaka	Prąd na ślimaku	
Dia _{in}	x	y	Dia _{out}	v	T _{c1}	T _{c2}	T _{c3}	T _{g1}	T _{g2}	T _{g3}	n	I	p
2,605	2,716	2,724	2,723	49,8	279,3	285,0	290,1	278,6	287,4	280,1	20,6	11,1	64
2,597	2,719	2,730	2,721	50,4	279,4	285,0	290,1	278,7	287,2	279,7	20,6	12,0	64
2,599	2,708	2,710	2,734	50,3	279,5	285,0	290,1	278,7	287,0	279,5	21,0	11,4	66
2,603	2,717	2,720	2,726	49,4	279,7	285,0	290,1	278,8	286,8	279,4	20,2	11,8	66
2,604	2,710	2,716	2,724	49,8	279,8	285,0	290,1	278,8	286,7	279,1	19,6	11,4	66
2,612	2,718	2,712	2,700	50,0	280,0	284,9	290,1	278,9	286,6	278,9	18,8	11,6	67
2,604	2,718	2,703	2,730	50,3	280,2	284,9	290,1	278,9	286,6	278,7	18,8	11,6	67
2,606	2,711	2,708	2,723	50,3	280,3	284,9	290,1	278,9	286,6	278,4	18,8	11,6	66
2,617	2,708	2,712	2,726	50,0	280,3	285,2	289,8	279,8	289,6	280,0	19,0	11,6	63
2,613	2,722	2,718	2,730	49,9	280,3	285,2	289,8	279,8	289,6	280,1	19,0	11,6	62
2,619	2,714	2,717	2,717	50,0	280,3	285,2	289,8	279,8	289,6	280,0	19,2	11,8	63
2,616	2,718	2,716	2,723	50,7	280,3	285,2	289,8	279,8	289,6	280,0	19,2	11,6	66
2,613	2,714	2,720	2,730	50,4	280,3	285,2	289,8	279,8	289,6	279,8	19,2	11,1	64
2,603	2,672	2,685	2,721	49,7	279,8	284,8	290,0	280,4	290,4	279,6	19,6	11,6	63
2,600	2,710	2,720	2,728	50,3	279,9	284,8	289,9	280,5	290,1	279,7	19,6	11,4	62
2,604	2,720	2,711	2,734	50,5	279,9	284,8	289,9	280,5	289,9	279,8	19,8	11,8	64
2,599	2,716	2,722	2,719	49,9	280,0	284,8	289,9	280,5	289,6	280,0	19,8	10,8	64
2,617	2,726	2,728	2,732	58,4	282,5	287,9	292,9	283,1	292,0	283,1	20,6	10,8	66
2,613	2,727	2,724	2,737	58,9	282,5	287,9	292,9	283,1	292,0	283,1	20,6	10,8	63
2,590	2,703	2,702	2,709	50,8	281,3	287,9	292,9	280,5	292,1	283,1	22,0	8,7	66
2,592	2,715	2,702	2,704	50,8	280,6	287,9	292,9	280,5	291,7	282,9	22,0	8,6	73
2,594	2,710	2,707	2,701	51,2	279,9	287,9	292,9	280,6	291,1	282,6	22,0	8,7	76
2,594	2,708	2,698	2,706	50,9	279,2	287,9	293,0	280,7	290,6	282,3	21,8	8,4	79
2,599	2,730	2,715	2,693	51,7	278,4	287,8	293,0	280,7	290,1	282,1	20,2	7,9	77
2,592	2,712	2,701	2,713	51,4	277,8	287,8	293,1	280,8	289,5	281,3	23,0	9,0	77
2,601	2,721	2,704	2,719	50,2	281,4	287,8	293,0	283,3	290,6	283,2	25,0	10,2	64
2,608	2,712	2,710	2,705	50,8	280,4	287,8	293,0	283,1	290,0	282,8	25,0	10,5	67

Note: Kolumna oznaczona jako Dia_{in} to grubość linki „na wejściu”, kolejne trzy opisują jej grubość „na wyjściu”. Prędkość wyrażona jest w metrach na sekundę, ciśnienie w barach, obroty ślimaka w obrotach na minutę, zaś prąd w amperach

Tab. 2. Masowe natężenie przepływu (G) w zależności od obrotów ślimaka (n)

n	2	5	10	15	20	25	30	50	80	[obr/min]
G	0,000229	0,000407	0,000861	0,001113	0,001595	0,001867	0,002033	0,002725	0,003571	[kg/s]

Tab. 3. Objętościowe natężenia przepływu w funkcji obrotów ślimaka

n	2	5	10	15	20	25	30	50	80	[obr/min]
W	2,06E-07	3,67E-07	7,76E-07	1E-06	1,44E-06	1,68E-06	1,83E-06	2,45E-06	3,22E-06	[m³/s]

wykorzystywanego tworzywa, co znacząco ułatwia matematyczny opis procesu przetwórstwa ^{XI}.

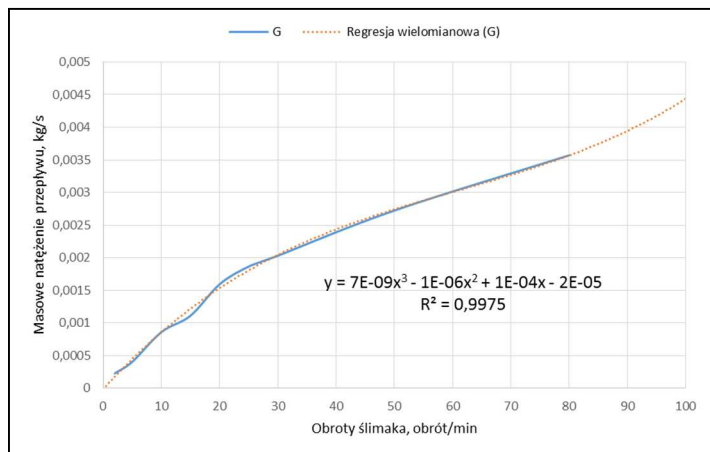
Opis procesu produkcyjnego

W przeprowadzonych badaniach optymalizujących proces produkcyjny powlekania linki stalowej poliamidem, wykorzystana została wytłaczarka jednoślindakowa, o klasycznej budowie ślimaka (Tab. 1.). Mierzonymi parametrami były rzeczywiste wartości temperatury na trzech strefach grzewczych wytłaczarki oraz trzech strefach grzewczych głowicy formującej, jak również prędkość przesuwu linki, ciśnienie polimeru podczas opuszczania głowicy formującej oraz obroty ślimaka. Oceny wpływu tych parametrów dokonywano poprzez ciągły pomiar grubości powłoki w dwóch punktach pomiarowych: 50 cm za głowicą formującą oraz 50 cm za wanną chłodzącą (pomiar w osiach X oraz Y). Wartości danych były odczytywane 9 razy na minutę.

Wartość prądu na ślimaku zawiera informację o obciążeniu silnika elektrycznego, czyli pośrednio o lepkości tworzywa i oporze, jaki stawia ono ślimakowi. Dana ta jest więc jedynie daną pomocniczą, nie definiującą samą w sobie żadnego z istotnych parametrów procesu ^{VIII, X-XI}.

Optymalizacja procesu produkcyjnego

W celu poprawnego przeprowadzenia optymalizacji procesu produkcyjnego powlekania linki stalowej poliamidem, niezbędnym było określenie: masowego natężenia przepływu, gęstości tworzywa w temperaturze powlekania, objętości natężenia przepływu, lepkości tworzywa w zależności od obrotów ślimaka oraz zdefiniowanie modelu grubości powłoki polimerowej i jej temperatury.

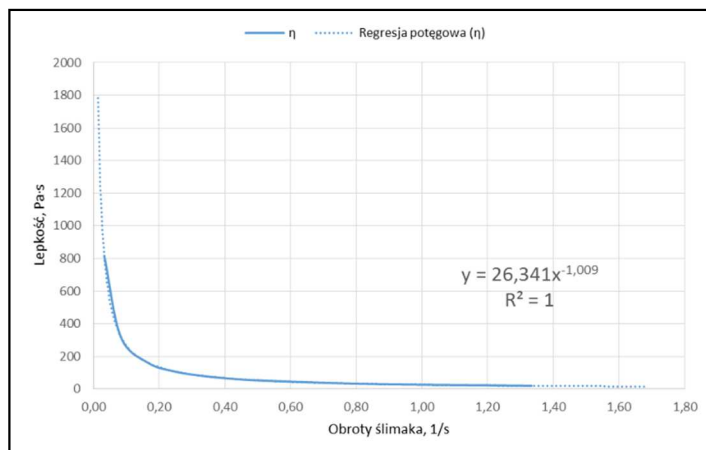


Rys. 2. Zależność masowego natężenia przepływu od obrotów ślimaka przedstawiona w postaci graficznej i matematycznej

Masowe natężenie przepływu

W celu określenia charakterystyki przepływu PA6 wyznaczono masowe natężenie przepływu polimeru w wytłaczarce, uwzględniając zakres obrotów ślimaka 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 i 80 obrotów/minutę. W czasie 5 sekund pobrane zostały próbki tworzywa dla założonych wcześniej obrotów ślimaka, co pozwoliło na wyznaczenie zależności masowego natężenia przepływu,

pokazanego w tabeli 2, jak również opis matematyczny procesu i jego ekstrapolacja (rys. 2.)



Rys. 3. Wykres lepkości tworzywa PA6 typu Tarnamid T-30 o temperaturze średniej 273°C w zależności od obrotów ślimaka o D=32mm wraz z opisem matematycznym zależności

Gęstość tworzywa przy nakładaniu powłoki

Korzystając z wzoru 1, wyznaczona została gęstość tworzywa PA6 w zakresie temperatury tworzywa (210-300°C) i w zakresie temperatury otoczenia od 15 do 50°C z dokładnością do 0,1°C.

$$\rho_T = \rho_{T_0} \frac{1}{1 + \alpha(t_w - t_o)} \quad (1)$$

gdzie: ρ_T – gęstość tworzywa w temperaturze pracy (kg/m³), ρ_{T_0} – gęstość bazowa tworzywa wg producenta (1140kg/m³), t_w – temperatura tworzywa (°C), t_o – temperatura otoczenia (°C), α – przewodność cieplna tworzywa PA6 (110·10⁻⁶ 1/K).

Podczas pobierania próbek, temperatura tworzywa (uwzględniając zadane parametry pracy wytłaczarki) wynosiła 272-275°C, zaś temperatura otoczenia w granicach 35-36°C.

Objętościowe natężenie przepływu

Określone zostało objętościowe natężenie przepływu (tab. 3.) dla tworzywa w warunkach pobierania próbek (temperatura nakładanego tworzywa 272-275°C, temperatura otoczenia 35 - 36°C).

Parametr ten łączy w sobie dwie zmienne, na które wpływ ma bezpośrednio proces – obroty ślimaka, jak również temperaturę masy tworzywa, zgodnie z wzorem 2.

$$W = \frac{G}{\rho_T} \quad (2)$$

gdzie: W – objętościowe natężenie przepływu, G – masowe natężenie przepływu, ρ_T – gęstość tworzywa w temperaturze pracy, wyznaczona zgodnie z wzorem 1.

Lepkość tworzywa w zależności od obrotów ślimaka

W celu określenia zmienności lepkości tworzywa w zależności od obrotów ślimaka, należało scharakteryzować strefę dozowania

ślimaka (rys. 1.) parametrami opisanymi wzorem 3 i 4. Wartości charakterystyczne dla ślimaka przedstawiono w tabeli 4.

$$A = \frac{\pi D^2 L \sin \alpha_s \cdot \cos \alpha_s}{2} \quad (3)$$

$$B = \frac{\pi D L^3 \sin^2 \alpha_s}{12 h} \quad (4)$$

Tab. 4. Wartości charakteryzujące ślimaka wytłaczarki uwzględniane we wzorach 3 i 4

Oznaczenie	Objaśnienie	Wartość
D	Średnica zewnętrzna ślimaka	32mm
L	Długość strefy dozowania	224mm
h	Wysokość kanału w strefie dozowania	1,6mm
α_s	Kąt pochylenia linii śrubowej zwoju ślimaka	17,40°

Lepkość wyznaczona została ze wzoru 5 i zilustrowana na rys. 3.

$$\eta = \frac{\Delta p \cdot B}{A \cdot v - W} \quad (5)$$

gdzie: Δp jest spadkiem ciśnienia za strefą dozowania równym 5 Bar, v oznacza ilość obrotów ślimaka na sekundę, a η jest lepkością wyrażoną w Pa·s.

Określenie temperatury masy polimerowej

W celu matematycznego opisu temperatury masy została zmierzona rzeczywista temperatura poliamidu przy wykorzystaniu

termopary. Pomiar przeprowadzono w dwóch miejscach: przed głowicą formującą i na jej wylocie. Na zadanych parametrach grzania, rzeczywista temperatura masy wynosiła 272-275°C, zarówno przed, jak i za głowicą, co pozwoliło na stwierdzenie, iż poszczególne strefy grzania na głowicy nie mają znaczącego wpływu na temperaturę masy polimeru.

Wykorzystując metodę Hellwiga (rys. 4.), wytypowano trzy prawdopodobne modele wpływu temperatury stref grzewczych cylindra na temperaturę masy tworzywa (tab. 5.).

Wykorzystując funkcję REGLINP o argumentach „temperatura masy”, „temperatura strefy cylindra”, „fałsz”, „prawda”, otrzymano widoczne w tab. 6. wyniki. Stworzony wcześniej model A oraz E charakteryzują się mniejszą zgodnością, niż model C. Różnica ta jest bardziej widoczna w przypadku weryfikacji względem rzeczywistych danych, gdzie dla modelu A temperatura masy zawiera się w przedziale 267 – 270 °C, dla modelu E w zakresie 269 – 271 °C, zaś dla modelu C w przedziale 271 – 275 °C, co najbardziej odpowiada zmierzonym danym eksperymentalnym.

R ²	0,003008	0,002114	0,01233
R _y	1	0,834635	0,709591
	0,834635	1	0,85997
	0,709591	0,85997	1

Rys. 4. Zgodność danych wejściowych z daną wyjściową (R²) dla metody Hellwiga

Tab. 5. Obliczenia wykonane w metodzie Hellwiga, wraz z wytypowanymi modelami do testów (A, E, C)

Zamiana na system binarny			
	1	2	3
A	0	0	1
E	1	0	1
C	0	1	1
G	1	1	1
D	1	0	0
F	1	1	0
B	0	1	0

Licznik			
	1	2	3
	0	0	0,01233
0,003008		0	0,01233
0	0,002114		0,01233
0,003008	0,002114		0,01233
0,003008		0	0
0,003008	0,002114		0
0	0,002114		0

Mianownik			
	1	2	3
A	0	0	1
E	1,709591	0	1,709591
C	0	1,85997	1,85997
G	2,544226	2,694604	2,569561
D	1	0	0
F	1,834635	1,834635	0
B	0	1	0

Hellwig			
	1	2	3
	0	0	0,01233
0,001759		0	0,007212
0	0,001137		0,006629
0,001182	0,000785		0,004798
0,003008		0	0
0,00164	0,001152		0
0	0,002114		0

Suma	
	0,01233
	0,008972
	0,007766
	0,006765
	0,003008
	0,002792
	0,002114

Tab. 6. Weryfikacja wytypowanych modeli matematycznych metodą regresji liniowej

Test A		Test E			Test C		
$a \cdot T_{c3}$	c	$a \cdot T_{c1}$	$b \cdot T_{c3}$	c	$a \cdot T_{c2}$	$b \cdot T_{c3}$	c
0,922811	0	0,535117	0,40142	0	-0,08873	1,029048	0
R^2	0,999524	R^2	0,999525		R^2	0,999528	

Tab. 7. Przykładowe dane po redukcji danych zależnych oraz „odcięciu szumu”

Grubość	Prędkość	Temperatura masy	Obroty ślimaka	Ciśnienie	Lepkość
Grubość powłoki	v	T_{calc}	n	p	η
0,059	49,8	273,2	20,6	64	78,582
0,065	50,4	273,2	20,6	64	78,582
0,063	50,3	273,2	21,0	66	77,085
0,069	49,4	273,2	20,2	66	80,138
0,059	49,8	273,2	19,6	66	82,591
0,057	50,0	273,2	18,8	67	86,106
0,059	50,3	273,2	18,8	67	86,106
0,057	50,3	273,2	18,8	66	86,106
0,054	50,0	272,9	19,0	63	85,199
0,058	49,9	272,9	19,0	62	85,199
0,057	50,0	272,9	19,2	63	84,312
0,057	50,7	272,9	19,2	66	84,312
0,056	50,4	272,9	19,2	64	84,312
0,061	49,7	273,2	19,6	63	82,591
0,065	50,3	273,0	19,6	62	82,591
0,059	50,5	273,0	19,8	64	81,757
0,059	49,9	273,0	19,8	64	81,757
0,061	58,4	275,9	20,6	66	78,583
0,061	58,9	275,9	20,6	63	78,583
0,054	50,8	275,9	22,0	66	73,583
0,053	50,8	275,9	22,0	73	73,583
0,053	51,2	275,9	22,0	76	73,583
0,058	50,9	276,0	21,8	79	74,258
0,051	51,7	276,0	20,2	77	80,139
0,058	51,4	276,1	23,0	77	70,383
0,059	50,2	276,0	25,0	64	64,753
0,053	50,8	276,0	25,0	67	64,753

Tab. 8. Modele regresji zastosowane do stworzenia matematycznego modelu danych; a) model liniowy, b) model wykładniczy

a) $Thick = a \cdot \eta + b \cdot p + c \cdot v$				b) $Thick = k \cdot a^\eta \cdot b^p \cdot c^v$			
$a \cdot \eta$	$b \cdot p$	$c \cdot v$	k	a^η	b^p	c^v	k
-0,00052	6,05E-05	0,002316	0	0,977535	0,99966	0,991711	1
R^2	0,9602			R^2	0,9909		

Tab. 9. Średnia wartość grubości powłoki dla danych eksperymentalnych oraz średnie wartości dla modelu oraz ich średnia różnica w stosunku do danych eksperymentalnych

Średnia grubość powłoki (zmierzona)	Liniowy		Wykładniczy	
	Średnia	Różnica	Średnia	Różnica
0,0500	0,0499	0,0001	0,0488	0,0012

Model grubości powłoki polimerowej

Modyfikując początkowe dane (tab. 1.) do postaci uproszczonej oraz wykorzystując wzór 6 oraz różnicę uśrednionej wartości trzech grubości „wyjścia” i wartości „wejścia” otrzymujemy dane w postaci widocznej w tab. 7. Celem uproszczenia modelu z danych wyeliminowano wartości „danej informacyjnej”, którą był prąd na ślimaku, a korzystając z zależności ze wzoru 5 wyznaczono lepkość polimeru z uwzględnieniem, wzorów 3 i 4.

Analizę regresji liniowej oraz wykładniczej wykonano przy wykorzystaniu wbudowanych funkcji MS Excel REGLINP oraz REGEXPP. Modele wraz z przypisanym do nich równaniem oraz współczynnikiem korelacji R^2 przedstawione zostały w tabeli 8.

Z uwagi na stosunkowo wysoki współczynnik korelacji modeli, wyznaczono wartość grubości powłoki dla obydwu, a następnie obliczono wartość średnią parametru **thick** z danych eksperymentalnych, jak i modeli matematycznych. Wyniki wyznaczonej w taki sposób różnicy dla serii trzech tysięcy danych, przedstawiono w tab. 9.

Pozwala to na sformułowanie następującej zależności matematycznej:

$$T_M = -0,0887T_{c2} + 1,029T_{c3}, \quad (6)$$

gdzie: T_M – temperatura masy tworzywa, T_{c2} – temperatura drugiego cylindra, T_{c3} – temperatura trzeciego cylindra.

Podsumowanie

Optymalizacja procesu produkcyjnego, jest jednym z podstawowych działań pozwalających na poprawę funkcjonowania analizowanego zagadnienia technologicznego. W rozpatrywanym przypadku optymalizacji poddany został proces powlekania linii stalowej, poliamidem. W rezultacie przeprowadzonych badań uzyskane zostały wyniki pozwalające na matematyczny opis procesu nakładania powłoki, uwzględniający wpływ parametrów procesu technologii wytłaczania oraz właściwości tworzywa nie tylko na jakość uzyskiwanych powłok tworzywowych, jak również zmniejszając ilość wyrobów wadliwych. Zapewni to szybką ocenę błędów związanych z niewłaściwymi parametrami procesu produkcyjnego wynikających z tzw. czynnika ludzkiego.

Bibliografia

- I. Więznowski A., Sosnowski M., Szlachetka P., Analiza i optymalizacja procesów produkcyjnych i usług, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław, 2007.
- II. Janczarek M., Zarządzanie procesami produkcyjnymi w przedsiębiorstwie, Lubelskie Wydawnictwo Naukowe, Lublin, 2011.
- III. Hamrol A., Zarządzanie jakością z przykładami, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2011.
- IV. Gawlik J., Plichta J., Świć A., Procesy produkcyjne. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2013.
- V. Garbacz T.: „Structure and properties of cellular thin-walled cable coatings”, Polimery 57 (2012), 865-868.
- VI. Wilczyński K.: „Model matematyczny procesu wytłaczania jednoślismakowego. Cz. X. Weryfikacja doświadczalna modelu”, Polimery 45 (2000), 191-196.
- VII. Klepka T.: „Konstrukcja osiowo-symetrycznych wytworów polimerowych o kształtach złożonych”, Polimery 53 (2008), 390- 395.
- VIII. Broel-Plater B., Sikora J. W.: „Proces wytłaczania jako obiekt sterowania automatycznego”, Polimery 49 (2004), 114- 122.
- IX. Wilczyński K., Nastaj A.: „Modelowanie procesu wytłaczania jednoślismakowego z dozowanym zasilaniem mieszanin tworzyw termoplastycznych”, Polimery 60 (2015), 199- 208.
- X. Sikora J. W., Broel-Plater B.: „Niektóre nowe problemy sterowania automatycznego procesem wytłaczania”, Polimery 49 (2004), 195-201.
- XI. Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Ćwiczenia laboratoryjne, część 1. Politechnika Lubelska, skrypt pod red. Tomasza Garbacza oraz Janusza W. Sikory, Lublin 2012.

Technologie wytwarzania elementów i podzespołów pojazdów samochodowych z kompozytów polimerowych

Janusz Walkowiak¹, Władysław Papacz², Andrzej Czulak³

¹ Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn; e-mail: j.walkowiak@ibem.uz.zgora.pl

² Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn; e-mail: w.papacz@ibem.uz.zgora.pl

³ New Era Materials Sp. z o.o. : e-mail: andrzej.czulak@neweramaterials.com

STRESZCZENIE:

W artykule przedstawiono krytyczną analizę dostępnych technologii wytwarzania elementów i podzespołów pojazdów samochodowych z kompozytów polimerowych. Przedstawiono zalety i wady obecnie stosowanych technologii wytwarzania. Zaproponowano nową technologię wytwarzania elementów pojazdów samochodowych metodą prasowania nowo opracowanej sproszkowanej żywicy epoksydowej. Nowa żywica charakteryzuje się tym, iż w pewnych zakresach temperatur jest termoplastyczna, natomiast po przekroczeniu zaprogramowanej temperatury staje się termoutwardzalna. Takie właściwości generują nowe możliwości technologiczne w zakresie wytwarzania części i podzespołów pojazdów.

Słowa kluczowe: Pojazdy samochodowe, kompozyty polimerowe, prasowanie kompozytów

Wstęp

Rozwój konstrukcji pojazdów samochodowych szczególnie widoczny jest w obszarze pojazdów z napędami alternatywnymi. Obserwujemy rezygnację wielu firm z produkcji i stosowania do napędów samochodów osobowych silników z zapłonem samoczynnym. Kolejne firmy prezentują nowe modele pojazdów z napędem hybrydowym lub elektrycznym. Ten ogólnosiwiatowy trend wywołany jest koniecznością ograniczenia emisji trujących składników spalin do atmosfery. Szczególnie istotne jest to w dużych skupiskach miejskich, gdzie spaliny z pojazdów kierowane są wprost na przechodniów. Nowe konstrukcje wymagają obniżania masy pojazdów. Z tego względu istnieje konieczność stosowania do ich budowy lekkich materiałów kompozytowych. Prognozuje się, że zastosowanie kompozytów polimerowych w branży motoryzacyjnej może zwiększyć się nawet czterokrotnie do 2025 roku. Prawdopodobnie będzie to odbywać się poprzez wymianę poszczególnych elementów konstrukcyjnych wykonanych z klasycznych materiałów na konstrukcje kompozytowe. W późniejszym okresie dojdzie do wytwarzania całych pojazdów z kompozytów. Taki sposób stosowania kompozytów polimerowych ma obecnie miejsce w przypadku budowy samochodu BMW i3¹. Wyraźnie widoczny jest wzrost stosowania kompozytów do budowy zbiorników ciśnieniowych na sprężony gaz ziemny, a także na wodór.

Wraz z rozwojem i rozpowszechnianiem się technologii CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) do produkcji elementów konstrukcyjnych, cena kompozytowych materiałów sukcesywnie obniża się, co czyni je coraz bardziej atrakcyjnymi dla producentów samochodów. Duży potencjał w zakresie obniżenia kosztów produkcji przy zachowaniu wysokich właściwości wytrzymałościowych wyrobów z CFRP mają technologie umożliwiające wytwarzanie elementów konstrukcyjnych pojazdów w krótkich operacjach technologicznych. Interesujące pod tym względem są technologie: High Pressure Resin Transfer Molding (HP-RTM), Prepreg Compression Molding i Liquid Compression Molding (LCM).

W artykule przedstawiono wymagania materiałowe i stosowane technologie do wytwarzania samochodowych części kompozytowych, a także analizę możliwości wykorzystania

nowych technologii wytwarzania konstrukcyjnych elementów kompozytowych do budowy struktur nośnych pojazdów samochodowych.

Wymagania materiałowe w produkcji części samochodowych

W budowie pojazdów coraz szersze zastosowanie znajdują polimerowe kompozyty włókniste, ponieważ spełniają zarówno podstawowe jak i nietypowe wymagania materiałowe. Przy zachowaniu wymagań technologicznych można obecnie otrzymać kompozyty polimerowe o parametrach wytrzymałościowych wyższych niż parametry większości powszechnie stosowanych stali. Takie wyjątkowe właściwości zapewniają niektóre wzmocnienia karbonizowane. W przemyśle samochodowym stosowane są na ogół kompozyty ze wzmocnieniem karbonizowanym standardowym lub szklanym, które charakteryzuje wysoka wytrzymałość oraz niższy koszt produkcji. Materiały te mają około pięciokrotnie większą wytrzymałość właściwą i moduł właściwy od stali i stopów aluminium. Wynika to ze znacznie niższej gęstości materiałów łączących włókna i jednocześnie wysokiej wytrzymałości włókien. Ich stosowanie umożliwia redukcję masy elementów podzespołów i zespołów pojazdów nawet o 50 – 60 % w porównaniu do materiałów konwencjonalnych. Występująca anizotropowość kompozytów jest wykorzystywana do uzyskania bardziej efektywnych struktur nośnych, np. w wyrobach przeciąganych (pultruzja). Kompozyty mają wytrzymałość zmęczeniową większą od stopów metali. Zwykle uszkodzenia zmęczeniowe widoczne są dużo wcześniej i można zapobiec uszkodzeniom katastroficznym. Ponadto, w strukturę kompozytu można wprowadzić autonomiczne przetworniki kontrolujące stan konstrukcji.

Oprócz wymaganej wysokiej wytrzymałości i sztywności kompozytów polimerowych, wystarczająca jest także ich odporność cieplna. Kompozyty na bazie żywic poliestrowych można stosować do temperatury 120 °C, żywicy epoksydowych do 150 °C, a w przypadku żywic poliimidowych do 180 °C. Do zaakceptowania jest także termiczna rozszerzalność liniowa α . W zależności od wybranej osnowy kompozytu ze wzmocnieniem szklanym rozszerzalność α jest porównywalna lub najwyżej dwukrotnie większa w porównaniu z wyrobem stalowym,

a w przypadku wzmocnienia karbonizowanego - jest mniejsza. Kompozyty polimerowe dobrze tłumią drgania, przy czym tłumienie drgań może być dostosowane do pożądanego poziomu przez odpowiedni dobór składników kompozytu i technologię wytwarzania. Kompozyty polimerowe dobrze tłumią także dźwięki i jednocześnie części emitują mniejszy hałas. W zależności od wykonania elementy kompozytowe nie wymagają zabezpieczeń antykorozyjnych. Możliwe jest nanoszenie trwałych powłok lakierniczych lub barwienie w masie osnowy.

Pewne ograniczenia występują w czasie łączenia elementów w zespoły. Obróbka ubytkowa kompozytów prowadzi do przerwania ciągłości wzmocnienia, koncentracji naprężeń w pobliżu otworów i wybrań, lokalnego rozwarstwiania kompozytu, a następnie destrukcji. Aby tego uniknąć należy redukować liczbę elementów w zespołach poprzez konstruowanie zintegrowanych podzespołów zachowujących wymaganą funkcjonalność. Charakterystyczne jest wytwarzanie konstrukcji kompozytowych łącznie z osadzonymi w jej wnętrzu metalowymi elementami konstrukcyjnymi, stanowiącymi integralną część całości. Właściwe przygotowanie powierzchni elementów metalowych zapewnia wymaganą adhezję. Łączenie elementów umożliwia także technologia klejenia, która zapewnia dostateczną trwałość połączenia i jednocześnie eliminuje niektóre zabiegi stosowane w standardowych metodach łączenia.

Producenci elementów kompozytowych mają do dyspozycji sporą grupę tworzyw polimerowych, wliczając różne rodzaje żywicy¹¹. Do elementów o większych gabarytach stosuje się żywice polimeryzacyjne, które w czasie sieciowania nie wydzielają produktów lotnych i nie wymagają wysokiego ciśnienia zewnętrznego, np. ciśnienia prasowania. Są to żywice poliestrowe, winyloestrowe, epoksydowe, a w przypadku wymagania wyższych odporności cieplnych stosowane są żywice poliimidowe. Żywice są wytwarzane w różnych wersjach zależnie od zastosowania wyrobu, metody przetwórstwa, itp. Produkowane są więc żywice o różnych właściwościach mechanicznych po utwardzeniu wyrobu, różnej odporności cieplnej i chemicznej, w wersji „uniekpalnionej” i inne. Do niektórych technologii (infuzji, RTM) stosowane są żywice o obniżonej lepkości. Zależnie od metody przetwórstwa dobiera się żywice o wymaganych parametrach technologicznych. Najczęściej przetwarzane są żywice w postaci ciekłej. Bardziej praktyczne są materiały w postaci stałej, od proszku po miękkie tłoczywo, a w tym także ze wzmocnieniem włóknistym. W przemyśle samochodowym często stosowane są również preimpregnaty, które wskutek dodania związku magnezu są wstępnie usieciowane i w postaci półwyrobów o podwyższonej lepkości mogą w odpowiednich warunkach otoczenia przez określony czas być magazynowane i następnie przetwarzane.

W zależności od wymagań postawionych wyrobom kompozytowym preimpregnaty mogą być wzmocnione włóknami naturalnymi lub syntetycznymi, organicznymi lub nieorganicznymi. Najczęściej są to włókna szklane i węglowe, rzadziej aramidowe i bazaltowe, a włókna roślinne są stosowane na wzmocnienia wyrobów uzupełniających wyposażenie pojazdów, np. półki, wykładziny. Wzmocnienia są najczęściej stosowane w postaci półwyrobów: tkanin, mat lub rovingu. Największy efekt wzmocnienia można osiągnąć poprzez stosowanie włókien

ciągłych, i odpowiednio mniejszy, w przypadku włókien ciętych długich, krótkich i sproszkowanych.

Metody formowania elementów i podzespołów pojazdów z kompozytów polimerowych

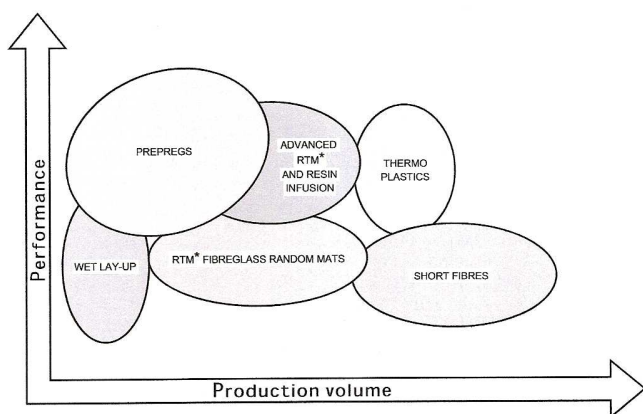
Prawdopodobnie przyczyną braku powszechnego stosowania kompozytów polimerowych w budowie samochodów jest konserwatywne podejście inżynierów w fazie projektowania pojazdów. Nie bez znaczenia jest mniejsza ilość zakładów specjalizujących się w produkcji kompozytowych elementów i podzespołów pojazdów. Wymagany jest specjalistyczny, kosztowny park maszynowy oraz wyspecjalizowana kadra inżynierska. Stosunkowo niewysoki obecnie koszt materiałów i intensywny rozwój technologii wytwarzania kompozytów polimerowych w czasie ostatnich dwóch dekad już nie powinny stanowić przeszkody w ich stosowaniu w pojazdach.

Istnieje wiele metod wytwarzania elementów kompozytowych z osnową z tworzyw termo- i chemoutwardzalnych. Przedmiotem zainteresowania są przede wszystkim strukturalne części kompozytowe o większych gabarytach. Są one wytwarzane najczęściej z tworzyw chemoutwardzalnych, polimeryzacyjnych. Części dla motoryzacji wytwarzane z tworzyw kondensacyjnych mają na ogół niedużą masę, a poza tym wiele z nich zostało zastąpionych częściami z tworzyw termoplastycznych wzmocnionych ciętymi włóknami szklanymi lub innymi.

Typ i jakość wyrobu determinują wybór technologii wytwarzania, a ta z kolei ma bezpośredni wpływ na koszty produkcji. Szeroko pojęta faza projektowania elementów kompozytowych winna uwzględniać obok czynników związanych z wyrobem także wydajność metody, zapotrzebowanie na energię i media, dodatkowe operacje, ilość braków produkcyjnych, koszt maszyn, urządzeń i oprzyrządowania, włącznie z uwzględnieniem uciążliwości dla ludzi i środowiska. Typowa wielkość produkcji części do samochodów ciężarowych waha się od 5 tys. do 20 tys. sztuk rocznie. Dla samochodów osobowych skala produkcji jest większa i wynosi od 80 tys. do 500 tys. części rocznie. Łączne koszty oprzyrządowania do produkcji części kompozytowych są niższe niż koszty przyrządów do wykonania wyrobu tłoczonego z blach metalowych, ponieważ wyrób tłoczony wymaga na ogół kilku operacji i różnego oprzyrządowania. W branży motoryzacyjnej koszt oprzyrządowania jest istotny, chociaż ze względu na znaczne serie nie ma decydującego znaczenia.

Ze względu na wymagania wysokiej wytrzymałości i trwałości elementów, w procesie wytwarzania stosuje się podwyższone ciśnienie w celu usunięcia nadmiaru spoiwa wraz z zamkniętym w przestrzeni kompozytu powietrzem oraz odcięcia dopływu tlenu do powierzchni utwardzanego wyrobu. W metodach infuzyjnych, prasowania na zimno i gorąco żywic ciekłych oraz preimpregnatów, a także impregnacji w autoklawie są spełnione wymienione wymagania i można uzyskać stosunkowo duży udział wzmocnienia w objętości kompozytu. Ale tylko metodami prasowania na gorąco żywic ciekłych i preimpregnatów oraz metodą infuzyjną HP-RTM można otrzymywać wyroby kompozytowe o najwyższych dokładnościach. Elementy są obustronnie gładkie w wymaganej dla elementów samochodowych klasie gładkości i strukturze. Wymienione metody charakteryzuje także wysoka wydajność. Zaletą stosowania preimpregnatów jest

„czysty” proces produkcyjny. Z dostarczonych półwyrobów wycina się odpowiedni zarys wyrobu i formuje metodą prasowania w odpowiednich warunkach temperatury, ciśnienia i czasu. Metoda wytwarzania kompozytów w autoklawie z powodu niskiej wydajności nie jest powszechnie stosowana w przemyśle motoryzacyjnym. Na rys. 1 schematycznie przedstawiono przydatność niektórych technologii wytwarzania kompozytów w produkcji masowej pojazdów. Dwie technologie mające zastosowanie w produkcji masowej odnoszą się do wyrobów wzmocnionych włóknami ciętymi. Są to technologie prasowania tłoczyw termoutwardzalnych oraz wtryskiwania wzmocnionych tworzyw termoplastycznych. Z powodzeniem stosuje się je od kilku dekad do wytwarzania między innymi części osprzętu silników.



Rys. 1. Przydatność niektórych technologii wytwarzania wyrobów ze wzmocnieniem włóknistym do produkcji masowej części do pojazdów ^{III}

Wspomniane wyżej technologie mają zastosowanie głównie do wytwarzania elementów poszycia zewnętrznego. Obciążone elementy strukturalne wytwarzane są z rovingu szklanego lub węglowego metodą przeciągania (pultruzji), natomiast zbiorniki gazu (CNG, wodór) - metodą nawijania. Coraz częściej w branży motoryzacyjnej stosuje się do produkcji elementów karoserii technologię reaktywnego wtryskiwania monomerów epoksydowych lub poliuretanowych z włóknami szklanymi (metody R-RIM i S-RIM) ^{IV-VI}. Z kolei elementy uzupełniające w budowie pojazdów, o niższych wymaganiach wytrzymałościowych, wytwarzane są coraz częściej z kompozytów włóknistych z osnową termoplastyczną przy zastosowaniu w różnym układzie urządzeń uplastyczniających, mieszających i homogenizujących tworzywo oraz na końcu linii - prasy do prasowania. Można w takim przypadku także prasować części z preimpregnatu termoplastycznego.

W branży motoryzacyjnej dość powszechne zastosowanie do produkcji kompozytowych elementów pojazdów znalazły technologie RTM i prasowania preimpregnatów. Metody te gwarantują wysoką jakość zarówno struktury wewnętrznej jak i powierzchni zewnętrznych elementów. Metody te są szczególnie przydatne do wytwarzania wysokowytrzymałych elementów strukturalnych, chociaż nie są pozbawione wad. W klasycznej metodzie RTM, proces technologiczny jest dość wolny i skomplikowany, co w znacznym stopniu ogranicza jego zastosowanie w produkcji wielkoseryjnej. Wad tych nie ma wysokociśnieniowa metoda HP-RTM, która jednak wiąże się

z wysokimi nakładami finansowymi na zakup niezbędnych urządzeń technologicznych (Rys. 2). Podobnie wytwarzanie części kompozytowych z preimpregnatów wymusza poniesienie wysokich nakładów finansowych na urządzenia technologiczne. Mało tego, przechowywanie preimpregnatów wymaga zapewnienia odpowiednich warunków. To w znacznym stopniu ogranicza zastosowanie tej metody w produkcji seryjnej.



Rys. 2. Gotowe elementy nadwozia formowane metodą RTM ^{VII}

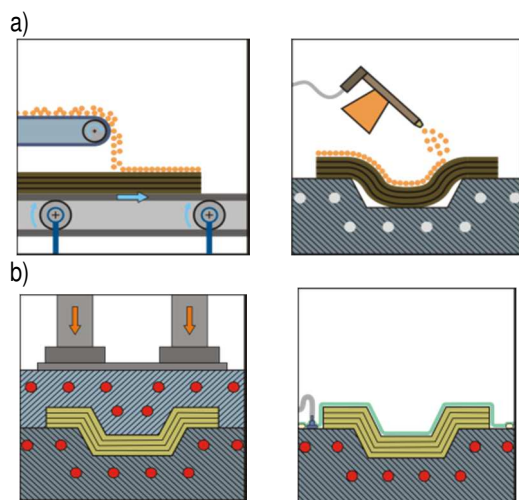
Nowe technologie formowania kompozytowych elementów pojazdów

Dość obiecującymi metodami, stanowiącymi alternatywę do wyżej wymienionych technologii, mogą stać się technologie oparte na zastosowaniu sproszkowanych żywic epoksydowych. Firma New Era Materials przy współpracy z Technische Universität Dresden opracowała sproszkowaną żywicę A.S. SET, która w zakresie temperatur 80 ÷ 120 °C wykazuje obniżoną lepkość i doskonale impregnuje włókna wzmacniające. Powyżej temperatury 110 °C zachodzi w niej proces sieciowania. Czas sieciowania tej żywicy wynosi ok. 4 min i zależy od grubości wytwarzanego wyrobu. Po utwardzeniu wyrób ma właściwości duroplastyczne i jest odporny cieplnie aż do temperatury 350 °C. Właściwości materiału umożliwiają w krótkim czasie przygotować i uruchomić proces produkcji seryjnej elementów z polimerowych kompozytów włóknistych. Żywica A.S. SET może być stosowana w postaci sproszkowanej lub w postaci „suchych” preimpregnatów. Dla żywic sproszkowanych opracowano technologię RPM (Resin Powder Moulding), a dla preimpregnatów technologię TSF (Thermoset Sheet Forming).

W obu przypadkach proces technologiczny składa się z dwóch etapów. W pierwszym etapie na poszczególne warstwy wzmocnienia nanosi się warstwę sproszkowanej żywicy. Operacja może być realizowana za pomocą podajników lub pistoletów proszkowych, zależnie od wielkości i rodzaju produkcji (rys. 3a, rys.4). Proszek powinien być naniesiony w miarę równomiernie w ilości zapewniającej właściwą impregnację wzmocnienia i założony udział masowy osnowy w strukturze kompozytu.

W dalszej kolejności następuje wstępne podgrzanie umieszczonych w formie składników kompozytu do temperatury ok. 70 °C. Taka temperatura zapewnia dobre przywieranie proszku do wzmocnienia i ułatwia manipulację półwyrobem przed dalszym procesem przetwórstwa. Tak przygotowane półwyroby mogą być przechowywane w temperaturze pokojowej do 12 miesięcy. W tym okresie nie dochodzi do degradacji materiału oraz obniżenia parametrów wytrzymałościowych. W dalszych operacjach półwyroby mogą być dowolnie łączone z innymi, w podobny

sposób przygotowanymi półwyrobami, lub innymi materiałami pokrytymi żywicą A.S. SET, np. fornirem drewnianym, balsa.



Rys. 3. Schemat procesu wytwarzania wyrobów kompozytowych metodą RPM: a) nanoszenie sproszkowanej żywicy, b) prasowanie lub formowanie infuzyjne warstw wzmocnienia



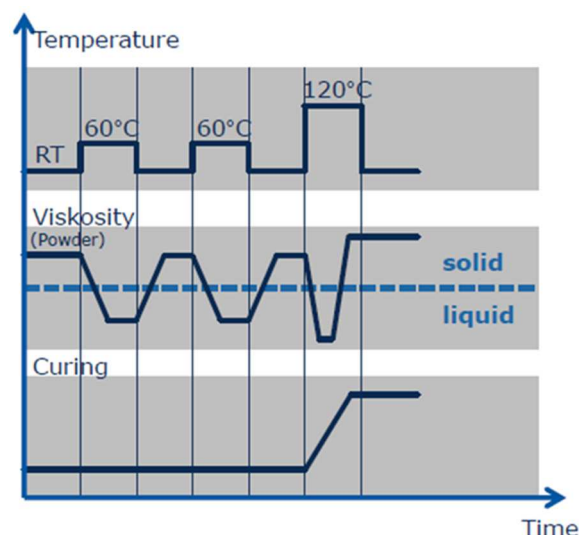
Rys. 4. Nanoszenie proszku żywicy A.S. SET na wzmocnienie

W kolejnym etapie (Etap 2) umieszcza się przygotowane półwyroby o właściwym zarysie geometrycznym w formie i podgrzewa do temperatury $120 \div 140^\circ\text{C}$. Podgrzany wyrób poddaje się prasowaniu lub działaniu podciśnienia (w przypadku metody infuzji) celem wywołania kolejno procesów impregnacji i sieciowania (rys. 3b). W przypadku prasowania za pomocą prasy hydraulicznej przygotowany półwyrób jest umieszczony w podgrzewanej formie, natomiast w przypadku prasy membranowej półwyrób umieszczony w formie jest nagrzewany za pomocą promienników podczerwieni, a następnie wywierany jest nacisk za pomocą stempla zamykającego formę lub poprzez membranę silikonową. Podwyższona temperatura i ciśnienie wspomagają proces impregnacji oraz utwardzania żywicy.

Należy zaznaczyć, że w przedstawionych procesach wytwarzania do usunięcia wyrobu z formy nie ma potrzeby jej schładzania, co znacznie przyczynia się do skrócenia cyklu produkcyjnego. Orientacyjne parametry procesu są następujące:

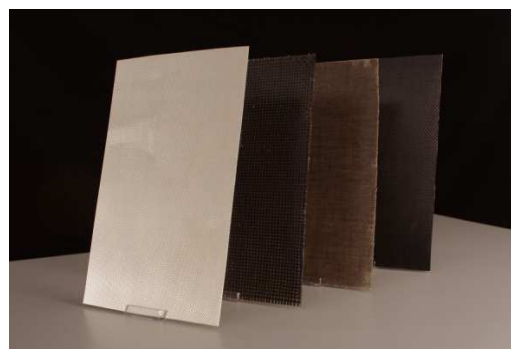
- ciśnienie: do 40 kPa
- temperatura sieciowania: $120 \div 140^\circ\text{C}$ (zakres zalecany)
- czas prasowania: $8 \div 10$ min.

Przebieg zmian lepkości dla charakterystycznych temperatur żywicy A.S. SET schematycznie przedstawiono na rysunku 5. Procesy przechodzenia ze stanu stałego do stanu uplastycznionego w zakresie temperatur $20 \div 60^\circ\text{C}$ mogą być powtarzane kilkakrotnie. Po podgrzaniu żywicy do temperatury $110 \div 120^\circ\text{C}$ zaczyna się proces sieciowania i żywica zostaje utwardzona.



Rys. 5. Właściwości żywicy A.S. SET

Rozwinięciem technologii RPM (Resin Powder Moulding) jest technologia TSF (Thermoset Sheet Forming), która bazuje na niezależnie produkowanych półwyrobach w postaci płyt. Płyty produkowane są w procesie prasowania ciągłego w temperaturze nie przekraczającej temperatury początku sieciowania. Przygotowane półwyroby charakteryzują się wysokimi parametrami wytrzymałościowymi. Płyty zawierają ok. 60 % fazy wzmacniającej w postaci tkanin z włókien węglowych, aramidowych lub szklanych (rys.6). Półwyroby można w procesie przetwórstwa łączyć do docelowej grubości kompozytu wynikającej z wymagań wytrzymałościowych lub eksploatacyjnych części. Wyrób kompozytowy może być wykonany z tego samego wzmocnienia (tkaniny) lub w odpowiednich zestawieniach jako wyrób hybrydowy. Stan skupienia oraz wysoka jakość półwyrobów umożliwia ich łatwe, długoterminowe przechowywanie.

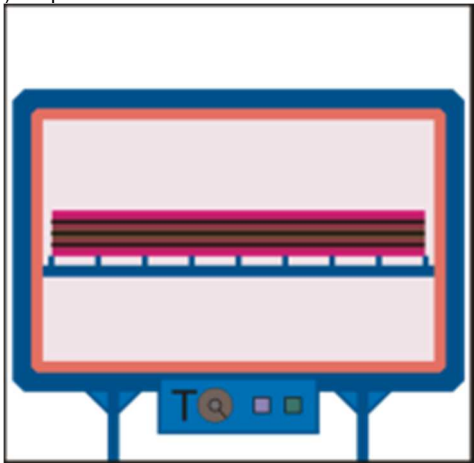


Rys. 6. Półwyroby w postaci płyt wzmocnione różnymi rodzajami tkanin

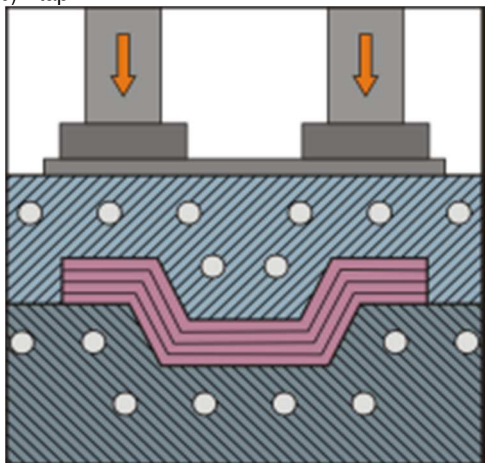
Proces wytwarzania elementów kompozytowych metodą TSF jest jeszcze mniej złożony, niż opisana wcześniej technologia RPM. Składa się z operacji nagrzania pakietu zestawionych płyt do

określonej temperatury, a następnie ich prasowaniu w formie. Parametry procesu są każdorazowo ustalane w próbach i są zbliżone do wymienionych dla poprzedniej metody formowania. Technologię tę schematycznie przedstawiono na Rysunku 7. Technologia ta pozwala na znaczne skrócenie procesu produkcji zarówno w fazie przygotowania materiału jak i w fazie wytwarzania.

a) Etap 1



b) Etap 2



Rys. 7. Schemat procesu wytwarzania elementów kompozytowych metodą TSF: a) nagrzanie pakietu płyt, b) prasowanie pakietu płyt

Zastosowanie technologii RPM i TSF do wytwarzania elementów pojazdów

Obecnie trwają prace konstrukcyjne nad zastosowaniem wymienionych technologii do budowy wybranych elementów struktur nośnych pojazdów. Podjęto próby wytworzenia kształtowników mogących mieć zastosowanie do budowy progów, słupków lub elementów usztywniających nadwozia samonośne pojazdów. Trwają również prace nad zastosowaniem jej do wytwarzania ram okiennych autobusów miejskich. Na rys. 7a pokazano fragment słupka bocznego wykonanego technologią RPM, a na rys. 7b element konstrukcyjny wykonany technologią TSF. Ogólną koncepcję konstrukcyjną autobusowego okna kompozytowego przedstawiono na rysunku 8, a na rysunku 9 pokazano narożnik ramy okiennej wykonany technologią TSF.

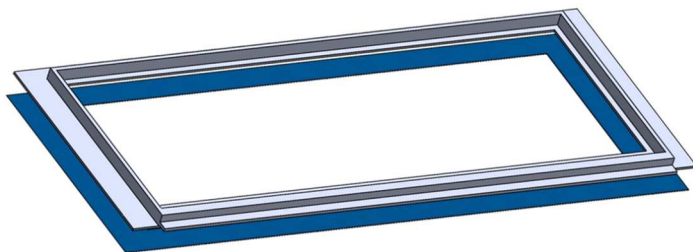
a)



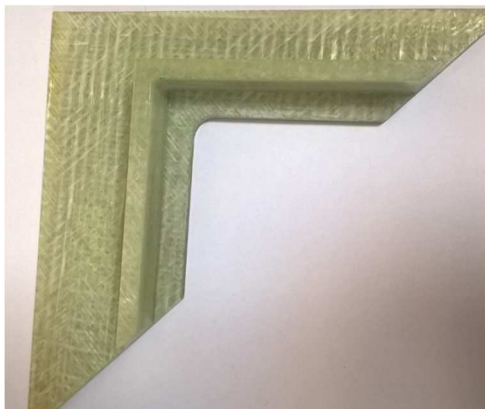
b)



Rys. 8. Wyroby z kompozytów polimerowych otrzymane metodą RPM (a) i metodą TSF (b)



Rys. 9. Koncepcja ramy nośnej okna kompozytowego wykonanego technologią TSF



Rys. 10. Narożnik ramy okiennej wykonany technologią TSF

Podsumowanie

Należy mieć świadomość wad i ograniczeń wyrobów i konstrukcji z kompozytów polimerowych. Jeśli masa nie ma pierwszoplanowego znaczenia, to stal i inne tradycyjne materiały mogą być z powodzeniem stosowane przy stosunkowo niskich kosztach materiałowych i wytworzenia konstrukcji. Anizotropia i inne „specjalne” cechy kompozytów są zaletami, które zapewniają dużą elastyczność projektowania, ale z drugiej strony komplikują proces projektowania. Dobrze znane narzędzia analizy naprężeń używane do projektowania w zakresie izotropii i liniowej odkształcalności powinny być rozszerzone i uwzględniać anizotropię kompozytów. Nowe bardziej zaawansowane narzędzia są trudniejsze do stosowania i wymagają większej wiedzy z zakresu mechaniki i technologii wytwarzania kompozytów. Kompozyty ciągle uważane są za „materiały przyszłości”, a skala ich gospodarczego wykorzystania nadal jest nieadekwatna do ich właściwości. W rezultacie, wyroby i konstrukcje z kompozytów polimerowych są prawie zawsze bardziej kosztowne niż z tradycyjnych materiałów. Kompozyty polimerowe należy stosować w zamian za „extra” zalety równoważące wzrost kosztów konstrukcji.

Przedstawione w artykule technologie RPM i TSF są zbliżone do popularnych w przemyśle samochodowym technologii tłoczenia blach stalowych. Czasy jednostkowe nowych technologii są na tyle krótkie, że przemysł samochodowy, charakteryzujący się wielkoseryjną produkcją, może je zaakceptować. W jednej operacji można otrzymać gotowy wyrób, w szczególności eliminując wiele zabiegów składających się na proces malowania. Nowa technologia wymaga prób zastosowania jej do wytwarzania elementów nośnych stosowanych w pojazdach samochodowych. Porównania właściwości wytworzonych nowymi metodami elementów z podobnymi wykonanymi z konwencjonalnych materiałów są korzystniejsze dla wyrobów kompozytowych. W dalszej kolejności należałoby stworzyć narzędzie analityczne umożliwiające w prosty sposób projektować podzespoły i części

pojazdów. Nie bez znaczenia są parametry wytrzymałościowe połączeń elementów wykonanych za pomocą technologii RPM i TSF z innymi elementami nośnymi.

Podziękowania

Badania przedstawione w artykule zostały wykonane w ramach projektu: *Zabudowa specjalna nadwozia o podwyższonej trwałości na potrzeby wariantu pojazdu kategorii „L” o podwyższonej mobilności „Triggo”, przeznaczonego do eksploatacji w sieciach wynajmu automatycznego „carsharing” i technologia seryjnej produkcji jej elementów na bazie innowacyjnych żywic epoksydowych A.S. SET.*

Application no.: POIR.01.02.00-00-0285/16

Bibliografia:

- I. Boczkowska A., Kapuściński J., Puciłowski K., Wojciechowski S.: Kompozyty WPW, Warszawa 2004.
- II. Deinzer G. H., Reim H., Hermes Ch., Schneidewind Th., Masini A., Enz J.: Class A mit CFK - Beispiel Heckklappe Gallardo Spyder; Kunststoffe im Automobilbau 2007, VDI – Verlag 2007.
- III. Derks M., Birzle F., Pfitzer H.: CFK- Technologie bei der BMW Group – Heute/Zukunft; Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2007.
- IV. Drechsler K.: CFK – der Automobilwerkstoff der Zukunft; Kunststoffe im Automobilbau, VDI - Verlag 2010.
- V. Feraboli P., Masini A., Bonfatti A.: Advanced composites for the body and chassis of a production high performance car; International Journal of Vehicle Design, Vol. 44, 2007.
- VI. www.tworzywa.com.pl (17.04.2010)
- VII. Mangino E., Indino E.: The use of composite materials in vehicle design; Design and Structural Simulation of Composites in Transportation, 28th June 2002, Genoa, Italy.

MSG | MICHAŁ SOŁOWOW GROUP

