

Model - forma - kompozyt



Materiały kompozytowe już od dziesiątek lat umacniają swoją pozycję na rynku, stale rozwijając się w coraz to nowych gałęziach przemysłu. Przyzwyczailiśmy się już do kompozytów w szeroko pojętej branży transportowej – pociągi, tramwaje, autobusy, samoloty, jednak kompozyty w budownictwie, elektronice czy w przedmiotach codziennego użytku, to niejednokrotnie dla nas nowość.

Europejski rynek kompozytów szklanych GRP (Glass Reinforced Plastics) od kilku lat notuje stały, stabilny wzrost. Szacowana wielkość produkcji w 2016 roku wynosiła aż 1.096 milionów ton. Dodatkowo wzrost również notuje udział włókien węglowych w produkcji kompozytów. W 2015 roku globalne zapotrzebowanie na carbon wynosiło 58 ton a w 2016 roku - 64 tony, co stanowi wzrost o 9,4%. Szacuje się, że zużycie stale będzie wzrastało na poziomie 10 – 12% rocznie a w 2022 roku światowe zapotrzebowanie na włókna węglowe wzrośnie aż do 120 ton! [źródło: „Composites Market Report 2016” AVK/CCeV]

Światowy trend wzrostu zainteresowania kompozytami wymusza na projektantach i inżynierach skrócenie czasu produkcji. Bycie konkurencyjnym producentem to już nie tylko kwestia ceny ale i możliwość szybkiego wprowadzenia finalnego produktu na rynek. Czas całego procesu – od projektu do wykonania gotowego elementu staje się jednym z czynników krytycznych. Skrócenie tego parametru przy jednoczesnym zachowaniu wymaganych własności elementu jest jednym z kluczowych zadań stawianym przed dzisiejszymi inżynierami na rynku zaawansowanych materiałów.

Proces wykonania każdego produktu rozpoczyna się od projektu. W środowisku zaawansowanych pro-

gramów do trójwymiarowego projektowania elementów, dla wykwalifikowanego konstruktora stworzenie odpowiedniego projektu nie stanowi dziś wyzwania. Gotowy projekt wraz z całą dokumentacją techniczną zostaje przekazany dalej do rozpoczęcia procesu produkcyjnego. Ogólnie rzecz ujmując proces ten składa się z trzech podstawowych etapów: przygotowanie modelu, wykonanie formy oraz produkcja wyrobu finalnego.

Obecnie najpopularniejszym sposobem produkcji modelu a następnie formy jest technologia frezowania na maszynach CNC. Proces ten jest znacznie szybszy i dużo dokładniejszy od klasycznych metod. Jako materiały do frezowania tradycyjnie stosowane były drewno i produkty drewnopochodne. Ze względu jednak na wyjątkowo negatywny wpływ wilgoci i temperatury na tak przygotowane modele, coraz częściej ustępują one miejsca nowym, bardziej zaawansowanym materiałom, jak **płyty modelarskie** dedykowane do wykonywania modeli małych, oraz pasty SMP (Seamless Modelling Paste) dedykowane do modeli średnich i dużych.

Proces z wykorzystaniem płyt modelarskich polega na sklejeniu płyt o odpowiedniej wielkości i kształcie w nadwymiarową bryłę, która następnie zostaje poddana frezowaniu do uzyskania modelu o wymaganych wymiarach.

Technika SMP z kolei pozwala na szybką produkcję dużych, precyzyjnych modeli o złożonych kształtach. Proces ten odbywa się za pomocą specjalnej maszyny mieszająco-dożującej a pasta nakładana jest przez elastyczny wąż zakończony dyszą aplikacyjną na wcześniej przygotowany podwymiarowy rdzeń ze styropianu lub lekkiej pianki poliuretanowej. Tak przygotowany model, po utwardzeniu pasty, poddaje się najpierw frezowaniu zgrubnemu a następnie wykańczającemu, aż do uzyskania wymaganych wymiarów. Wyjątkową korzyścią ze stosowania metody SMP jest znaczne skrócenie czasu produkcji (oferowane pasty pozwalają na uzyskanie 100 m² powierzchni w 8 godzin!) oraz oszczędność kosztów (podbudowa modelu zbudowa-

Światowy trend wzrostu zainteresowania kompozytami wymusza na projektantach i inżynierach skrócenie czasu produkcji.



wana jest w większości z tanich materiałów takich jak styropian EPS, pianki PUR).

Krokiem następnym po wykonaniu modelu wzorcowego jest wykonanie formy. Coraz większą popularność zdobywają formy kompozytowe. Mogą być one produkowane z systemów poliestrowych, winyloestrowych oraz epoksydowych.

Duże uznanie rynku zdobył szybki i **niskoskurczowy system formierski**, w skład którego wchodzi żelkoty winyloestrowe, żywice winyloestrowe na warstwy przekładkowe oraz bezskurczowe, wypełnione żywice poliestrowe lub winyloestrowe. Produkcja formy rozpoczyna się od nałożenia na model w kilku warstwach odpowiedniego środka rozdzielającego, następnie na tak przygotowaną powierzchnię aplikowany jest żelkot narzędziowy. Żelkot dostępny jest w wersji do nakładania pędzlem lub do natrysku i cechuje się łatwym samoodgazowaniem, doskonałą zdolnością utrzymywania połysku podczas produkcji oraz wysoką wytrzymałością na temperaturę (do 140°C) i odpornością na pękanie. Kolejno nakładane są żywica przekładkowa z matą proszkową oraz

Należy uważać na zachowanie odpowiedniej proporcji żywicy do maty szklanej.

żywica formierska z matami emulsyjnymi. Podczas laminowania kolejnych warstw, ważne jest aby usunąć wszystkie pojawiające się pęcherze powietrza. Należy również uważać na zachowanie odpowiedniej proporcji żywicy do maty szklanej (zwykle stosunek żywicy do maty powinien wynosić 4:1). Po całkowitym utwardzeniu ostatniej warstwy, na tak przygotowaną formę nakładana jest rama, kratownica lub inne niezbędne wzmocnienie. Po 24 godzinach od ostatniej operacji, formę można zdjąć z modelu.

Analogicznie do opisanego wcześniej procesu produkcji form stosuje się **systemy epoksydowe**, złożone z żelkotu epoksydowego, warstwy sprzęgającej mającej na celu zapewnienie odpowiedniej siły wiązania żelkotu z żywicą oraz epoksydowej żywicy do laminowania i tkanin, lub z użyciem specjalnych past do laminowania. Pasty do laminowania są to fabrycznie przygotowane mieszanki żywicy i ciętego włókna (szkło lub węgiel) oraz utwardzacz.

Jako wzmocnienie z zastosowaniem żywic epoksydowych bardzo często zamiast włókien szklanych stosowane są włókna węglowe. Przy produkcji zazwy-

czaj wykorzystuje się techniki laminowania ręcznego, worka próżniowego lub infuzji. Żywice do laminowania są także wykorzystywane do wykonywania wytrzymałych mieszanek żywicznych z użyciem lekkich lub ciężkich wypełniaczy.

Nowością przy wykonywaniu form jest zastosowanie specjalnych systemów **prepregów narzędziowych** dedykowanych do produkcji form oraz narzędzi.

Oprócz form kompozytowych, na rynku popularne są również formy frezowane, wykonane z **płyt poliuretanowych** lub **epoksydowych**, cechujących się wyższą od nich odpornością termiczną i chemiczną. Każda z płyt wykazuje swoją unikalną kombinację cech fizycznych i mechanicznych, w tym różnych: gęstości, wytrzymałości na zginanie, rozciąganie i ścisnienie, temperatury ugięcia oraz rozszerzalności cieplnej, które to predysponują je do konkretnych zastosowań. Płyty narzędziowe gwarantują doskonałą jakość powierzchni i stabilność wymiarową, łatwość obróbki oraz dużą wytrzymałość krawędzi.

Po odpowiednim wykonaniu formy można przystąpić do produkcji elementów finalnych. Wiadome jest, że własności materiału kompozytowego determinowane są poprzez: rodzaj zbrojenia, rodzaj żywicy, stosunek udziału zbrojenia do żywicy i orientację włókien w materiale kompozytowym.

Pierwsze dwa elementy pokazują jak bardzo ważny jest wybór odpowiednich włókien oraz żywicy. Oba materiały nie powinny jedynie spełniać wymagań wytrzymałościowych założonych dla elementu finalnego, ale muszą również być ze sobą kompatybilne. Dodatkowo, stosunek udziału włókien do żywicy w finalnym wyrobie powinien być tak dobrany, aby wszystkie włókna zostały całkowicie powleczone żywicą, a przestrzenie pomiędzy nimi całkowicie wypełnione. Ponieważ laminaty są materiałami silnie anizotropowymi, orientacja włókien w kompozycie ma kluczowe znaczenie. Musi ona być dostosowana do kierunku działających obciążeń, gdyż najlepsze własności włókien przebiegają w kierunku ich długości, a nie w przekroju poprzecznym. W dzisiejszych czasach materiałami stosowanymi do wytwarzania włókien stanowiących zbrojenie jest szkło (najczęściej typu E-, rzadziej R-, S-, T- czy AR), węgiel oraz aramid. Popularnością, choć w mniejszym zakresie, cieszą się również włókna bazaltowe oraz naturalne (np. lniane). Włókna występujące w laminacie mają postać włókien ciętych lub ciągłych w postaci rowingu, mat, tkanin plecionych czy też sztych.

Rowing jest nawiniętym na szpulę pasmem włókien z zastosowaniem skrętu lub bez. Na rynku dostępne są różnego rodzaju rowingi szklane, węglowe oraz aramidowe.



Przy produkcji **tkanin plecionych** wykorzystuje się podstawowe rozwiązania stosowane w tradycyjnym tkactwie. W połączeniu z wyspecjalizowanym i precyzyjnym osprzętem wytwórczym pozwalają one na uzyskanie wysokojakościowych materiałów, które spełniają najbardziej rygorystyczne wymagania nowoczesnego przemysłu. Innowacyjne technologie wytwórcze pozwalają na wyprodukowanie praktycznie każdego rodzaju splotu, jednak najpowszechniej do zastosowań przemysłowych wykorzystywane są: PLAIN (splot płócienny 1x1), TWILL (splot skośny 2x2 lub 2x1) oraz SATIN (splot satynowy).

Oprócz tkanin plecionych, szeroko stosowane są również **wielokierunkowe tkaniny szyte**. To, co sprawia, że tkaniny te są tak wyjątkowe to proces ich wytwarzania. Składają się one z dwóch lub więcej warstw z włókien zorientowanych względem siebie w jednym kierunku, które w kolejnych etapach układane są warstwowo i na końcu zszyte razem dla późniejszego łatwiejszego przetworzenia.

Oddzielną grupę materiałów stanowią wzmocnienia wstępnie zaimpregnowane żywicą czyli **prepregi**. Używane początkowo jedynie w lotnictwie, bardzo szybko znalazły zastosowanie w nowej generacji superszybkich pociągów i statków. Wiele gałęzi przemysłu dopiero odkrywa korzyści stosowania prepregów i ich zalet ponad konwencjonalne materiały.

Kolejnym parametrem krytycznym przy doborze składowych elementu kompozytowego jest wybór odpowiedniej żywicy. Prawidłowo dobrana **żywica** powinna spełniać założone parametry wytrzymałościowe i zmęczeniowe, być odporna na działanie czynników zewnętrznych, doskonale pokrywać włókna i być łatwą w przetwarzaniu. Z drugiej strony powinna również spełniać wymagania norm i wytycznych dotyczących środowiska oraz BHP a jej cena powinna być dostosowana do założonego poziomu.

Spośród wielu istniejących na rynku rozwiązań najpopularniejszymi są żywice: poliestrowa, winylo-

Prawidłowo dobrana żywica powinna spełniać założone parametry wytrzymałościowe i zmęczeniowe.

estrowa i epoksydowa. Każda z nich ma szereg zalet, ale i również wad, które niejednokrotnie ograniczają ich zastosowanie. Można pokusić się o stwierdzenie, że żywice poliestrowe stosowane są w najprostszych laminatach przemysłowych, którym nie są stawiane wysokie wymagania wytrzymałościowe, żywice winyloestrowe tam, gdzie głównie wymagana jest odporność na działanie wody, z kolei epoksydy w wysokowydajnych strukturach kompozytowych.

W chwili pojawienia się kompozytów rozumiano, że zastosowanie dodatkowo materiałów przekładkowych znacząco obniży masę laminatu przy zachowaniu lub wzroście parametrów wytrzymałościowych. Od samego początku jako materiały przekładkowe stosowano drewno **balsa i pianki PVC**. Materiały te istnieją na rynku od bardzo dawna, tak więc minimalizacja masy przy jednoczesnej maksymalizacji wytrzymałości została opanowana do perfekcji a oferta rozszerzyła się o **pianki na bazie PET**. Te innowacyjne, termoplastyczne materiały dostępne są również w wersji niepalnej. Dodatkowo w przemyśle wykorzystywane są również materiały przekładkowe w postaci **plastrów miodu**: aramidowego, aluminiowego oraz polipropylenowego.

Wraz z rozwojem materiałów do wytwarzania struktur kompozytowych, zmianom ulegały również procesy wytwarzania tychże materiałów. Współcześnie nadal spotkamy na rynku produkty wytwarzane metodą kontaktową (laminowanie ręczne), ale również takie, przy produkcji których wykorzystano podciśnienie – metoda worka próżniowego i infuzji oraz nadciśnienie – proces autoklawowy. Dlatego też na rynku znajdziemy szeroką gamę **materiałów pomocniczych do technik próżniowych** oraz wysoko zaawansowane **materiały do technik autoklawowych**.

Gotowe elementy niejednokrotnie wymagają połączenia ich ze sobą lub wklejenia dodatkowych wzmocnień lub elementów np. metalowych. Do tego rodzaju zastosowań dedykowane są kleje poliestrowe, epoksydowe oraz metakrylowe.

Kleje poliestrowe, to wytwarzane na bazie nienasyconych żywic poliestrowych najwyższej jakości spoiwa do łączenia elementów konstrukcyjnych laminatu czy wklejania pianek lub innych wzmocnień. Oferowane są:

- kleje standardowe - w postaci elastycznej pasty stosowanej przy montażu, wypełnianiu lub warstwowym wytwarzaniu laminatów;

- kleje z włóknem szklanym - półsztywne, neutralna pasta klejąca stosowana ze względu na zwiększoną wytrzymałość głównie przy montażu lub łączeniu struktur laminatowych;

- kleje lekkie - kleje o obniżonej gęstości, stosowane wszędzie tam, gdzie wymagana jest wysoka jakość połączenia przy zachowaniu możliwie jak najmniejszej masy.

Kleje epoksydowe charakteryzują się najwyższą siłą trzymania, odpornością na ścinanie i płynięcie pod obciążeniem nawet przy grubej spoinie (do 4mm). Wadą niestety jest sztywność połączenia. Profesjonalne kleje epoksydowe różnią się od zwykłych żywic epoksydowych specjalnymi modyfikacjami powodującymi stabilność połączenia w czasie.

Kleje metakrylowe są coraz częściej stosowane przez wytwórców wyrobów kompozytowych. Zaletą

ich jest możliwość łączenia różnych rodzajów materiałów. Z reguły mają krótki czas wiązania co jest korzystne przy montażu różnego rodzaju wzmocnień, uchwytów itp. Z powodzeniem są też stosowane do łączenia konstrukcji nośnych z poszyciem np.: autobusów, samochodów osobowych, jak również łączeniu pokładu z kadłubem w budowie jednostek pływających. Dostępne są kleje, które charakteryzuje brak potrzeby przygotowania powierzchni przed klejeniem. Mówimy tu o rozwijaniu powierzchni, czyli szorstkowaniu np.: papierem ściernym. Większość

producentów klejów wymaga takiego przygotowania powierzchni, jednak jest to dodatkowy zabieg wydłużający cały proces montażu.

Milar Sp. z o. o. oferuje klientom pełen pakiet wymienionych w artykule materiałów, zarówno do wykonania modeli, form i prototypów, gotowych wyrobów kompozytowych jak i specjalistyczne kleje do łączenia różnego rodzaju elementów. Milar od wielu lat służy klientom pomocą we wdrożeniach nowych rozwiązań opartych o oferowane, innowacyjne produkty. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom klientów, firma rozszerzyła swoją ofertę również o badania laboratoryjne. Dzięki laboratorium wyposażonemu w szeroki zakres aparatury, Milar proponuje swoim klientom badania mechaniczne, termiczne, elektryczne dla kompozytów oraz klejów. Dzięki wykwalifikowanej kadrze technicznej Milar jest nie tylko dostawcą surowców ale i również partnerem na każdym etapie procesu produkcyjnego. Więcej informacji na stronie www.milar.pl.



Milar od wielu lat służy klientom pomocą we wdrożeniach nowych rozwiązań opartych o oferowane, innowacyjne produkty.