

Zastosowanie techniki *resin infusion* do budowy form

Precyzja wykonania formy to jeden z czynników, które decydują o jakości końcowego produktu. Koszt wytworzenia formy ma także często istotny udział w kosztach wytworzenia detalu. Jedną z metod sporządzania form do laminatów i kompozytów wykorzystuje podciśnieniowe przetłaczanie specjalnie zmodyfikowanej epoksydowej żywicy narzędziowej (*resin tool infusion*).

Budowa form metodą laminowania na mokro stwarza wiele trudności, przede wszystkim w przypadku dużych elementów. Jeśli każda warstwa nie zostanie jednolicie zwilżona, otrzymana forma może być porowata. Laminowanie jest procesem bardzo czasochłonnym,

czaną wewnątrz worka (jeżeli pozwala na to rozmiary tworzonego narzędzia). Po włączeniu próżni żywica zasysana jest ze zbiornika do zbiornika przelewowego, zwilżając po drodze tkaninę.

Rodzaje żywic

Żywice typu *toolfusion* (opatentowana nazwa serii żywic firmy Airtech), wykorzystywane w tej technice, charakteryzują się bardzo dobrą przetwarzalnością. Te, które utwardzają się w temperaturze pokojowej, po dohartowaniu osiągają wytrzymałość na temperatury rzędu 190°C. Drugi rodzaj żywicy wymaga wstępnego utwardzenia w temperaturze 60°C, osiągając wytrzymałość końcową powyżej 200°C. Żaden system nie wymaga stosowania autoklawu, dzięki czemu znacząco zmniejszają się koszty energetyczne wykonywania narzędzia. W przeciwieństwie



Pokrywanie powierzchni modelu żelkotem

nym, a efekt końcowy zależy od precyzji wykonawcy. Z kolei budowanie formy z tzw. prepregów (wstępnie przygotowanych materiałów kompozytowych - węglowych, szklanych itp. - nasyconych żywicą) jest bardzo kosztowne, wymaga hartowania termicznego (w komorach autoklawowych) i daje dużo odpadów.

Alternatywnym rozwiązaniem może być zastosowanie do budowy form z laminatów i kompozytów metody przetłaczania żywicy z wykorzystaniem worka próżniowego. Specjalne niskolepkie opatentowane żywice oraz odpowiednia technika wykonania pozwalają znacząco obniżyć koszty wytworzenia narzędzia przy utrzymaniu jego wysokiej jakości i zachowaniu dobrych parametrów wytrzymałościowych.

W metodzie tej model wzorcowy, pokrywany jest suchą tkaniną, na którą nakłada się następnie specjalną siatkę, ułatwiającą rozprowadzanie żywicy, dostarczanej przewodami ze zbiornika. Całość przykrywana jest odpowiednią folią, np. kilkuwarstwową folią poliamidową, zamocowaną na spodzie modelu wzorcowego lub umiesz-



Przyklejanie kolejnych warstw tkaniny

do prepregów, żywice te nie wymagają składowania i transportu w chłodni, co dodatkowo redukuje koszty. Nie ma także ograniczeń czasowych przy ich stosowaniu - laminowanie może być prowadzone z dogodną prędkością. Nie musi być prowadzone szybko, jak to jest konieczne w przypadku prepregów, przy których w wolniejszym procesie może występować niepożądane, częściowe utwardzenie. W przeciwieństwie do laminowania na mokro proces *resin infusion* jest procesem „czystym”. Emisja rozpuszczalników jest minimalna, gdyż zwilża-



Gotowy detal

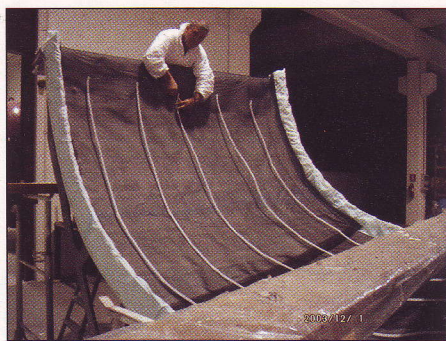
nie włókien odbywa się pod workiem próżniowym. Niskie, jak na utwardzanie, temperatury tego procesu umożliwiają zastosowanie tańszych materiałów na modele wzorcowe, co obniża koszty narzędzia, a także zwiększa możliwości tzw. inżynierii odwrotnej, pozwalając na budowę formy z użyciem elementu wzorcowego, bez narażenia go na wysokie temperatury. Modele wzorcowe lub elementy do skopiowania muszą jedynie mieć gładką powierzchnię i wytrzymać podciśnienie. Dzięki temu drogie płyty narzędziowe mogą być zastąpione tańszymi modelarskimi lub piankami do obróbki poprzez skrawanie numeryczne (CNC). Zastosowanie ręcznie wykonywanych wzorców lub powlekanych płyt wiórowych, może jeszcze bardziej obniżyć koszty i zwiększyć możliwości tworzenia różnych kształtów modeli wzorcowych.

Wykonanie

Sucha tkanina może być łatwo cięta i dopasowywana do modelu wzorcowego i można ją łatwo i szybko przenosić bez ryzyka uszkodzeń i rozwarstwień laminatu. Przy układaniu na płaszczyznach pionowych



Układanie tkaniny delaminażowej



Układanie rurek rozprowadzających żywicę

wykorzystuje się specjalny klej w sprayu, zapewniający wystarczającą przyczepność do utrzymania włókna na miejscu. Można również zastosować specjalną samoprzylepną siatkę. Po ułożeniu suchych tkanin przyszły laminat jest przykrywany tkaniną delaminazową i siatką. Siatka zapewnia poprawę rozprowadzania i przepływu żywicy przez laminat, umożliwiając transport żywicy do każdego miejsca na powierzchni narzędzia. Tkanina delaminazowa – (ang. Peelply) – jest używana do usunięcia siatki z laminatu po utwardzeniu. Zapewnia ona właściwy przepływ żywicy i daje teksturowaną strukturę powierzchni laminatu ułatwiającą klejenie.

Aby wyeliminować konieczność klejenia pierwszej warstwy tkaniny do modelu wzorcowego, co zwykle powodujące drobne wady powierzchniowe narzędzia i dając twarłą powierzchnię narzędzia, można zastosować odpowiednią niespływającą żywicę powierzchniową, pełniącą funkcję żelkotu.

Odpowiednio dobrane włókna szklane i węglowe zapewniają całkowitą penetrację przez zawieszoną żywicę i zwilżenie podczas procesu, połączone z łatwym układaniem i pozycjonowaniem w procesie laminowania. Dostępne są różne formy tkaniny ze zwykłym splotem, przeplotem 2 x 2 i 4HS.

Podstawowymi kryteriami wyboru siatki do rozprowadzania żywicy są przepływ, układanie i łatwe pozycjonowanie, dlatego są one dostępne w wersjach o różnych parametrach (o wysokiej, średniej i niskiej przepuszczalności żywicy, do płaskich lub skomplikowanych powierzchni itp.). Na podstawie danych dotyczących przepływu można dokonać doboru odpowiedniej siatki do konkretnej aplikacji. Linie (kanały) doprowadzające żywicę są układane na siatkach. Wygodnym rozwiązaniem są spiralne rurki (sprężyny taśmowe), które umożliwiają dokładne pozycjonowanie linii dopływowych, zgodne ze strategią nasycania, nie pozostawiają linii przepływu i można je używać wielokrotnie. Rury spi-

ralne są także używane wokół powierzchni narzędzia, zapewniając właściwe doprowadzenie próżni do laminatu. Sekcje rury spiralnej pozostają otwarte również w warunkach podciśnienia i zapewniają szybki dopływ żywicy z rur doprowadzających na powierzchnię laminatu.

Kompletny nieprzesycony laminat wraz z układem doprowadzającym żywicę jest następnie przykrywany workiem



Sprawdzanie szczelności worka

próżniowym. Linie doprowadzające żywicę są podłączane do naczynia przelewowego i włączane jest podciśnienie. Szczelność jest parametrem krytycznym, dlatego aby zapewnić prawidłową infuzję na tym etapie należy sprawdzić szczelność. Każde



Proces infuzji (ciemniejsza plama - tkanina nasyczona żywicą)

rozszczelnienie, prowadzące do zapowietrzania laminatu, powoduje błędy i utratę podciśnienia mogące spowolnić lub uniemożliwić infuzję.

Przykładowa żywica Toolfusion 1 po zmieszaniu ma lepkość 620 cP i czas życia 75 minut. Przesycanie żywicą może być prowadzone bez obawy o jej zagotowanie się. Po zakończeniu przesycania, podciśnienie jest utrzymywane przez 12 godzin

w celu wstępnego utwardzenia. Dotwardzenie jest prowadzone przez 4h w 49°C. Alternatywnie dotwardzenie można prowadzić przez 5 dni w 22°C. Po zdjęciu formy z modelu wzorcowego może ona być utwardzona na wsporniku (wykonanym z materiału o takiej samej rozszerzalności cieplnej) i hartowana do 191°C. Żywica Toolfusion 2, będąca opatentowaną kompozycją opartą na konstrukcyjnej żywicy epoksydowej, ma niższą lepkość – 320cP i czas utwardzania znacznie powyżej 12h w 22°C. Lepkość powoli wzrasta do 800 cP po 35h w 22°C. Przy użyciu procesu infuzji z żywicy tej powstawać mogą laminaty o jakości autoklawowej. Poziom błędów zwykle nie przekracza 1%, a dla uzyskania dobrej jakości powierzchni nie jest wymagane użycie żelkotu. Wstępne utwardzenie można osiągnąć w temperaturach 35-70°C, co korzystnie wpływa na cenę modelu wzorcowego. Narzędzia mogą być następnie hartowane bez podparcia do końcowej temperatury 204°C.

Zalety metody resin infusion

Wprowadzenie żywicy z serii toolfusion stanowi pomost pomiędzy techniką laminowania ręcznego, a formami prepregowymi w zakresie kosztów i właściwości. Użytkuje się lepszą jakość laminatu, redukcję zużycia żywicy, minimalne narażenie na kontakt z żywicą i obniżenie kosztów robocizny w porównaniu z ręcznym laminowaniem, dając laminat porównywalny z wykonanym techniką prepregową w autoklawie. Nie wymagają składowania prepregów w warunkach chłodniczych, ponadto nie wymagają stosowania autoklawu podczas dotwardzania laminatu narzędziowego. Eliminują czas rozformowania i redukują koszt materiałów używanych do wykonywania modelu wzorcowego (nie wymagają stosowania materiału odpornego na temperaturę).

Na podstawie materiałów firmy Airtech,
Jacek Karpiński,
Milar Sp z o.o.



Gotowa forma