

Gabriel WRÓBEL*, Łukasz WIERZBICKI*, Łukasz SIÓDMOK**, Kazimierz NOWAKOWSKI**

* Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny

** FONON Sp. z o.o.

Wytrzymałość na ścinanie międzywarstwowe kompozytów przekładkowych

Streszczenie. W artykule przedstawiono próby wytworzenia kompozytów przekładkowych z użyciem niskociśnieniowych technik wytwarzania. Jako kryterium oceny zastosowanej techniki wytwarzania posłużono się próbą wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe. Opracowany sposób wytwarzania, oraz materiały które wytworzono w serii testowej, dowodzą możliwości uzyskania, spełniających przyjęte kryteria, materiałów kompozytowych w wydajnym procesie produkcyjnym.

THE INTERLAMINAR SHEAR STRENGTH OF SANDWICH COMPOSITES

Summary. The paper presents the results of attempts to produce a composite sandwich with low-pressure techniques. As a measure of the applied production techniques were used to attempt to interlaminar shear strength. A method of manufacturing, and materials which have been prepared in a short test series is proof the possibility of obtaining, satisfying accepted criteria, composite materials in efficient production process.

1. WSTĘP

Mianem kompozytów typu „sandwicz” (zwane także kanapkowymi [1]) określa się laminaty przekładkowe. Łączą one wymagania dotyczące wysokiej sztywności i nośności z małym ciężarem. Jednocześnie, w porównaniu do tradycyjnych laminatów wytwarzanych z tkanin lub mat, ogranicza się pracochłonność i koszty wytwarzania. Kompozyty takie charakteryzują się dużą trwałością dzięki odporności na czynniki atmosferyczne, środowiskowe i chemiczne.

Kompozyty przekładkowe, to konstrukcje o dwóch warstwach zewnętrznych laminatu o grubości ok. 1÷4 mm, przedzielonych warstwą pianki, drewnem balsy lub strukturą przestrzenną. Kompozyt z nich utworzony charakteryzuje się znacznie większą sztywnością i nośnością, niż poszczególne jego komponenty składowe.

Grubość kompozytu przekładkowego zależy od, wynikających z przeznaczenia, wymagań klienta czy wymogów konstrukcji. Uważa się, że zewnętrzne warstwy laminatu, posiadając zdolność przenoszenia obciążeń rozciągających i złożonego płaskiego stanu naprężenia. Materiał przekładki zapewnia stateczność warstw zewnętrznych w warunkach ich ściskania, sztywność giętą laminatu i wymaganą grubość [2].

Laminat przekładkowy, a właściwie jego budowę, można przyrównać do konstrukcji kratownicy. Budowa taka zapewnia sprowadzenie, złożonego układu naprężeń oddziaływującego w materiale, do dwóch sił: ściskającej i rozciągającej. Stosując przekładkę jako element konstrukcyjny doprowadzamy do korzystnego układu obciążenia składowych strukturalnych materiału laminatu [3].

Ważna w laminacie sandwiczowym jest grubość stosowanej przekładki – im grubszy laminat tym naprężenia ściskające i rozciągające w warstwach zewnętrznych, wywołane zginaniem powłoki, są mniejsze. Dlatego też, stosując grubszą przekładkę, można zmniejszyć grubość lub ilość warstw wierzchnich laminatu. Jednakże zmniejszając grubość warstw wierzchnich, osłabiamy laminat na

naciski powierzchniowe oraz zmniejszamy jego stateczność [3].

Oprócz grubości przekładki, ważne są własności materiałowe, przede wszystkim jego gęstość i twardość, które przekładają się bezpośrednio na współczynnik sprężystości przekładki [3].

Tworząc laminat przekładkowy należy pamiętać o zapewnieniu adhezji warstw wierzchnich do przekładki. Kompozyt takiego typu będzie spełniał swoją rolę, tylko gdy zapewni się silne połączenie pomiędzy elementami strukturalnymi takiego laminatu.

Jeżeli stosowane przekładki są materiałami piankowymi, podczas laminowania są płytko zwilżane żywicą, co umożliwi ich połączenie z warstwami tkanin. Takie materiały można stosować w procesach infuzji czy laminowania z zastosowaniem worka próżniowego.

Podobną, powierzchniową chłonność żywicy, mają przekładki wykonane z drewna balsy i mogą być właminowane w podobny sposób.

Inne materiały przekładkowe wymagają przyklejenia, z użyciem specjalnych klejów, warstw wierzchnich do materiału przekładkowego. Przykładem takiego materiału jest tzw. plaster miodu (ang. honeycomb). Jest to lekki materiał rdzeniowy, usztywniający, do zastosowań konstrukcyjnych. Takiego typu przekładki wykonywane są w budowie podzespołów środków komunikacji masowej takich jak pociągi, samoloty – w miejscach takich jak podłogi, panele wewnętrzne, itp.

Komórki „plastra miodu” mogą mieć różne przekroje poprzeczne komórki (heksagonalne, kwadratowe, prostopadłocienne a nawet nieregularne). Ponadto, w celu podwyższenia ich zdolności do tłumienia i pochłaniania drgań mechanicznych, komórki plastra miodu mogą zostać wypełnione włóknem szklanym lub pianką poliuretanową. Najbardziej popularnymi są plastry miodu aluminiowe, aramidowe, plecione z włókien szklanych, a od niedawna oferowane są plastry polipropylenowe [4]. Wspomniane materiały cechują niską gęstość, ale można spotkać plastry miodu wykonane np. ze stali [5].

2. BADANIA WŁASNE

Głównym celem przedstawionych badań, było opracowania techniki wytwarzania laminatów przekładkowych, o zwiększonej wydajności oraz o większej powtarzalności, niż w przypadku tradycyjnego wklejania materiałów przekładkowych w okładki laminatowe.

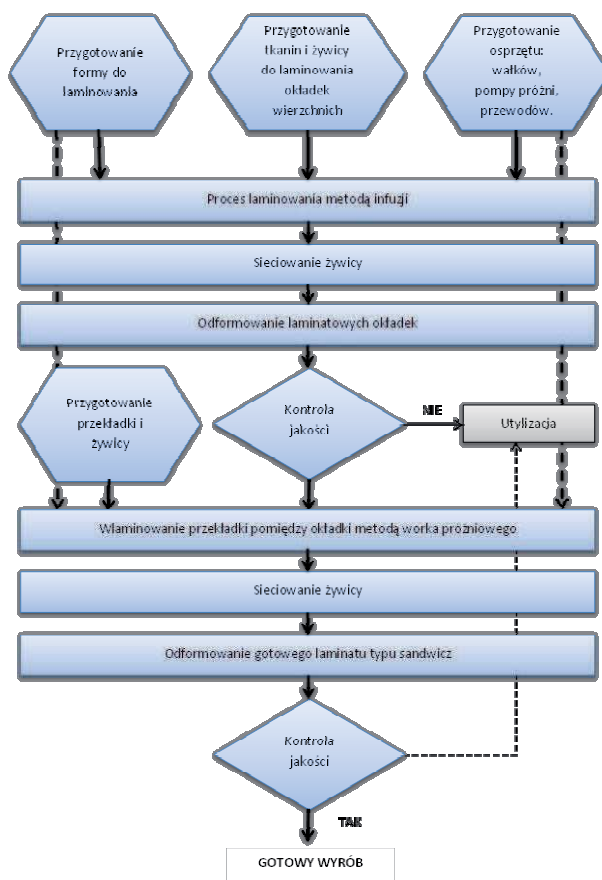
Zadanie to postanowiono rozwiązać stosując połączenie dwóch technik próżniowych, z pominięciem procesu tradycyjnego klejenia wkładki w kształcie plastra miodu. Etap ten zastąpiono metodą laminowania z workiem próżniowym. W ten sposób uzyskano dwustopniowy proces technologiczny. Ideę procesu przedstawiono za pomocą algorytmu (Rys. 1).

2.1. Materiał badawczy

Wszystkie okładki laminatu przekładkowego wykonano metodą infuzji przy podciśnieniu wynoszącym 0,098 MPa. Okładki skleiono obustronnie z materiałem przekładkowym w worku próżniowym przy podciśnieniu wynoszącym 0,090 MPa. Wyjątkiem jest próbka nr 10, która została wykonana metoda laminowania ręcznego. Materiały zestawiono w tabeli nr 1.

2.3. Przeprowadzone badania

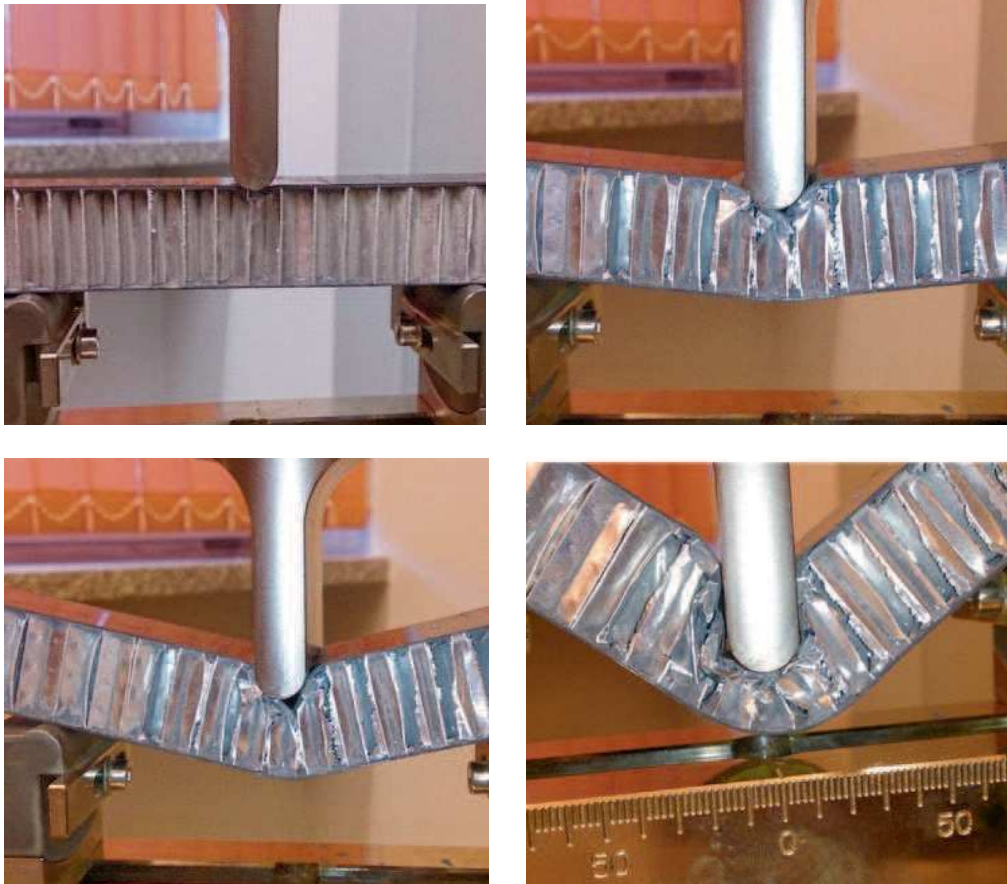
Badaniem, w którym określono własności mechaniczne kompozytu, była próba na ścinanie międzywarstwowe. Zdecydowano się zastosować taką metodę badania ze względu na rodzaj badanego materiału i jego najbliższy punkt czyli połączenie pomiędzy okładkami a przekładką.



Rys. 1. Algorytm opracowanego procesu wytwarzania laminatu przekładkowego

Tabela 1. Materiały użyte do wytworzenia próbek laminatowych

| Próbka | Okładka | Kompozyt |
|--------|--|--|
| 1 | 2 warstwy tkaniny węglowej o gramaturze 200 g/m ² , żywica LH 288, utwardzacz H283 | materiał przekładkowy Herex 10 mm, żywica LH160 zagęszczona napelniaczem Orisil 200 (20%), utwardzacz H146 |
| 2 | 2 warstwy tkaniny węglowej o gramaturze o gramaturze 200 g/m ² , żywica LH 288, utwardzacz H283 | materiał przekładkowy Herex 20 mm, żywica LH160 zagęszczona napelniaczem Orisil 200 (20%), utwardzacz H146 |
| 3 | 2 warstwy tkaniny węglowej o gramaturze 200 g/m ² o splocie ukośnym 2/2, żywica LH 288, utwardzacz H283 | materiał przekładkowy Honeycomb 20 mm, żywica LH160 zagęszczona napelniaczem Orisil 200 (30%), utwardzacz H146 |
| 4 | 2 warstwy tkaniny węglowej o gramaturze 160 g/m ² 'spread tow' w splocie 2/2, żywica LH 288, utwardzacz H283 | materiał przekładkowy Honeycomb 20 mm, żywica LH160 zagęszczona napelniaczem Orisil 200 (30%), utwardzacz H146 |
| 5 | 2 warstwy tkaniny węglowej o gramaturze 160 g/m ² , 'spread tow', w splocie 1/1, żywica LH 288, utwardzacz H283 | materiał przekładkowy Honeycomb 20mm, żywica LH160 zagęszczona napelniaczem Orisil 200 (30%), utwardzacz H146 |
| 6 | 2 warstwy tkaniny węglowej o gramaturze 160 g/m ² , 'spread tow', w układzie: pierwsza warstwa w splocie 2/2, a druga w splocie 1/1, żywica LH 288, utwardzacz H283 | materiał przekładkowy Honeycomb 20mm, żywica LH160 zagęszczona napelniaczem Orisil 200 (30%), utwardzacz H146 |
| 7 | 2 warstwy tkaniny szklanej o gramaturze 280 g/m ² , żywica LH 288, utwardzacz H283 | materiał przekładkowy Honeycomb 20mm, żywica LH160 zagęszczona napelniaczem Mikrobalon Q-CELL 6014 (30%) utwardzacz H146 |
| 8 | 2 warstwy maty szklanej o gramaturze 200 g/m ² po każdej stronie przekładki, żywica Aropol K530TE, inicjator Butanox M-50, materiał przekładki Coremat 3mm | |



Rys. 2. Etapy zniszczenia kompozytu przekładkowego w próbie ścinania międzywarstwowego

Zgodnie z wymogami normy [6], próbkę o przekroju prostokątnym obciąża się powodując wygięcie, jak prostą belkę, tak aby wystąpiło uszkodzenie pod wpływem ścinania międzywarstwowego. Próbka opiera się na dwóch podporach i przykłada się obciążenie za pomocą trzpienia pośrodku między podporami. Badanie jest podobne, ze względu na charakter obciążenia, do zginania metodą trzypunktową, którą stosuje się do oznaczania właściwości w warunkach zginania tworzyw sztucznych. Jednakże, mniejsza rozpiętość podpór, w odniesieniu do próby statycznego zginania, zapewnia wzrost poziomu naprężenia ścinającego. W ten sposób osiąga się uszkodzenie w wyniku ścinania międzywarstwowego.

W przypadku badania wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe odległość między podporami, wynosi, wg normy PN-EN ISO 14130 [6]:

$$L = 5 \times h \quad (1)$$

gdzie:

- L – odległość pomiędzy podporami,
- h – średnia grubość badanej próbki.

Badania przeprowadzono przy następujących parametrach maszyny wytrzymałościowej:

- siła wstępna – 0,001 [MPa],
- prędkość badania – 1 [mm/min].

Przykładowe zdjęcia z przeprowadzonych badań przedstawiono na rysunku 2.

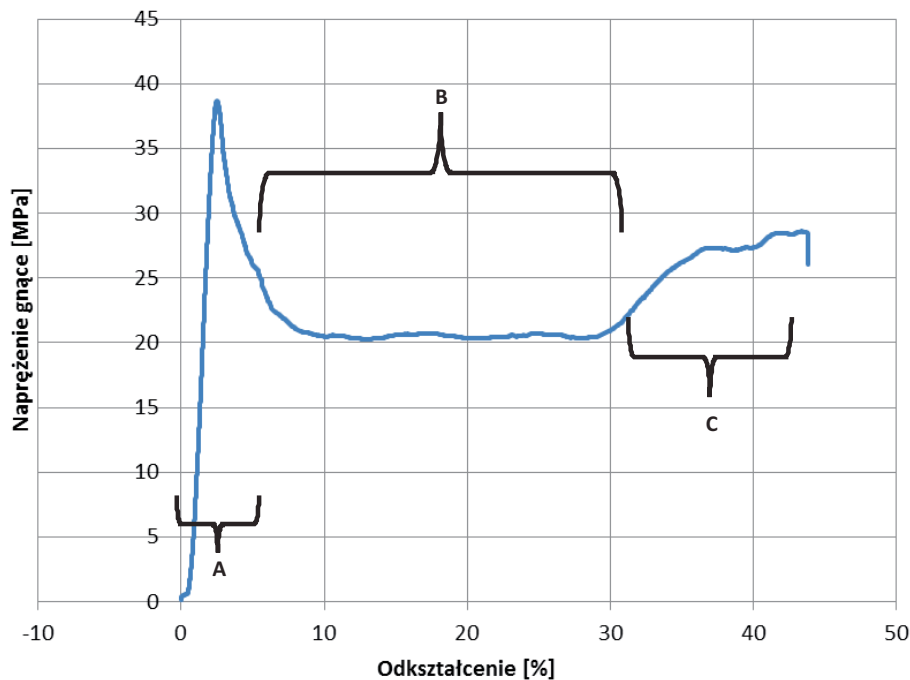
2.4. Wyniki badań

Na podstawie wykonanych badań próby ścinania międzywarstwowego wytworzonych laminatów otrzymano wynik w postaci wykresów (przykładowy wykres – Rys. 3). Na tej podstawie wyznaczono trzy charakterystyczne etapy. Etap A odpowiada sprężystemu zginaniu laminatu i jest zakończony zerwaniem lokalnego połączenia warstwy okładkowej po stronie skupionego nacisku trzpienia z przekładką. Podczas trwania etapu B materiał wkładki ulega lokalnej destrukcji. Etap C charakteryzuje się wzrostem naprężeń. Jest to obszar umocnienia będącego skutkiem zgniecenia materiału przekładki i wzrostem oddziaływań na dolną warstwę (okładkę) laminatu.

Z uzyskanych wykresów odczytano wartość maksymalnego naprężenia zginającego oraz odkształcenia. Uzyskane wyniki przeliczono na wartość międzywarstwowego naprężenia ścinającego, zgodnie z normą [6]. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

3. PODSUMOWANIE

Największą odporność na ścinanie międzywarstwowe posiadały próbki, których okładki były wykonane z tkaniny lub maty szklanej. Wyniki te są rezultatem du-



Rys. 3. Przykładowy wykres zginania próbki laminatu przekładkowego. Oznaczenia w tekście

Tabela 2. Wyniki uśrednionych własności mechanicznych dla laminatów przekładkowych

| Nr próbki | E_f , MPa | σ_{fM} , MPa | ε_{fM} , % | σ_s , MPa |
|-----------|-------------|---------------------|------------------------|------------------|
| 1 | 3426 | 20,70 | 0,90 | 0,48 |
| 2 | 804 | 12,12 | 8,70 | 0,32 |
| 3 | 2035 | 14,62 | 3,65 | 0,38 |
| 4 | 886 | 7,45 | 23,36 | 0,53 |
| 5 | 3056 | 13,99 | 7,29 | 0,47 |
| 6 | 10226 | 18,50 | 0,26 | 0,66 |
| 7 | 2266 | 28,97 | 1,67 | 2,03 |
| 8 | 1731 | 100,60 | 11,33 | 6,71 |

gdzie: σ_s – umowna wytrzymałość na ścinanie międzywarstwowe; E_f – naprężeniu ugięcia przy odkształceniu 0,1%; σ_{fM} – maksymalne naprężenie zginające; ε_{fM} – odkształcenie przy największym naprężeniu gnącym.

żej sztywności okładek, wynikającej z dużej gramatury, lub częściowego przesycenia żywicą materiału przekładkowego (próbka nr 8).

Niską wartość wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe dla pozostałych próbek można tłumaczyć odmiennym niż oczekiwano zniszczeniem próbek. Próbki te ulegały zniszczeniu poprzez deformację materiału przekładki z jednoczesnym zachowaniem, niemalże na całej długości próbki, spójności z okładkami kompozytu. Podczas przeprowadzanej próby większość laminatów zostało zniszczone poprzez ugięcie materiału przekładkowego (Rys. 2). Jedynie w przypadku próbki nr 3 zaobserwowa-

no oderwanie materiału okładziny od materiału przekładki.

By móc wykorzystać pełen wachlarz możliwości, jakie oferują badane kompozyty, należy przed podjęciem procedury wyboru rozwiązania sformułować wszystkie istotne kryteria oceny wartości użytkowej materiału nadając im odpowiednie wagi dla uzyskania jednoznacznego rozwiązania procedury optymalizacyjnej. Opracowany sposób wytwarzania, oraz materiały które wytworzono w serii testowej, dowodzą możliwości uzyskania odpowiednich materiałów kompozytowych w przedstawionym procesie produkcyjnym.

LITERATURA

- [1] Rajczyk M., Stachecki B., Współczesne materiały kompozytowe wybrane kierunki rozwoju nowych technologii, Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym 2011, s. 202-211.
- [2] Izbička J., Michalski J., Kompozyty, laminaty, tworzywa stosowane w technice. Prace Instytutu Elektrotechniki, nr 228/2006 s. 341-348.
- [3] www.reja.com.pl/know-how/view/naprezenia-w-laminatach.-charakterystyka-nowoczesnych-materiałow-przekładkowych
- [4] www.kompozyty.milar.pl/media/downloads/Therm-Hex_Brochure_Polish.pdf
- [5] www.plascore.com/stainless-steel-honeycomb-ssh-301-304.php
- [6] Polska Norma PN-EN ISO 14130: „Kompozyty tworzywowe wzmocnione włóknem. Oznaczanie umownej wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe metodą krótkiej belki”, październik 2001.