

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE HAFTU TECHNICZNEGO WYKONANEGO Z WŁÓKIEN LNIA NYCH

Agata Poniecka, Marcin Barburski

Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów, Instytut
Architektury Tekstyliów, Politechnika Łódzka

DOI 10.34658/9788366741805.18

1. Wstęp

Haft znany jest już od starożytności. Obecnie, poza formą zdobniczą, znajduje też wykorzystanie w przemyśle technicznym. Dzięki wykorzystywaniu komputerowych maszyn haftujących, możliwa jest wysoka precyzja oraz duża wydajność.

Haftowane elementy techniczne można znaleźć w takich produktach, jak: maty grzewcze i sensoryczne (badanie temperatury, wilgotności), czujniki elektrochemiczne do szybkiej kwantyfikacji biomarkerów, przymocowywanie i łączenie diod LED, trójwymiarowe kolektory prądowe do baterii litowo-jonowych, mocowanie wyrobów liniowych na podkładach włókienniczych^{32,33,34}. Haft techniczny może być również wykorzystywany do miejscowego wzmacniania kompozytów, dzięki wykorzystaniu technologii TFP (ang. Tailored fibre placement – dopasowanie ułożenia włókien). Oznacza to ułożenie włókien (w tym przypadku: niedoprzędu lnianego) na podkładzie tekstylnym dokładnie w tym miejscu, które wymaga wzmocnienia. Dzięki temu, zredukowana zostaje ilość powstających odpadów oraz minimalizowane są straty materiałowe³⁵.

Współcześnie wytwarzane kompozyty stanowią alternatywę dla metalowych odpowiedników. Kompozyty tekstylne wykorzystywane są m.in. w aeronautyce, czy przemyśle samochodowym (jako karoserie).

³² Briedisa U., Valisevskisa A., Grecka M., *Development of a Smart Garment Prototype with Enuresis Alarm Using an Embroidery-Machine-Based Technique for the Integration of Electronic Components* Computer Science 2017, nr 104, ss. 369 – 374

³³ Agulio-Aguayo N., Amann P., Espinera P.P., Petrasch J., Bechtold T., *X-ray micro tomography of three-dimensional embroidered current collectors for lithium-ion batteries*, Journal of Power Sources 2016, nr 306, ss. 826-831

³⁴ Liua X., Lillehoja P.B., *Embroidered electrochemical sensors on gauze for rapid quantification of wound biomarkers*, Biosensors and Bioelectronics 2017, nr 98, ss. 189-194

³⁵ El-Dessouky H.M., Saleh M.N., Gautam M., Hane G., Scaifea R.J., Potlurid P. *Tailored fibre placement of commingled carbon-thermoplastic fibres for notch-insensitive composites*, Composite Structures 2019, nr 214, ss. 348-349

2. Przedmiot badań

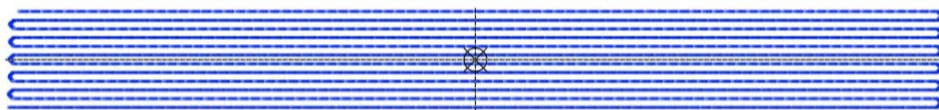
Przedmiot badań (haft techniczny) został wykonany na komputerowej maszynie hafciarskiej firmy ZSK typ JCZA 0109-550. Maszyna ta wyposażona jest w głowicę typu W, która służy do wykonywania haftu technicznego. Za jej pomocą możliwe jest przymocowanie wybranego medium (niedoprzęd lniany, włókno szklane, światłowód, kabel) do płaskiego wyrobu włókienniczego. Medium takie przymocowywane jest w układzie osi X oraz Y, przy wykorzystaniu przędzy mocującej (najczęściej jest to nić poliestrowa lub monofilament poliamidowy) przy pomocy ściegu hafciarskiego (najczęściej typu zig-zag). Haftowane układy mogą się przecinać pod dowolnymi kątami, jak również układać się warstwowo. Maksymalna wysokość nawarstwienia to 8 mm.

Projekt haftu został wykonany w programie GiS BasePack, wersja 10. Jest to oprogramowanie dedykowane hafciarkom ZSK.

Wytrzymałość włókien jest większa w kierunku wzdłużnym, niż w poprzecznym. Potwierdzone zostało to wcześniejszymi badaniami, w których zastosowano różne układy niedoprzędu w hafcie. Układ o kierunku wzdłużnym charakteryzował się około trzykrotnie większą wytrzymałością na rozciąganie od innych kierunków ułożenia niedoprzędu. Z tego powodu, zdecydowano się wykorzystać właśnie ten układ do wykonania wzmacnianych kompozytów.

Przedmiotem przedstawionych badań były zatem:

1. Jednowarstwowy haft wykonany z niedoprzędu lnianego
2. Kompozyt zawierający jednowarstwowy haft wykonany z niedoprzędu lnianego
3. Kompozyt zawierający siedmiowarstwowy haft wykonany z niedoprzędu lnianego



Rys. 1. Sposób ułożenia niedoprzędu pod kątem 0° do kierunku wzdłużnego próbki

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku nr 1 przedstawiono sposób ułożenia niedoprzędu w próbce. Ścisłość ułożenia niedoprzędu wynosiła $6/10$ mm.

Haft został wykonany przy użyciu niedoprzędu lnianego o masie liniowej 360 tex, poliamidowego monofilamentu o masie liniowej 11 tex oraz flizeliny poliestrowej o masie powierzchniowej 37 g/cm^2 , służącej jako podkład.

Po wykonaniu dwóch wariantów haftu technicznego (jedna warstwa oraz siedem warstw), został z nich wytworzony kompozyt, zawierający haft jako wzmocnienie. Kompozyt został wytworzony metodą worka próżniowego. Materiał taki składa się

z co najmniej dwóch faz, przy czym jedna z nich jest fazą wzmacniającą. W tym przypadku jest to niedoprzęd lniany, ułożony i przyhaftowany w kierunku wzdłużnym do osi próbki. Właściwości wykonanego kompozytu są wyższe, niż właściwości poszczególnych faz oddzielnie. Wytwarzanie kompozytu umożliwia świadome kształtowanie właściwości mechanicznych oraz wskaźników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych.

W kolejnym etapie badań zbadano właściwości mechaniczne pojedynczego układu haftu oraz kompozytu, zawierającego jako wzmocnienie jednowarstwowy oraz siedmiowarstwowy układ haftu.

3. Metodyka badań

Wydłużenie przy rozciąganiu oraz wytrzymałość na rozciąganie pojedynczej warstwy haftu zostało zbadane w oparciu o normę PN-EN ISO 13934-1 *Tekstylią. Właściwości płaskich wyrobów przy rozciąganiu. Część 1: Wyznaczanie maksymalnej siły i wydłużenia względnego przy maksymalnej sile metodą paska*³⁶.

Badanie wydłużenia przy rozciąganiu oraz wytrzymałości na rozciąganie kompozytu zostało przeprowadzone w oparciu o normę PN-EN ISO 527-4 *Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Warunki badań kompozytów tworzywowych izotropowych i ortotropowych wzmocnionych włóknami*³⁷.

Obydwa badania polegały na rozciąganiu ze stałą prędkością przygotowanych próbek, aż do momentu ich zerwania. W czasie rozciągania rejestrowane były wartości wydłużenia względnego przy maksymalnej sile, wartości siły maksymalnej, wartości siły zrywającej oraz wartości wydłużenia względnego przy rozerwaniu.

Badania zostały przeprowadzone na maszynie wytrzymałościowej INSTRON, charakteryzującej się stałym przyrostem wydłużenia, w Laboratorium Wytrzymałości Materiałów Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej.

Dla próbek haftu przyjęto następujące parametry badań:

- Ilość prób: 3
- wymiary próbki:
 - długość: 150,00 mm
 - szerokość: 15,00 mm
 - grubość: 1,63 mm
- odległość zacisków: 100,00 mm

³⁶ PN-EN ISO 13934-1. 2002. Tekstylią. Właściwości płaskich wyrobów przy rozciąganiu. Część 1: Wyznaczanie maksymalnej siły i wydłużenia względnego przy maksymalnej sile metodą paska.

³⁷ PN-EN ISO 527-4. 2000. Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Warunki badań kompozytów tworzywowych izotropowych i ortotropowych wzmocnionych włóknami

- prędkość rozciągania: 100,00 mm/min
- masa powierzchniowa: 638,89 g/m²

Dla próbek kompozytu zawierającego jedną warstwę haftu przyjęto następujące parametry badań:

- wymiary próbki:
 - długość: 150,00 mm
 - szerokość: 20,00 mm
 - grubość: 1,20 mm
- odległość zacisków: 100,00 mm
- prędkość rozciągania: 100,00 mm/min
- masa powierzchniowa: 1278,06 g/m²

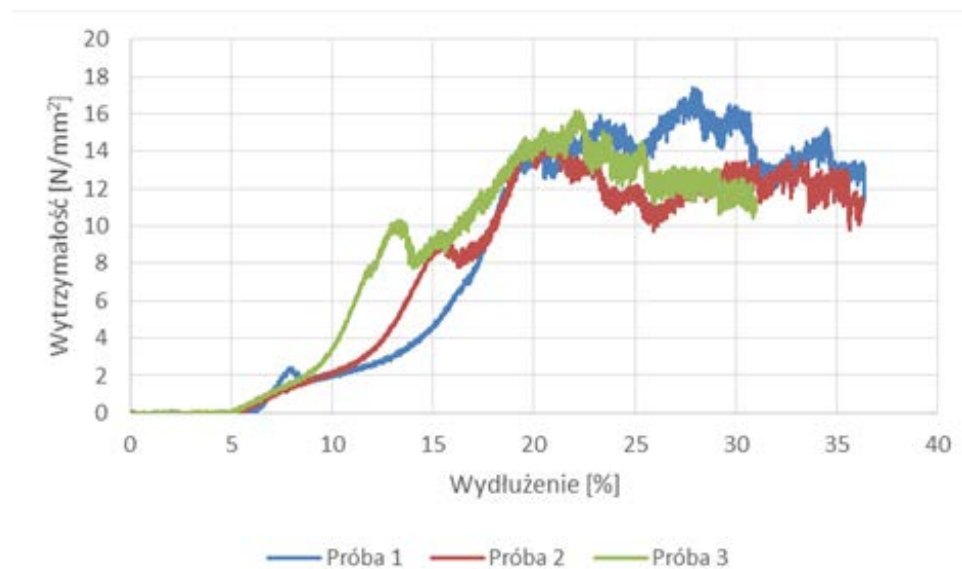
Dla próbek kompozytu zawierającego siedem warstw haftu przyjęto następujące parametry badań:

- wymiary próbki:
 - długość: 150,00 mm
 - szerokość: 20,00 mm
 - grubość: 5,43 mm
- odległość zacisków: 100,00 mm
- prędkość rozciągania: 100,00 mm/min
- masa powierzchniowa: 3818,96 g/m²

Wyniki badań zostały podane w formie danych liczbowych oraz wykresu wytrzymałości w funkcji wydłużenia.

4. Dyskusja wyników

Na poniższym wykresie przedstawiono wytrzymałość oraz wydłużenie trzech kolejnych prób pojedynczych warstw haftu.



Rys. 1. Wykres zależności wytrzymałości oraz wydłużenie haftu

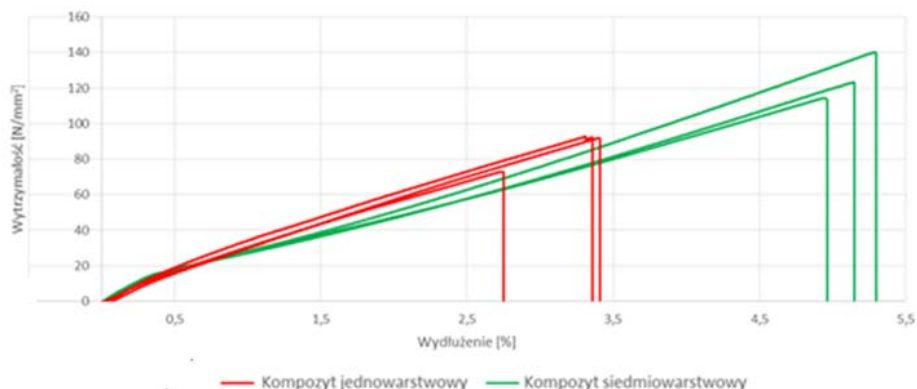
Źródło: opracowanie własne.

Średnie maksymalne wydłużenie pojedynczej warstwy haftu wynosiło 27,66 %, przy odchyleniu standardowym równym 1,41.

Średnia maksymalna wytrzymałość na rozciąganie wynosiła 16,19 N/mm², przy odchyleniu standardowym równym 1,81.

Na wykresie widoczne są zrywy poszczególnych elementów haftu. Uszkodzeniu ulegały kolejno niedoprzęd (wyślizgiwanie się włókien), nitka mocująca haft oraz tkanina zasadnicza. W wyniku poszczególnych zrywów nastąpił ostateczny zryw próbki.

Na rysunku nr 2 zestawiono wartości wytrzymałości na rozciąganie oraz wydłużenia przy rozciąganiu kompozytu zawierającego jedną warstwę haftu oraz siedem warstw haftu.



Rys. 2. Porównanie zależności wytrzymałości oraz wydłużenie kompozytów zawierających jedną oraz siedem warstw haftu

Źródło: opracowanie własne.

Wartości wytrzymałości poszczególnych prób zestawiono w tabeli nr 1.

Tabela 1. Wartości średniego wydłużenia, średniego maksymalnego naprężenia oraz maksymalnej siły zrywającej prób haftu oraz kompozytu wzmacnianego haftem.

Rodzaj próbki	Średnie wydłużenie [%]	Średnie maksymalne naprężenie [N/mm ²]	Maksymalna siła zrywająca [N]
Haft	27,66	16,19	-
Kompozyt jednowarstwowy	1,58	85,88	3239,30
Kompozyt siedmiowarstwowy	5,14	125,90	14838,60

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku kompozytu zawierającego jeden układ haftu, średnie wydłużenie badanych próbek wynosiło 1,58%, przy odchyleniu standardowym równym 0,18. Średnie maksymalne naprężenie badanych kompozytów wynosiło 85,88 N/mm², przy odchyleniu standardowym równym 11,20. Maksymalna siła zrywająca wynosiła 3239,30N, przy odchyleniu standardowym równym 252,26.

Wytrzymałość kompozytu, zawierającego jedną warstwę haftu, jest około pięciokrotnie większa od samego haftu. Natomiast wydłużenie jest około dziesięć razy mniejsze.

Średnie maksymalne naprężenie badanych próbek kompozytu zawierającego siedem warstw haftu wynosiło $125,90 \text{ N/mm}^2$, przy odchyleniu standardowym wynoszącym 13,15. Średnia maksymalna siła zrywająca wynosiła 14838,60 N, przy odchyleniu standardowym równym 661,11. Średnie maksymalne wydłużenie wynosiło 5,14%, przy odchyleniu standardowym wynoszącym 0,17.

Wytrzymałość kompozytu zawierającego siedem warstw haftu jako wzmocnienie, była o około 40% większa od wytrzymałości na rozciąganie kompozytu zawierającego jedną warstwę haftu oraz około ośmiokrotnie większa od samego haftu.

Wraz ze wzrostem liczby warstw wzmacniających w kompozycie, zwiększało się jego wydłużenie przy rozciąganiu.

5. Wnioski

Zdecydowano się na wytworzenie i porównanie właściwości mechanicznych (wytrzymałości na rozciąganie oraz wydłużenia przy rozciąganiu) jednowarstwowego haftu technicznego oraz dwóch rodzajów kompozytów: zawierających jako wzmocnienie jedną oraz siedem warstw haftu o układzie niedoprzędu pod kątem 0° do kierunku wzdluznego próbki.

Wytrzymałość na rozciąganie kompozytu jednowarstwowego okazała się prawie pięciokrotnie większa od wytrzymałości samego haftu. Pomimo tego, wytrzymałość kompozytu zawierającego siedem warstw haftu, była tylko około ośmiokrotnie większa od samego haftu. Oznacza to, że wzrost wytrzymałości kompozytów nie rośnie proporcjonalnie do zwiększania ilości warstw wzmacniających. Może być to spowodowane niedokładną impregnacją żywicy wewnątrz kompozytu lub innymi błędami powstającymi podczas wytwarzania kompozytu.

Średnie wydłużenie kompozytu siedmiowarstwowego było około sześciokrotnie mniejsze od badanych haftów oraz o około 1.5 % większe od kompozytu jednowarstwowego. Udowodniono, że wraz ze wzrostem warstw haftu w kompozycie, wzrasta jego wydłużenie przy rozciąganiu. Spowodowane jest to większą ilością włókien biorących udział w rozciąganiu.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wnioskować, iż kompozyt zawierający jedną warstwę haftu jest sztywniejszy od kompozytu siedmiowarstwowego. Oba kompozyty nie wykazują cech materiałów plastycznych. Można zatem zakwalifikować je jako materiały kruche.

W strukturze kompozytu siedmiowarstwowego zauważyć można drobne pęcherzyki powietrza. Spowodowane jest to trudniejszym przedostawaniem się żywicy do wnętrza próbek. Może to być przyczyną niedostatecznie zadowalających właściwości wytrzymałościowych wytworzonego kompozytu.

Na podstawie przeprowadzonych badań można zatem wnioskować, iż wraz ze wzrostem ilości zastosowanych warstw haftu wewnątrz kompozytu, rośnie nieliniowo jego wytrzymałość na rozciąganie.

Uzyskane wyniki pozwolą na dalsze badania nad wykorzystaniem haftu jako wzmocnienia kompozytów. Planowane jest wykonanie prób o zróżnicowanym ułożeniu niedoprzędu wewnątrz kompozytu.

6. Literatura

- [1] **Agulio-Aguayo N., Amann P., Espinera P.P., Petrasch J., Bechtold T.,** *X-ray micro tomography of three-dimensional embroidered current collectors for lithium-ion batteries*, Journal of Power Sources 2016, nr 306.
- [2] **Briedisa U., Valisevskisa A., Grecka M.,** *Development of a Smart Garment Prototype with Enuresis Alarm Using an Embroidery-Machine-Based Technique for the Integration of Electronic Components* Computer Science 2017, nr 104.
- [3] **El-Dessoukya H.M., Salehc M.N., Gautamd M., Hane G., Scaifea R.J., Potlurid P.,** *Tailored fibre placement of commingled carbon-thermoplastic fibres for notch-insensitive composites*, Composite Structures 2019, nr 214.
- [4] **Liua X., Lillehoja P.B.,** *Embroidered electrochemical sensors on gauze for rapid quantification of wound biomarkers*, Biosensors and Bioelectronics 2017, nr 98.
- [5] **Poniecka A., Barbuski M.,** *Właściwości mechaniczne haftu technicznego wykonanego z włókien lnianych*, XIII Kopernikańskie Seminarium Doktoranckie, Bachotek 2019
- [6] PN-EN ISO 13934-1. 2002. Tekstylnia. Właściwości płaskich wyrobów przy rozciąganiu. Część 1: Wyznaczanie maksymalnej siły i wydłużenia względnego przy maksymalnej sile metodą paska.
- [7] PN-EN ISO 527-4. 2000. Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Warunki badań kompozytów tworzywowych izotropowych i ortotropowych wzmocnionych włóknami