

ANALIZA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNYCH TKANIN MODYFIKOWANYCH POWIERZCHNIOWO POD KĄTEM ZASTOSOWANIA W GORĄCYM ŚRODOWISKU PRACY

Pamela Miśkiewicz, Magdalena Tokarska, Iwona Frydrych

Instytut Architektury Tekstyliów

Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów

Politechnika Łódzka

DOI 10.34658/9788366741805.20

Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB) wraz z Politechniką Łódzką w latach 2010-2012 realizował projekt „Elaboration of new type of protective gloves from basalt fibers for hot workplaces” o akronimie „Baglo”. W ramach projektu opracowano i wytworzono nowe rękawice chroniące przed czynnikami gorącymi oraz mechanicznymi, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiego komfortu użytkownika. Zastosowano tkaniny z przędz bazaltowych, które następnie zostały poddane procesowi aluminizowania.

W kolejnych etapach realizacji projektu aluminizowane tkaniny bazaltowe, z których wytwarzano prototypy rękawic ochronnych oceniano biorąc pod uwagę kryteria dotyczące parametrów termicznych i mechanicznych według norm odnoszących się do środków ochrony indywidualnej [1,2], w tym rękawic ochronnych [3,4]. Zaobserwowano, że w wytworzonym nowym rozwiązaniu rękawic ochronnych podczas procesu konfekcjonowania występują pęknięcia na szwach oraz ścieranie warstwy aluminium [5,6], co prowadzi do utraty właściwości ochronnych i trwałości rękawic. Uzyskano również niską odporność na ciepło kontaktowe. Nowy model rękawic ochronnych w odniesieniu do czynników gorących był odporny na działanie ciepła kontaktowego jedynie dla temperatury 100°C, natomiast wykazywał najwyższy czwarty poziom skuteczności ochrony na działanie promieniowania cieplnego. Ponadto z punktu widzenia użytkownika tkaniny bazaltowe nie są komfortowe, gdyż wywołują alergie w kontakcie ze skórą człowieka, dlatego konieczne jest na przykład ich laminowanie.

Oprócz właściwości zapewniających ochronę przed wysoką temperaturą, wyrób powinien zapewniać komfort fizjologiczny użytkownikowi, co jak zauważono [7] jest dość trudne do pogodzenia. Zauważono, że modyfikacja powierzchniowa materiałów włókienniczych prowadzi do poprawy ich wybranych właściwości np. antybakteryjnych, termicznych czy ekranujących. W zakresie właściwości termicznych przy użyciu metody rozpylania magnetronowego tkaninę aramidową pokryto warstwą aluminium [8]. Uzyskano w ten sposób znaczną poprawę odporności

materiału na promieniowanie ciepłe. Warstwy aluminium o różnej grubości nanoszono również na tkaninę poliestrową, poliamidową oraz będącą mieszanką bawełny z poliestrem [9]. Zaobserwowano, że wraz z grubością powłoki ulegał poprawie współczynnik przenikania ciepła.

Celem podjętych badań było otrzymanie nowych tkanin modyfikowanych powierzchniowo, które mogą znaleźć zastosowanie, jako środki ochrony indywidualnej kończyn górnych pracowników przebywających w gorącym środowisku pracy.

6. Materiały i metody badawcze

Przedmiotem badań były trzy modyfikowane powierzchniowo materiały włókiennicze, których podłoże stanowiły tkaniny: aramidowa, bazaltowa i bawełniana z wykończeniem trudnopalnym. Włókna aramidowe zapewniają skuteczną ochronę przed płomieniem i wysoką temperaturą [10]. Włókna bazaltowe mają niską przewodność cieplną, dlatego wykonane z nich tkaniny służą do ochrony przed ogniem i ciepłem [11]. Tkanina bawełniana z wykończeniem trudnopalnym chroni pracowników przed gorącem i płomieniem [12]. Wartości wybranych parametrów tkanin wraz ze współczynnikami zmienności wyrażonymi w procentach (%) przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka tkanin

Ozn.	Nazwa	Skład surowcowy	Producent	Grubość, mm	Masa powierzchniowa, g/m ²	Gęstość pozorna, kg/m ³
A	Tkanina aramidowa	98% włókna aramidowe, 2% włókna antystatyczne	DuPont	0,371 (5)	266 (6)	719
B	Tkanina bazaltowa	100% włókna bazaltowe	Basaltex	0,548 (4)	398 (8)	724
C	Tkanina bawełniana z wykończeniem trudnopalnym	100% włókna bawełniane	XinXiang YuLong Textile	0,658 (4)	376 (8)	570

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10-12].

Tkanina aramidowa i tkanina bazaltowa mają zbliżoną gęstość pozorną, natomiast tkanina bazaltowa oraz tkanina bawełniana z wykończeniem trudnopalnym zbliżoną masę powierzchniową, jednakże wszystkie różnią się grubością.

Za pomocą metody rozpylania magnetronowego [13], po jednej (prawej) stronie każdej tkaniny, została naniesiona powłoka aluminium o grubości 5 μm .

Oceny odporności na ciepło kontaktowe modyfikowanych powierzchniowo tkanin dokonano w oparciu o normę ISO 12127-1:2016 [2] oraz EN 407:2004 [4]. Odporność na ciepło kontaktowe mierzona jest czasem progowym t_t potrzebnym do osiągnięcia przez próbkę ustalonej temperatury kontaktu (100°C, 250°C, 350°C i 500°C), przy czym przyrost temperatury nie może być większy niż 10°C w ciągu 15 s. Poziom skuteczności zostaje osiągnięty, gdy $t_t \geq 15,0$ s dla ustalonej temperatury kontaktu.

Ocenę odporności tkanin na ciepło promieniowania przeprowadzono w oparciu o normę ISO 6942:2002 [1] oraz EN 407:2004 [4]. Materiał zostaje poddany działaniu promieniowania o gęstości strumienia cieplnego 20 kW/m². Mierzony jest czas trwania wzrostu temperatury kalorymetru o 24°C, czyli tzw. współczynnik przenikania ciepła $RHTI_{24}$, wyrażony w sekundach. Wybrany poziom skuteczności zostaje osiągnięty w zależności od wartości uzyskanego współczynnika.

Ponadto dla tkanin określono następujące parametry cieplne: przewodność λ , dyfuzyjność a oraz absorpcyjność b . Badanie wykonano na przyrządzie Alambeta firmy Sensora. Dla każdej tkaniny przeprowadzono po 10 pomiarów dla tkaniny referencyjnej niemodyfikowanej, oraz dla tkaniny modyfikowanej oddzielnie dla prawej strony, która była modyfikowana metalem i dla lewej strony niemodyfikowanej.

Przewodność cieplna λ (inaczej współczynnik przewodzenia ciepła) wyrażona w $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ jest stałą właściwością materiałową, charakteryzującą materiał w stacjonarnych warunkach transportu ciepła. Przewodność cieplna określona jest wzorem:

$$\lambda = \frac{Q \cdot h}{S \cdot \Delta T} \quad (1)$$

gdzie: Q – strumień ciepła, S – powierzchnia materiału, ΔT – różnica temperatur po obu stronach materiału, h – grubość materiału.

Dyfuzyjność cieplna a wyrażona w mm^2s^{-1} jest specyficzną właściwością materiału, charakteryzującą przewodzenie ciepła w warunkach nieustalonych. Wartość ta pozwala określić, jak szybko materiał reaguje na zmiany temperatury. W tym przypadku jest ważna głębokość penetracji ciepła. Dyfuzyjność cieplna wyraża się wzorem:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad (2)$$

gdzie: λ – współczynnik przewodzenia ciepła, ρ – gęstość materiału, c_p – ciepło właściwe materiału.

Absorpcyjność cieplna b wyrażona w $\text{Wm}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$ jest właściwością powierzchniową, która pozwala ocenić charakter powierzchni tkaniny w kontakcie ze skórą. Materiały o niskiej wartości absorpcyjności cieplnej dają uczucie ciepła, natomiast tkaniny o wysokiej wartości absorpcyjności ciepła dają wrażenie chłodu. Absorpcyjność cieplną określa wzór:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p} \quad (3)$$

gdzie: oznaczenia jak we wzorze (2).

7. Analiza wyników badań

Badania wybranych właściwości termicznych prowadzono dla wybranych tkanin przed modyfikacją ich powierzchni i po procesie modyfikacji powierzchni. W tabeli 2 zestawiono wartości czasu progowego t_t dla temperatury kontaktu 100°C oraz współczynnika przenikania ciepła $RHTI_{24}$.

Tabela 2. Średnie wartości współczynników t_t oraz $RHTI_{24}$ (w nawiasie podano współczynnik zmienności wyrażony w procentach %).

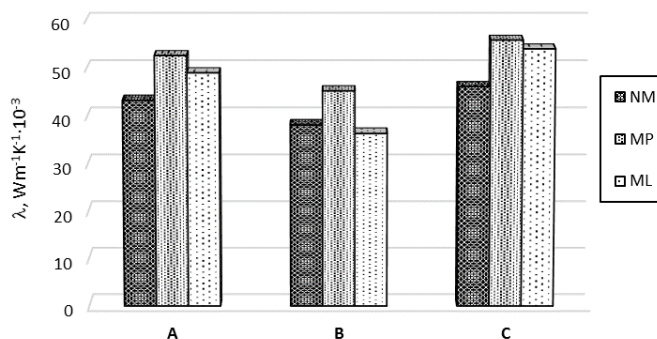
Ozn.	Przed modyfikacją		Po modyfikacji	
	t_t , s	$RHTI_{24}$, s	t_t , s	$RHTI_{24}$, s
A	12,33 (0,5)	12,65 (2,3)	11,88 (0,4)	23,19 (0,5)
B	10,83 (1,9)	12,60 (2,4)	11,20 (2,4)	24,20 (1,2)
C	12,54 (0,4)	14,50 (2,8)	12,58 (0,4)	20,29 (2,0)

Źródło: opracowanie własne.

Z tabeli 2 wynika, że żadna z tkanin, ani przed ani po procesie modyfikacji nie osiągnęła wartości t_t równej lub większej niż 15,0 s. Zatem pierwszy poziom skuteczności ochrony przed ciepłem kontaktowym dla przyjętej temperatury kontaktu nie został osiągnięty. Najbliżej spełnienia tego kryterium była aluminiowana tkanina bawełniana C z wykończeniem trudnopalnym. Drugi poziom skuteczności ochrony przed ciepłem promieniowania został osiągnięty przez wszystkie tkaniny zmodyfikowane powierzchniowo ($RHTI_{24} > 20$ s), przy czym najlepszy wynik zanotowano dla modyfikowanej tkaniny bazaltowej.

Wyniki badań przewodności cieplnej tkanin przed modyfikacją powierzchni (NM) i po modyfikacji pokazano na rys. 1. Ze względu na fakt, iż dokonano

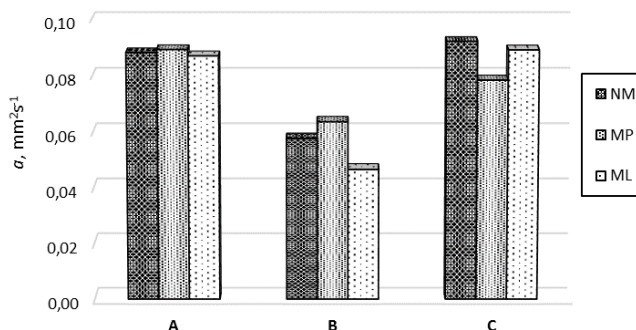
modyfikacji jednej strony każdej tkaniny, uzyskane wyniki pomiarów pokazano dla prawej (MP) i lewej (ML) strony modyfikowanej tkaniny. Współczynnik zmienności wyników pomiarów przewodności cieplnej λ nie przekraczał 5%.



Rys. 1. Wyniki badań przewodności cieplnej tkanin (NM - tkanina niemodyfikowana, MP - prawa strona tkaniny modyfikowanej, ML - lewa strona tkaniny modyfikowanej)

Źródło: opracowanie własne.

Przewodność cieplna to zdolność materiału do przewodzenia ciepła przez tworzywo włókien. W tych samych warunkach mniej ciepła przepłynie przez substancję o mniejszej przewodności cieplnej. Z rys. 1 wynika, że najlepsza pod tym względem jest tkanina bazaltowa B zarówno modyfikowana, jak i niemodyfikowana powierzchniowo. Tkaninę przed modyfikacją oraz stronę niealuminizowaną tkaniny po modyfikacji charakteryzuje porównywalna wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ . Wprawdzie przewodność cieplna strony modyfikowanej tkaniny B jest porównywalna z wartością przewodności cieplnej niealuminizowanej tkaniny bawełnianej C, ale modyfikacja pozwoliła osiągnąć drugi poziom skuteczności ochrony przed ciepłem promieniowania.



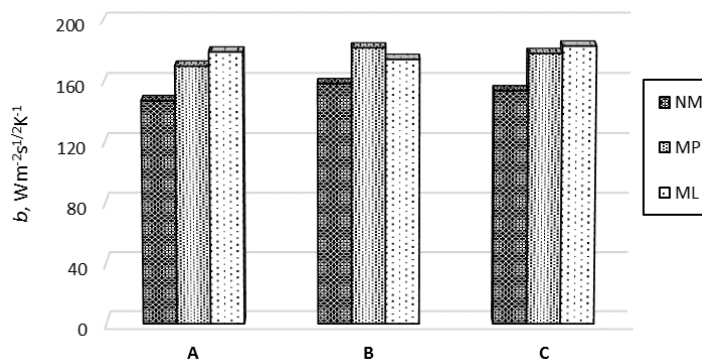
Rys. 2. Wyniki badań dyfuzyjności cieplnej tkanin (NM - tkanina niemodyfikowana, MP - prawa strona tkaniny modyfikowanej, ML - lewa strona tkaniny modyfikowanej)

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki badań dyfuzyjności cieplnej tkanin przed i po modyfikacji pokazano na rys. 2 (oznaczenia jak na rys. 1). Współczynnik zmienności wyników pomiarów nie przekraczał 10%.

W badaniu dyfuzyjności cieplnej istotne są dla nas wyniki otrzymane dla lewej, niemodyfikowanej strony tkaniny (ML), ponieważ tkanina ma być zastosowana w części dłoniowej rękawicy ochronnej, zatem jej lewa strona będzie miała bezpośredni kontakt ze skórą. Najniższą dyfuzyjność cieplną posiada tkanina bazaltowa B, co oznacza że najwolniej ze wszystkich modyfikowanych i niemodyfikowanych tkanin reaguje na zmiany temperatury. Wynika to z największej masy powierzchniowej i gęstości pozornej, co stanowi barierę dla penetracji ciepła. Wyniki badań absorpcyjności cieplnej tkanin przed i po modyfikacji pokazano na rys. 3 (oznaczenia jak na rys. 1). Współczynnik zmienności wyników pomiarów nie przekraczał 8%.

Z punktu widzenia komfortu użytkownika oczekuje się wysokiej absorpcyjności cieplnej tkanin od strony powierzchni kontaktu materiału ze skórą. Ze względu na poprawę odporności tkanin aluminizowanych na ciepło promieniowania jest to powierzchnia tkaniny oznaczona ML. Badania wykazały, że dla wszystkich tkanin wrażenie uczucia chłodu wzrosło na skutek ich modyfikacji powierzchniowej. Różnice wartości absorpcyjności cieplnej pomiędzy lewą i prawą stroną tkanin nie są duże, dla tkaniny Nomex różnica wynosi 5,2%, dla tkaniny bazaltowej 4,1%, natomiast dla bawełny z wykończeniem trudnopalnym 2,7%. Należy jednak zwrócić uwagę, że tkanina bazaltowa w bezpośrednim kontakcie ze skórą może wywoływać alergię.



Rys. 3. Wyniki badań absorpcyjności cieplnej tkanin (NM - tkanina niemodyfikowana, MP – prawa strona tkaniny modyfikowanej, ML – lewa strona tkaniny modyfikowanej)

Źródło: opracowanie własne.

8. Podsumowanie

Modyfikacja powierzchni tkanin umożliwia poprawę ich właściwości termicznych zarówno ochronnych, jak i tych związanych z komfortem użytkowania, a co za tym idzie wytycza kierunek poszukiwania nowych wyrobów mających zastosowanie w gorącym środowisku pracy. Tkaniny: aramidowa, bazaltowa i bawełniana z wykończeniem trudnopalnym poddane procesowi aluminizowania wykazały odporność na ciepło promieniowania określoną drugim poziomem skuteczności ochrony. Z punktu widzenia przewodności cieplnej najlepszym materiałem jest tkanina bazaltowa B. Druga w kolejności ze względu na przewodność cieplną jest tkanina aramidowa A, a ze względu na dyfuzyjność cieplną - tkanina bawełniana C. Z punktu widzenia komfortu użytkownika, najlepszymi materiałami są tkaniny A i C. Dla obu tych tkanin uzyskano największą wartość absorpcyjności cieplnej od strony powierzchni oznaczonej jako ML, czyli lewej strony tkaniny modyfikowanej. Wobec tego, użytkownik rękawic ochronnych stosowanych w gorącym środowisku pracy, gdzie częścią dłoniową rękawicy może być jedna z tych tkanin, dozna zwiększonego uczucia chłodu od strony ML powierzchni kontaktu tkaniny ze skórą. Tkanina bazaltowa może stać się najlepszym wyborem pod warunkiem, że jej alergiczne oddziaływanie na skórę zostanie zneutralizowane np. poprzez laminowanie. Taki zabieg wymaga oczywiście sprawdzenia, czy i w jakim stopniu laminowanie zmieni jej właściwości cieplne.

9. Literatura

- [1] **ISO 6942:2002.** Protective Clothing. Protection Against Heat and Fire. Method of Test: Evaluation of Materials and Materials Assemblies When Exposed to a Source of Radiant Heat.
- [2] **ISO 12127-1:2016.** Clothing for Protection Against Heat and Flame. Determination of Contact Heat Transmission Through Protective Clothing or Constituent Materials. Part 1: Contact Heat Produced by Heating Cylinder.
- [3] **PN-EN 420+A1:2012.** Protective Gloves. General Requirements and Test Methods.
- [4] **EN 407:2004.** Protective Gloves Against Thermal Risks (Heat and/or Fire).
- [5] **Hrynyk R., Frydrych I.,** *Study on textile assemblies with aluminized basalt fabrics destined for protective gloves*, International Journal of Clothing Science and Technology 2015, Vol. 27, nr 5, ss. 1-17.
- [6] **Hrynyk R., Frydrych I., Irzmańska E., Stefko A.,** *Thermal properties of aluminized and non-aluminized basalt fabrics*, Textile Research Journal 2012, Vol. 83, nr 17, ss. 1860-1872.

-
- [7] **Miśkiewicz P., Frydrych I. Tokarska M., Pawlak W.,** *Study on some thermal and electrical properties of basalt fabric modified with metal and ceramics as a result of magnetron sputtering*, Polymers 2019, Vol. 11, nr 12, ss. 1-15.
- [8] **Zhai Y., Liu X., Xiao L.,** *Magnetron sputtering coating of protective fabric study on influence of thermal properties*, Journal of Textile Science and Technology 2015, Vol.1, nr 3, ss. 127-134.
- [9] **Han H.R., Park Y., Yun C., Park C.H.,** *Heat transfer characteristics of aluminum sputtered fabrics*, Journal of Engineered Fibers and Fabrics 2018, Vol. 13, nr 3, ss. 37-44.
- [10] Dupont, *Nomex® Fibers for Heat- and Flame-Resistant Protection*, online, www.dupont.com/products/nomex-fibers.html [dostęp: 23.03.2020].
- [11] Basalt Fiber Tech, *High Temperatures*, online, www.basaltft.com/prop/fire.htm [dostęp: 23.03.2020].
- [12] Yulong Safety, *Cotton Arc Proof Fabric*, online, www.yulongfrtex.com/fabric/cotton-arc-proof-fabric [dostęp: 23.03.2020].
- [13] **Wei Q.,** *Surface modification of textiles*, Woodhead, Sawston 2009.