

Andrzej POSMYK¹, Aleksandra BOGDAN-WŁODEK²

TERMICZNE POWŁOKI KOMPOZYTOWE POPRAWIAJĄCE JAKOŚĆ TECHNICZNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU

Streszczenie. W artykule przedstawiono właściwości cieplne kompozytowego materiału izolacyjnego przeznaczonego do wytwarzania technicznych środków transportu. Materiał ten można nakładać w postaci powłok na większość tworzyw konstrukcyjnych. Osnowę kompozytu stanowi żywica akrylowa, a fazę zbrojącą – zamknięte sfery ceramiczne wykonane z tlenku glinu. Dzięki temu, że wewnątrz sfer jest prawie próżnia (0,13 Pa), i dzięki dużej liczbie sfer na jednostkę grubości jest możliwe uzyskanie bardzo małej przewodności cieplnej. Zastosowanie tych powłok w budowie kabin chłodniczych pojazdów samochodowych pozwoli zmniejszyć ilość paliwa zużywanego na utrzymanie zadanej temperatury, a wykorzystanie ich w statkach powietrznych latających na dużych wysokościach (temp. do 213 K) umożliwi zmniejszenie zużycia paliwa na ogrzewanie. Ma to istotny wpływ na jakość i na koszty jakości transportu.

Słowa kluczowe: Poprawa jakości, koszty jakości, środki transportu, powłoki kompozytowe, właściwości izolacyjne, przewodność cieplna.

THERMAL COMPOSITE COATINGS IMPROVING QUALITY OF TECHNICAL MEANS OF TRANSPORT

Summary. The paper presents the thermal properties of composite insulating material designed for producing of technical means of transport. This material can be coated on most of engineering materials. The matrix of this material is an acrylic resin and non porous ceramic microspheres made of alumina are the reinforcing phase. Thanks to that into the spheres almost vacuum (0,13 Pa) dominates and a big amount of spheres per thickness unit is it possible to achieve low thermal conductivity. Usage of these coatings for producing of cooling cabins on vehicles let us to reduce of fuel for maintain of given temperature. Usage of these coatings in planes flying on high altitudes (temperature up to -60°) allows to reduce of fuel consumption for heating. It has an important influence on transport quality and quality costs.

Keywords: Quality improvement, quality costs, transport means, composite coatings, insulating properties, thermal conductivity.

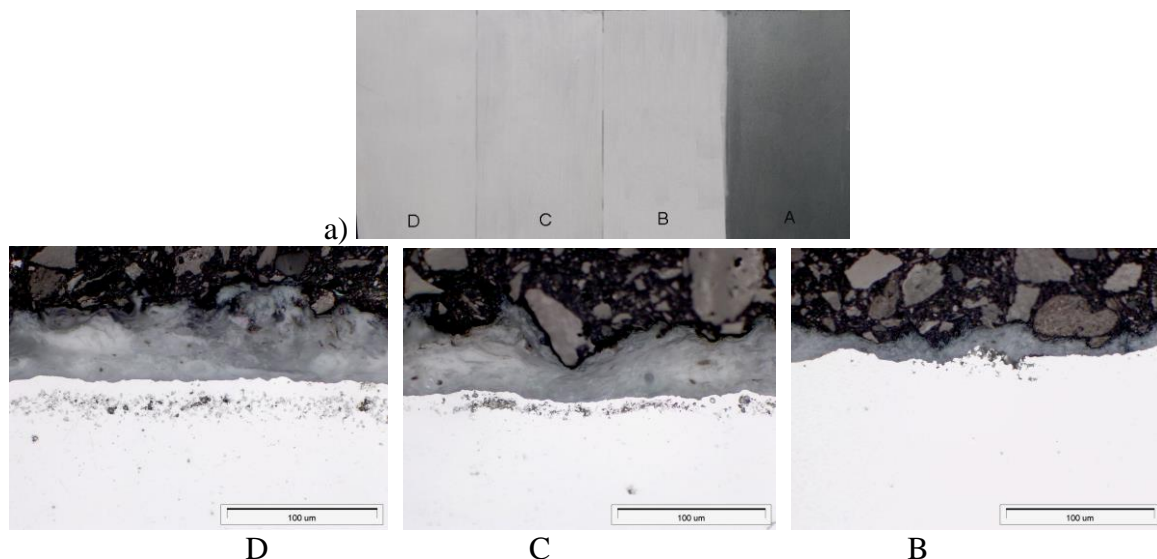
¹ Politechnika Śląska, Wydział Transportu, andrzej.posmyk@polsl.pl

² Śląskie Centrum Naukowo-Technologiczne Przemysłu Lotniczego Sp. z o.o. Czechowice

1. WPROWADZENIE

Dla zapewnienia jakości transportu jest konieczne wykorzystanie nowoczesnych technologii informatycznych (telematyka) i materiałowych oraz technologii wytwórczych i eksploatacyjnych. Wpływ technologii informatycznych na zapewnienie jakości transportu jest badany w wielu ośrodkach naukowych i przemysłowych w Polsce i za granicą. Informacje na ten temat można znaleźć w licznej literaturze [1, 2]. Nowoczesnym technologiom transportowym też poświęcono wiele uwagi [3, 4]. W literaturze można znaleźć coraz więcej prac na temat zastosowania nowych technologii wytwarzania i nowych materiałów do wytwarzania technicznych środków transportu [5, 6]. Większość dostępnych opracowań jest poświęcona nowym materiałom konstrukcyjnym i powłokom służącym poprawie jakości i zmniejszeniu kosztów transportu. Prawie wcale nie są dostępne informacje na temat zastosowań nowych materiałów litych i powłok kompozytowych służących jako materiały izolacyjne.

Pod koniec XX wieku opracowano kompozytowe powłoki izolacyjne na osnowie żywic akrylowych zbrojone mikrosferami ceramicznymi. Współczynnik przewodności cieplnej (λ) tych powłok zależy od warunków nakładania oraz suszenia powłok i według danych producenta [8, 9] może wynosić $0,0012 \text{ W(mK)}^{-1}$. Do użytkownika bardziej przemawia jednostkowy opór cieplny (R). Opór cieplny powłoki kompozytowej o grubości 1 mm odpowiada oporowi cieplnemu stosowanych dotychczas w technicznych środkach transportu materiałów izolacyjnych, np. pianki PIR lub PUR o grubości ponaddziesięciokrotnie większej [8]. Zastąpienie izolacji piankowej izolacją kompozytową pozwoli zmniejszyć grubości ścianek, co zwiększy wymiary przestrzeni ładunkowej chłodni transportowych. Zastosowanie takich powłok na poszyciu samolotów latających na dużych wysokościach może zmniejszyć ilość energii na ogrzewanie i zużycie paliwa. Powłoki te zwiększają odporność korozyjną i zapobiegają skraplaniu wilgoci na pokrytych powierzchniach, co przy ich zastosowaniu w ładowniach statków poprawi jakość transportu i zmniejszy koszty tej jakości. Niniejszy artykuł jest próbą przedstawienia wpływu nowoczesnych materiałów izolacyjnych na koszty jakości technicznych środków transportu wodnego, lądowego i powietrznego.



Rys. 1. Blacha karoseryjna pokryta izolacyjną powłoką kompozytową o różnej grubości: widok (a) i przekrój (b), A – blacha bez powłoki, B – blacha + 1 warstwa x 0,2 mm, C – blacha + 2 warstwy x 0,2 mm, D – blacha + 3 warstwy x 0,2 mm

Fig. 1. Car body sheet plate coated with composite coating with different thickness: surface view (a) and cross section (b), A – sheet without coating, B – sheet coated 1 x 0,2 mm, C – sheet coated 2 x 0,2 mm, D – sheet coated 3 x 0,2 mm.

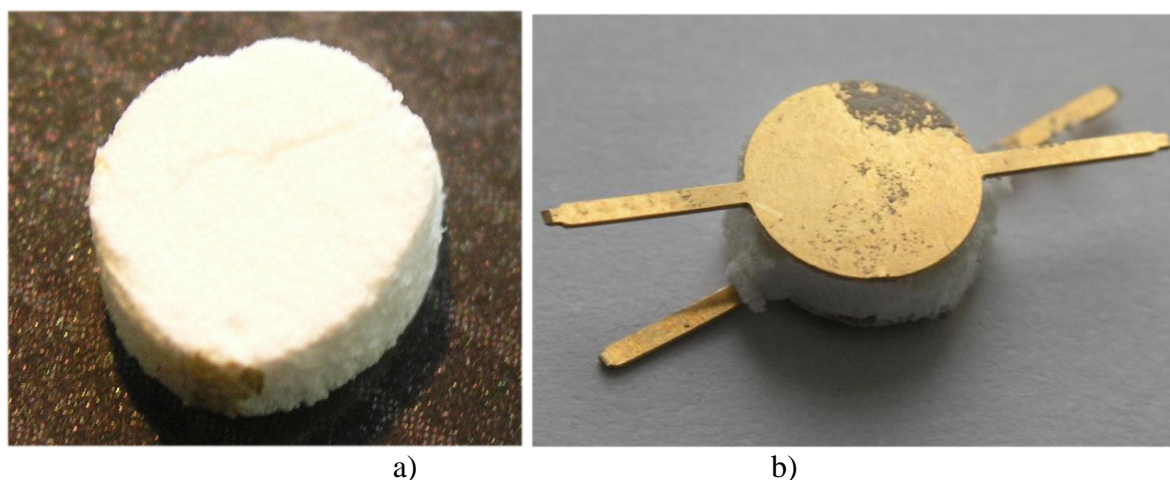
2. WARUNKI I PRZEBIEG BADAŃ

W celu sprawdzenia możliwości zastosowania kompozytowych powłok izolacyjnych do wytwarzania zabudów chłodni samochodowych wykonano dwa etapy badań, tj.:

1. badania właściwości cieplnych materiału powłokowego (współczynnik przewodności temperaturowej i ciepło właściwe),
2. badania emisyjności decydującej o skuteczności zatrzymywania przez nie ciepła promieniowania słonecznego, na które są narażone samochody chłodnie w upalne lato.

Próbki do badań właściwości cieplnych (dyfuzyjności) wykonano z materiału powłokowego wlanego do dwóch różnych form. Jedna forma była otwarta z dwóch stron i ułatwiała schnięcie, a druga była otwarta tylko z jednej strony, co sprzyjało wiązaniu wody z tlenkiem aluminium. Wykonanie próbek w takich warunkach pozwoliło sprawdzić wpływ warunków nanoszenia powłok na ich właściwości izolacyjne. Dyfuzyjność powłoki wyznaczono na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej na dwóch próbkach o średnicy 13,4, grubość 4,5 mm (z utrudnionym odparowaniem wody), oraz na dwóch próbkach o średnicy 14,07, grubość 4,35 mm (z ułatwionym odparowaniem wody). Wyznaczona wartość dyfuzyjności wynosiła $a = 0,128 \text{ mm}^2/\text{s}$ i $a = 0,193 \text{ mm}^2/\text{s}$. Powolne schnięcie powłoki pozwala na związanie większej ilości wody ze sferami tlenku glinu i na jego uwodnienie, co zmienia przewodność temperaturową (dyfuzyjność).

Próbki do badań ciepła właściwego wykonano w formie otwartej z dwóch stron. Wymiary próbek zostały narzucone przez urządzenia pomiarowe. Widok próbek do badań przedstawiono na rysunku 2. Ciepło właściwe powłoki wyznaczono w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Śląskiego na dwóch próbkach o masie 0,52 mg i średnicy 1 mm, grubości 1,2 mm. Zależność ciepła właściwego powłoki od temperatury przedstawiono na rysunku 4.

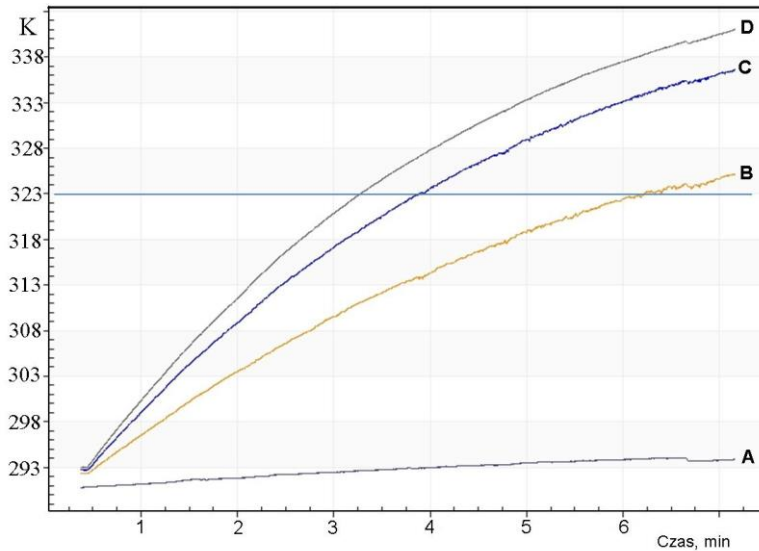


Rys. 2. Widok próbek do pomiaru dyfuzyjności (a) i ciepła właściwego (b) izolacyjnej powłoki kompozytowej

Fig. 2. Samples for measuring of diffusivity (a) and specific heat (b) of insulating composite coating

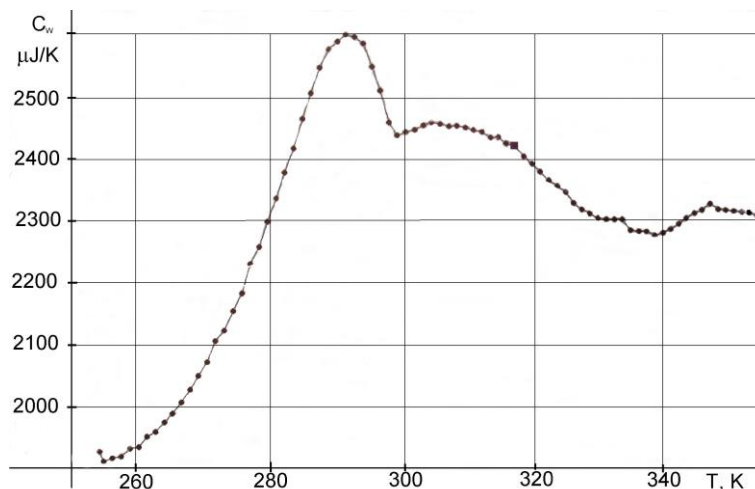
Próbki do badań emisyjności decydującej o skuteczności zatrzymywania ciepła wykonano z blachy stalowej stosowanej na nadwozia pojazdów, pokrytej powłokami o trzech różnych grubościach. Badania przeprowadzono w Śląskim Centrum Naukowo-Technologicznym Przemysłu Lotniczego w Czechowicach. Na części blachy naniesiono jedną warstwę o średniej grubości 0,2 mm (B, rys. 1), dwie warstwy o grubości 0,4 mm (C) i trzy warstwy o grubości 0,6 mm (D). Próbki poddano nagrzewaniu impulsowemu ze stacjonarnego źródła ciepła o mocy 5,2 kW. Czas trwania impulsu wynosił 300 s. Badania wykonano w temperaturze otoczenia 292 K (± 3 K) i wilgotności względnej powietrza 60% ($\pm 15\%$). Badaną próbkę zamontowano nieruchomo w odległości 600 mm od kamery

termowizyjnej, równoległe do jej obiektywu, pomalowanymi warstwami w stronę kamery. Wykorzystano w tym badaniu transmisyjną metodę pomiarową. Badania zrealizowano metodą pośrednią (z użyciem odbłyśnika) w celu określenia temperatury pozornej. Wykonano lustro z usztywnionego arkusza folii aluminiowej i umieszczono je przed badanym obiektem. Ustawiono emisyjność kamery na 1. a następnie zmierzono temperaturę pozorną folii, która wynosiła 290,75 K. Następnie określono emisyjność badanej próbki dla poprawności uzyskanych danych. Wyniki przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Zmiany temperatury podczas impulsowego nagrzewania w poszczególnych obszarach: A – blacha bez powłoki, B – blacha z powłoką 0,2 mm, C – blacha z powłoką 2 x 0,2 mm, D – blacha z powłoką 3 x 0,2 mm

Fig. 3. Temperature changes during pulse heating on chosen areas: A – sheet without coating, B – sheet coated 1 x 0,2 mm, C – sheet coated 2 x 0,2 μm , D – sheet coated 3 x 0,2 μm



Rys. 4. Zależność ciepła właściwego izolacyjnej powłoki kompozytowej od temperatury

Fig. 4. Dependence of specific heat of insulating coating vs. temperature

W następnym etapie określono czas, po którym obszary osiągały temperaturę 323 K metodą transmisyjną o takich samych parametrach. Pomiar był zapisywany do momentu osiągnięcia temperatury 323 K w każdym z obszarów. Wyniki zestawiono w tabeli 1. Progowa wartość temperatury wynika z doświadczeń przemysłu motoryzacyjnego, w którym

kryterium bezpieczeństwa biernego pasażerów w kabinie przetrwania w pojeździe jest czas nagrzewania się jej wnętrza do 323 K.

Tabela 1

Wpływ grubości powłoki na emisyjność i na czas nagrzewania do temperatury 323 K

	Obszar D	Obszar C	Obszar B	Obszar A
Emisyjność	0,940	0,940	0,940	0,120
Czas osiągnięcia temperatury 323K [s]	85	52	43	-

Tabela 2

Opór cieplny właściwy wybranych materiałów
stosowanych na izolacje cieplne pojazdów chłodni [7-9]

Materiał Cecha	PUR	PIR	Wełna mineralna	Powłoka kompozytowa
Gęstość, kg/m ³	12-60	30*	135-180	558
λ , W/(mK) ⁻¹	0,023-0,035	0,023	0,035-0,045	0,0012
R, W/(m ³ K) ⁻¹	0,0435-0,025	0,0435	0,025	0,83
RI, mm	12,8	12,8	22,2	1

*) gęstość materiału rdzenia

Na podstawie uzyskanych wyników i danych z normy i literatury [6, 8] wykonano porównanie oporu cieplnego właściwego (RI) badanej powłoki kompozytowej oraz wybranych materiałów, zamieszczone w tabeli 2.

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Z przedstawionych na rysunku 2 i w tabeli 1 wartości temperatury i czasu nagrzewania wynika, że blacha stosowana na elementy nadwozia pojazdów samochodowych (obszar A) nagrzewa się w niewielkim stopniu, tj. jej temperatura po przyjęciu impulsu ciepła wzrasta z 290 K do 294 K. Większa część strumienia ciepła jest przekazywana do powietrza po drugiej stronie dzięki dobremu przewodnictwu cieplnemu stali ($\lambda=45$ W/(mK)⁻¹). Pokrycie blachy powłoką kompozytową z osnową z żywicy akrylowej i zbrojoną sferami tlenku glinu o grubości 0,2 mm (obszar B) powoduje zatrzymanie strumienia ciepła i wzrost temperatury do 325 K dzięki dobrym właściwościom izolacyjnym powłoki kompozytowej. Powłoka o grubości 0,4 mm (obszar C) spowodowała wzrost temperatury do 336 K, a o grubości 0,6 mm (obszar D) – do temperatury 341 K.

Z tabeli 1 wynika, że pokrycie blachy karoseryjnej jedną warstwą powłoki kompozytowej o grubości 0,2 mm powoduje zatrzymanie strumienia ciepła i nagrzanie blachy do temperatury 323 K po 43 s, pokrycie dwoma warstwami o grubości 0,4 mm – po 52 s, a pokrycie trzema warstwami – po 85 s.

Zarówno zmiany temperatury podczas nagrzewania impulsowego blachy, jak i czas nagrzania blachy do zadanej temperatury 323 K mają charakter nieliniowy, co jest informacją, że w celu osiągnięcia określonego oporu cieplnego wykonanej z kompozytu powłoki izolacyjnej wielowarstwowej nie można traktować oporu cieplnego właściwego jako wielkość addytywną. Opór cieplny właściwy można traktować jako wartość orientacyjną, a rzeczywistą grubość powłoki izolacyjnej należy wyznaczyć, weryfikując doświadczalnie obliczenia.

Z przedstawionego na rysunku 4 przebiegu zależności wartości ciepła właściwego od temperatury wynika istotna informacja, że ciepło właściwe badanej powłoki maleje o prawie

30% w zakresie temperatury od 273 K do 253 K. Jest to ważne z punktu widzenia jakości transportu realizowanego pojazdami wyposażonymi w zabudowane chłodnie. Skuteczność izolacji wykonanej z tej powłoki rośnie wraz ze spadkiem temperatury.

Wyjaśnieniem dobrych właściwości izolacyjnych powłoki kompozytowej jest jej budowa. Powłokę należy traktować jako przegrodę wielowarstwową składającą się z określonej liczby sfer tlenkowych o średnicy od 10 μm do 80 μm według badań własnych [7] i 5-10 μm według literatury [8], w których panuje niskie ciśnienie, rozdzielonych żywicą akrylową. Warunki nakładania i suszenia powłoki wywierają wpływ na właściwości sfer tlenkowych, które mogą łączyć się z wodą lub ją oddawać, zmieniając odmiany alotropowe. W celu ustalenia wpływu warunków nakładania i suszenia powłok kompozytowych na odmiany alotropowe sfer tlenkowych i na ich właściwości cieplne zostaną przeprowadzone dodatkowe badania.

4. PODSUMOWANIE

Wytworzone na blachach karoseryjnych powłoki kompozytowe na osnowie żywicy akrylowej i zbrojone pustymi, zamkniętymi sferami (ciśnienie wewnątrz 0,13 Pa) mogą być zastosowane do wytwarzania osłon termicznych technicznych środków transportu zarówno jako materiały zimnochronne, jak i ciepłochronne. Powłoka o grubości 1 mm, według danych producenta, może zastąpić od 12-20 mm stosowanych dotychczas materiałów izolacyjnych (PUR i PIR), co może zwiększyć pojemność ładowni w chłodniach i zmniejszyć koszty jednostkowe transportu. Dodatkowe właściwości tych powłok, według danych literaturowych, jak zapobieganie skraplaniu wilgoci w chłodniach oraz działania grzybobójcze tlenku glinu, przyczynią się do poprawy jakości technicznych środków transportu.

Bibliografia

1. Mikulski J. 2011. "Modern Transport Telematics". In *11th International Conference on Transport Systems Telematics, TST 2011: Selected Papers*. October 19-22, 2011, Katowice-Ustron, Poland.
2. Frost & Sullivan. 2002. *Analysis of the European commercial vehicle telematics market*. Frost & Sullivan Report B042.
3. Mindur L. 2004. *Współczesne technologie transportowe*. [In Polish: *Modern transport technologies*]. Radom: Wydawnictwo Pol. Radomskiej.
4. Mindur L. 2008. *Technologie transportowe XXI w.* [In Polish: *Transport Technology in XXI*]. Warszawa, Radom: Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji.
5. Posmyk A. 2012. „Wpływ nowych technologii i materiałów na poprawę jakości transportu”. [In Polish: “Acting of new technologies and materials on the transport quality improvement”]. In *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Transport* 78: 133-138. Gliwice.
6. Radziszewska-Zielina E. 2009. „Analiza porównawcza parametrów materiałów termoizolacyjnych mających zastosowanie jako izolacja ścian zewnętrznych”. [In Polish: “Comparative analysis of parameters of thermal insulation materials applicable as insulation of external walls”]. In *Przegląd Budowlany* 4: 32-37.
7. Posmyk A. 2014-15. „Wpływ nowych technologii na jakość transportu”. *Badania własne Katedry Eksploatacji Pojazdów Samochodowych*. Wydział Transportu. Katowice. [In Polish: “The impact of new technologies on the quality of transport”. *Own research*].
8. Bashuyev Y.V. 2012. *Corund Cured Coating Structure, Information Card of product*. Saint Petersburg.
9. KORUND. *Swierhtonkaja tieploizolaciija*. [In Russian: *Ultra-thin insulation*]. Wołgograd 2008: Atest producenta NPO FULLIERIEEN.