

MECHANIZM POWSTAWANIA USZKODZEŃ IZOLACJI TERMICZNYCH

Karolina Perz

Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 3a Poznań, e-mail: Karolina.Perz@put.poznan.pl

Streszczenie. Celem opracowania jest przedstawienie najczęstszych mechanizmów powstawania uszkodzeń izolacji i ich identyfikacja. Realizacja tak założonego celu wymagała przeprowadzenia odpowiednich badań. Polegały one na analizie uszkodzeń powstałych na nadwoziach samochodowych służących do transportu chłodniczego żywności przy wykorzystaniu metody obserwacji. Na podstawie przeprowadzonych badań i wyciągnięciu odpowiednich wniosków określono najczęstsze mechanizmy powstawania uszkodzeń izolacji zimnochronnych.

Słowa kluczowe: izolacja chłodnicza, uszkodzenie izolacji, nadwozie chłodnicze, mechanizm uszkodzenia.

WSTĘP

Konstrukcje wielowarstwowe, znalazły szerokie zastosowanie między innymi w budownictwie, przechowalnictwie, przemyśle motoryzacyjnym, lotnictwie i w wielu innych dziedzinach. Konstrukcje trójwarstwowe, w których istotnym elementem są materiały izolacyjne, często wykorzystywane są w konstrukcjach warstwowych i są powszechnie stosowane jako zabezpieczenia przed wnikiem ciepła do chłodni.

Izolacje zimnochronne służą do budowy komór izolacyjnych zarówno stacjonarnych jak i służących do transportu szybko psującej się żywności. Zachowanie ich parametrów trwałości i niezawodności jest tym bardziej pożądana gdyż z nimi wiąże się zapewnienie bezpieczeństwa przechowywanego lub transportowanego towaru, którego utrata mogłaby spowodować duże straty finansowe.

Podczas cyklu życia danej konstrukcji warstwowej można spotkać się z obniżeniem jej częściowych właściwości niezawodnościowych takich jak trwałość, nieuszkodzalność, przechowywalność czy też naprawialność [1, 2]. Wywołane jest to przez założenie niezgodnych z rzeczywistością warunków eksploatacji podczas projektowania i wytwarzania obiektu. Również w czasie eksploatacji warunki pracy jak i właściwości danej konstrukcji są często niedostosowane do warunków klimatycznych. W miarę starzenia się płyty podczas eksploatacji zachodzi zmiana relacji wynikających z osiągniętego podczas projektowania kompromisu pomiędzy pożądanymi a możliwymi do uzyskania właściwościami płyty.

Na uszkodzenia eksploatacyjne najbardziej narażone są izolacje zimnochronne zainstalowane na nadwoziach samochodowych służących do transportu żywności. Izolacje te poza wadami

projektowymi i technologicznymi narażone są na uszkodzenia komunikacyjne powstające w czasie przewozu ładunków oraz podczas manewrów przy załadunku i wyładunku towaru. Dlatego przedmiotem opracowania są przede wszystkim uszkodzenia komór transportowych, których wartości współczynnika przewodzenia ciepła mogą zmieniać się w sposób nieoczekiwany.

KONCEPCJA BADAŃ USZKODZEŃ IZOLACJI

Po przeprowadzeniu analizy literaturowej aktualnego stanu wiedzy na temat powstawania uszkodzeń izolacji zimnochronnych stwierdzono, iż nie określono dotychczas przyczyn uszkodzeń i ich wpływu na pogorszenie pracy danej izolacji. Stąd też zrodził się pomysł przeprowadzenia ewidencji uszkodzeń izolacji zimnochronnych umieszczonych na nadwoziach samochodowych do przewozu żywności. Środki transportu chłodniczego są specyficzną grupą obiektów chłodniczych narażonych na oddziaływanie wymuszeń wynikających zarówno z niekorzystnego wpływu środowiska jak i nieoptymalnej eksploatacji a wręcz nieuwagi podczas użytkowania danego nadwozia chłodniczego.

Realizacja założonego celu tj. określenie przyczyn i mechanizmów powodujących powstanie uszkodzenia izolacji chłodniczych zamontowanych na nadwoziach samochodowych służących do przewozu szybko psujących się produktów wymagała przeprowadzenia odpowiednich badań. Miały one na celu określenie częstości występowania uszkodzeń izolacji zimnochronnych na nadwoziach samochodowych i określenie miejsc najbardziej narażonych na ich występowanie. Po przeprowadzeniu obserwacji tychże uszkodzeń, zestawieniu wyników i wyciągnięciu odpowiednich wniosków należało zastanowić się jakie są najczęstsze mechanizmy powodujące uszkodzenia izolacji termicznych zainstalowanych na nadwoziach chłodniczych. Badania zostały przeprowadzone w firmie transportowej zajmującej się jedynie transportem chłodniczym. Obserwacje celowo ograniczono do jednej firmy transportowej aby uzyskać powtarzalność warunków eksploatacji (rodzaj ładunku, sposób załadunku i wyładunku, odległości przejazdu, rodzaj tras przejazdowych, kwalifikacje kierowców i załóg bazowych, itp.). Firma dysponuje 27 pojazdami. W eksploatacji znajdują się 3 rodzaje pojazdów. Są to:

- samochody ciężarowe o zabudowie chłodniczej (pojemność $15 \div 17$ palet) - 5 pojazdów,
- przyczepy (17 + 19 palet) - 5 pojazdów,
- naczepy do ciągników siodłowych ($32 \div 33$ palety) - 17 pojazdów.

Szczegółowe wyniki badań uszkodzeń izolacji zostały przedstawione w rozprawie doktorskiej [7].

NAJCZĘŚCIEJ WYSTĘPUJĄCE MECHANIZMY USZKODZEŃ IZOLACJI TERMICZNYCH

Analiza wyników przeprowadzonych badań pozwoliła na identyfikację najczęściej powstających uszkodzeń i ich mechanizmów.

Uszkodzenia obiektu chłodniczego są powodowane przez oddziaływanie czynników wymuszających, które można podzielić na dwie grupy:

- czynniki wynikające z czynności realizowanych przez dany obiekt, w tym przypadku komorę chłodniczą (czynniki robocze),
- czynniki charakteryzujące otoczenie w jakim dana komora się znajduje (czynniki zewnętrzne).

Robocze czynniki przestają działać w momencie gdy obiekt przestaje realizować zadaną sobie funkcję to znaczy transportowania i przechowywania żywności, natomiast czynniki zewnętrzne działają na obiekt niezależnie od tego, czy jest on eksploatowany czy nie.

Najczęściej występującym mechanizmem powstawania uszkodzeń izolacji zimnochronnej jest odkształcenie plastyczne spowodowane działaniem czynników zewnętrznych. Czynniki zewnętrzne wywoływane są najczęściej przez przypadkowe (losowe) działanie siły wymuszającej. Są one spowodowane nieprzestrzeganiem zasad eksploatacji i użytkowaniem obiektu przy oddziaływaniu nieprzewidzianych czynników. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów można przypuszczać, iż najgroźniejszym w skutkach jest uszkodzenie spowodowane działaniem siły skupionej przyłożonej prostopadle do powierzchni płyty. Przy takim ustawieniu parametrów działania narzędzia już niewielka wartość siły (0,35 kN – badania własne) spowoduje przebicie okładziny zewnętrznej izolacji zimnochronnej.

Kolejnym mechanizmem powodującym powstawanie uszkodzeń izolacji zimnochronnej jest zarysowanie. Jest ono powodem uszkodzeń na 71% pojazdów. Jest to przykład uszkodzenia powstającego w sposób nagły, również spowodowanego niskimi kwalifikacjami kierowców obsługujących dany pojazd chłodniczy, bądź też brakiem ostrożności przy obsłudze tych pojazdów.

Niewiele mniejszy udział w ogólnej liczbie uszkodzeń stanowią uszkodzenia spowodowane pęknięciem warstwy lakieru na okładzinie izolacji (zaobserwowano je na 62% pojazdów podanych oględzinom). Jest to uszkodzenie które powoduje zniszczenie jedynie wewnętrznej lub zewnętrznej okładziny płyty izolacyjnej, nie ma dużego wpływu na współczynnik przewodzenia ciepła, gdyż nie narusza warstwy izolacyjnej (rdzenia) płyty, ale zlekceważenie tego uszkodzenia może spowodować rozwój korozji na okładzinie jak i wnikająca do rdzenia płyty wilgoć może po pewnym czasie eksploatacji wpłynąć na zwiększenie wartości tego współczynnika.

Na stan izolacji zimnochronnej ma wpływ oddziałująca na nią energia. Powstawanie uszkodzeń izolacji zachodzi najczęściej pod wpływem przenoszonych przez nią energii. Najczęstszym jej rodzajem wywołującym uszkodzenia jest energia mechaniczna (naprężenia wywołane bodźcami dynamicznymi, zużycie ścierne) i chemiczne (korozja metali, starzenie się gumy, farb, izolacji). I tak oddziaływanie energii chemicznej, a w szczególności korozja metalowych okładzin izolacji jest kolejnym mechanizmem powodującym powstawanie uszkodzeń izolacji zimnochronnych.

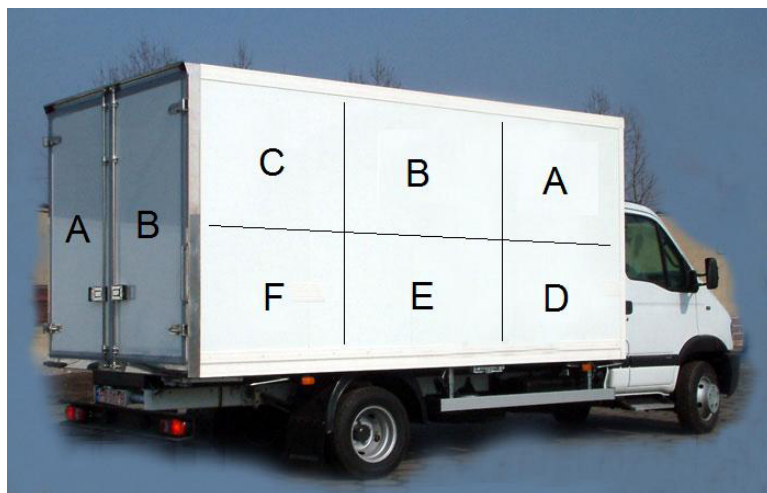
Spśród wszystkich rodzajów uszkodzeń można wyróżnić uszkodzenia bezpośrednie będące skutkiem oddziaływania przedmiotu uszkadzającego (narzędzia), kiedy oddziaływanie to przekracza parametry wytrzymałościowe płyty (lub jej warstwy ochronnej). Kolejną grupą uszkodzeń są uszkodzenia które powstają jako skutek kolejno po sobie następujących oddziaływań mechanicznych i cieplnych. Ten ciąg zdarzeń zwykle zaczyna się od oddziaływań mechanicznych powodujących odsłonięcie warstwy czystego metalu na warstwie osłonowej (zdrapanie lakieru ochronnego) i wytworzenie pola naprężeń wokół miejsca oddziaływania narzędzia. Może to wywołać kolejny krok w kierunku powstania uszkodzenia: powstanie ognisk korozji elektrochemicznej i chemicznej oraz korozji naprężeniowej. Skupienie ognisk korozji obniża lokalne właściwości wytrzymałościowe i czyni płytę bardziej podatną na uszkodzenie mechaniczne.

Pęknięcia warstw osłonowych tworzą możliwość przedostania się wody do warstwy izolacyjnej (rdzenia) co zmienia lokalne parametry przewodnictwa cieplnego wywołując powstawanie ognisk uszkodzeń pośrednich. Warto również pamiętać, że podwyższona temperatura zwiększa szybkość korozji, której można się spodziewać na zewnętrznych osłonach płyty.

Ogólnie rzecz biorąc mechanizmy te nie zwiększają ilości uszkodzeń, ale zwiększają zasięg powierzchniowy już wywołanych uszkodzeń oraz ich grubość. Czynią w ten sposób płytę podatną na awaryjne zniszczenie. Jedną z konsekwencji takiej sytuacji jest postulat systematycznego nadzoru nad stanem płyt co wymaga odpowiednich metod diagnozowania oraz w przypadku wykrycia uszkodzenia skutecznych metod badawczych.

Uszkodzenia na nadwoziach samochodowych obejmują najczęściej swym zasięgiem okładzinę zewnętrzną lub wewnętrzną izolacji (w zależności w której części komory zostało ono zainicjowane) i ewentualnie strefę rdzenia izolacyjnego graniczącego bezpośrednio z okładziną. Podczas obserwacji uszkodzeń na nadwoziach samochodowych nie odnotowano takich, które powodują zniszczenie płyty izolacyjnej na wskroś przez wszystkie warstwy płyty.

Uszkodzenia pojawiające się zarówno na zewnątrz jak i wewnątrz nadwozia występują w podobnej częstotliwości po prawej jak i po lewej stronie nadwozia. Jednakże miejsca ich występowania na tych powierzchniach są różne. Najwięcej uszkodzeń występuje w strefie E i F (rys. 1). Informacja ta pozwala na wysunięcie postulatu o projektowanie ścian bocznych z materiałów odpowiednio wzmocnionych w tych strefach.



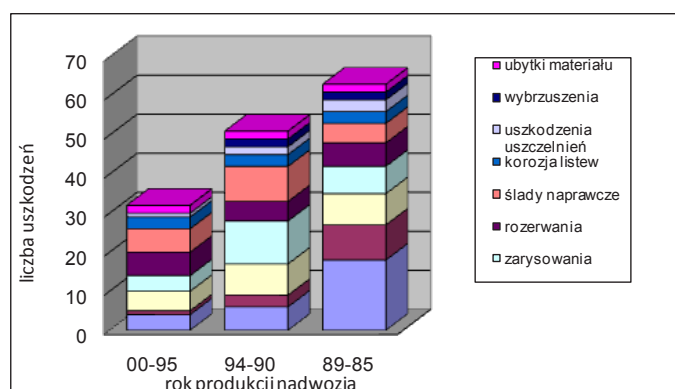
Rys. 1 Podział nadwozia chłodniczego na strefy [źródło własne]

Fig. 1. Zone segmentation of cooling body [own source]

Ilość pojawiających się uszkodzeń na izolacjach jest związana również z okresem eksploatacji danego nadwozia chłodniczego. Ilość zarejestrowanych uszkodzeń rośnie proporcjonalnie do czasu użytkowania danego nadwozia chłodniczego, co jest to zgodne z rozkładem Poissona. Prawdopodobieństwo zdarzenia które opisuje ten rozkład rośnie wraz ze wzrostem przedziału czasu, w jakim jest ono obserwowane.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć również znaczące wnioski praktyczne. Wyznaczenie związków pomiędzy grubością rdzenia izolacji a jego uszkodzeniami prowadzi do wniosków o wyborze materiału izolacyjnego i grubości jego warstwy. Znalezienie konsensusu pomiędzy tymi dwoma parametrami doprowadzi do optymalizacji kosztów eksploatacji danego nadwozia chłodniczego. Dobranie zbyt dużej grubości izolacji spowoduje zwiększenie kosztów wytworzenia płyty, a zbyt cienka może być przyczyną wzrostu kosztów eksploatacji komór transportowych.

Ze względu na różne prawdopodobieństwo uszkodzenia poszczególnych fragmentów ścian komór chłodniczych można rozważyć problem, czy płyty przeznaczone do umieszczenia w najbardziej zagrożonych fragmentach ścian nie powinny być dodatkowo zabezpieczone przed uszkodzeniami.



Rys. 2. Rozkład uszkodzeń w czasie [źródło własne]

Fig. 2. Distribution of failures in time [own source].

PODSUMOWANIE

Uszkodzenia stanowią reakcję materiału na działanie czynników zewnętrznych. Można je podzielić na reakcje bezpośrednie tzn. skutek oddziaływania określonego czynnika oraz na reakcje pośrednie w której oddziaływanie pierwotne wywołujące reakcję bezpośrednią jest początkiem następstw wywołanych przez inne czynniki np. korozja po zerwaniu warstwy lakieru. Reakcje pośrednie są częstokroć groźniejsze niż reakcje bezpośrednie. Uzasadnia to stałą kontrolę stanu izolacji.

Izolacje cieplne są postrzegane jako podstawowy i zarazem nieodłączny element w procesie projektowania i eksploatacji komór chłodniczych zarówno stacjonarnych jak i tych umieszczonych na nadwoziach samochodowych służących do przewozu szybko psującej się żywności. Problem ich uszkodzeń jest bardzo istotny ponieważ mogą one spowodować wysokie straty finansowe jeżeli nie zostaną dotrzymane warunki przechowywania i transportu towarów. Staje się on tym ważniejszy, im dalej od bazy znajdują się docelowe punkty transportu żywności, szczególnie kiedy leży on w strefie klimatu kontynentalnego lub subtropiku.

Kolejnym etapem badań nad uszkodzeniami izolacji zimnochronnych powinno być badanie wpływu poszczególnych uszkodzeń na współczynnik przewodzenia ciepła izolacji i co się z tym wiąże określenie stanu granicznego współczynnika przewodzenia ciepła przez izolację po przekroczeniu którego obiekt nie będzie nadawał się do dalszej eksploatacji. W konsekwencji takie nadwozie będzie musiało być poddane naprawie. Na podstawie tak przeprowadzonych badań, znając liczbę, rodzaj i rozległość uszkodzenia będzie można stwierdzić, w jakim stanie technicznym jest dany pojazd. Problem ten jest bardzo ważny ze względu na bezpieczeństwo przechowywanego towaru i rozwiązanie go i wykorzystanie w przyszłości wiele wniesie do praktycznej wiedzy na temat eksploatacji nadwozi chłodniczych.

LITERATURA

1. Bieńczak K., Perz K.: Środowiskowe przyczyny powstawania uszkodzeń izolacji termicznych. Zeszyty naukowe Politechniki Opolskiej, Mechanika nr 256/2000.
2. Bieńczak K., Perz K.: Wady techniczne izolacji termicznych. Mat. Konf. XXXII Dni Chłod-

- nictwa, Nowe rozwiązania układów chłodniczych i klimatyzacyjnych w zastosowaniach praktycznych, Poznań – Kiekrz wrzesień 2000, 259-269
3. Bobrowski D.: Planowanie eksperymentów w niezawodności. Inżynieria niezawodności. Poradnik. Wyd. ATR Bydgoszcz 1992.
 4. Górzyński J.: Izolacje termiczne. Wydawnictwo SORUS s. c. Poznań 1996.
 5. Grzelak G.: Płyty warstwowe z rdzeniem styropianowym. Materiały konferencyjne „Zastosowanie płyt warstwowych w budownictwie” Poznań, 15-17 maja 1995r.
 6. Leszek W., Perz K.: Zmiany stanów izolacji zimnochronnych. *Chłodnictwo* 2001, 10.
 7. Perz K.: Mechanizm powstawania uszkodzeń izolacji zimnochronnych. Rozprawa doktorska 2004. Promotor prof. dr hab. Wiesław Leszek.

THE FORMATION MECHANISM OF THERMAL INSULATION FAILURES

Summary. Presentation of the most frequent formation mechanisms of insulation failures and their identification is the aim of the present work. The realization of such a complex aim has required a detailed research. It consisted in an analysis of failures occurring in the cooling bodies used for cooling transportation using the observation method. On the basis of the performed research and its conclusions, the most frequent failure formation mechanisms of cold-protection insulations were determined.

Key words: thermal insulation, insulation failure, cooling body, failure mechanism.