

Izolator z materiału porowatego

Przedmiotem wynalazku jest izolator z materiału porowatego, wykorzystywany w miejscach, gdzie występuje wysoka temperatura (ponad 1000°C), w których wartości strumienia ciepła zmieniają się w czasie.

- 5 Materiał porowaty stanowi osłonę warstw wewnętrznych, które nie mogą przenosić znacznych obciążeń termicznych. Przykładowym zastosowaniem takiego izolatora może być osłona poszycia statku kosmicznego. Do tego celu najczęściej był wykorzystywany materiał izolacyjny firmy Lockheed Missiles i Space Company, zbudowany z włókien szklanych i powietrza, znany jako LI-900.
- 10 Materiał LI-900 znajdował częste zastosowanie w przemyśle kosmicznym. Był używany do budowy osłony termicznej wahadłowców należących do amerykańskiej agencji kosmicznej NASA. Zadaniem materiału była ochrona przed promieniowaniem powstającym w trakcie wlotu w atmosferę, jak również przed promieniowaniem kosmicznym w trakcie obecności pojazdu na orbicie.
- 15 Osłona termiczna ograniczała dopływ ciepła do warstw wewnętrznych, w tym poszycia, wykonanego ze stopu aluminium, charakteryzującego się małą wartością maksymalnej temperatury pracy.

- Standardowa płytką izolacyjną składała się z kilku warstw. Strukturę podstawową stanowiło poszycie pojazdu kosmicznego (Al). Do niego
- 20 przymocowana była podkładka usztywniająca z polimeru aramidowego (SIP), chroniąca płytkę przed nadmiernymi naprężeniami oraz panel wypełniacza ze wzmocnionego polimeru aramidowego. Podkładka usztywniająca stanowiła główny element łączenia z płytką LI-900. Wspomniane wyżej warstwy konstrukcji łączone były za pomocą spoiwa (RTV). Głównymi zaletami
- 25 stosowania LI-900 są:

- wysoka temperatura pracy,
- mały współczynnik przewodzenia ciepła,
- odporność na szok termiczny.

- 30 LI 900 posiada gęstość 144,2 kg/m³. Wykonany jest w 99,9% z czystego szkła

kwarcowego, a 94% całej objętości stanowi powietrze. Materiał ten może pracować w temperaturach dochodzących do 1204°C. Stanowił on główny składnik płytek HRSI (High Reusable Surface Insulation) /czarny kolor płytki/ oraz LRSI (Low Reusable Surface Insulation) /biały kolor płytki/. Różnica między tymi płytkami wynika z tego, że HRSI posiada pokrycie szklane z dodatkiem SiB₄ (stanowiące warstwę RCG), a LRSI nie. Płytki HRSI z materiału LI-900 stanowiły 57% całej izolacji orbitera i były poddawane dużym obciążeniom cieplnym. Budowa płytek HRSI została przedstawiona na fig. 1 rysunku. Do pokrycia promu kosmicznego stosowało się ok 20 000 płytek typu HRSI i 725 płytek typu LRSI.

Od spodu płytki materiał był zagęszczony. Pomiedzy płytkami istniały odstępy, które pozostawały puste lub wypełniano je w zależności od umiejscowienia na pojeździe. Wypełnienie stosowano w miejscach poddawanych dużym ciśnieniom i ekstremalnym wzbudzeniom aero-akustycznym. Tworzył je materiał AB312 z włóknami aluminiowymi.

Ogólną koncepcję wykonania osłony termicznej na bazie izolacji na przykładzie płytki HRSI przedstawiono na fig. 1. Warstwy wewnętrzne mogą być wykonane z innych materiałów i za pomocą innego rozwiązania konstrukcyjnego. Zasada działania izolacji pozostanie jednak taka sama. Materiał porowaty jest wypełniony w części swojej objętości powietrzem lub innym gazem, który w trakcie wystąpienia wysokich temperatur wykazuje pozytywne właściwości termiczne.

W stanie techniki znane są różne sposoby optymalizowania właściwości termicznych. Z opisu patentowego US6131646 znany jest przykład, w którym pomiędzy powierzchnią izolatora a warstwą wewnętrzną (poszyciem) umieszcza się wiele oddzielonych od siebie płytek przewodzących ciepło np. ze stopu aluminium. Podobne rozwiązanie pokazujące dodatkową warstwę umieszczoną na powierzchni zewnętrznej izolatora – zawiera opis US 6749942. Rozwiązania te koncentrują się na zwiększeniu efektywności izolatora poprzez zastosowanie dodatkowych warstw zewnętrznych, przez co zwiększają parametry termiczne układów, ale też wpływają w sposób znaczący na wagę.

Inny sposób optymalizacji przedstawiony jest w WO2011131692, w którym dodano do izolatora różne rodzaje krótkich włókien. Niemniej jednak rozwiązanie to nie precyzuje formy rozmieszczania dodatków.

65 W stanie techniki z opisu US5030518 znane są również wielowarstwowe izolacje termiczne typu „sandwich”, w których poszczególne warstwy materiałów porowatych posiadają odmienne charakterystyki termalne wynikające z grubości lub gęstości warstwy, a dodatkowo pomiędzy warstwami umieszcza się przynajmniej jedną metaliczną folię. Nadto z opisu US2011282844 znane są
70 wielowarstwowe układy osłon termicznych zawierające folie o różnych stopniach pofałdowania. Zastosowanie układów wielowarstwowych w sposób zasadniczy jednak wpływa na wagę izolatorów, przez co zaś prócz korzystnych parametrów termicznych przynosi dodatkowe parametry odporności mechanicznej izolatorów.

Koncepcja rozwiązania według wynalazku odmiennie od znanych
75 rozwiązań proponuje, zamiast tworzenia wielu lub nowych warstw, odpowiednią modyfikację pojedynczej warstwy izolatora, co pozwala osiągnąć korzystne właściwości termiczne, bez utraty istotnych korzyści ze stosowania samego izolatora. Wpływ wynalazku na LI-900 w przypadku braku ubytku w materiale jest niewielki. Najważniejszą jego zaletą jest istotna zmiana charakteru przepływu
80 ciepła w trakcie uszkodzenia izolacji.

W celu zwiększenia wydajności odprowadzania ciepła w materiale izolatora umieszcza się dodatkowy przewodnik charakteryzujący się większą, w porównaniu do izolacji, wartością współczynnika przewodności cieplnej w kierunku poprzecznym do głównego przepływu ciepła. Takie rozwiązanie może
85 zostać zrealizowane na dwa sposoby:

- poprzez włączenie dodatkowego przewodnika do izolatora w postaci warstwy, która rozmieszczona jest na całej szerokości izolatora,
- w postaci opiłków o wybranej koncentracji.

W wariantcie pierwszym warstwa jest bardzo cienka, może ona mieć
90 strukturę ciągłą lub nieciągłą w postaci siatki. W wariantcie drugim opiłki o strukturze cienkiej, lecz wydłużonej rozmieszczone mogą być, w postaci

koncentracji stałej lub zmiennej, w całej objętości izolatora. Opilki ustawione są równolegle do powierzchni warstw wewnętrznych.

Istotą wynalazku jest izolator z materiału porowatego zawierający materiał
95 macierzysty oraz gaz wypełniający pory. Wewnątrz materiału porowatego jest umieszczony dodatkowy przewodnik, który charakteryzuje się większą, w porównaniu do materiału porowatego, wartością współczynnika przewodności cieplnej w kierunku poprzecznym do głównego przepływu ciepła.

Korzystnym rozwiązaniem według wynalazku jest materiał porowaty,
100 posiadający dodatkowy przewodnik stanowiący cienką i elastyczną warstwę o strukturze ciągłej lub nieciągłej w postaci siatki, rozmieszczony jest na całej szerokości materiału porowatego.

W alternatywnie korzystnej wersji rozwiązania według wynalazku dodatkowy przewodnik stanowią domieszki o stałej lub zmiennej koncentracji,
105 przy czym domieszki są ustawione prostopadle do przepływu głównego strumienia ciepła.

Innym korzystnym rozwiązaniem jest materiał porowaty, posiadający domieszki o stałej lub zmiennej koncentracji, przy czym domieszki są ustawione prostopadle do przepływu głównego strumienia ciepła, a dodatkowy przewodnik
110 stanowi bardzo cienką i elastyczną warstwę o strukturze ciągłej lub nieciągłej w postaci siatki, rozmieszczona na całej szerokości materiału porowatego.

Wynalazek w przykładzie wykonania pokazano na fig. 1, który przedstawia porównawczo budowę znanych płytek HRSI; fig. 2 przedstawia wynalazek, w którym dodatkowy przewodnik stanowi cienką i elastyczną warstwę
115 rozmieszczoną na całej szerokości materiału porowatego; fig. 3 przedstawia wynalazek, w którym dodatkowy przewodnik stanowią domieszki o stałej koncentracji, przy czym domieszki są ustawione prostopadle do przepływu głównego strumienia ciepła; fig. 4 i fig. 5 zawierają przykładowy kształt uszkodzenia, jakie może wystąpić w trakcie misji kosmicznej, a dla
120 przykładowego uproszczonego modelu wykonano analizę numeryczną, której wyniki przedstawiono na fig. 6

Przykład 1 (porównawczy)

Na fig. 1 pokazano znaną płytkę izolacyjną HRSI, której główny składnik stanowi izolator LI-900. Płytkę zbudowaną jest z kilku warstw. Strukturę podstawową stanowi poszycie pojazdu kosmicznego Al. Do niego przymocowana jest podkładka usztywniająca z polimeru aramidowego SIP, chroniąca płytkę przed nadmiernymi naprężeniami oraz panel wypełniacza ze wzmocnionego polimeru aramidowego. Warstwy konstrukcji łączone są za pomocą stopiwa RTV.

Przykład 2

Fig. 2 przedstawia izolator z materiału porowatego 1 zawierający materiał macierzysty oraz gaz wypełniający pory. Wewnątrz materiału porowatego 1 umieszczony jest dodatkowy przewodnik 2, który stanowi cienką i elastyczną ciągłą warstwę rozmieszczoną na całej szerokości materiału porowatego 1. W przykładzie i analizie numerycznej dodatkową warstwę tworzy nikiel. Izolator umieszczono na poszyciu pojazdu 3.

Przykład 3

Fig. 3 przedstawia izolator z materiału porowatego 1 zawierający materiał macierzysty oraz gaz wypełniający pory. Wewnątrz materiału porowatego 1 znajduje się dodatkowy przewodnik 2, który stanowią domieszki o stałej koncentracji, przy czym domieszki są ustawione prostopadłe do przepływu głównego strumienia ciepła. Jako domieszki wykorzystano nikiel o koncentracji 3%. Izolator umieszczono na poszyciu pojazdu 3.

W trakcie formowania materiału izolacyjnego opiłki mieszane są z materiałem porowatym - pierwotnym. Ich dozowanie odbywa się tak, aby nowy produkt posiadał stałą lub zmienną koncentrację w całej objętości. W pierwszej fazie wytwarzania opiłki skierowane są w różnych kierunkach. W drugiej fazie izolację umieszcza się w polu magnetycznym. Wówczas pod działaniem sił zewnętrznych opiłki zmieniają kierunek swojego położenia. Może wystąpić nieznaczne ich (nie mające wpływu na zmianę właściwości termicznych)

150 przemieszczenie w przestrzeni izolatora. Przy każdej stronie płytki izolatora należy wytworzyć pole magnetyczne. Pola przy powierzchni górnej i dolnej (prostopadłe do głównego kierunku przepływu ciepła) w stosunku do pól powierzchni bocznych powinny posiadać przeciwne kierunki działania. Celem powyższego postępowania jest uniknięcie niekontrolowanej zmiany kierunku
155 położenia opiłków znajdujących się bliżej powierzchni bocznych izolacji. Efekt końcowy wytwarzania stanowi rozwiązanie przedstawione na fig. 3, tj. materiał porowaty o określonej koncentracji opiłków metalicznych zwróconych w kierunku prostopadłym do powierzchni bocznych płytki.

Wpływ wynalazku na uszkodzony izolator LI-900 pokazano na fig. 4 oraz
160 fig. 5, które ilustrują przykładowy kształt uszkodzenia, jakie może wystąpić w trakcie misji kosmicznej. Dla przykładowego uproszczonego modelu wykonano analizę numeryczną, fig. 6. Przyjęto, że grubość warstw LI-900, SIP, Al, wynoszą odpowiednio: 77 mm, 4,394 mm, 1,6 mm. Na powierzchni zewnętrznej izolacji zadawano zmienny strumień ciepła. Analiza pokazała, że włączenie dodatkowego
165 przewodnika w postaci warstwy lub koncentracji powoduje, że maksymalna temperatura na poszyciu Al zmniejsza się w czasie, w porównaniu do izolacji bez przewodnika. Efektem tego jest opóźnienie wzrostu temperatury do maksimum w trakcie lotu, co zwiększa bezpieczeństwo podczas powrotu pojazdu kosmicznego na Ziemię. Kiedy lądowanie pojazdu następuje po ok 2100 s. od wlotu w
170 atmosferę, to w trakcie lotu obecność niklu w izolacji fig. 6 spowoduje, że na poszyciu temperatura osiągnie wartość 159°C (Ni w postaci warstwy), 162°C (Ni w postaci domieszki o koncentracji 1%) i 94°C (Ni w postaci domieszki o koncentracji 3%) zamiast 221°C (bez Ni). Oznacza to, że w trakcie awarii izolacji warstwa osłaniania, jaką jest poszycie ze stopu aluminium, poddana będzie
175 mniejszym obciążeniom termicznym, co zwiększy szanse przeżycia załogi.

Izolacja o zoptymalizowanych właściwościach termicznych znajduje zastosowanie przede wszystkim w przemyśle kosmicznym. Można ją zastosować do budowy systemu osłony termicznej pojazdu orbitalnego. Taki system jest niezbędny w przypadku nagrzewania aerodynamicznego. Innym zastosowaniem
180 izolacji może być przemysł energetyczny. Izolacja o takich właściwościach może

być wykorzystana w miejscach gdzie występuje wysoka temperatura (ponad 1000°C), w których wartości strumienia ciepła zmieniają się w sposób względnie krótkotrwały i nieregularny. Z uwagi na kruchość materiału miejsca te nie powinny być poddawane istotnym obciążeniom mechanicznym. Może to być 185 energetyka cywilna w przemyśle grzewczym lub energetyka wojskowa. W przypadku tej drugiej zastosowanie izolacji może mieć miejsce w przemyśle lotniczym, w układach napędowych.