

Politechnika Wrocławska
Katedra Inżynierii Kriogenicznej, Lotniczej i Procesowej

LABORATORIUM Z PODSTAW KRIOGENIKI

ĆWICZENIE NR 2:

**KRIOGENICZNE IZOLACJE TERMICZNE – SZACOWANIE
DOPLYWÓW CIEPŁA.**

Wstęp

Kriogeniczne izolacje cieplne

W każdym urządzeniu kriogenicznym istnieje konieczność izolowania obszarów niskotemperaturowych od dopływów ciepła z otoczenia. Skuteczność działania izolacji cieplnych często decyduje o parametrach pracy urządzeń kriogenicznych i kosztach ich eksploatacji. Począwszy od prac Jamesa Dewara, rozwój izolacji kriogenicznych często decydował o stosowaniu niskich temperatur w coraz to nowych dziedzinach techniki i technologiach.

Izolacje termiczne wypełnione gazem

W urządzeniach kriogenicznych służących do krótkotrwałego przechowywania skroplonych gazów lub ich przesyłu na niewielkie odległości stosuje się izolacje cieplne wypełnione gazem. Izolacje takie wykonuje się w postaci pianek izolacyjnych, izolacji proszkowych lub aerozeli.

Pianki izolacyjne

Pianki izolacyjne charakteryzują się zamkniętą strukturą komórkową powstałą na skutek rozprężania dużej ilości gazu wewnątrz porów polistyrenu, poliuretanu, gumy lub krzemionki. Gazami stosowanymi do wytwarzania struktury komórkowej w materiałach pierwotnych są fluorowodory lub CO₂. Udział fazy stałej w objętości pianki jest niewielki i wynosi około 2%. Pozostałą objętość tworzą zamknięte komórki o średnicy od 0.01 do 0.1 mm. W temperaturach kriogenicznych gaz wypełniający komórki ulega skropleniu a następnie zestaleniu, wytwarzając w ten sposób w komórkach pianek próżnię i poprawiając ich własności izolacyjne. Współczynniki przewodzenia ciepła λ pianek izolacyjnych stosowanych w kriotechnice zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Współczynnik przewodzenia ciepła λ pianek izolacyjnych stosowanych w kriogenicie dla różnicy temperatur 300 – 80 K

| Materiał pierwotny pianki | Gęstość pianki [kg/m ³] | Przewodność cieplna pianki [mW/m·K] |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Poliuretan | 11 | 53 |
| Polistyren | 10 | 46 |
| | 15 | 42 |
| | 20 | 39 |
| | 25 | 37 |
| | 30 | 36 |
| Guma | 80 | 36 |
| Krzemionka | 160 | 55 |

Pianek nie należy stosować w atmosferze zawierającej hel lub wodór. Przeniknięcie tych gazów o niewielkich molekułach do komórek pianek może spowodować wzrost ich przewodności cieplnej nawet o 400 %. Pianki izolacyjne należy zabezpieczać przed zawilgoceniem pogarszającym ich własności izolacyjne i mogącym w razie przemarznięcia wilgoci doprowadzić do uszkodzenia mechanicznego izolacji. Dodatkowe problemy sprawia

silna rozszerzalność cieplna pianek powodująca, że w niskich temperaturach mają one tendencję do pękania i odrywania się od zaizolowanych powierzchni. Zaletą pianek izolacyjnych jest ich niska cena i łatwa technologia wykonania.

Gazowe izolacje proszkowe

Gazowe izolacje proszkowe uzyskuje się poprzez wypełnienie przestrzeni izolacyjnej proszkami takimi jak perlit, wermikulit, krzemionka koloidalna, szklane kulki (tzw. mikrosfery) lub granulki aerożelu. Obecność proszków w przestrzeni izolacyjnej praktycznie eliminuje konwekcję oraz silnie ogranicza promieniowanie. Materiały proszków charakteryzują się niewielką przewodnością cieplną a powierzchnie kontaktu pomiędzy poszczególnymi ziarnami są niewielkie. Współczynniki przewodzenia ciepła gazowych izolacji proszkowych są zbliżone do wartości tych współczynników wyznaczonych dla gazów wypełniających pory proszków i przestrzeń między ziarnami.

Perlit jest materiałem pochodzenia wulkanicznego powstałym z lawy z uwieczonymi kroplami wody stanowiącej 2 – 5% objętości. Wydobyty ze złoża perlit zostaje zmielony do odpowiedniej granulacji a następnie wprowadzony na kilka sekund do pieca, w którym panuje temperatura 900 – 1000°C. Zamknięte w ziarenkach krople wody wytwarzają parę wodną o ciśnieniu wystarczającym do wywołania ekspansji materiału. Równolegle przebiega proces spiekania szkliwa wulkanicznego i w efekcie powstają wewnątrz puste, nieregularne, szkliste banieczki, zwane perlitem ekspandowanym.

Podobnie jak perlit wermikulit jest również minerałem pochodzenia wulkanicznego. Proces produkcji proszku jest analogiczny jak w przypadku perlitu. Po procesie wygrzania otrzymuje się porowaty proszek o średnicy ok. 50 µm o bardzo dobrze rozwiniętej powierzchni.

Aerożele są to ciała stałe wytworzone głównie na bazie krzemionki, rzadziej zeolitów i aminokwasów. Produkuje się je metodami chemicznymi polegającymi na reakcji skrajnie rozrzedzonych czterofunkcyjnych alkoksylanów z parą wodną (np. $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$) w atmosferze gazu obojętnego.

Izolacje próżniowe

Istotą izolacji próżniowej jest zastosowanie naczynia o podwójnych ściankach, pomiędzy którymi wytworzona zostaje próżnia. Powierzchnie ścianek od strony próżni powinny charakteryzować się możliwie niską emisyjnością. Pomędzy ściankami nie powinny występować mostki cieplne. Po zmniejszeniu ciśnienia gazu poniżej pewnego poziomu, ilość przewodzonego ciepła przez ten gaz jest wprost proporcjonalna do jego ciśnienia. W konsekwencji uzyskując odpowiednio niskie ciśnienie, przy braku mostków cieplnych, można w przestrzeni oddzielającej kriogen od otoczenia uzyskać warunki, w których ilość przewodzonego ciepła przez gaz staje się pomijalnie mała, a ciepło jest przekazywane jedynie na drodze promieniowania. Obniżenie ilości ciepła przekazywanego przez promieniowanie wymaga stosowania materiałów o niskiej emisyjności lub pokrywania wewnętrznych powierzchni naczyń próżniowych takimi materiałami. Już pierwsze naczynia Dewara charakteryzowały się posrebrzonymi powierzchniami od strony próżni, co zmniejszyło

emisyjność powierzchni ponad czterokrotnie. Wewnętrzne powierzchnie płaszczy próżniowych wykonanych z konstrukcyjnej stali węglowej często pokrywa się samoprzylepną taśmą pokrytą cienką warstwą aluminium.

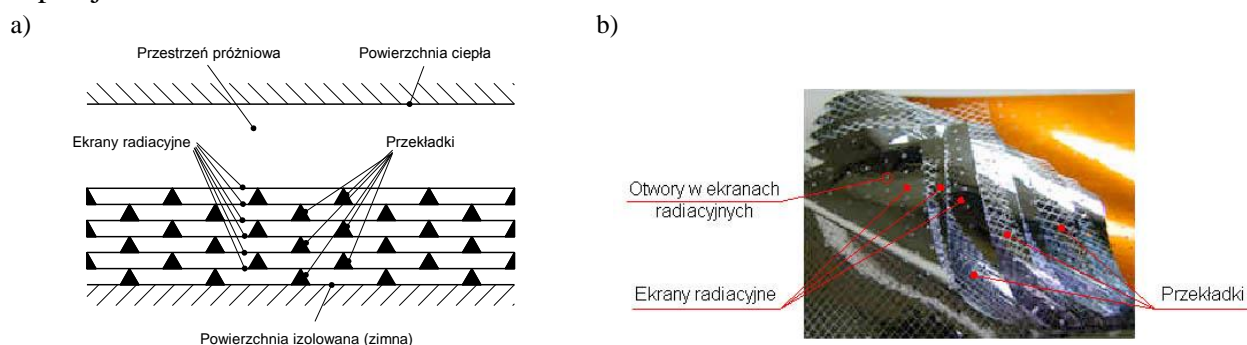
Izolacje próżniowo - próżniowe

Izolacje próżniowo-próżniowe stosuje się głównie do izolowania zbiorników z ciekłymi składnikami powietrza i metanem oraz kriogenicznych kolumn rektyfikacyjnych. Nie są stosowane w instalacjach helowych. Izolacje próżniowo próżniowe są podstawowym sposobem izolowania dużych zbiorników magazynowych skroplonych gazów, z wyjątkiem helu. Obecność proszków w przestrzeni próżniowej jest korzystna ze względów konstrukcyjnych, gdyż stanowią one podporę wewnętrznego zbiornika. W przypadku dużych zbiorników stosunek objętości do powierzchni jest znacznie większy niż w małych zbiornikach i stąd dopływy ciepła przypadające na jednostkę magazynowanego gazu są akceptowalne pomimo dość wysokich współczynników przewodzenia ciepła przez te izolacje.

Ze względu na skłonność do zagęszczania się perlitu w wyniku wstrząsów, izolacje próżniowo – próżniowe zawierające perlit nie są stosowane w zbiornikach i cysternach transportowych.

Wielowarstwowa izolacja próżniowa

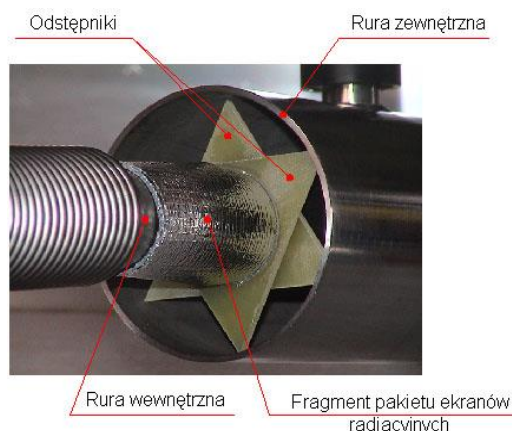
Wielowarstwowa izolacja próżniowa została zaproponowana przez Matsha w 1956 roku i polega na umieszczeniu w przestrzeni próżniowej od kilku do kilkudziesięciu biernych ekranów radiacyjnych o niskiej emisyjności powierzchni – rysunek 1. Typowymi zakresami temperaturowymi pracy izolacji są 300 – 77,3 K, 77,3 – 4,2 K oraz 300 – 4,2 K. Odpowiadają one odgraniczeniu ciekłego azotu od otoczenia, ciekłego azotu od ciekłego helu oraz ciekłego helu od otoczenia. Ekran radiacyjny przedziela się materiałami o małej przewodności cieplnej.



Rysunek 1. Wielowarstwowa izolacja próżniowa, a) schemat b) rozchylone ekrany radiacyjne z widocznymi przekładkami

Powierzchnie materiałów stosowanych jako ekrany radiacyjne wielowarstwowej izolacji próżniowej powinny charakteryzować się niską emisyjnością. Wymagania takie spełniają metale, a w szczególności: złoto, srebro, miedź i aluminium. Obecnie ekrany wykonuje się głównie z polietylenowych folii pokrytych jednostronnie lub dwustronnie warstwą aluminium. Ze względu na bardzo dobre właściwości izolacyjne wielowarstwową izolację

próżniową nazywa się również superizolacją. Przykład zastosowania superizolacji do izolowania rurociągu służącego do przesyłu ciekłego gazu przedstawia rysunek 2.



Rysunek 2. Przykład wykorzystania wielowarstwowej izolacji próżniowej do izolacji rurociągu kriogenicznego.

Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest oszacowanie dopływów ciepła przez izolacje wskazanych zbiorników oraz określenie maksymalnego czasu przechowywania zadanej ilości LN₂.

Zadania do wykonania:

1. Zbiorniki 1, 2 i 3 napełnić 200 g ciekłego azotu. Mierzyć ubytek masy azotu w zbiorniku przez 15 minut (pomiar co 1 minutę).
2. Dewar szklany napełnić całkowicie – pomiary jak dla zbiorników 1, 2, 3.
3. Dla dużego zbiornika Dewar wykonać dwa pomiary masy zbiornika.

Zasady bezpieczeństwa:

Podczas wykonywania ćwiczenia, studenci stykają się z ciekłym azotem. Dlatego też, podczas trwania eksperymentu, wszyscy uczestnicy zajęć zobowiązani są do noszenia długich spodni, obuwia zakrywającego pięty oraz okularów ochronnych. Dodatkowo, student nalewający ciekły kriogen do badanych zbiorników, musi mieć ubrane rękawice ochronne.

Zadania:

1. Na podstawie pomiarów narysować wykres zależności masy ciekłego azotu w zbiornikach od czasu.
2. Oszacować dopływy ciepła przez izolacje poszczególnych zbiorników.
3. Określić maksymalny czas przechowywania LN₂ w poszczególnych zbiornikach.