

## Promieniowa sprężarka chłodnicza oraz jej sposób działania

### Przedmiot wynalazku:

Przedmiotem wynalazku jest promieniowa sprężarka chłodnicza, której część robocza (sprężająca czynnik chłodniczy) składa się z jednego lub dwóch stopni odśrodkowych. Sprężarka ta nie wymaga stosowania oleju smarowego ze względu na fakt zastosowania łożysk gazowych smarowanych parą czynnika roboczego. Silnik elektryczny napędzający sprężarkę znajduje się na wspólnym wale z kołami wirnikowymi sprężarki i jest zamknięty w tym samym korpusie, co czyni całą konstrukcję hermetyczną.

### Stan techniki:

Sprężanie wszelkiego rodzaju gazów, w tym par czynników chłodniczych, jest procesem wykorzystywanym w wielu gałęziach przemysłu. Urządzenia sprężające czynniki chłodnicze są integralnymi elementami wszelkiego rodzaju agregatów chłodniczych, które stosuje się w szeroko rozumianej branży HVAC&R (Heating, Ventilation, Air Conditioning and Refrigeration).

Obecnie, w systemach HVAC&R stosuje się kilka rodzajów sprężarek chłodniczych. Urządzenia te należą przeważnie do grupy tzw. maszyn wyporowych (objętościowych), do których zaliczają się np. sprężarki tłokowe, śrubowe oraz spiralne. Wszystkie te konstrukcje charakteryzują się z reguły koniecznością stosowania oleju, którego zadaniem jest smarowanie ruchomych części kompresora, zabezpieczenie jego pracy oraz doszczelnienie przestrzeni roboczych. Z punktu widzenia termodynamiki i pracy obiegu olej w instalacji chłodniczej jest czynnikiem niepożądanym. Na skutek obecności oleju w instalacji, który np. pokrywa powierzchnie wymiany ciepła w wymiennikach oraz zmienia własności czynnika roboczego, który staje się mieszaniną płynu ziębniczego i oleju, spada efektywność chłodnicza całego obiegu. Stosowanie oleju wiąże się z koniecznością aplikacji między innymi odolejaczy i separatorów oleju. Urządzenia te nie

posiadają jednak 100% sprawności, są miejscem niepotrzebnego spadku ciśnienia i posiadają udział w kosztach eksploatacyjnych.

W zastosowaniach przemysłowych, tam gdzie wymagane są duże moce chłodnicze, stosuje się sprężarki odśrodkowe, których łożyska smarowane są olejem, a część przepływowa (w której pracuje czynnik chłodniczy) oddzielona jest od części olejowej za pomocą zaawansowanego uszczelnienia wykorzystującego czynnik blokujący (tzw. uszczelnienie mechaniczne, blokada azotowa itp.).

Zaadaptowanie wyżej opisanej konstrukcji sprężarki odśrodkowej dla małych mocy chłodniczych okazuje się nieekonomiczne, problemy sprawia również wysoka prędkość obrotowa, której wymagają małe maszyny przepływowe.

Rozwiązaniem opisywanych problemów jest zastosowanie sprężarek promieniowych wykonanych w technologii bezolejowej, przy wykorzystaniu specjalnych technologii łożyskowania wirników. Rozwiązania te polegają najczęściej na umieszczeniu napędu na wspólnym wale z kołami wirnikowymi sprężarki. Urządzenia tego typu są prawie niedostępne na rynku, a nieliczne oferty dotyczą bardzo drogich rozwiązań. Liderem i w zasadzie monopolistą na rynku bezolejowych sprężarek chłodniczych średniej mocy jest firma Danfoss Turbocor, która wykorzystuje łożyska magnetyczne w swoich produktach.

Znanych jest wiele szczegółowych rozwiązań technicznych dotyczących promieniowych sprężarek chłodniczych (oraz sprężarek innych gazów). Wynalazek CN105422479A opisuje sprężarkę chłodniczą, w której stopnie sprężania zlokalizowane są po dwóch stronach wirnika, natomiast sam wirnik łożyskowany jest tocznie. Bezolejowy promieniowy kompresor chłodniczy wykorzystujący łożyskowanie toczne opisano w CA2342909A1.

W opisie CN205089651U przedstawiono podobną koncepcję, jednakże wirnik łożyskowany jest magnetycznie. W opisie wynalazku US2018023584A1 pokazano rozwinięcie tego rozwiązania tak, że łożyska magnetyczne posiadają zabezpieczenie w postaci łożysk gazowych.

Wynalazek TW201128147A opisuje rozwiązanie, w którym dwa stopnie sprężania znajdują się po jednej stronie wału, natomiast łożyska smarowane są ciekłą frakcją czynnika roboczego, co eliminuje konieczność stosowania oleju.

łożyska gazodynamiczne znane są w technice od dekad, jednakże istotny jest sposób ich wykorzystania w danej konstrukcji. Firma MOHAWK INNOVATIVE TECH INC zastrzegła rozwiązanie (DE10232100A1), w którym cały wirnik łożyskowany jest na tzw. łożyskach foliowych.

Klasyczne łożysko foliowe jest łożyskiem gazowym aerodynamicznym z zespołem folii pomiędzy panwią a wałem. Przeważnie zespół folii składa się z folii falistej i folii gładkiej. Panew łożyska foliowego jest częścią do której mocuje się folię gładką i folię falistą. Folia gładka, na której tworzy się gazowy film smarny, jest pokryta materiałem o bardzo małym współczynniku tarcia. Folia sprężysta, zbudowana z wielu wybrzuszeń, dzięki swojemu kształtowi dociska folię gładką do wału podpierając go.

W rozwiązaniu firmy MOHAWK INNOVATIVE TECH INC (DE10232100A1) wszystkie trzy łożyska, czyli również łożysko wzdłużne, są łożyskami foliowymi. łożyska foliowe charakteryzują się natomiast znaczną podatnością (są stosunkowo „miękkie”), a zatem wymagają zastosowania większych luzów (przestrzeni pomiędzy wirnikiem a korpusem).

W sprężarce według niniejszego wynalazku właściwa strona łożyska wzdłużnego została zastąpiona gazowym łożyskiem spiralnym, które jest znacznie sztywniejsze od gazowego łożyska foliowego. Dzięki tej zmianie możliwe jest zmniejszenie luzu osiowego pomiędzy kołami wirnikowymi sprężarki (będącymi częścią wirnika) oraz korpusem. Zabieg ten zmniejsza przeciek wewnętrzny sprężarki, co jednocześnie podnosi jej sprawność.

łożyska foliowe oraz spiralne są łożyskami gazodynamicznymi, co oznacza, że gazowy film smarny, który jest podstawą ich działania tworzy się samoistnie po przekroczeniu pewnej prędkości obrotowej wirnika. Oznacza to, że do momentu wytworzenia się filmu smarnego w łożyskach występuje tarcie suche, które zmniejsza ich żywotność.

## Istota wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest promieniowa sprężarka chłodnicza, która składa się z wlotu (5), układu przepływowego (6), który zawiera jeden lub dwa stopnie sprężania, łożyska gazowego spiralnego (7), napędu elektrycznego (8), czyli silnika z magnesami trwałymi, łożyska kulkowego (9) (rozruchowego), wylotu (10), dwóch łożysk foliowych (11) oraz gniazda łożyskowego (12), w którym umieszczone jest łożysko rozruchowe (9), oraz wirnika sprężarki (Rys. 1).

Promieniowa sprężarka, gdzie stopnie układu przepływowego są osadzone na wspólnym wale z wysokoobrotowym napędem elektrycznym.

Promieniowa sprężarka posiada hybrydowy układ łożysk gazowych, z których oba łożyska poprzeczne są łożyskami foliowymi (11) natomiast jedna strona łożyska wzdłużnego jest gazowym łożyskiem spiralnym (7), druga strona łożyska wzdłużnego składa się ze stożka opartego na kulkowym łożysku skośnym (9).

Promieniowa sprężarka, gdzie wirnik sprężarki (Rys. 1) składa się z wału (4), ułotkowanych kół wirnikowych (1), wirnika silnika elektrycznego (3).

Promieniowa sprężarka, gdzie jej wirnik (Rys. 1) znajduje się w osi pionowej z układem przepływowym (6) znajdującym się u góry sprężarki.

Promieniowa sprężarka, gdzie łożysko gazowe spiralne składają się z dwóch współpracujących ze sobą tarcz – wirującej (2) i stacjonarnej (7a) zamocowanej w korpusie, która posiada płytko nacięte kanały (Rys. 2a).

Przedmiotem wynalazku jest również promieniowa sprężarka chłodząca przeznaczona do pracy w agregatach chłodniczych oraz pompach ciepła, zdefiniowana powyżej, która działa w następujący sposób:

- rozruchu sprężarki następuje za pomocą wysokoobrotowego napędu (8) (silnika elektrycznego), przy stosunkowo niskich obrotach wirnika, cały czas podpierając się na łożysku rozruchowym (9),

- czynnik chłodniczy jest zasysany przez wlot sprężarki (5), następnie spręża się przez jedno- lub dwustopniowy promieniowy układ przepływowy (6), a następnie podaje się na tłoczenie (wylot) sprężarki (10),
- w miarę wzrostu prędkości obrotowej następuje, wytworzenie się filmu gazowego w łożyskach foliowych (11), oraz pojawienie się siły wzdłużnej pochodzącej z różnicy ciśnień w układzie przepływowym (6) działającej na wirnik sprężarki (Rys. 1),
- wektor siły wzdłużnej skierowany jest w stronę wlotu (5), czyli unosi wirnik sprężarki (Rys. 1) uprzednio spoczywający na kulkowym łożysku rozruchowym (9),
- unoszący się wirnik sprężarki (Rys. 1) napotyka tarczę stacjonarną gazowego łożyska spiralnego (7a), które wytwarza film gazowy bez uprzedniego przejścia przez fazę tarcia suchego,
- wysoka sztywność gazowego łożyska spiralnego (7) minimalizuje wewnętrzne luzy osiowe w układzie przepływowym (6) i minimalizuje przecieki wewnętrzne, które obniżają sprawność urządzenia.

#### Opis rysunków:

**Rys. 1** – przedstawia schemat budowy wirnika sprężarki

**Rys.2** - przedstawia schemat budowy promieniowej (odśrodkowej) sprężarki chłodniczej średniej lub małej mocy, w której wirnik sprężarki (Rys. 1) łożyskowany jest parą czynnika roboczego, jednakże film gazowy w łożyskach (7) i (11) tworzy się samoistnie (efekt gazodynamiczny).

**Rys. 2a** – przedstawia schemat gazowego łożyska spiralnego (7)

**Rys. 3** - przedstawia przykład konstrukcji promieniowej sprężarki chłodniczej

**Rys. 4** - przedstawia przykładowy rzut izometryczny sprężarki chłodniczej, na której zaznaczono wlot (5) oraz wylot (10).

Określenia stosowane powyżej oraz w opisie i zastrzeżeniach patentowych, mają następujące znaczenie:

**wirnik sprężarki (układ wirujący sprężarki) (Rys. 1)** – ruchomy element sprężarki, na który składa się wał (4) oraz osadzone na nim elementy, takie jak ułotkowane koła wirnikowe (1), tarcza oporowa gazowego łożyska spiralnego (2), wirnik silnika elektrycznego (3) oraz elementy technologiczne,

**czynnik chłodniczy** – substancja, która jest czynnikiem roboczym układu chłodniczego, w którym sprężarka pracuje (np. R134a, R32, CO<sub>2</sub> etc.),

**stopień sprężarki (stopień sprężający)** – stopień sprężarki odśrodkowej składający się z dolotu, ułotkowanego koła wirnikowego (1), dyfuzora (nieułotkowanego lub ułotkowanego), opcjonalnie z kierownicy wstępnej, przewal, kanału prostującego a także spirali zbiorczej. W stopniu sprężarki odśrodkowej następuje sprężanie czynnika roboczego (chłodniczego) od ciśnienia ssania do ciśnienia tłoczenia na skutek aerodynamicznego oddziaływania czynnika roboczego z ułotkowanym układem przepływowym. Sprężarka ze schematu na Rys. 2 posiada dwa odśrodkowe stopnie sprężające.

**wirnik silnika elektrycznego (3)** – element silnika elektrycznego, który jest osadzony na wale sprężarki (4)

**układ przepływowy sprężarki (6)** – zespół kanałów przepływowych nieruchomych oraz wirujących, który powoduje przyrost ciśnienia przepływającego przez niego gazu, na schemacie z Rys. 2 układ przepływowy sprężarki (6) składa się z dwóch stopni sprężających,

**łożysko gazowe spiralne (7)** – z ang. „spiral groove bearing” składa się z tarczy oporowej (2) oraz ze współpracującym nieruchomym elementem – tarczą stacjonarną (7a), na którym ponacinane są płytkie rowki spiralne.

**właściwa strona łożyska wzdłużnego** – strona łożyska wzdłużnego, która jest obciążona w normalnych warunkach operacyjnych sprężarki; w przypadku niniejszej sprężarki jest nią łożysko gazowe spiralne (7).

**hybrydowy układ łożysk gazodynamicznych** – oznacza zastosowanie w niniejszym wynalazku przynajmniej dwóch różnych typów łożysk gazodynamicznych do podparcia wirnika sprężarki; w niniejszym wynalazku zastosowano dwa łożyska foliowe poprzeczne (11) oraz jedno łożysko gazowe spiralne (7).

Wynalazek ilustruje następujący przykład wykonania i figury, nie stanowiące jego ograniczenia.

Przykład:

Sprężarka, zgodnie z przedstawionym schematem (Rys. 2), składa się z wlotu (5), układu przepływowego (6), który zawiera jeden lub dwa stopnie sprężające, łożyska gazowego spiralnego (7), napędu elektrycznego (8), czyli silnika z magnesami trwałymi, łożyska kulkowego (rozruchowego) (9), wylotu (10), dwóch gazowych łożysk foliowych (11) oraz gniazda łożyskowego (12), w którym umieszczone jest łożysko kulkowe (9).

Bezolejowa sprężarka według wynalazku posiada tylko jedną ruchomą część – wirnik (Rys. 1), który jest precyzyjnie wyważony, a to sprawia, że poziom drgań oraz hałasu jest niski.

Wirnik omawianej sprężarki (Rys. 1), którego najważniejsze elementy to wał (4), ułotkowane koła wirnikowe (1) oraz wirnik silnika elektrycznego (3), podparty jest na dwóch foliowych łożyskach poprzecznych (11) oraz, przy niskiej prędkości obrotowej lub w bezruchu, na łożysku kulkowym (9) a przy wyższej prędkości obrotowej (normalna praca) na gazowym łożysku spiralnym (7).

Wynalazek polega na wykorzystaniu hybrydowego układu łożysk gazodynamicznych. Oznacza to, że łożyska poprzeczne budowane są jako łożyska foliowe (11), natomiast

właściwa strona łożyska wzdłużnego jest łożyskiem typu spiralnego (7) i (Rys. 2a). łożysko gazowe spiralne (7) stosowane jest do przenoszenia siły wzdłużnej działającej na wirnik (Rys. 1) i składa się z dwóch współpracujących ze sobą tarcz – wirującej (2) i stacjonarnej (7a) zamocowanej w korpusie, pomiędzy którymi tworzy się film gazowy. Jedna z tarcz (najczęściej tarcza stacjonarna (7a)) posiada płytko nacięte kanały (spirale – Rys. 2a), których pożądana głębokość to kilka mikronów.

W wynalazku zastosowano nietypową, pionową orientację układu wirującego (wirnika) (Rys. 1). Rozwiązanie to po pierwsze odciąża łożyska foliowe (11), ponieważ nie przenoszą one ciężaru wału, a po drugie wydłuża żywotność gazowego łożyska spiralnego (7). W przypadku, kiedy sprężarka nie pracuje, a wirnik (Rys. 1) znajduje się w bezruchu, wał spoczywa na kulkowym łożysku rozruchowym (9). łożysko to znajduje się w gnieździe (12), którego docelowe położenie osiowe można regulować.

W momencie rozruchu sprężarki zasilanej za pomocą wysokoobrotowego napędu (silnika elektrycznego) (8), przy stosunkowo niskich obrotach wirnik (Rys. 1) cały czas podpierany jest na łożysku rozruchowym (9). Czynnik chłodniczy zasysany jest przez wlot sprężarki (5), następnie sprężany jest przez jedno- lub dwustopniowy promieniowy układ przepływowy (6), a następnie podawany na tłoczenie (wylot) sprężarki (10).

W miarę wzrostu prędkości obrotowej następuje, po pierwsze, wytworzenie się filmu gazowego w łożyskach foliowych (11), a po drugie, pojawienie się siły wzdłużnej działającej na wirnik sprężarki (Rys. 1) pochodzącej z różnicy ciśnień w układzie przepływowym (6). Wektor siły wzdłużnej skierowany jest w stronę wlotu (5), czyli unosi wirnik (Rys. 1) uprzednio spoczywający na kulkowym łożysku rozruchowym (9). Unoszący się wirnik (Rys. 1) napotyka łożysko spiralne (7), które wytwarza film gazowy bez uprzedniego przejścia przez fazę tarcia suchego.

Wysoka sztywność łożyska spiralnego (7) pozwala na minimalizację wewnętrznych luzów osiowych w układzie przepływowym (6) i w konsekwencji na minimalizację przecieków wewnętrznych, które obniżają sprawność urządzenia.

Opracowana konstrukcja znacznie zwiększa żywotność układu łożyskowego w stosunku do rozwiązań proponowanych do tej pory w technice.

W sprężarce według wynalazku efekt działania tarcia suchego podczas rozruchu maszyny (a także jej zatrzymania) jest niwelowany poprzez umieszczenie wirnika sprężarki w pionie (Rys. 1). Gdy wirnik sprężarki (Rys. 1) znajduje się w bezruchu lub gdy jego prędkość obrotowa jest stosunkowo niewielka, wirnik spoczywa na łożysku kulkowym (rozruchowym) (9), natomiast w łożysku gazowym spiralnym (7) nie występuje tarcie suche ze względu na fakt, że tarcza oporowa łożyska gazowego (2) znajduje się w stosunkowo dużej odległości od tarczy stacjonarnej gazowego łożyska spiralnego (7a). Po przekroczeniu pewnej prędkości obrotowej na koła wirnikowe sprężarki (1), które są częścią wirnika sprężarki (Rys.1), zaczyna działać siła osiowa skierowana w stronę wlotu (5) – do góry. Tego typu siła związana jest z zasadą działania sprężarki odśrodkowej. Przy dalszym zwiększaniu prędkości obrotowej generowana siła osiowa (wzdłużna) zaczyna przewyższać ciężar wirnika sprężarki (Rys. 1), co sprawia, że jest on przesuwany do góry o niewielką odległość, odrywa się od łożyska kulkowego (rozruchowego) (9) i zaczyna opierać się na rozpędzonym już gazowym łożysku spiralnym (7). Innymi słowy, tarcza oporowa gazowego łożyska spiralnego (2) znajduje się znacznie bliżej jego nieruchomej części (na grubość filmu smarnego). Dzięki temu łożysko spiralne nie przechodzi przez fazę tarcia suchego.

Dzięki umieszczeniu wirnika (Rys. 1) w pionie odciążone zostają także łożyska foliowe (poprzeczne) (11), ponieważ nie przenoszą ciężaru wału (4). Działają na nie jedynie siły dynamiczne. Odciążenie łożysk foliowych (poprzecznych) (11) zwiększa ich żywotność, co wynika ze znacznego zmniejszenia w nich momentu tarcia podczas przechodzenia przez fazę tarcia suchego.

#### Oznaczenia:

- 1 – oznacza koła wirnikowe
- 2 – oznacza tarczę oporową łożyska spiralnego
- 3 – oznacza wirnik silnika elektrycznego
- 4 – oznacza wał sprężarki
- 5- oznacza wlot sprężarki

6- oznacza układ przepływowy

7- oznacza łożysko spiralne

7a- oznacza tarczę stacjonarną

8- oznacza napęd elektryczny

9- oznacza łożysko rozruchowe

10- oznacza wylot sprężarki

11- oznacza łożysko poprzeczne

12 – gniazdo łożyska rozruchowego