

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 247462 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **437362**

(22) Data zgłoszenia: **2021.03.22**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.09.26 BUP 39/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.07.07 WUP 27/2025**

(51) MKP:

F02G 1/00 (2006.01)

F02G 1/043 (2006.01)

F02G 1/053 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA GDAŃSKA, Gdańsk, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

JACEK KROPIWNICKI, Gdańsk, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Magdalena Leśnik, Gdańsk, PL

(54) Tytuł:

Silnik łożatkowy Stirlinga dwustronnego działania

PL 247462 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest silnik łożatkowy Stirlinga dwustronnego działania do wytwarzania energii mechanicznej z niskotemperaturowych źródeł energii cieplnej. Urządzenie może być wykorzystywane do wytwarzania energii elektrycznej, napędu pomp i sprężarek z odnawialnych źródeł energii, np. energii geotermalnej, słonecznej lub odpadowej z innego procesu.

Zasada działania silnika Stirlinga polega na cyklicznej zmianie temperatury czynnika roboczego, czemu towarzyszy przemieszczanie czynnika roboczego między przestrzenią zimną i gorącą. Procesy przemieszczania czynnika roboczego odbywają się przy zachowaniu w przybliżeniu stałej objętości, co powoduje wzrost ciśnienia w czasie ogrzewania oraz analogicznie spadek ciśnienia w czasie chłodzenia. Między procesami przemieszczania czynnika roboczego następuje: rozprężanie (w przestrzeni rozprężania – gorącej) oraz sprężanie (w przestrzeni sprężania – zimnej). Rozprężaniu towarzyszy wykonanie większej pracy niż jest wymagane w czasie sprężania ze względu na różnicę ciśnień początku obu procesów, osiąganą dzięki wcześniejszemu ogrzaniu lub schłodzeniu czynnika roboczego. Dodatni bilans pracy rozprężania i sprężania warunkuje wytwarzanie pracy mechanicznej przez silnik Stirlinga. Czynnikiem roboczym wykorzystywanym w urządzeniu może być powietrze, hel lub inny gaz nietoksyczny.

Z opisu patentowego US2017/0045017 A1 znany jest silnik Stirlinga pozwalający na generowanie energii mechanicznej, z energii cieplnej. Ten silnik zbudowany jest z dwóch komór posiadających wirniki z łożatkami, między łożatkami utworzone są przestrzenie, odpowiednio: rozprężania w komorze gorącej oraz sprężania w komorze zimnej. Każda przestrzeń między-łożatkowa z komory gorącej jest połączona tylko z jedną przestrzenią między-łożatkową komory zimnej, tworząc wspólną przestrzeń roboczą. W tym rozwiązaniu jest sześć takich przestrzeni roboczych. Połączenie między przestrzeniami sprężania i rozprężania jest realizowane poprzez otwory osiowe wykonane w wirniku, których liczba odpowiada liczbie łożatek, a więc i przestrzeni między-łożatkowych. Do nagrzewania czynnika roboczego wykorzystywana jest zewnętrzna powierzchnia obudowy komory gorącej, a do chłodzenia zewnętrzna powierzchnia komory zimnej.

Z opisu patentowego US 2013/0036732 A1 znany jest silnik Stirlinga zbudowany z jednej komory, w której obraca się wirnik z łożatkami. Zewnętrzna powierzchnia komory jest podzielona na 2 części, ogrzewaną i chłodzoną. W części ogrzewanej odbywa się rozprężania, a w części chłodzonej sprężanie. Doprowadzenie i odprowadzenie ciepła odbywa się wyłącznie poprzez obudowę, przy czym ten sam element jest z jednej strony ogrzewany, a z drugiej chłodzony (w układzie nie występuje bariera termiczna).

Z opisu patentowego US 2014/0271308 A1 znany jest silnik Stirlinga. Ten silnik jest zbudowany z dwóch układów kół zębatach, w skład każdego układu wchodzi pierścień zewnętrzny z 5 zębami wewnętrznymi oraz wirnik z 4 zębami zewnętrznymi. Odpowiedni ruch wirników względem nieruchomych pierścieni zewnętrznych jest realizowany za pomocą przekładni. Występuje 5 przestrzeni roboczych, tyle co przestrzeni między zębami pierścienia zewnętrznego. W pierścieniu gorącym znajdują się przestrzenie rozprężania, a w pierścieniu zimnym znajdują się przestrzenie sprężania. Odpowiednie przestrzenie sprężania i rozprężania są ze sobą stale połączone poprzez pierścień rozrządczy posiadający osiowe otwory, jest 5 takich otworów. W tych otworach znajduje się materiał porowaty pełniący rolę regeneratora. Ciepło, w przestrzeniach rozprężania jest doprowadzane poprzez obudowę silnika, podobnie chłodzenie, w przestrzeniach sprężania, odbywa się poprzez obudowę silnika.

Z zasady działania silnika Stirlinga wynika, że elementy przepływowe, głównie nagrzewnica, regeneracja, chłodnica, łączące przestrzeń sprężania i rozprężania, powinny mieć jak najmniejszą objętość. Minimalizacja tego parametru konstrukcyjnego powoduje bardziej intensywny wzrost ciśnienia w przestrzeni roboczej, w trakcie doprowadzania ciepła oraz analogicznie spadek ciśnienia w trakcie chłodzenia, co warunkuje osiągnięcie wysokiej sprawności. Z tego względu nagrzewnica, regeneracja i chłodnica są zazwyczaj małymi elementami, stanowiącymi integralną część konstrukcji silnika. W związku z tym silniki Stirlinga, posiadające opisane powyżej cechy konstrukcyjne, muszą być zasilane źródłem ciepła o wysokiej temperaturze, aby zrekompensować małą powierzchnię wymiany ciepła i jednocześnie zapewnić dostarczenie wymaganej ilości ciepła. Silnik Stirlinga, przeznaczony do zasilania niskotemperaturowym źródłem energii musi mieć natomiast rozbudowaną powierzchnię wymiany ciepła, co można osiągnąć poprzez zastosowanie zewnętrznych wymienników ciepła. Ponadto, niższa temperatura zasilania oznacza również potencjalnie niższą sprawność silnika, co oznacza, że znacząco rośnie udział oporów mechanicznych i hydraulicznych w stosunku do produkcji energii netto. Silnik Stirlinga będący przedmiotem niniejszego opisu posiada cechy konstrukcyjne, które umożliwiają z jednej strony w bardzo dużym stopniu zwiększenie powierzchni wymiany ciepła, z drugiej strony omawiany

silnik posiada bardzo prosty mechanizm łopatkowy umożliwiającą minimalizację oporów mechanicznych. Ponadto przestrzenie rozprężania i sprężania znajdują się w oddzielnych lokalizacjach (komorach), co powoduje, że można utrzymywać różne temperatury ich obudów, bez niekorzystnego transferu ciepła między tymi przestrzeniami poprzez obudowę. W odróżnieniu od przedstawionych powyżej rozwiązań zaproponowane urządzenie posiada łożyska wałka napędowego umieszczone poza obszarem oddziaływania wysokich i niskich temperatur oraz nie wykorzystuje złożonego systemu przekładni, tak jak w ostatnim przedstawionym rozwiązaniu. Jedną z istotniejszych zalet omawianego urządzenia jest możliwość przeskalowania urządzenia z małych do dużych mocy, przy zachowaniu głównych cech konstrukcyjnych silnika, czym nie odznaczają się tłokowe silnika Stirlinga, np. przedstawione w opisach US 7171811 B1 (silnik typu alfa), US 7043909 B1 (silnik typu beta), US 6578359 B2 (silnik typu gamma).

Rozwiązanie umożliwia zagospodarowanie niskotemperaturowych źródeł energii oraz energii odpadowej do wytwarzania energii mechanicznej i elektrycznej w sposób bardziej efektywny niż jest to osiąganе obecnie. Ze względu na swoje cechy konstrukcyjne, ruch obrotowy elementów roboczych, a nie posuwisty, oraz wydzielenie poza obszar roboczy silnika wymienników ciepła, możliwe jest proste przeskalowanie urządzenia od bardzo małych do bardzo dużych mocy. Funkcjonalne rozdzielenie obszarów roboczych silnika ogrzewanych i chłodzonych umożliwia utrzymanie równomiernego rozkładu temperatur tych elementów, to natomiast znacząco ułatwia utrzymanie zakładanych luzów między ruchomymi elementami roboczymi.

Przedmiot wynalazku przedstawiony jest w przykładzie wykonania na rysunku: fig. 1 – silnik łopatkowy Stirlinga w widoku z góry, fig. 2 – komory silnika w przekroju poprzecznym, fig. 3 – komory silnika w przekroju w widoku od czoła.

Wykaz oznaczeń:

- 1 – komora gorąca,
- 2 – przewód łączący komorę gorącą z nagrzewnicą,
- 3 – nagrzewnica,
- 4 – regeneratory,
- 5 – chłodnica,
- 6 – przewód łączący chłodnicę z komorą zimną,
- 7 – komora zimna,
- 8 – wałek napędowy,
- 9 – obudowa komory,
- 10 – wirnik,
- 11 – łopatka,
- 12 – tarcza uszczelniająca,
- 13 – okno przepływowe,
- 14 – otwór przyłączeniowy przewodu,
- 15 – pokrywa zewnętrzna,
- 16 – pokrywa wewnętrzna,
- 17 – uszczelnienie czołowe,
- 18 – pierścień uszczelniający,
- 19 – łożysko.

Na rysunku fig. 1 przedstawiono widok całego urządzenia, które składa się z komory gorącej 1, w której znajdują się dwie przestrzenie rozprężania, przewodu 2 łączącego komorę gorącą z nagrzewnicą 3, regeneratory 4, chłodnicę 5, przewodu 6 łączącego chłodnicę z komorą zimną 7, w niej znajdują się dwie przestrzenie sprężania. Nagrzewnica 3 są zasilane energią cieplną (np. gorącym powietrzem), która stanowi górne źródło ciepła. Energia cieplna jest zamieniana w urządzeniu na energię mechaniczną, oddawaną do odbiornika przez wałek napędowy 8, od niego może być napędzany generator prądu. Chłodnice 5 są zasilane wodą chłodzącą, która stanowi dolne źródło ciepła urządzenia.

Silnik łopatkowy Stirlinga dwustronnego działania składa się z dwóch niezależnie funkcjonujących systemów, zbudowanych z takich samych elementów, oddających moc na wspólny wałek napędowy. Na rysunku fig. 2 przedstawiono przekrój komory gorącej i zimnej urządzenia. Wewnątrz obudowy komory 9, znajduje się wirnik komory 10, wraz z łopatkami 11, dzielącymi komorę na dwie części. Po obydwu stronach łopatek 11 znajduje się niezależna przestrzeń rozprężania (komora gorąca) lub sprężania (komora zimna). Obracający się wirnik 10, umieszczony mimośrodowo względem obudowy komory 9, powoduje zmianę objętości gazu roboczego. Przestrzeń rozprężania i sprężania zamknięta jest tarczami uszczelniającymi 12, w których znajdują się okna przepływowe 13, zapewniające swobodny przepływ

gazu roboczego przez tarczę uszczelniającą tylko na jedną stronę komory lewą lub prawą, skąd gaz roboczy może swobodnie przepływać przez otwór przyłączeniowy przewodu 14 do nagrzewnicy, regeneratora i chłodnicy a następnie do sąsiedniej komory. Tarcze uszczelniające przymocowane są do wirników i obracają się wraz z nimi. Obudowa komory zamknięta jest z jednej strony pokrywą zewnętrzną 15, a z drugiej strony pokrywą wewnętrzną 16, która stanowi jednocześnie kanał dla wałka napędowego. Tarcze uszczelniające posiadają uszczelnienia czołowe 17, które minimalizują przecieki między systemami. Natomiast nieszczelności mogące nastąpić wzdłuż wałka napędowego są ograniczane przez pierścienie uszczelniające 18. Wałek napędowy jest podparty na dwóch końcach za pomocą łożysk 19.

Wirnik komory gorącej jest przestawiony w stosunku do wirnika komory zimnej o 90° , co powoduje, że procesy zmiany objętości w komorze gorącej wyprzedzają o analogiczny kąt zmiany objętości w komorze zimnej. Cykliczność zmian objętości w komorach gorącej i zimnej, wynikającej z geometrii komór, daje w efekcie 4 umowne etapy pełnego cyklu pracy silnika Stirlinga:

- rozprężanie gazu roboczego w komorze gorącej (niewielka część gazu roboczego pozostaje równocześnie w komorze zimnej oraz nagrzewnicy, regeneratorze i chłodnicy); ten proces odbywa się w podwyższonej temperaturze gazu roboczego,
- przetłaczanie gazu roboczego z komory gorącej do komory zimnej, poprzez nagrzewnicę, regenerator i chłodnicę, do komory zimnej, przy zachowaniu w przybliżeniu stałej objętości gazu roboczego; temu procesowi towarzyszy intensywne chłodzenie i zmniejszenie temperatury gazu roboczego,
- sprężanie gazu roboczego w komorze zimnej (niewielka część gazu roboczego pozostaje równocześnie w komorze gorącej oraz nagrzewnicy, regeneratorze i chłodnicy); ten proces odbywa się w obniżonej temperaturze gazu roboczego,
- przetłaczanie gazu roboczego z komory zimnej do komory gorącej, poprzez chłodnicę, regenerator i nagrzewnicę, do komory gorącej, przy zachowaniu w przybliżeniu stałej objętości gazu roboczego; temu procesowi towarzyszy intensywne nagrzewanie i zwiększenie temperatury gazu roboczego.

Równolegle opisany cykl złożony z 4 etapów przebiega w obydwu systemach, oddzielonych od siebie łopatkami, z przesunięciem fazowym wynoszącym 180° .

Zastrzeżenie patentowe

1. Silnik łopatkowy Stirlinga dwustronnego działania, wypełniony gazem roboczym, posiadający komorę gorącą i zimną, z podwójnym systemem: przestrzeń rozprężania, nagrzewnica, regenerator, chłodnica, przestrzeń sprężania, **znamienny tym**, że łopatki (11) tworzą dwie niezależne przestrzenie rozprężania w komorze gorącej (1) oraz sprężania w komorze zimnej (7), zaś okna przepływowe (13) usytuowane są na tarczach uszczelniających (12), przymocowanych do wirników (10) odpowiednich komór.

Rysunki

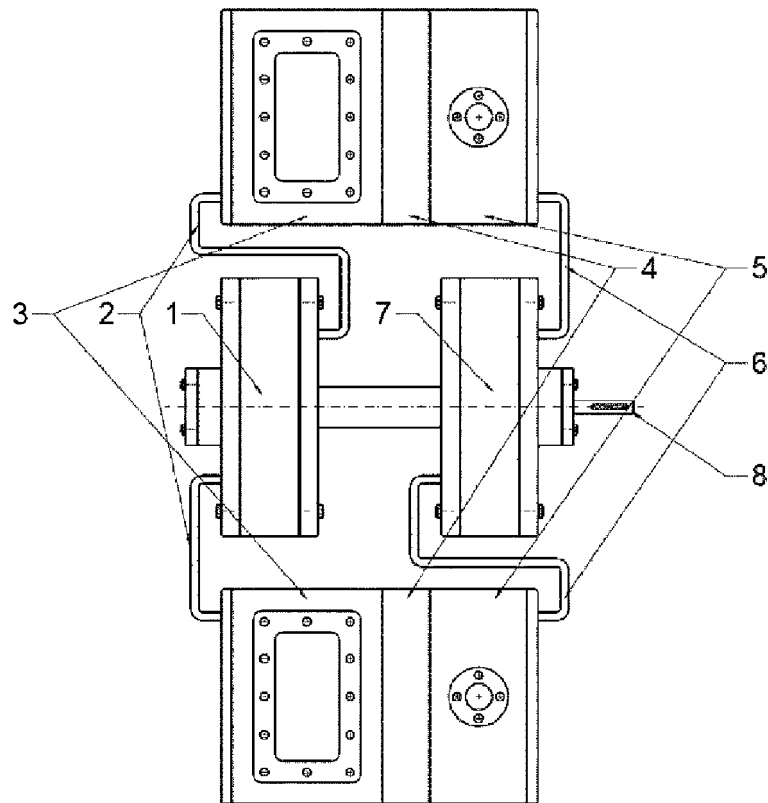


Fig. 1

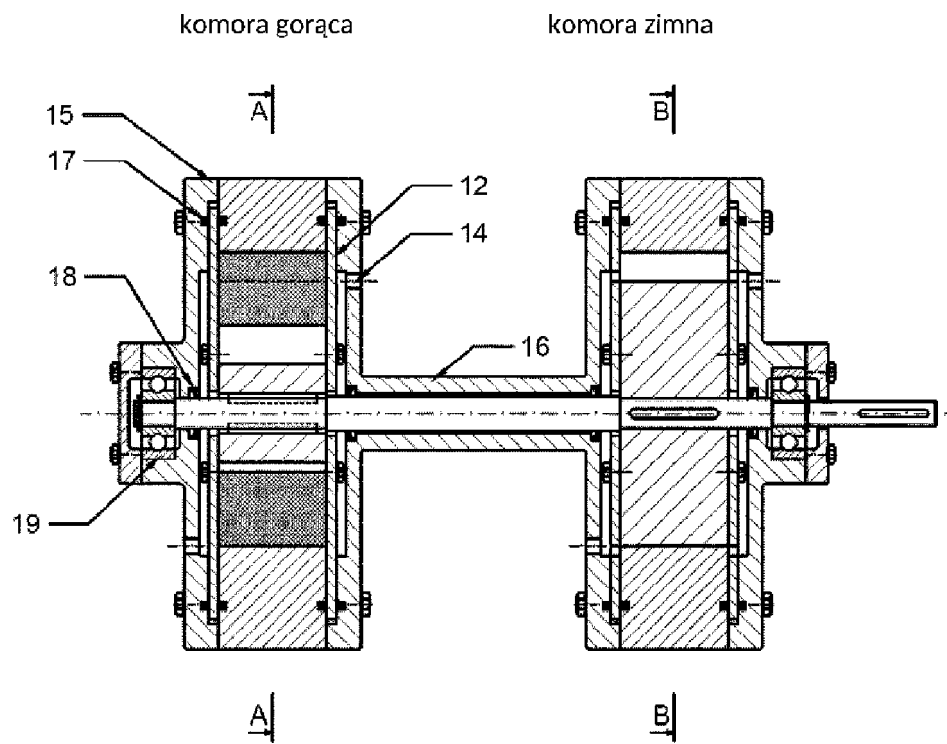


Fig. 2

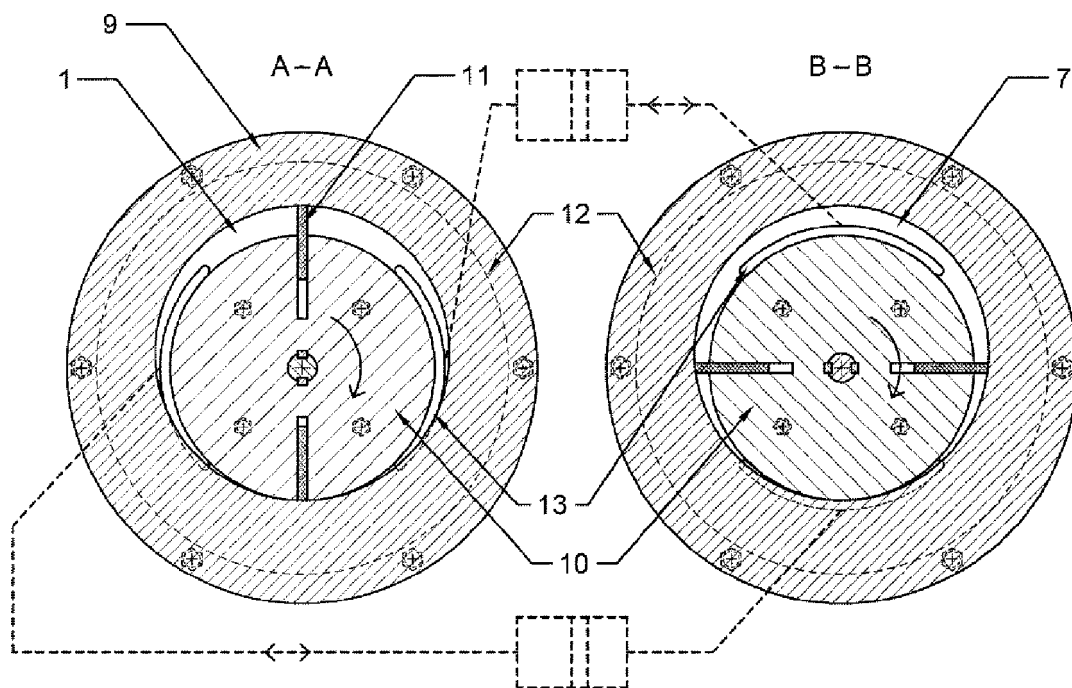


Fig. 3