

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 246196 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **440765**

(22) Data zgłoszenia: **2022.03.25**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.10.02 BUP 40/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.12.16 WUP 51/2024**

(51) MKP:

F28F 9/013 (2006.01)

F28D 7/16 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**FAMET SPÓŁKA AKCYJNA,
Kędzierzyn-Koźle, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**JANUSZ PRZYBYŁA, Kędzierzyn-Koźle, PL
PAWEŁ DOBBER, Kędzierzyn-Koźle, PL
KAMIL FREIER, Większyce, PL
BŁAŻEJ PRZYBYŁA, Kędzierzyn-Koźle, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Jerzy Lampart, Tąpkowice, PL

(54) Tytuł:

Płyta podporowa dla poziomej wiązki rur płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła

PL 246196 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest płyta podporowa dla poziomej wiązki rur płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła ze wzdłużnym przepływem medium w przestrzeni międzyrurowej.

W praktyce przemysłowej stosowane są różne konstrukcje podpór wiązki rur płaszczowo-rurowych wymienników ciepła. Podstawowym zadaniem płyty podporowej jest dokładne utrzymanie w stałych odległościach od siebie oraz w stosunku do wnętrza płaszcza wszystkich rur – tak zwanego layout'u przekroju poprzecznego wymiennika ciepła. Ponadto płyta podporowa powinna zapewnić możliwie najmniejszy opór hydrauliczny medium przepływającego wzdłuż rur, to znaczy powinna posiadać odpowiednią perforację dla wzdłużnego przepływu. Kolejnym ważnym zadaniem dla płyty podporowej wiązki rur jest mechaniczna wytrzymałość, czyli możliwość udźwignięcia bardzo dużego ciężaru wiązki rurowej wraz z ciężarem medium płynącego wewnątrz rur z równoczesnym zachowaniem stabilności wymiarowej – geometrycznej layout'u.

Stosowane dotychczas rozwiązania podparcia wiązki rur wymiennika ciepła, znane są z licznych opisów patentowych. Opis patentowy USA Nr 3.420.297 przedstawia strukturę podpory wiązki rur wymiennika ciepła składającą się z przestrzennej kratownicy, złożonej z bardzo wielu skrzyżowanych i połączonych ze sobą płaskowników. Podobną strukturę kratową podpory rur wymiennika ciepła przedstawia patent USA Nr 3.820.594. W obu wyżej wymienionych rozwiązaniach, podpory zbudowane są z bardzo wielu elementów – płaskowników, co powoduje, że już tylko suma tolerancji wymiarowych tych elementów nie może zapewnić dokładnego rozmieszczenia podparcia rur w wiązce rurowej. Ponadto montaż takiej struktury kratowej dodatkowo spowoduje wystąpienie kolejnych niedokładności.

W opisie patentowym USA Nr 4.143.709 przedstawiony jest system podpór rur generatora pary składający się z wielu płyt z dużymi wyciętymi otworami, przestawionych względem siebie wzdłuż osi rur. Rozwiązanie zaproponowane w tym wynalazku wymaga zastosowania podwójnej ilości podpór odpowiednio przesuniętych względem siebie, rozmieszczonych wzdłuż rur w odpowiednich odstępach. Taka konstrukcja jest mało precyzyjna i bardzo kosztowna, a ponadto jest bardzo trudna w montażu całej wiązki rurowej wymiennika ciepła.

W opisie europejskiego patentu EP 1.664.657, przedstawione są podpory wiązki rurowej z wykorzystaniem siatki wykonanej z naciętej i rozciągniętej blachy w celu utworzenia odpowiednich otworów do pomieszczenia rur. Tak wykonane siatki mocowane są za pomocą spawania do zewnętrznych pierścieni nośnych. Budowa takiej podpory wydaje się być tańsza, natomiast z powodu konieczności zastosowania zewnętrznych grubych pierścieni nośnych (poz. 27 na rysunku Fig. 1) wiązka rur nie może wypełnić całego wewnętrznego przekroju wymiennika ciepła. Z tego powodu cały wymiennik jest zbyt duży. Zaproponowane tak zwane siatki rozciągane w efekcie tworzą taką strukturę podpory wiązki rur, której wszystkie otwory wieloboczne posiadają ostre krawędzie prowadzące do uszkodzenia ścianek rur.

Wynalazek według niemieckiego opisu patentowego DE 10 2011 054984 A1 przedstawia konstrukcję podpory wiązki rurowej wymiennika ciepła wykonanej z jednego arkusza blachy, w którym wycięte są otwory do pomieszczenia rur i połączone z nimi otwory do wzdłużnego przepływu medium w płaszczu wymiennika ciepła. W tym rozwiązaniu nie można zapewnić odpowiednio dużego przekroju perforacji dla wzdłużnego przepływu medium w przestrzeni międzyrurowej. Spowoduje to bardzo duże opory przepływu.

Ponadto znane są kolejne dwa rozwiązania podparcia wiązki rur wymiennika ciepła. W opisie patentowym USA Nr 3.916.990 przedstawiono wymiennik ciepła, w którym poza innymi cechami tego wymiennika zaproponowano wspornik dla wiązki rur zbudowany z wielu listew – pasków (strips) listwy są odpowiednio powyginane w kształcie ośmioboku lub sześcioboku, a następnie połączone są ze sobą za pomocą spawania. Ilość tych pojedynczych elementów wykonanych z listew odpowiada ilości rur w wiązce rurowej wymiennika ciepła. Połączenie wszystkich pojedynczych elementów tworzy tak zwaną siatkę, w której znajdują się otwory do pomieszczenia rur, jak również między nimi otwory do przepływu czynnika na zewnątrz rur. Każdy otwór do pomieszczenia rury utworzony jest z czterech lub sześciu odpowiednio wygiętych listew i połączonych ze sobą za pomocą spawania. Takie rozwiązanie wspornika dla wiązki rur jest niezwykle skomplikowane i kosztowne w wykonaniu, ale przede wszystkim nie zapewnia wymaganej dokładności podparcia wiązki rur wymiennika ciepła. Podczas montażu takiej siatki – wspornika, w praktyce będą się sumować wszystkie odchyłki wykonawcze bardzo wielu elementów utworzonych z listew. Ponadto liczne połączenia spawane spowodują dodatkowo duże naprężenia i deformacje wymiarowe. Opis patentowy USA Nr 4.433.721 przedstawia wynalazek dotyczący siatki

podporowej dla wiązki rur wymiennika ciepła. Siatka wykonana jest z listew odpowiednio powyginanych – tak aby otwory do pomieszczenia rur utworzone zostały z dwóch listew wygiętych naprzemiennie w półkoliste odcinki. Ponadto co trzecia listwa jest odpowiednio tak wygięta i dopasowana do półkolistych listew tworzących pierścienie dla rur, stanowi element dystansowy pomiędzy rzędami rur. Przedstawione w tym opisie rozwiązanie konstrukcji siatki podporowej dla wiązki rur wymiennika ciepła, podobnie jak w wyżej wymienionym opisie patentowym USA Nr 3.916.990 posiada analogiczne wady i podobne charakterystyczne cechy budowy.

Opis patentowy USA Nr 4.192.374 oraz opis patentowy EP 0200652 Europejskiego Urzędu Patentowego przedstawiają podobne do siebie konstrukcje płyt podporowych, a właściwie siatek dystansowych pionowej wiązki rur wymiennika ciepła. W jednym z tych przykładów siatka wykonana jest z jednego arkusza blachy i zbudowana jest w postaci pierścieni do pomieszczenia rur, połączonych ze sobą mostkami – łącznikami utrzymującymi stałą odległość między rurami zgodnie z layout'em całej wiązki rur. Konstrukcja takiej siatki rozwiązuje problem utrzymania stabilnego rozmieszczenia rur oraz wzdluznego przepływu medium w płaszczu, wyłącznie w przypadku pionowego wymiennika ciepła. Ponieważ w przypadku pionowej wiązki rur poprzeczne obciążenia w ogóle nie występują, zatem przedstawione rozwiązania mają wyłącznie cechy i zadania siatki dystansowej, a nie struktury podporowej dla wiązki rur. Tego typu siatki dystansowe nie znalazły zastosowania w poziomych wymiennikach ciepła, ponieważ takie siatki nie posiadają możliwości przenoszenia obciążeń poprzecznych pochodzących od bardzo dużego ciężaru całej wiązki rur łącznie z ciężarem medium płynącego wewnątrz rur.

Opis patentowy GB 1100832 przedstawia poziomy płaszczowo-rurowy wymiennik ciepła z zastosowaniem płyt podporowych wiązki rur posiadających perforację umożliwiającą przepływ wzdluzny wewnątrz płaszczu. Struktura płyty podporowej zbudowana z licznych pierścieni połączonych ze sobą pionowymi i poziomymi mostkami umożliwia odpowiednie rozmieszczenie rur w wymienniku ciepła. Taka struktura okazuje się jednak mało stabilna wytrzymałościowo, ponieważ obciążenia pochodzące od ciężaru rur oraz wewnątrz rur przepływającego medium, powodują, że pierścienie oraz pionowe mostki łączące pierścienie muszą być odpowiednio grube aby uniemożliwić trwałą deformację tej struktury. Przy czym zaprojektowanie odpowiednio grubych i wytrzymałych pierścieni i mostków je łączących spowoduje pomniejszenie pola powierzchni perforacji i gwałtowny wzrost oporów przepływu medium w płaszczu. Dlatego rozwiązanie nie znalazło większego zastosowania w przemyśle, zwłaszcza do budowy dużych wymienników ciepła, zawierających tysiące rur.

Celem niniejszego wynalazku jest konstrukcja płyty podporowej dla poziomej wiązki rur wymiennika ciepła, która zapewnia dokładne i stabilne rozmieszczenie rur zgodnie z layout'em, optymalny równomierny wzdluzny przepływ medium w płaszczu wymiennika ciepła z równoczesnym bardzo niskim oporem przepływu na każdej płycie podporowej. Ponadto konstrukcja płyty podporowej powinna posiadać szczególnie dużą wytrzymałość mechaniczną umożliwiającą udźwignięcie dużego ciężaru wiązki rurowej wraz z ciężarem medium płynącego wewnątrz rur z zachowaniem stabilności wymiarowej layout'u.

Istotą wynalazku jest konstrukcja płyty podporowej dla poziomej wiązki rur płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła z wykorzystaniem wzdluznego przepływu medium w płaszczu. Płyta podporowa utworzona jest z pierścieni do pomieszczenia rur połączonych ze sobą mostkami stanowiąc jedną monolityczną całość i wykonana jest z jednego arkusza materiału. Otwory perforacji dla przepływu wzdluznego medium utworzone są przez ściany mostków i zewnętrzne ściany pierścieni. Środki pierścieni do pomieszczenia rur rozmieszczone są równomiernie na wielu pionowych osiach równo oddalonych od siebie, a zarazem znajdują się na przecięciu z każdą lub co drugą z wielu poziomych osi równo oddalonych od siebie. Odległości między pionowymi osiami mogą być równe lub różne od odległości między poziomymi osiami. Pierścienie do pomieszczenia rur połączone są ze sobą sześcioma mostkami, z czego dwa mostki nośne zorientowane są pionowo, a pozostałe cztery mostki stabilizacyjne odchylone są od poziomej osi pod kątem maksimum $\pm 30^\circ$ lub cztery mostki nośne odchylone są od pionowej osi pod kątem maksimum $\pm 45^\circ$, a pozostałe dwa mostki stabilizujące zorientowane są poziomo. Odległości między pionowymi osiami mogą być równe lub różne od odległości między poziomymi osiami. Grubość mostków stabilizujących jest równa lub mniejsza od grubości mostków nośnych i wynosi od 1,0 do 0,2 grubości mostków nośnych. Krawędzie otworów perforacji od strony dopływu medium są zukosowane. Wielkość zukosowania zawiera się w przedziale od 0,5 mm do 2,0 mm, a zarazem nie jest większa od połowy grubości mostków stabilizujących, natomiast kąt zukosowania jest w przedziale 15° do 45° . Krawędzie otworów perforacji od strony wypływu medium są zaokrąglone, przy czym promień zaokrąglenia wynosi od 0,5 do 1,5 mm.

Płyta podporowa poziomej wiązki rur płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła według wynalazku zbudowana z wielu pierścieni do pomieszczenia rur rozmieszczonych równomiernie w pionowych kolumnach i połączonych ze sobą mostkami nośnymi zapewniającymi symetryczny względem pionowych osi, a więc optymalny rozkład naprężeń wywołanych dużym ciężarem rur. Dodatkowo pierścienie są połączone ze sobą mostkami stabilizującymi pomagającymi utrzymać stabilność całej struktury płyty podporowej, przy czym rozmieszczenie tych mostków poziomo lub maksimum $\pm 30^\circ$ względem osi poziomych nie wywołuje w nich dużych naprężeń. W takiej sytuacji mostki stabilizujące mogą posiadać znacznie mniejszą grubość w stosunku do mostków nośnych. Zmniejszenie grubości mostków stabilizujących bardzo korzystnie wpływa na zmniejszenie oporów przepływu medium w płaszczu wymiennika ciepła. Zastosowanie zukosowania krawędzi otworów perforacji od strony dopływu medium w wielkościach według wynalazku oraz zaokrąglenie krawędzi tych otworów od strony wypływu medium również bardzo istotnie zmniejsza wielkość oporów przepływu. Reasumując płyta podporowa według wynalazku stanowi rozwiązanie techniczne łączące wszystkie pożądane cechy, to znaczy dużą wytrzymałość mechaniczną i stabilność wymiarową layout'u wiązki rurowej oraz niespotykany dotychczas niski opór przepływu medium w płaszczu wymiennika ciepła. Liczne analizy wytrzymałościowe oparte na metodzie elementów skończonych (MES) potwierdzają słuszność rozwiązań konstrukcyjnych płyty podporowej będących przedmiotem wynalazku. Równocześnie obliczenia mechaniki płynów oparte o analizę CFD, potwierdzone badaniami laboratoryjnymi (na modelach rzeczywistych), wskazują na duże korzyści w zakresie zmniejszenia oporu przepływu medium w płaszczu wymiennika ciepła po zastosowaniu płyty podporowej według wynalazku. Szczególnie korzystnie i znacznie, można obniżyć opory przepływu po zastosowaniu mniejszych grubości mostków stabilizujących i dodatkowo wprowadzonych zukosowań oraz odpowiednich zaokrągleniach krawędzi otworów perforacji. Wielkość zukosowania krawędzi otworów perforacji powoduje lokalne powiększenie pola powierzchni tych otworów od strony dopływu medium, a następnie łagodne zmniejszanie tego pola w kierunku przepływu medium w rezultacie wyboru odpowiedniego kąta zukosowania, zmniejsza turbulencję i powoduje bardzo korzystny spadek oporów przepływu. Redukcja oporu przepływu medium w płaszczu wymiennika ciepła może wynosić nawet powyżej 20% w stosunku do dotychczas znanych rozwiązań, przy zachowaniu niezbędnej dużej stabilności mechanicznej płyty podporowej. Tak wysoka redukcja oporów przepływu przekłada się bezpośrednio na zmniejszenie zużycia energii niezbędnej do przetłaczania medium lub może być wykorzystana do zwiększenia wydajności wymiennika ciepła.

Płyta podporowa dla poziomej wiązki rur według wynalazku przedstawiona jest na rysunku w przykładach wykonania, z których:

- Fig. 1 przedstawia schematycznie fragment przekroju osiowego poziomego wymiennika ciepła z przepływem wzdłużnym medium w płaszczu.
- Fig. 2 przedstawia szczegół fragmentu przekroju osiowego poziomego wymiennika ciepła z przepływem medium w płaszczu.
- Fig. 3 przedstawia schematycznie fragment czołowego widoku płyty podporowej z zastosowaniem pierścieni połączonych czterema mostkami nośnymi oraz dodatkowo dwoma mostkami stabilizującymi.
- Fig. 3A przedstawia schematycznie pierścień do pomieszczenia rury z fragmentami mostków nośnych i stabilizujących.
- Fig. 4 przedstawia schematycznie fragment czołowego widoku płyty podporowej z zastosowaniem pierścieni połączonych dwoma mostkami nośnymi oraz dodatkowo czterema mostkami stabilizującymi.
- Fig. 4A przedstawia schematycznie pierścień do pomieszczenia rury z fragmentami mostków nośnych i stabilizujących.
- Fig. 5 przedstawia fragment płyty podporowej w widoku aksonometrycznym wraz ze szczegółem przekroju z ukazaniem ukosowania i zaokrągleniem krawędzi otworów perforacji.

Płyty podporowe **1** przedstawione na Fig. 1 i 3 są umieszczone prostopadłe do poziomej wiązki rur **2**. Płyta podporowa **1** posiada liczne pierścienie **9**, których środki **10** rozmieszczone są równomiernie na wielu pionowych osiach **Y-Y**. Pierścienie **9** posiadają średnicę wewnętrzną **11** wynoszącą 25,3 mm, dopasowaną z małym luzem montażowym do średnicy rury **12** wynoszącej 25,0 mm. Grubość ścianki rur wynosi 2,5 mm. W zależności od layout'u przekroju poprzecznego wiązki rur **2**, która w tym przykładzie zawiera łącznie 2666 rur została zastosowana płyta podporowa **1** przedstawiona na Fig. 3 i Fig. 3A. W tej konfiguracji ze względu na duży ciężar wiązki rur **2** (około 3450 kg na metr bieżący wymiennika), pionowo rozmieszczone pierścienie **9** o grubości **23** wynoszącej 3,0 mm połączone są ze sobą czterema

mostkami nośnymi **14** oraz dodatkowo dwoma mostkami stabilizującymi **15**. Mostki nośne **14** posiadają grubość **16** wynoszącą 5,0 mm natomiast mostki stabilizujące **15** posiadają grubość **17** wynoszącą 2,0 mm. Odległość **24** między osiami **Y-Y** wynosi 40,0 mm, natomiast odległość **25** między osiami **X-X** wynosi 28,56 mm. Kąt α odchylenia mostków nośnych **14** od pionowych osi **Y-Y** wynosi $\pm 35^\circ$. Krawędzie **7** otworów perforacji **5** zostały zukosowane pod kątem **19** wynoszącym 30° , przy czym wielkość zukosowania **18** wynosi 1,0 mm. Krawędzie **8** otworów perforacji **5** zostały zaokrąglone promieniem **R** wynoszącym około 0,5 mm. W tym przykładzie płyta podporowa **1** o średnicy 2000 mm, co odpowiada średnicy wewnętrznej płaszcza **21** wymiennika ciepła została wykonana z jednego arkusza blachy o grubości **22** wynoszącej 15 mm ze stali węglowej. Otwory perforacji **5** zostały wykonane wraz z ukosowaniem krawędzi **7** na maszynie do wycinania laserem wyposażoną w głowicę 3D, natomiast otwory **4** do pomieszczenia rur **6** zostały wywiercone na wiertarce CNC w drugim etapie obróbki. Zaokrąglenie krawędzi **8** otworów perforacji **5** o wielkości **R** $\approx 0,5$ mm mogą być wykonane przed wierceniem otworów **4** za pomocą obróbki ścierniej typu gratowanie lub na maszynie CNC.

Wyżej przedstawiony przykład wykonania płyty podporowej nie ograniczają możliwości wykorzystania innych rozwiązań zgodnych z wynalazkiem w szczególności możliwe jest stosowanie niemal dowolnych rodzajów materiałów oraz innych niż wymienione w opisie technik obróbki.

Wykaz oznaczeń rysunkowych

1. Płyta podporowa
2. Wiązka rur
3. Zewnętrzna ściana pierścienia
4. Otwory do pomieszczenia rur
5. Otwory perforacji
6. Rura
7. Krawędź otworu perforacji od strony dopływu medium
8. Krawędź otworu perforacji od strony wypływu medium
9. Pierścień
10. Środek pierścienia
11. Średnica wewnętrzna pierścienia
12. Średnica rury
13. Średnica zewnętrzna pierścienia
14. Mostek nośny
15. Mostek stabilizujący
16. Grubość mostka nośnego
17. Grubość mostka stabilizującego
18. Wielkość zukosowania
19. Kąt zukosowania
20. Strona dopływu medium
21. Płaszcz wymiennika ciepła
22. Grubość płyty podporowej
23. Grubość pierścienia
24. Odległość między osiami **Y-Y**
25. Odległość między osiami **X-X**
26. Ściana mostka
- X-X. Pozioma oś
- Y-Y. Pionowa oś
- α . Kąt odchylenia mostka od osi pionowej
- β . Kąt odchylenia mostka od osi poziomej
- R. Promień zaokrąglenia krawędzi mostka

Zastrzeżenia patentowe

1. Płyta podporowa dla poziomej wiązki rur płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła z wzdłużnym przepływem medium w płaszczu, posiadająca otwory do pomieszczenia rur znajdujące się w pierścieniach, w których środki znajdują się na przecięciu pionowych i poziomych osi, połączonych ze sobą mostkami oraz otwory perforacji dla przepływu medium, utworzone przez ściany mostków i zewnętrzne ściany pierścieni i w całości wykonana z jednego arkusza materiału **znamienna tym**, że środki (10) pierścieni (9) do pomieszczenia rur (6) rozmieszczone są równomiernie na wielu pionowych osiach (Y-Y) równo oddalonych od siebie, a zarazem znajduje się na przecięciu z każdą lub co drugą z wielu poziomych osi (X-X) równo oddalonych od siebie, przy czym pierścienie (9) połączone są ze sobą sześcioma mostkami, z czego dwa mostki nośne (14) zorientowane są pionowo, a pozostałe cztery mostki stabilizacyjne (15) odchylone są od poziomej osi (X-X) pod kątem (β) maksimum $\pm 30^\circ$ lub cztery mostki nośne (14) odchylone są od pionowej osi (Y-Y) pod kątem (α) maksimum $\pm 45^\circ$, a pozostałe dwa mostki stabilizujące (15) zorientowane są poziomo.
2. Płyta podporowa według zastrz. 1 **znamienna tym**, że odległości (24) między pionowymi osiami (Y-Y) mogą być równe lub różne od odległości (25) między poziomymi osiami (X-X).
3. Płyta podporowa według zastrz. 1 i 2 **znamienna tym**, że grubość (17) mostków stabilizujących (15) jest równa lub mniejsza od grubości (16) mostków nośnych (14) i wynosi od 1,0 do 0,2 grubości mostków nośnych (14).
4. Płyta podporowa według zastrz. 1 i 2 **znamienna tym**, że krawędzie (7) otworów perforacji (5) od strony dopływu medium (20) są zukosowane przy czym wielkość zukosowania (18) zawiera się w przedziale od 0,5 mm do 2,0 mm, a zarazem nie jest większa od połowy grubości (17) mostków stabilizujących (15) natomiast kąt zukosowania (19) jest w przedziale od 15° do 45° .
5. Płyta podporowa według zastrz. 1, 2 **znamienna tym**, że krawędzie (8) otworów perforacji (5) od strony wypływu medium są zaokrąglone przy czym promień zaokrąglenia (R) od 0,5 do 1,5 mm.

Rysunki

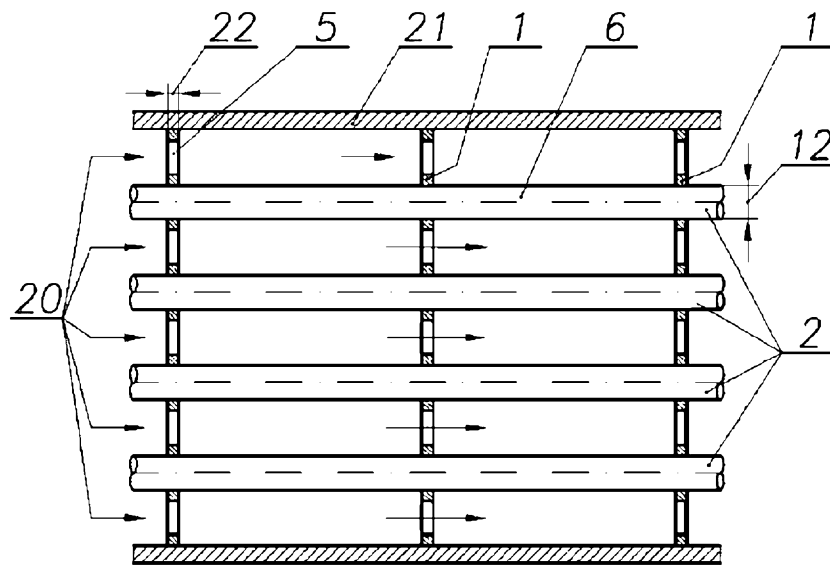


Fig. 1

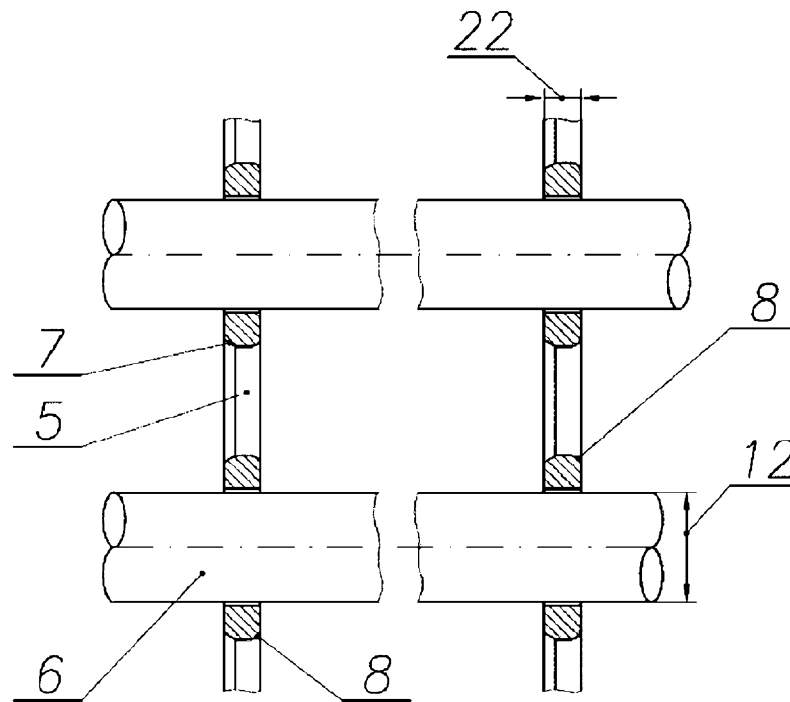


Fig. 2

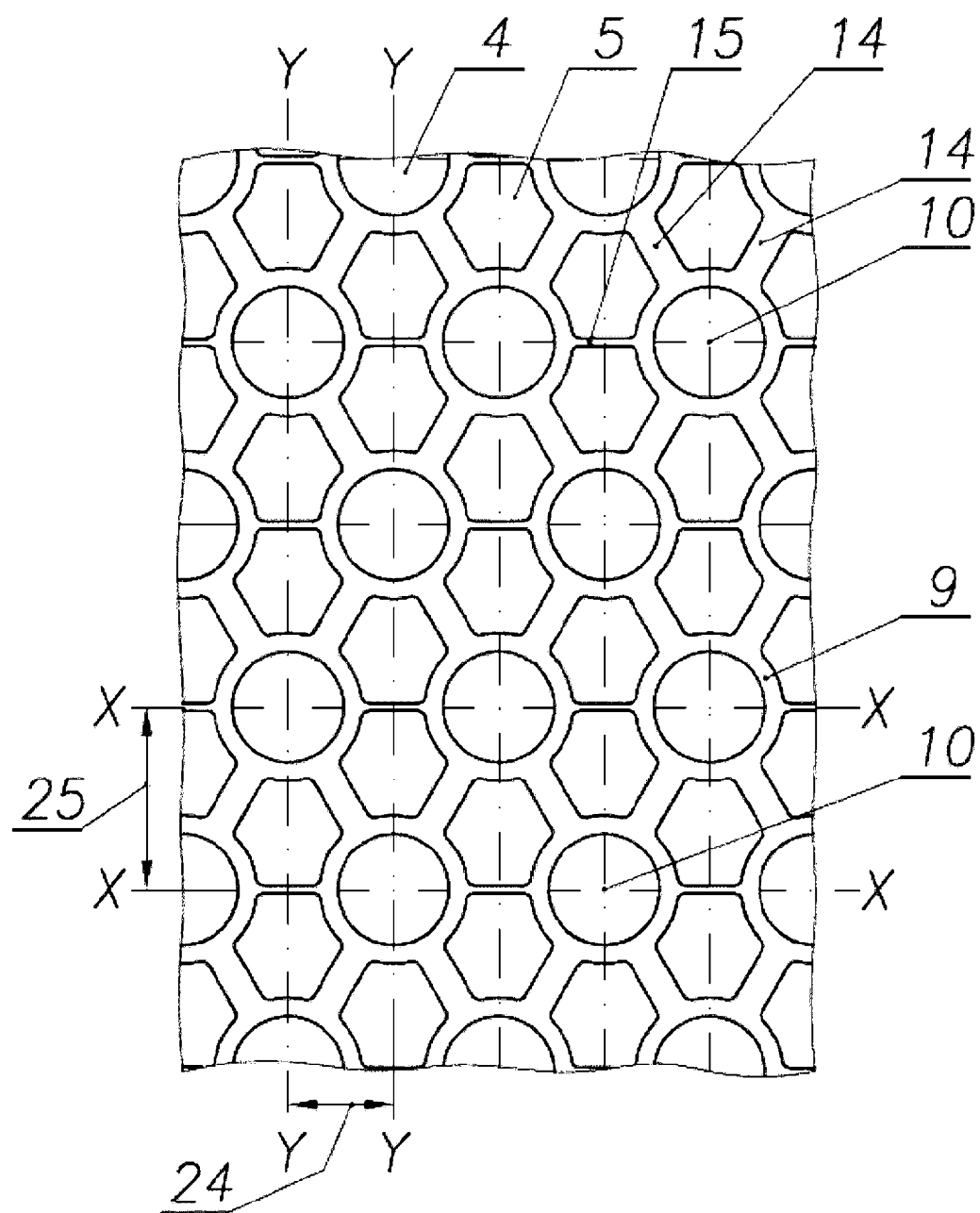


Fig.3

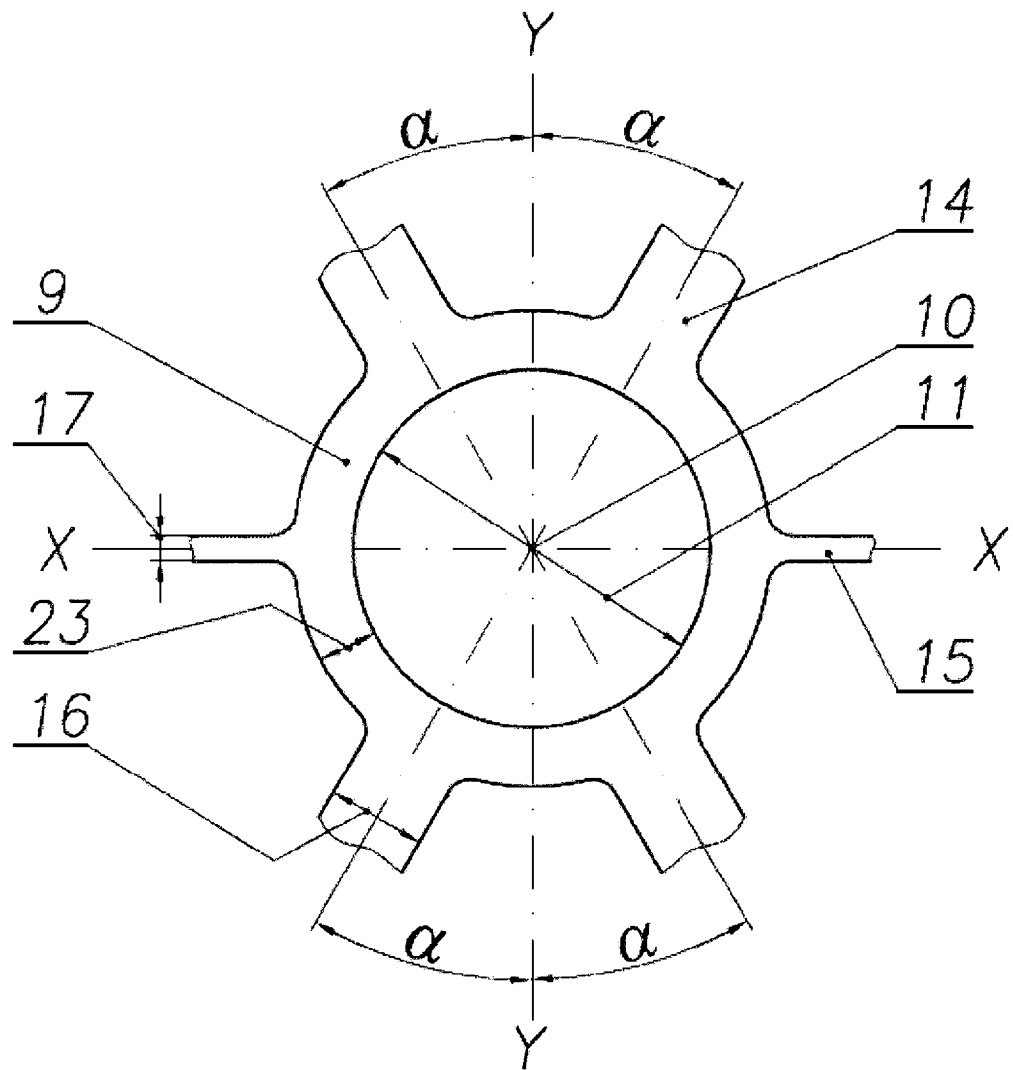
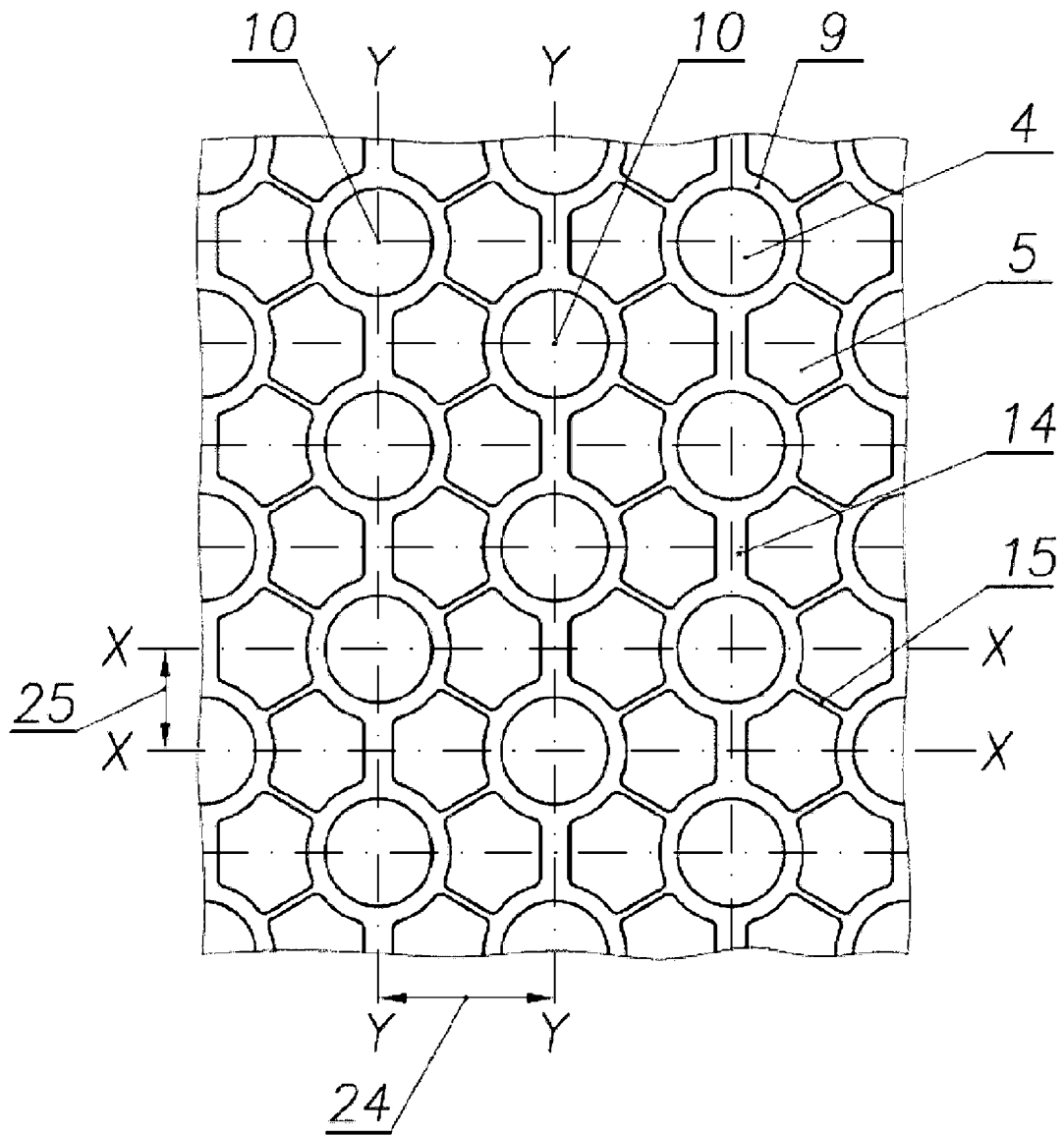


Fig. 3A

*Fig.4*

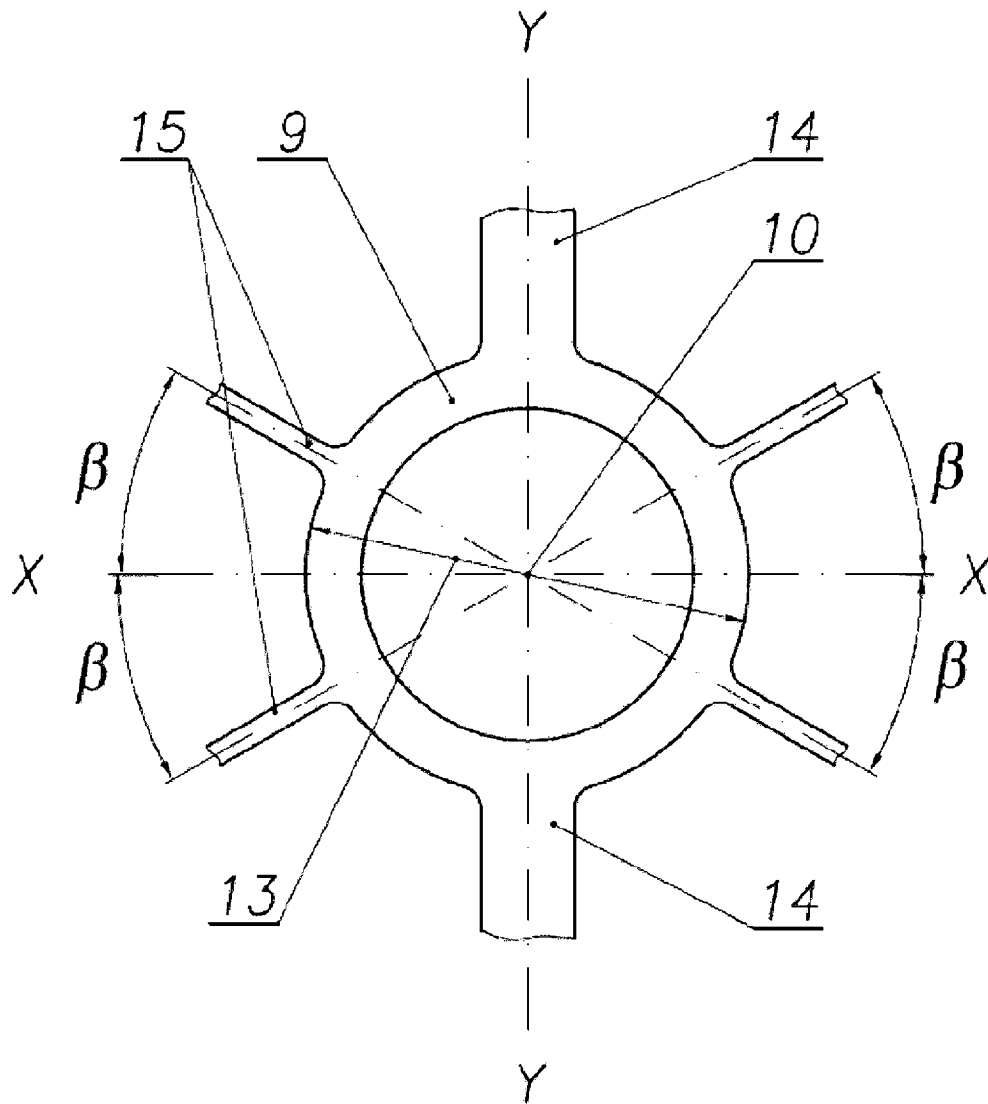


Fig. 4A

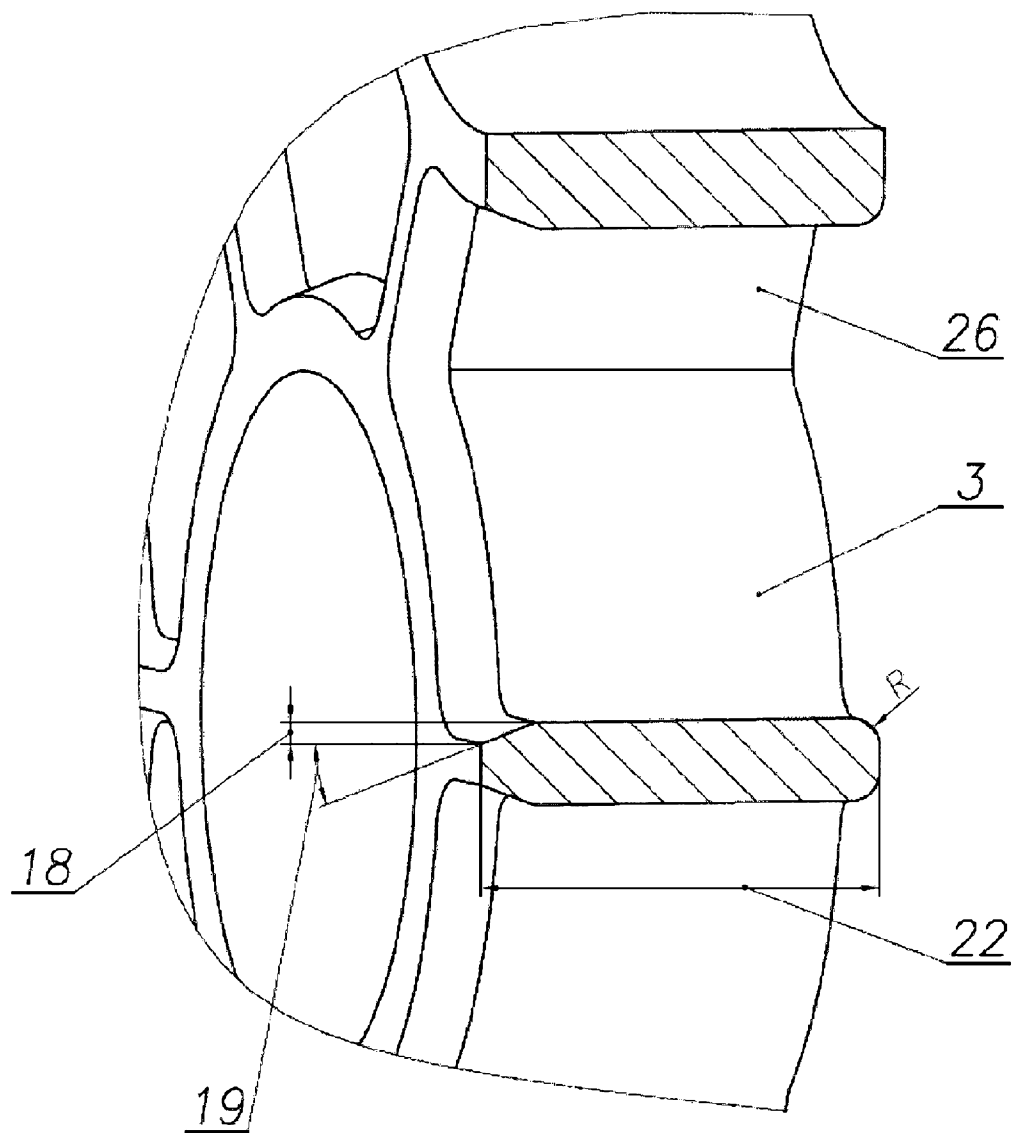


Fig. 5