

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000026741
Data Deposito	19/10/2021
Data Pubblicazione	19/04/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	01	D	25	12

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	01	D	25	16

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	02	C	7	06

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	02	C	7	18

Titolo

Circuito ad anello chiuso per fluido di raffreddamento di un cuscino magnetico per un sistema espantore-compressore

Nuovo Pignone Tecnologie S.r.l.
Firenze

TITOLO

Circuito ad anello chiuso per fluido di raffreddamento per cuscinetti

5 **magnetici di un sistema espantore-compressore**

DESCRIZIONE

CAMPO TECNICO

[0001] L'oggetto qui divulgato riguarda un sistema espantore-compressore
comprendente un circuito per fluido di raffreddamento per raffreddare uno o più
10 cuscinetti magnetici del sistema.

STATO DELL'ARTE

[0002] I cuscinetti magnetici sono ampiamente usati per controllare la posizione
di un rotore di una macchina su cui il cuscinetto magnetico è installato per via di
svariati vantaggi, tra cui attrito molto basso e prevedibile e la capacità di funzionare
15 senza lubrificazione e sottovuoto. Tipicamente, i cuscinetti magnetici sono usati in
macchine industriali quali compressori, turbine, pompe, motori e generatori.

[0003] In particolare, i cuscinetti magnetici possono essere cuscinetto magnetico
attivo (=AMB) o cuscinetto magnetico passivo (=PMB). Un cuscinetto magnetico
passivo usa magneti permanenti per generare la levitazione magnetica; tuttavia, i
20 cuscinetti magnetici passivi sono difficili da progettare. Di conseguenza, la maggior
parte dei cuscinetti magnetici sono cuscinetti magnetici attivi.

[0004] In generale, un cuscinetto magnetico attivo è un sistema elettro-magnetico
che ha uno statore con svariati elettro-magneti posizionati attorno a un rotore, che
è tipicamente accoppiato a un albero; gli elettro-magneti dello statore generano
25 forze di attrazione sul rotore al fine di mantenere la posizione del rotore rispetto

allo statore.

[0005] Le macchine rotanti, quali compressori o espantori, che usano un cuscinetto magnetico attivo sono ben note; per esempio, la domanda di brevetto internazionale WO2017050445A1 divulga un sistema di turbomacchina, in particolare uno stadio di turbina, fornita di un cuscinetto magnetico attivo e di un sistema di raffreddamento (in una configurazione ad anello aperto) al fine di dissipare calore nel cuscinetto magnetico. La cosiddetta "aria strumenti", che è un'alimentazione estremamente pulita di aria compressa priva di contaminanti (come umidità e particolati) e che è tipicamente facilmente ottenibile e disponibile negli impianti industriali (per esempio per l'azionamento di attrezzatura pneumatica o valvole), può essere usata come fluido di raffreddamento nel sistema di raffreddamento; l'aria strumenti entra nel sistema di raffreddamento a bassa temperatura, raffredda i cuscinetti magnetici e poi viene scaricata a temperatura superiore.

15 [0006] Tuttavia, è desiderabile consumare quanto meno fluido di raffreddamento possibile. Dalla domanda di brevetto europeo EP3450701A1 è noto un sistema di raffreddamento in una configurazione ad anello chiuso per raffreddare i cuscinetti magnetici attivi di un sistema di turbomacchina, in particolare un compressore o una pompa o una turbina o un turbo-espantore.

20 [0007] Va notato che i sistemi di raffreddamento noti includono un ventilatore esterno o una girante aggiuntiva installata sull'albero della macchina rotante (fuori dall'involucro della macchina) per far circolare il fluido di raffreddamento.

SOMMARIO

25 [0008] Sarebbe auspicabile avere un sistema espantore-compressore con almeno un cuscinetto magnetico e un circuito per fluido di raffreddamento per raffreddare l'almeno un cuscinetto magnetico avente un piccolo consumo di fluido di raffreddamento.

[0009] Secondo un aspetto, l'oggetto qui divulgato riguarda un sistema espantore-compressore avente un espantore, un compressore e un albero che accoppia meccanicamente l'espantore e il compressore e che è posizionato all'interno di un involucro. Il sistema espantore-compressore ha inoltre un cuscinetto magnetico predisposto per agire sull'albero, e un circuito per fluido di raffreddamento predisposto per raffreddare il cuscinetto magnetico attraverso la circolazione di un fluido di raffreddamento. Il circuito per fluido di raffreddamento comprende uno scambiatore di calore configurato per rimuovere calore dal fluido di raffreddamento. Il cuscinetto magnetico è posizionato all'interno dell'involucro, mentre lo scambiatore di calore è posizionato all'esterno dell'involucro. Il circuito per fluido di raffreddamento è predisposto in una configurazione ad anello chiuso.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

[0010] Le forme di realizzazione dell'invenzione divulgate saranno apprezzate in modo più completo e molti dei loro rispettivi vantaggi saranno ottenuti prontamente grazie a una migliore comprensione delle stesse facendo riferimento alla seguente descrizione dettagliata considerata congiuntamente ai disegni allegati, in cui:

Fig. 1 mostra una vista semplificata in sezione trasversale di una prima forma di realizzazione di un sistema espantore-compressore innovativo in cui è evidenziata una parte esterna di un circuito per fluido di raffreddamento,

Fig. 2 mostra una vista semplificata in sezione trasversale di una seconda forma di realizzazione di un sistema espantore-compressore innovativo in cui è evidenziata una parte esterna di un circuito per fluido di raffreddamento,

Fig. 3 mostra una vista semplificata in sezione trasversale di un sistema espantore-compressore innovativo in cui è parzialmente evidenziata una parte interna di un circuito per fluido di raffreddamento,

Fig. 4 mostra una vista dettagliata in sezione trasversale di una porzione della

parte interna del circuito per fluido di raffreddamento di Fig. 3,

Figg. 5 mostra una prima forma di realizzazione di un cuscinetto reggi-spinta magnetico del sistema espantore-compressore innovativo di Fig. 2,

Figg. 6 mostra una seconda forma di realizzazione di un cuscinetto reggi-spinta magnetico del sistema espantore-compressore innovativo di Fig. 2 e

Fig. 7 mostra una vista dettagliata in sezione trasversale di una forma di realizzazione di una tenuta a gas secco che può essere usata in un sistema espantore-compressore innovativo, per esempio il sistema di Fig. 1 o il sistema di Fig. 2.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DI FORME DI REALIZZAZIONE

10 [0011] L'oggetto qui divulgato riguarda un sistema espantore-compressore innovativo, cioè tipicamente un compressore e un espantore collegati da un albero comune, avente almeno un cuscinetto magnetico, cioè un dispositivo che consente una rotazione senza ostacoli grazie a magneti opposti che mantengono le parti rotanti leggermente distanziate dalle parti fisse. Il sistema espantore-compressore

15 innovativo è fornito di un circuito per fluido di raffreddamento, in cui fluisce un fluido di raffreddamento al fine di raffreddare il cuscinetto magnetico, che tende a riscaldarsi durante il lavoro. Il circuito per fluido di raffreddamento è disposto in una configurazione ad anello chiuso al fine di far ricircolare il fluido ed evitare il rilascio dello stesso nell'ambiente, riducendo perciò la quantità di fluido di

20 raffreddamento necessaria a raffreddare il cuscinetto magnetico. Il circuito per fluido di raffreddamento comprende una pompa o un ventilatore per far circolare il fluido di raffreddamento nel circuito per fluido di raffreddamento e uno scambiatore di calore per rimuovere calore dal fluido di raffreddamento, in modo che il fluido di raffreddamento entri in un involucro del sistema espantore-compressore,

25 raffreddi il cuscinetto magnetico, esca dall'involucro, venga raffreddato dallo scambiatore di calore e poi ritorni nell'involucro. Il circuito per fluido di raffreddamento comprende inoltre una valvola, per alimentare selettivamente il

fluido di raffreddamento al circuito per fluido di raffreddamento e a uno sfiato, per rimuovere i gas fuoriusciti nel circuito per fluido di raffreddamento.

[0012] Si farà ora riferimento in dettaglio a forme di realizzazione della divulgazione, un esempio delle quali è illustrato nei disegni. Ciascun esempio è
5 fornito a titolo esplicativo della divulgazione, non limitativo della divulgazione. Infatti, risulterà evidente ai tecnici del ramo che è possibile apportare varie modifiche e varianti alla presente divulgazione senza discostarsi dalla portata o dallo spirito della divulgazione. Nella seguente descrizione, numeri di riferimento simili vengono usati per l'illustrazione di figure delle forme di realizzazione per
10 indicare elementi che effettuano le stesse funzioni o funzioni simili. Inoltre, per chiarezza di illustrazione, alcuni riferimenti possono non essere ripetuti in tutte le figure.

[0013] Nelle Figure 1 e 2 sono mostrate schematicamente due forme di realizzazione di un sistema espantore-compressore innovativo. Il sistema
15 espantore-compressore innovativo è indicato generalmente con il numero di riferimento 1000 in Fig. 1 e 2000 in Fig. 2. Fig. 3 in cui una parte interna di un circuito per fluido di raffreddamento è evidenziata e si applica al circuito per fluido di raffreddamento delle forme di realizzazione sia della Fig. 1 sia della Fig. 2.

[0014] Tipicamente, con riferimento non limitativo a Fig. 1, Fig. 2 e Fig. 3, il
20 sistema espantore-compressore 1000, 2000 ha un espantore 700 configurato per espandere un gas di processo, un compressore 900 configurato per comprimere un gas di processo e un albero 800 che accoppia meccanicamente insieme l'espantore 700 e il compressore 900. L'espantore 700 è posizionato in corrispondenza di una prima estremità dell'albero 800 e il compressore 900 è posizionato in
25 corrispondenza di una seconda estremità dell'albero 800. Va notato che il gas di processo da espandere (gas di processo di espantore) e il gas di processo da comprimere (gas di processo di compressore) possono essere lo stesso gas di processo o diversi gas di processo.

[0015] Il sistema espantore-compressore 1000, 2000 ha inoltre un involucro 600 che ospita almeno l'albero 800. Si noti che l'espantore 700 e il compressore 900 non sono ospitati nell'involucro 600; in particolare, l'involucro 600 è configurato per isolare componenti meccanici e fluidi che sono all'interno dell'involucro 600
5 dall'ambiente circostante, per esempio dall'espantore 700 e dal compressore 900. In altre parole, il compressore 900 e l'espantore 700 sono posizionati all'esterno dell'involucro 600.

[0016] Considerando Fig. 1, Fig. 2 e Fig. 3, il sistema espantore-compressore 1000, 2000 comprende inoltre almeno un cuscinetto magnetico predisposto per
10 agire sull'albero 800; in queste figure sono mostrati tre cuscinetti magnetici 500, 510, 520. Secondo le forme di realizzazione preferite mostrate nelle figure, il sistema espantore-compressore è fornito di un cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500, che è predisposto sull'albero 800 preferibilmente sostanzialmente centralmente rispetto all'espantore 700 e al compressore 900; in particolare, il
15 cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500 è predisposto per agire sull'albero 800 in corrispondenza di una sezione centrale dell'albero 800. Il sistema espantore-compressore 1000, 2000 comprende inoltre un cuscinetto magnetico radiale preferibilmente due cuscinetti magnetici radiali 510 e 520 che sono predisposti sull'albero 800 preferibilmente in corrispondenza di una prima sezione terminale
20 dell'albero 800 e in corrispondenza di una seconda sezione terminale dell'albero 800. In particolare, una sezione terminale dell'albero 800 è una sezione in corrispondenza della prima estremità o della seconda estremità dell'albero 800.

[0017] Vantaggiosamente, i cuscinetti magnetici 500, 510, 520 hanno uno statore accoppiato in modo meccanico o solidale all'involucro 600 e/o un rotore accoppiato
25 in modo meccanico o solidale all'albero 800. Per esempio, come mostrato nella Fig. 4, gli statori 522-1 e 522-2 dei cuscinetti magnetici radiali 510 e 520 e gli statori 512-1 e 512-2 del cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500 sono accoppiati a una sezione 610 dell'involucro 600; in particolare, la sezione 610 dell'involucro

600 è una sezione interna dell'involucro 600. Vantaggiosamente, i cuscinetti magnetici radiali 510 e 520 hanno anche un anello rotante 524-1 e 524-2 accoppiato all'albero 800 del sistema espantore-compressore 1000, 2000 e/o il cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500 ha un disco di spinta (rotante) 1100, 2100
5 accoppiato all'albero 800 del sistema espantore-compressore 1000, 2000.

[0018] Secondo forme di realizzazione preferite (si veda per esempio Fig. 3), tra l'espantore 700 e il cuscinetto reggi-spinta magnetico 500 è predisposto un primo cuscinetto magnetico radiale 510 e un secondo cuscinetto magnetico radiale 520 è predisposto tra il compressore 900 e il cuscinetto reggi-spinta magnetico 500. In
10 altre parole, i cuscinetti magnetici 500, 510, 520 sono posizionati all'interno dell'involucro 600, tra la prima estremità e la seconda estremità dell'albero 800.

[0019] Vantaggiosamente, il sistema espantore-compressore 1000, 2000 comprende inoltre un cuscinetto a corpi rotanti; preferibilmente, il sistema espantore-compressore 1000, 2000 comprende due cuscinetti a corpi rotanti 410 e
15 420, un primo cuscinetto a corpi rotanti 410 posizionato tra l'espantore 700 e il primo cuscinetto magnetico radiale 510 e un secondo cuscinetto a corpi rotanti 420 posizionato tra il compressore 900 e il secondo cuscinetto magnetico radiale 520. Preferibilmente, i corpi rotanti sono fatti in materiale ceramico. Si noti che un
20 cuscinetti magnetici superi la loro capacità o nel caso di guasto del sistema di cuscinetto magnetico, mentre non viene usato durante un normale funzionamento del sistema espantore-compressore 1000, 2000. Infatti, la vita di questi cuscinetti a corpi rotanti è molto limitata nel tempo in quanto i corpi rotanti di ceramica possono rapidamente usurarsi e ridursi di dimensioni. In altre parole, i cuscinetti a corpi
25 rotanti fungono tipicamente da cuscinetti di sicurezza del sistema.

[0020] Vantaggiosamente, come risulterà evidente da quanto segue, il sistema espantore-compressore 1000, 2000 comprende inoltre almeno una tenuta a gas secco predisposta vicino all'involucro in corrispondenza della prima estremità

dell'albero e/o in corrispondenza della seconda estremità dell'albero; preferibilmente, il sistema espantore-compressore 1000, 2000 ha due tenute a gas secco 310 e 320, la prima tenuta a gas secco 310 è predisposta vicino all'involucro 600 in corrispondenza della prima estremità dell'albero 800, tra l'espantore 700 e il
5 cuscinetto magnetico radiale 510, più preferibilmente tra l'espantore 700 e il primo cuscinetto a corpi rotanti 410 e la seconda tenuta a gas secco 320 è predisposta vicino all'involucro 600 in corrispondenza della seconda estremità dell'albero 800, tra il compressore 900 e il cuscinetto magnetico radiale 520, più preferibilmente tra
10 il compressore 900 e il secondo cuscinetto a corpi rotanti 420. Vantaggiosamente, le tenute a gas secco 310 e 320 sono configurate per fornire una sigillatura all'interno dell'involucro 600 su un primo lato attraverso un flusso di un gas di processo, in particolare un gas di processo di espantore o un gas di processo di compressore, e su un secondo lato attraverso un flusso di un gas di tenuta, in particolare gas azoto. In particolare, come verrà spiegato in seguito, flussi di gas di
15 processo e flussi di gas di tenuta da e verso il sigillo a gas secco 310, 320.

[0021] Con riferimento non limitativo a Fig. 1, Fig. 2 e Fig. 3, il sistema espantore-compressore 1000, 2000 comprende anche un circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 predisposto per raffreddare l'almeno un cuscinetto magnetico, preferibilmente tutti i cuscinetti magnetici 500, 510, 520. Il circuito per
20 fluido di raffreddamento 1110, 2110 comprende una pompa o un ventilatore configurato per far circolare un fluido di raffreddamento (per esempio l'elemento 112 della prima forma di realizzazione nella Fig. 1 e l'elemento 2100 della seconda forma di realizzazione in Fig. 2 ha questa funzione). Il circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 comprende anche uno scambiatore di calore 111, che è
25 posizionato all'esterno dell'involucro 600, configurato per rimuovere calore dal fluido di raffreddamento del circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110. Il circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 è predisposto in una configurazione ad anello chiuso in modo tale che il fluido di raffreddamento entri nell'involucro 600, raffreddi almeno uno dei cuscinetti magnetici 500, 510, 520
30 (eventualmente altri componenti), fuoriesca dall'involucro 600, venga raffreddato

dallo scambiatore di calore 111 e ritorni all'involucro 600.

- [0022] Secondo la prima forma di realizzazione mostrata in Fig. 1, la pompa o il ventilatore 112 è configurato per fornire un effetto di pompaggio sul fluido di raffreddamento; in altre parole, il ventilatore 112 è configurato per pompare il fluido di raffreddamento nel circuito per fluido di raffreddamento 1110; vantaggiosamente, il ventilatore 112 è posizionato all'esterno dell'involucro 600; più vantaggiosamente, il ventilatore 112 è predisposto a valle dello scambiatore di calore 111; ancor più vantaggiosamente, il ventilatore 112 è alimentato da un motore dedicato, in particolare un motore elettrico.
- 10 [0023] Secondo la seconda forma di realizzazione mostrata in Fig. 2 il cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500 comprende un disco di spinta 2100 avente una pluralità di scanalature almeno su un primo lato 2001 del disco di spinta 2100, preferibilmente su entrambi i lati 2001, 2002 del disco di spinta 2100 e/o una pluralità di pale in corrispondenza di una periferia esterna del disco di spinta 2100.
- 15 Le scanalature e/o le pale sono configurate per fornire un effetto pompante sul fluido di raffreddamento; in altre parole, le scanalature e/o le pale sono configurate per far circolare il fluido di raffreddamento nel circuito per fluido di raffreddamento 2110 in modo che il cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale integri la pompa o il ventilatore internamente all'involucro 600.
- 20 [0024] Secondo altre forme di realizzazione non mostrate nelle figure, può esserci sia una pompa o ventilatore interno sia una pompa o ventilatore esterno.
- [0025] In Fig. 5A, Fig. 5B, Fig. 6A e Fig. 6B sono mostrate schematicamente due forme di realizzazione del disco di spinta 2100 (si veda Fig. 2) del sistema espantore-compressore 2000 innovativo secondo la presente divulgazione.
- 25 [0026] Le Figure 5A e 5B mostrano parzialmente, per esempio e senza limitazione, una prima forma di realizzazione di un disco di spinta, marcato come 5100, comprendente una pluralità di scanalature configurate per pompare il fluido.

Fig. 5A è una vista schematica frontale del disco di spinta 5100 e Fig. 5B è una vista schematica in sezione trasversale del disco di spinta 5100 della Fig. 5A fatta lungo la linea tratteggiata D.

[0027] Le Figure 6A e 6B mostrano parzialmente, per esempio e senza limitazione, una seconda forma di realizzazione di un disco di spinta, marcato come 6100, comprendente una pluralità di scanalature configurate per pompare il fluido. Fig. 6A è una vista schematica frontale del disco di spinta 6100 e Fig. 6B è una vista schematica in sezione trasversale del disco di spinta 6100 della Fig. 6A fatta lungo la linea tratteggiata D.

10 [0028] Secondo la prima forma di realizzazione, almeno il primo lato 5001 del disco di spinta 5100 comprende una pluralità di scanalature 5151-1 configurate per pompare il fluido a seguito della rotazione del disco di spinta 5100 del cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500. In una forma di realizzazione preferita (si veda Fig. 5B), il disco di spinta 5100 comprende una pluralità di scanalature 5151-1 sul
15 primo lato 5001 e una pluralità di scanalature 5151-2 sul secondo lato 5002, le scanalature 5151-1 e 5151-2 essendo configurate per pompare il fluido a seguito della rotazione del disco di spinta 5100 del cuscinetto reggi-spinta magnetico 500.

[0029] Vantaggiosamente, come mostrato in Fig. 5A e Fig. 5B, le scanalature 5151 si estendono da un'area attorno alla periferia interna 5112 del disco di spinta
20 5100 a un'area attorno alla periferia esterna 5114 del disco di spinta 5100; in particolare le scanalature 5151 si estendono continuamente da un'area attorno alla periferia interna 5112 del disco di spinta 5100 a un'area attorno alla periferia esterna 5114 del disco di spinta 5100.

[0030] Vantaggiosamente, le scanalature 5151 sono a forma di curva; più
25 vantaggiosamente, le scanalature 5151 sono configurate per definire una direzione preferenziale che può essere seguita dal fluido di raffreddamento. Si noti che la larghezza e/o la profondità delle scanalature 5151 possono non essere costanti: per

esempio, la larghezza in corrispondenza dell'area attorno alla periferia interna 5112 può essere maggiore della larghezza in corrispondenza dell'area attorno alla periferia esterna 5114. Vantaggiosamente, se il disco di spinta 5100 ha scanalature 5151 sia sul primo lato 5001 sia sul secondo lato 5002, la geometria delle
5 scanalature 5151 è preferibilmente uguale sia sul primo lato 5001 sia sul secondo lato 5002 del disco di spinta 5100.

[0031] Vantaggiosamente, il fluido di raffreddamento entra nel cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500 al fine di raffreddarlo; in particolare, il fluido di raffreddamento fluisce sul disco di spinta 5100 dall'area attorno alla periferia
10 interna 5112 all'area attorno alla periferia esterna 5114. Più vantaggiosamente, la maggior parte del fluido che fluisce sul disco di spinta 5100 è configurata per fluire nella direzione preferenziale definita dalle scanalature 5151; in altre parole, il fluido è guidato per fluire lungo le scanalature 5151 in modo che, con la rotazione del disco di spinta 5100 dovuta alla rotazione dell'albero 800, le scanalature 5151 siano
15 configurate per pompare il fluido di raffreddamento. Si noti che solo il fluido di raffreddamento che fluisce lungo le scanalature 5151 è sottoposto all'effetto di pompaggio del disco di spinta 5100, mentre il fluido di raffreddamento che fluisce all'esterno delle scanalature 5151 non è sottoposto ad alcun effetto di pompaggio.

[0032] Secondo la seconda forma di realizzazione mostrata in Fig. 6, il disco di
20 spinta 6100 comprende una pluralità di pale 6252 in corrispondenza della periferia esterna 6214 configurata per pompare il fluido a seguito della rotazione del disco di spinta 6100 del cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500. Le pale 6252 possono essere ottenute direttamente dal disco di spinta 6100, mediante una lavorazione del disco, o possono essere montate sul disco di spinta 6200 mediante
25 saldatura o giunzione. Si noti che se le pale 6252 sono montate sul disco di spinta 6100, esse possono essere realizzate in materiale diverso da quello del disco di spinta 6100; ad esempio, le pale 6252 possono essere fatte di materiali compositi. Si noti anche che, se le pale 6252 sono aggiunte mediante giunzione, si può usare

un giunto noto. Preferibilmente, le pale 6252 sono montate sul disco di spinta 6100 mediante accoppiamento a coda di rondine.

[0033] Vantaggiosamente, le pale 6252 sono più piccole del disco di spinta 6100; in particolare, un'altezza delle pale 6252 potrebbe essere nell'intervallo del 5-15%
5 del diametro del disco di spinta 6100 (misurato in corrispondenza della periferia esterna 6214). Vantaggiosamente, una larghezza delle pale 6252 è inferiore o uguale allo spessore del disco di spinta 6100; preferibilmente, la larghezza delle pale 6252 è il 70-100% dello spessore del disco di spinta 6100.

[0034] Va notato che le pale 6252 possono avere un profilo di pala con due
10 concavità, per esempio per rendere l'effetto di pompaggio sul fluido più efficace e/o contribuire a raccogliere fluido in corrispondenza dell'uscita di disco di spinta; in particolare, le pale 6252 possono avere una prima concavità orientata verso il primo lato 6001 e una seconda concavità orientata verso il secondo lato 6002; preferibilmente, la prima e la seconda concavità delle pale 6252 formano una cresta
15 centrale del profilo di pala.

[0035] Come spiegato in precedenza, con riferimento non limitativo a Fig. 1, Fig. 2 e Fig. 3, il sistema espantore-compressore 1000, 2000 ha un circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 in cui fluisce un fluido di raffreddamento. In particolare, il circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 è predisposto in
20 modo tale che il fluido di raffreddamento entri nell'involucro 600 parzialmente in corrispondenza di un primo lato e parzialmente in corrispondenza di un secondo lato, per esempio attraverso due flange che collegano fluidamente una porzione del circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 all'esterno dell'involucro 600 con una prima camera interna laterale 621 e una seconda camera interna laterale 622
25 dell'involucro 600. Vantaggiosamente, la prima camera interna laterale 621 è posizionata in corrispondenza di una prima estremità dell'involucro, dove è collocato l'espantore 700, in particolare tra la tenuta a gas secco 310 e il cuscinetto a corpi rotanti 410 e la seconda camera interna laterale 622 è posizionata in

corrispondenza di una seconda estremità dell'involucro, dove è collocato il compressore 900, in particolare tra la tenuta a gas secco 320 e il cuscinetto a corpi rotanti 420.

[0036] Secondo le forme di realizzazione preferite mostrate per esempio in Fig. 1 e Fig. 2 (si veda anche Fig. 4), il circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 è configurato per raffreddare i due cuscinetti magnetici radiali 510, 520 in parallelo. In particolare, il fluido di raffreddamento entra nell'involucro 600 e raffredda i cuscinetti magnetici radiali 510, 520 in parallelo, in particolare fluendo nello spazio vuoto tra lo statore 522 e il rotore 524 dei cuscinetti magnetici 510, 520. Per esempio, il fluido di raffreddamento fluisce dalla prima e dalla seconda camera interna laterale 621 e 622 ai cuscinetti radiali 510 e 520, passando dapprima attraverso i cuscinetti a corpi rotanti 410 e 420 e successivamente attraverso uno spazio vuoto tra l'albero 800 e la sezione 610 dell'involucro 600 (includente i cuscinetti radiali 510 e 520).

[0037] In particolare, una prima parte del fluido di raffreddamento entra nella camera interna laterale 621 e una seconda parte del fluido di raffreddamento entra nella seconda camera interna laterale 622; vantaggiosamente, la prima parte e la seconda parte del fluido di raffreddamento hanno sostanzialmente la stessa portata; più vantaggiosamente, le portate della prima parte e della seconda parte del fluido di raffreddamento sono sostanzialmente uguali alla metà della portata totale circolante nel fluido di raffreddamento.

[0038] Una volta che il fluido di raffreddamento è passato attraverso lo spazio vuoto e ha raffreddato i cuscinetti magnetici radiali 510, 520, esso raggiunge il cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500. In particolare, il cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500 riceve la prima parte del fluido di raffreddamento da un primo ingresso 101-1 in corrispondenza di un primo lato 1001, 2001 del disco di spinta 1100, 2100 e la seconda parte del fluido di raffreddamento da un secondo ingresso 101-2 in corrispondenza di un secondo lato 1002, 2002 del disco di spinta

1100, 2100, in modo che la prima parte del fluido di raffreddamento sia configurata per raffreddare il primo lato 1001, 2001 del disco di spinta 1100, 2100, in particolare una prima metà del disco di spinta 1100, 2100, e la seconda parte del fluido di raffreddamento sia predisposta per raffreddare il secondo lato 1002, 2002 del disco di spinta 1100, 2100, in particolare una seconda metà del disco di spinta 1100, 2100. Vantaggiosamente, il cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500 è predisposto in modo che il fluido di raffreddamento entri nel cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500 attraverso il primo e il secondo ingresso 101-1 e 101-2, passi attraverso lo spazio vuoto tra la sezione 610 dell'involucro 600 (inclusente lo statore 512) e il disco di spinta 1100, 2100 ed esca dal cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500 attraverso l'uscita 102.

[0039] Secondo le forme di realizzazione preferite mostrate per esempio in Fig. 1 e Fig. 2, il circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 è configurato per raffreddare almeno due cuscinetti magnetici in serie (per esempio cuscinetti 500 e 510 nonché cuscinetti 500 e 520 - si noti che i cuscinetti 510 e 520 sono anche raffreddati in parallelo). Per esempio, con riferimento non limitativo alla Fig. 3, il circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 è configurato per raffreddare prima il cuscinetto magnetico radiale 510 e poi il cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500. Vantaggiosamente, il circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 è anche configurato per raffreddare prima il cuscinetto magnetico radiale 520 e poi il cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500.

[0040] Considerando Fig. 3 e Fig. 4, il fluido di raffreddamento del circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110, dopo aver raffreddato il cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 1100, 2100 esce dall'involucro 600 interamente in una regione centrale. In particolare, l'involucro 600 comprende una camera interna centrale 620 e il circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 è predisposto in modo che il fluido di raffreddamento esca dal cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500, in particolare in corrispondenza dell'uscita 102, fluisca attraverso la

camera interna centrale 620 ed esca dalla camera interna centrale 620, in particolare attraverso una flangia che collega fluidamente la porzione del circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 all'esterno dell'involucro 600 con la camera interna centrale. 620. Preferibilmente, il fluido di raffreddamento esce dall'uscita 102 del
5 cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale 500 e/o dall'involucro 600 in direzione radiale.

[0041] Con riferimento non limitativo a Fig. 1 e Fig. 2, il circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 comprende inoltre una valvola 114 che è accoppiata fluidamente a un ingresso di fluido di raffreddamento, ad esempio da uno
10 stoccaggio di fluido di raffreddamento; in particolare, la valvola 114 è configurata per alimentare selettivamente il fluido di raffreddamento dall'ingresso di fluido di raffreddamento al circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110: il fluido di raffreddamento entra nel circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 quando la valvola 114 è aperta, mentre l'ingresso di fluido di raffreddamento e il circuito
15 per fluido di raffreddamento 1110, 2110 sono disaccoppiati quando la valvola 114 è chiusa (ossia il fluido di raffreddamento non può entrare nel circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 quando la valvola 114 è chiusa). Vantaggiosamente, la valvola 114 è per la maggior parte del tempo chiusa.

[0042] Vantaggiosamente, il fluido di raffreddamento è un gas di processo, in
20 particolare gas di processo di espantore o gas di processo di compressore; in alternativa, il fluido di raffreddamento è aria strumentale o azoto o altro gas inerte. Si noti anche che la temperatura del fluido di raffreddamento che entra nell'involucro 600 e del fluido di raffreddamento che esce dall'involucro 600 è diversa; in particolare, la temperatura del fluido di raffreddamento che entra
25 nell'involucro 600 è inferiore alla temperatura del fluido di raffreddamento in uscita dall'involucro 600; per esempio, la differenza tra la temperatura del fluido di raffreddamento che entra nell'involucro 600 ed esce dall'involucro 600 può essere nell'intervallo di 20 °C-50 °C.

[0043] Come già spiegato, il sistema espantore-compressore 1000, 2000 può comprendere almeno una tenuta a gas secco (=DGS), preferibilmente due tenute a gas secco 310 e 320 (si veda per esempio Fig. 7). Tipicamente, le tenute a gas secco sono applicate a macchine rotanti per impedire eventuali perdite di gas, in particolare gas di processo, dall'espantore 700 o dal compressore 900 verso i cuscinetti 410, 420 collocati in corrispondenza delle camere interne laterali. In particolare, le tenute a gas secco 310 e 320 sono configurate per evitare perdite di perdita di gas di processo al circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 e all'albero 800 (si vedano per esempio Fig. 1 e Fig. 2).

10 [0044] Considerando Fig. 7, la tenuta a gas secco 310 e/o 320 può essere suddivisa concettualmente in tre sezioni, ciascuna sezione comprendendo un anello stazionario 306 e un anello rotante 305, dove l'anello rotante 305 è accoppiato meccanicamente all'albero 800 del sistema espantore-compressore 1000, 2000 e l'anello stazionario 306 è accoppiato all'involucro 600. Vantaggiosamente, una
15 prima sezione 301 è posizionata in corrispondenza dell'espantore 700 o del compressore 900, una terza sezione 303 è posizionata in corrispondenza della prima camera interna laterale 621 o in corrispondenza della seconda camera interna laterale 622 e una seconda sezione 302 è posizionata tra la prima sezione 301 e la terza sezione 303. Vantaggiosamente, la prima sezione 301 ha un ingresso 301-1 in
20 cui un gas di processo, in particolare gas di processo di espantore o gas di processo di compressore, viene iniettato in modo tale da generare una forza dinamica fluida che fa sì che l'anello stazionario 306 si separi dall'anello rotante 305. Preferibilmente, l'involucro 600 ha un condotto dedicato per il passaggio del gas di processo che è collegato all'ingresso 301-1. Vantaggiosamente, la seconda sezione
25 302 ha un ingresso 302-1 in cui viene iniettata una prima iniezione di gas di tenuta, preferibilmente azoto. Preferibilmente, l'involucro 600 ha un condotto dedicato per il passaggio del gas di tenuta che è collegato all'ingresso 302-1. Come mostrato nella Fig. 7 (si vedano le frecce nere della seconda sezione 302), parte del gas di tenuta della seconda sezione 302 può fuoriuscire verso la prima sezione 301 e

miscelarsi con il gas di processo. Vantaggiosamente, la prima sezione 301 ha anche un'uscita 301-2 attraverso la quale può uscire la miscelazione di gas di processo e gas di tenuta. Vantaggiosamente, la terza sezione 303 ha un ingresso 303-1 in cui viene iniettata una seconda iniezione di gas di tenuta, preferibilmente azoto.

5 Preferibilmente, l'involucro 600 ha un condotto dedicato per il passaggio del gas di tenuta che è collegato all'ingresso 303-1. Come rappresentato schematicamente e parzialmente nella Fig. 7 (si vedano le frecce nere della terza sezione 303), parte del gas di tenuta della terza sezione 303 può fuoriuscire verso il circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110. Si noti anche che parte del gas di tenuta della seconda

10 sezione 302 può fuoriuscire verso la terza sezione 303. Vantaggiosamente, la terza sezione 303 ha anche un'uscita 303-2 attraverso la quale può fuoriuscire il gas di tenuta. Si noti che sulla destra della Fig. 7 vi è una porzione della tenuta a gas secco che è stata omessa; questa porzione può includere componenti che non sono rilevanti dell'oggetto qui divulgato o possono essere simili alla porzione sulla

15 sinistra della Fig. 7.

[0045] In altre parole, la tenuta a gas secco 310, 320 impedisce una perdita di gas di processo all'interno dell'involucro 600, in particolare nel circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110. Tuttavia, una piccola parte del gas di tenuta può fuoriuscire nel circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110, per esempio 1

20 NI/min.

[0046] Al fine di evitare una pressurizzazione del circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110, il sistema espantore-compressore 1000, 2000 comprende inoltre uno sfiato 113, in particolare un orifizio calibrato, che è configurato per scaricare fluido dal circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110, in particolare fluido in eccesso proveniente dalla tenuta a gas secco 310, 320.

25 In altre parole, il fluido in eccesso che circola nel circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110 è una perdita di gas di tenuta dalla tenuta a gas secco 310, 320 verso il circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110.

Vantaggiosamente, l'orifizio è calibrato in modo che la quantità di fluido scaricata dallo sfiato 113 sia uguale alla quantità di fluido in eccesso che è fuoriuscita nel circuito per fluido di raffreddamento 1110, 2110.

RIVENDICAZIONI

1. Un sistema espantore-compressore (1000, 2000) comprendente:
- un espantore (700);
 - un compressore (900);
 - 5 - un albero (800) che accoppia meccanicamente l'espantore (700) e il compressore (900);
 - un involucro (600) che ospita almeno l'albero (800);
 - almeno un cuscinetto magnetico (500, 510, 520) che agisce sull'albero (800);
 - un circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) per raffreddare l'almeno un
 - 10 cuscinetto magnetico (500, 510, 520) mediante circolazione di un fluido di raffreddamento, comprendente uno scambiatore di calore (111) configurato per rimuovere calore dal fluido di raffreddamento;
- in cui l'almeno un cuscinetto magnetico (500, 510, 520) è posizionato all'interno dell'involucro (600);
- 15 in cui lo scambiatore di calore (111) è posizionato all'esterno dell'involucro (600);
- in cui il circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) è disposto in una configurazione ad anello chiuso.
2. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 1,
- in cui l'espantore (700) è posizionato preferibilmente in corrispondenza di una
- 20 prima estremità dell'albero (800) e il compressore (900) è posizionato preferibilmente in corrispondenza di una seconda estremità dell'albero (800);
- in cui il circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) comprende una pompa o un ventilatore (112, 2100) configurata per far circolare il fluido di raffreddamento;
- in cui l'almeno un cuscinetto magnetico (500, 510, 520) è posizionato
- 25 preferibilmente tra l'espantore (700) e il compressore (900),
- in cui il circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) è configurato in modo tale che il fluido di raffreddamento entri nell'involucro (600), raffreddi l'almeno un cuscinetto magnetico (500, 510, 520), esca dall'involucro (600), sia raffreddato dallo scambiatore di calore (111) e ritorni all'involucro (600).
- 30 3. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 1, in cui

l'almeno un cuscinetto magnetico è un cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale (500) predisposto sull'albero (800) preferibilmente sostanzialmente centralmente rispetto all'espantore (700) e al compressore (900).

4. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 1, in cui
5 il cuscinetto magnetico è un cuscinetto magnetico radiale (510, 520) predisposto sull'albero (800) preferibilmente in corrispondenza di una prima sezione terminale dell'albero (800) e/o in corrispondenza di una seconda sezione terminale dell'albero (800).

5. Il sistema espantore-compressore (2000) della rivendicazione 3, in cui il
10 cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale (500) comprende un disco di spinta (5100, 6100) avente:

- una pluralità di scanalature (5151) almeno su un primo lato (5001) del disco di spinta (5100), preferibilmente su entrambi i lati (5001, 5002) del disco di spinta (5100),

15 e/o

- una pluralità di pale (6252) in corrispondenza di una periferia esterna (5114) del disco di spinta (6100),

in cui le scanalature (5151) e/o le pale (6252) sono configurate per far circolare il fluido di raffreddamento nel circuito per fluido di raffreddamento (2110) in tal
20 modo il cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale integra la pompa o ventilatore internamente all'involucro (600).

6. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 1, in cui il circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) è configurato per raffreddare almeno due cuscinetti magnetici (500, 510, 520) in serie.

25 7. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 1, in cui il circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) è configurato per raffreddare almeno due cuscinetti magnetici (500, 510, 520) in parallelo.

8. Il sistema espantore-compressore (1000) della rivendicazione 2, in cui la pompa o ventilatore (112) è posizionata all'esterno dell'involucro (600).

30 9. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 1,

in cui il circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) comprende inoltre una valvola (114),

in cui la valvola (114) è accoppiata fluidamente a un ingresso di fluido di raffreddamento,

- 5 in cui la valvola (114) è configurata per alimentare selettivamente il fluido di raffreddamento dall'ingresso di fluido di raffreddamento al circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110).

10. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 1, in cui il sistema comprende:

- 10 - un cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale (500) posizionato all'interno dell'involucro (600) predisposto per agire sull'albero (800) in corrispondenza di una sezione centrale dell'albero (800),
- un primo cuscinetto magnetico radiale (510) posizionato all'interno dell'involucro (600) predisposto per agire sull'albero (800) in
- 15 corrispondenza di una prima sezione terminale dell'albero (800),
- un secondo cuscinetto magnetico radiale (520) posizionato all'interno dell'involucro (600) predisposto per agire sull'albero (800) in corrispondenza di una seconda sezione terminale dell'albero (800);

in cui il circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) è predisposto in modo

20 tale che il fluido di raffreddamento:

- entri nell'involucro (600) parzialmente in corrispondenza di un primo lato e parzialmente in corrispondenza di un secondo lato,
- raffreddi il primo cuscinetto magnetico radiale (510) e il secondo cuscinetto magnetico radiale (520),
- 25 - raffreddi il cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale (500) e
- esca dall'involucro (600) interamente in corrispondenza di una regione centrale.

11. Il sistema espantore-compressore della rivendicazione 10,

in cui l'involucro (600) comprende una camera interna centrale (620),

in cui il circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) è predisposto in modo

30 che il fluido di raffreddamento:

- esca dal cuscinetto reggi-spinta magnetico assiale (500),
- fluisca attraverso la camera interna centrale (620) e
- esca dalla camera interna centrale (620).

12. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 10,
5 in cui l'involucro (600) comprende una prima camera interna laterale (621) e una seconda camera interna laterale (622),
in cui il circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) è predisposto in modo che una prima parte del fluido di raffreddamento fluisca attraverso la prima camera interna laterale (621) prima di raffreddare il primo cuscinetto magnetico radiale
10 (510) e
in cui il circuito per fluido di raffreddamento è predisposto in modo che una seconda parte del fluido di raffreddamento fluisca attraverso la seconda camera interna laterale (622) prima di raffreddare il secondo cuscinetto magnetico radiale (520).
13. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 1,
15 in cui il sistema comprende un cuscinetto a corpi rotanti (410, 420), i corpi rotanti essendo preferibilmente di materiale ceramico,
in cui il circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) è predisposto in modo che il fluido di raffreddamento fluisca attraverso il cuscinetto a corpi rotanti (410, 420).
- 20 14. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 1, comprendente inoltre almeno una tenuta a gas secco (310, 320) predisposta vicino all'involucro (600) in corrispondenza di una prima estremità dell'albero (800) e/o in corrispondenza di una seconda estremità dell'albero (800),
in cui la tenuta a gas secco (310, 320) è configurata per evitare una perdita di fluido
25 nel circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) in corrispondenza dell'albero (800),
in cui l'almeno una tenuta a gas secco (310, 320) comprende un anello stazionario e un anello rotante,
in cui l'anello stazionario è accoppiato meccanicamente all'involucro (600),
30 in cui l'anello rotante è accoppiato meccanicamente all'albero (800).

15. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 14, in cui la tenuta a gas secco (310, 320) è configurata per fornire una sigillatura su un primo lato attraverso un flusso di un gas di processo e su un secondo lato attraverso un flusso di un gas di tenuta, in particolare gas azoto.
- 5 16. Il sistema espantore-compressore (1000, 2000) della rivendicazione 14, in cui il circuito per fluido di raffreddamento (1110, 2110) comprende inoltre uno sfiato (113), in particolare un orifizio calibrato, in cui lo sfiato (113) è configurato per scaricare fluido dal circuito per fluido di raffreddamento, in cui un fluido in eccesso nel circuito per fluido di raffreddamento proviene dall'almeno una tenuta a
- 10 gas secco (310, 320).

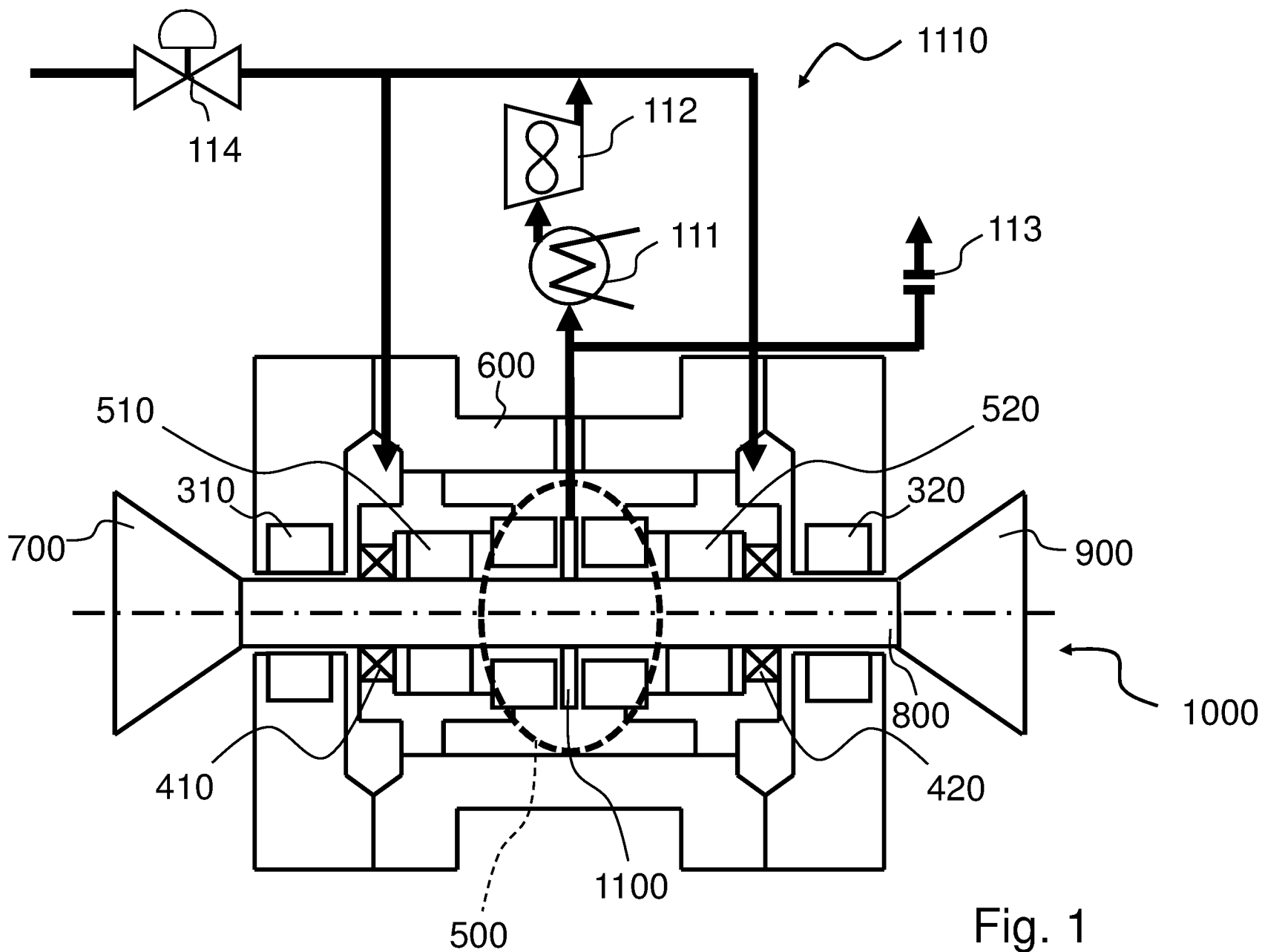


Fig. 1

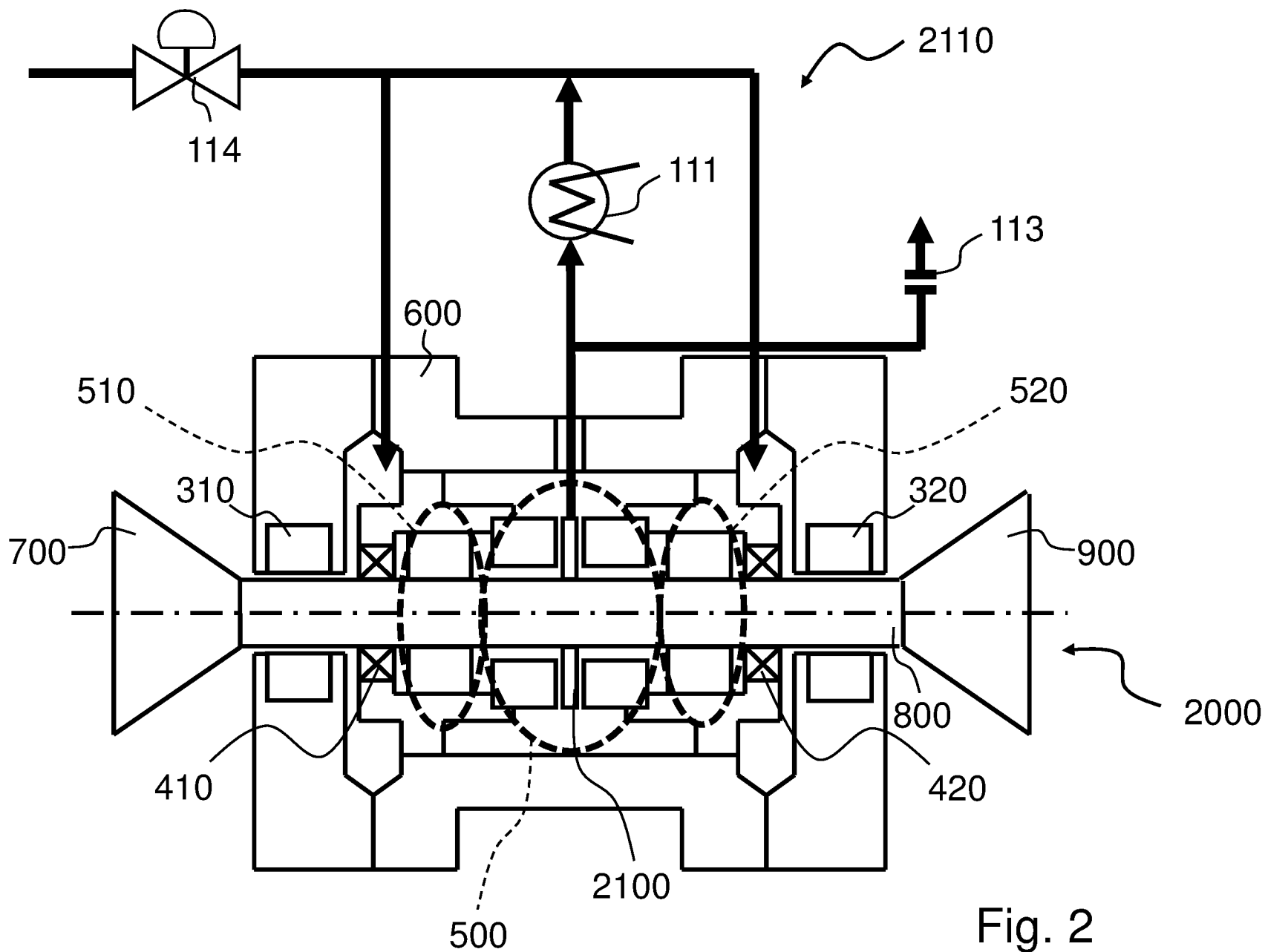
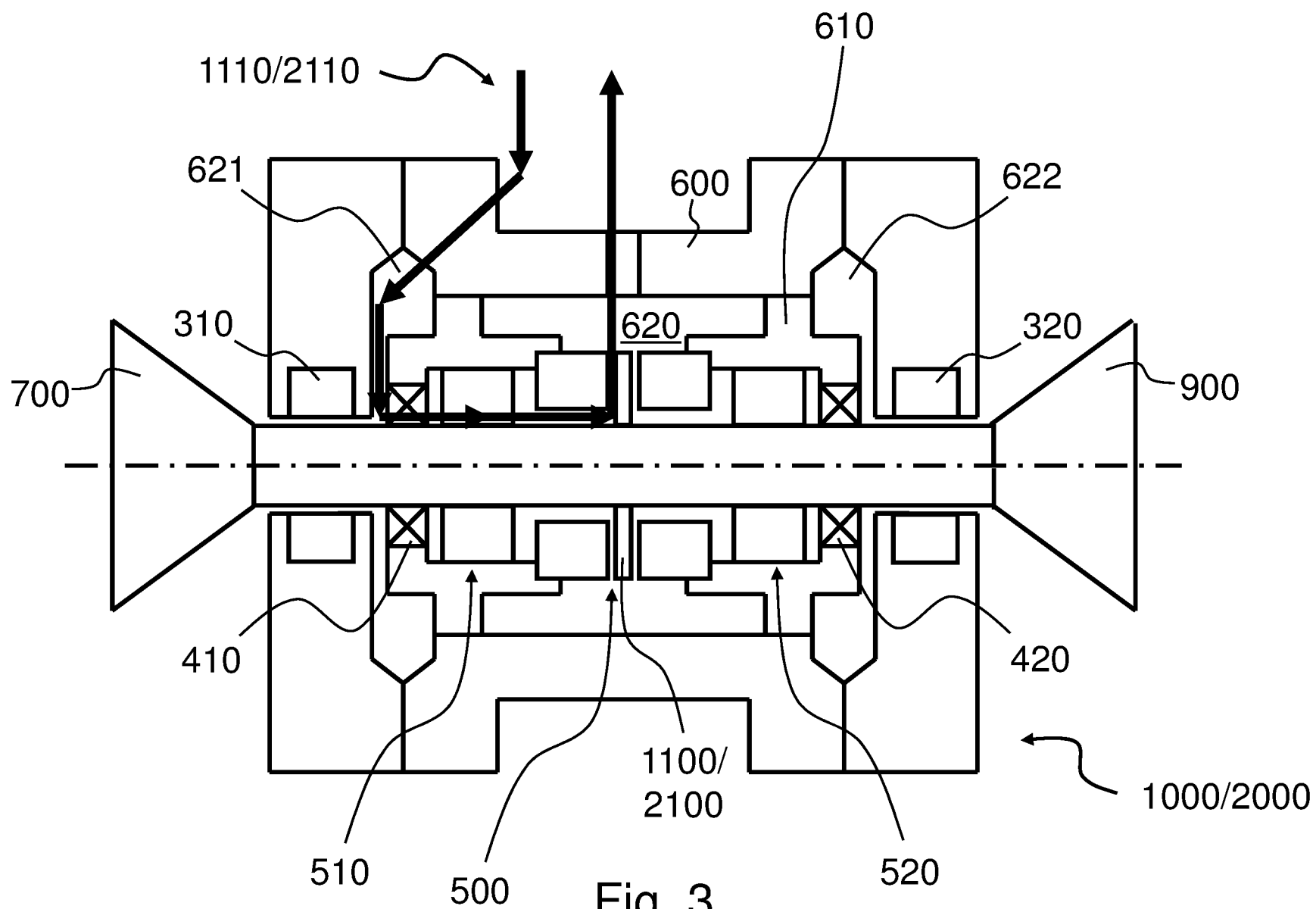


Fig. 2



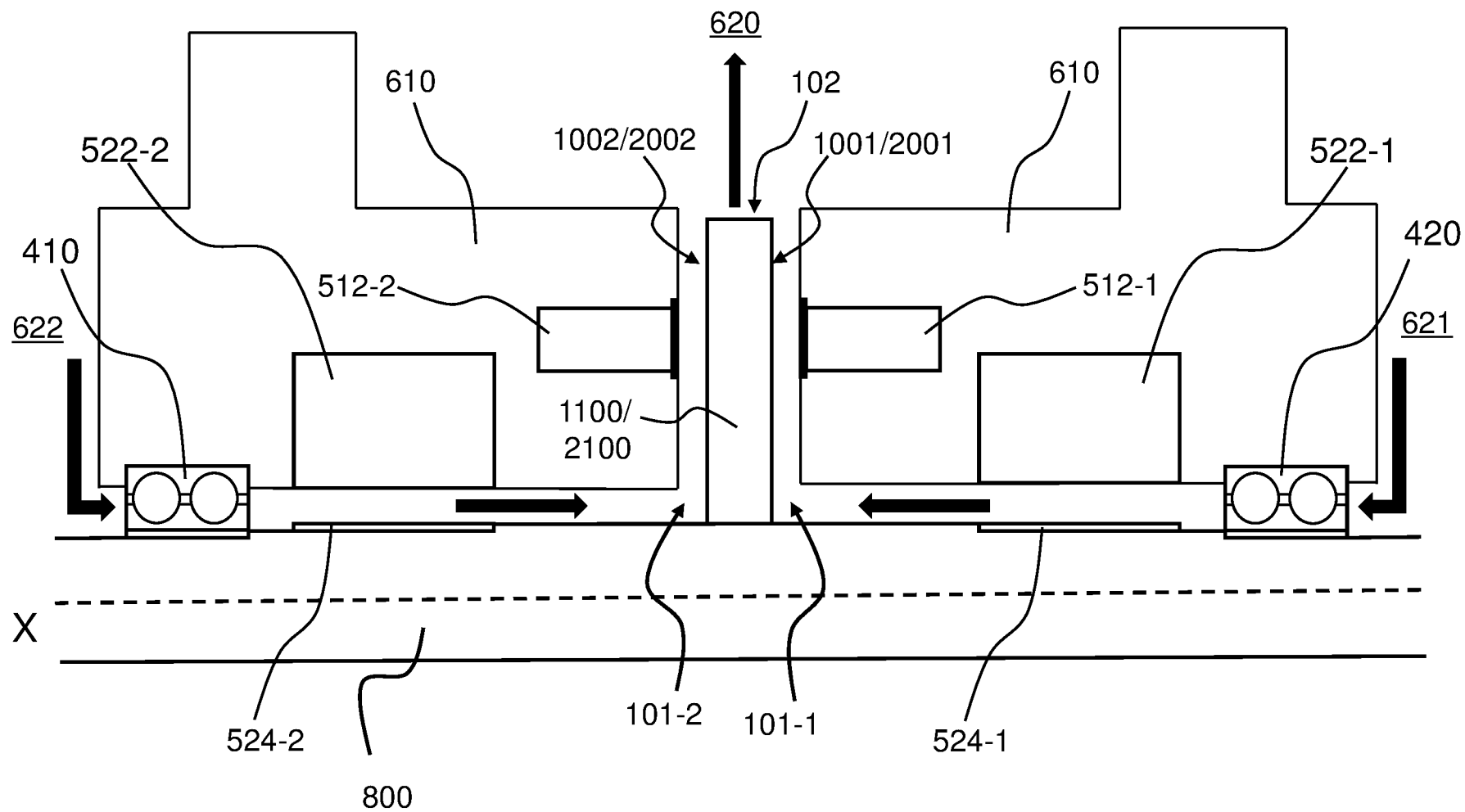


Fig. 4

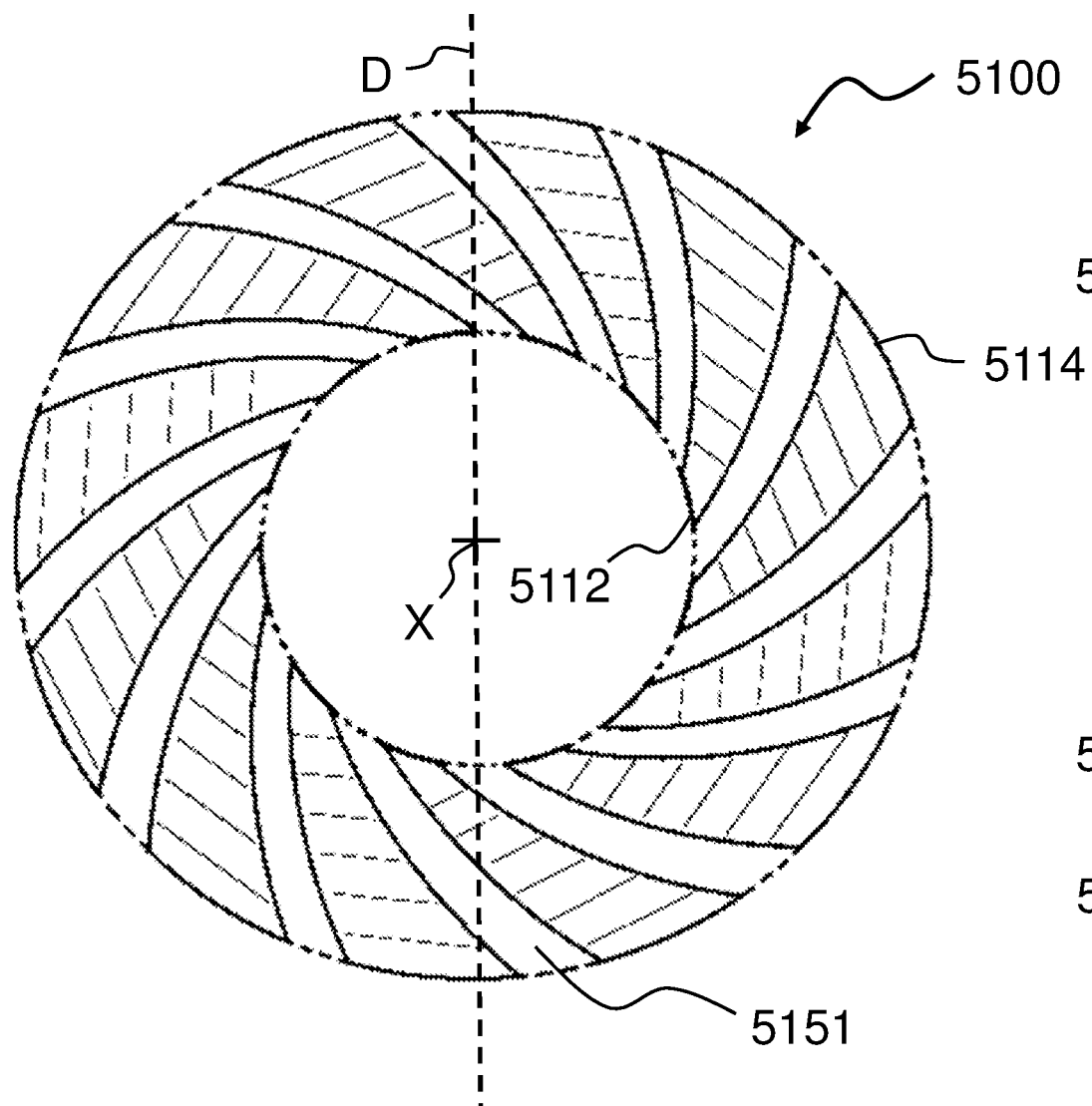


Fig. 5A

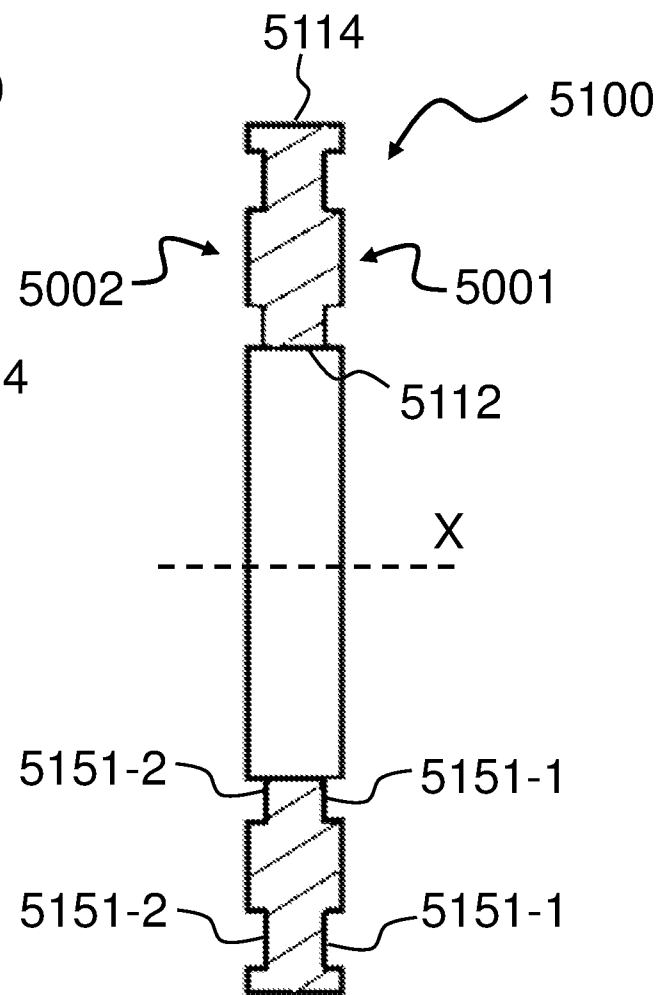


Fig. 5B

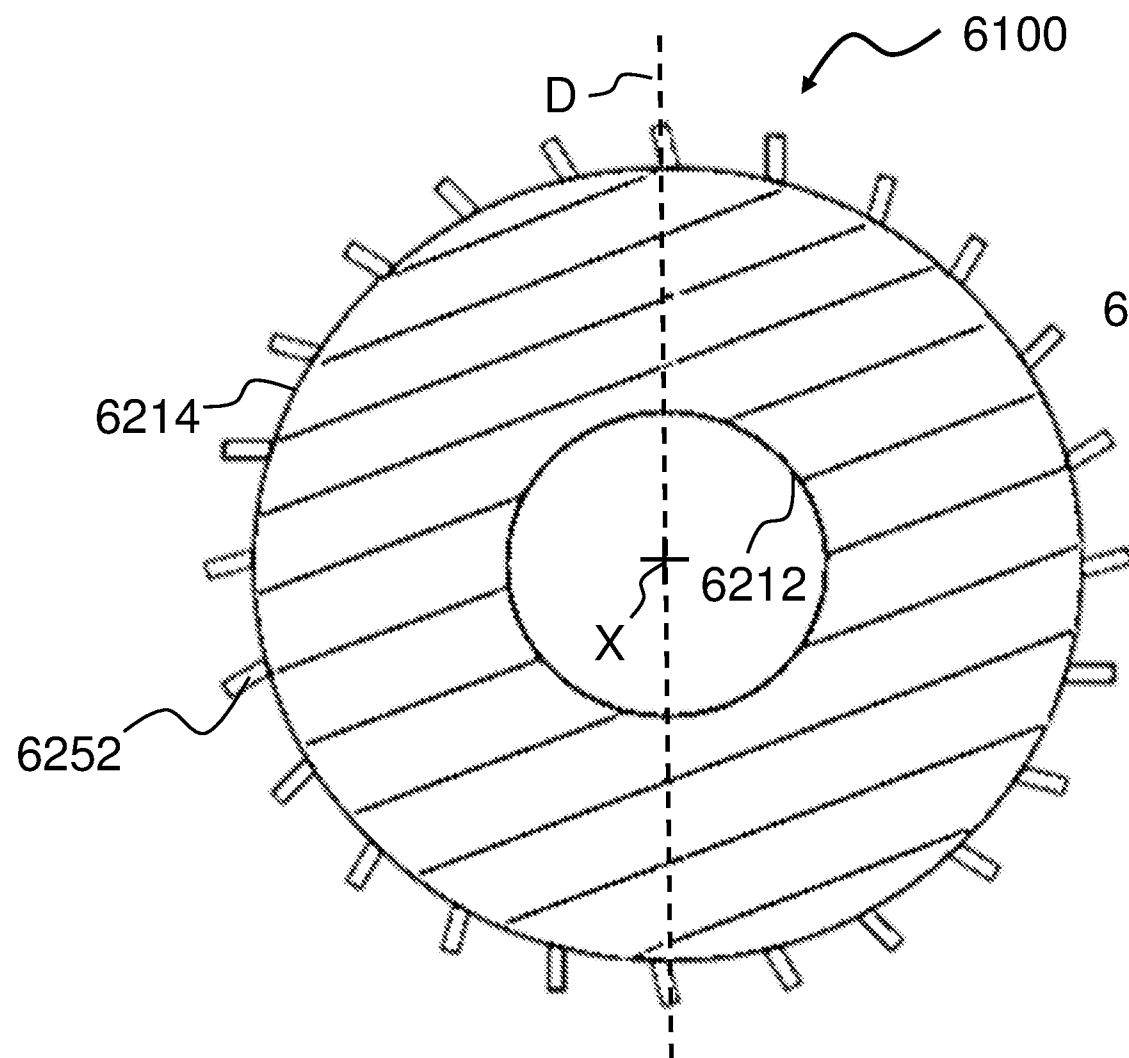


Fig. 6A

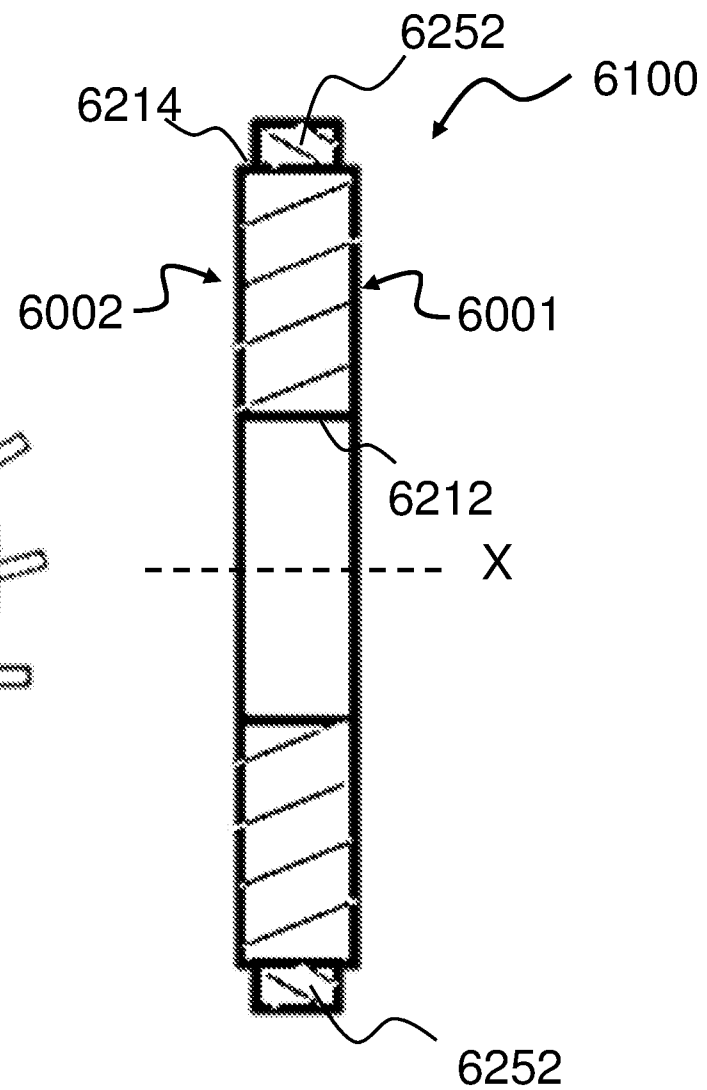


Fig. 6B

