

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102023000006345
Data Deposito	31/03/2023
Data Pubblicazione	29/06/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	01	D	5	06

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	02	C	3	34

Titolo

ESPANTORE E CICLO TERMODINAMICO UTILIZZANTE L'ESPANTORE
--

Nuovo Pignone Tecnologie – S.r.l.
a Firenze

ESPANTORE E CICLO TERMODINAMICO UTILIZZANTE L'ESPANTORE

DESCRIZIONE

Campo tecnico

[0001] La presente descrizione riguarda espantori particolarmente adatti all'uso in cicli di potenza a ossi-combustione che funzionano con un gas di processo ad alte pressioni di ingresso, per esempio cicli a CO₂ supercritico o transcritico, come nei cicli Allam, anche noti come cicli NET Power.

Arte Anteriore

[0002] I combustibili fossili sono una fonte principale di energia chimica usata per la generazione di potenza meccanica. I combustibili fossili vengono miscelati con aria e combusti per generare un gas di combustione a pressione e temperatura elevate, che espande in una turbina o in un espantore. L'espantore converte l'entalpia del gas di combustione in potenza meccanica disponibile sull'albero di uscita dell'espantore e usata per azionare un carico, come un compressore o un treno di compressori, o per ruotare un generatore elettrico e convertire la potenza meccanica in energia elettrica.

[0003] Uno dei problemi principali relativi alla combustione di combustibili fossili riguarda la produzione di biossido di carbonio, un gas serra che è considerato una delle cause principali del riscaldamento globale e dei cambiamenti climatici.

[0004] Per ridurre l'impatto ambientale della generazione di energia attraverso la combustione di combustibili fossili, è stata esaminata l'opzione della cattura post-combustione del biossido di carbonio. Sono stati sviluppati impianti di cattura del biossido di carbonio per trattare il gas di combustione esausto da turbine a gas e rimuovere da esso il biossido di carbonio, prima di scaricare il gas di combustione nell'ambiente. Il costo di un impianto di cattura del biossido di carbonio è elevato, sia in termini di investimenti sia in termini dell'energia richiesta per far funzionare l'impianto, il che riduce l'efficienza termodinamica complessiva del sistema. La percentuale di biossido di carbonio nel gas di combustione è bassa. Ciò richiede di trattare ingenti volumi di gas di combustione attraverso

l'impianto di cattura del biossido di carbonio e rende il processo di cattura particolarmente inefficiente.

[0005] Negli ultimi anni, sono stati sviluppati cicli a ossi-combustione, anche noti come cicli a ossi-combustibile, in cui il combustibile, come un gas naturale o un altro combustibile fossile, viene miscelato in una miscela di un ossidante costituito principalmente da ossigeno (O_2) e biossido di carbonio (CO_2) ad alta pressione. La miscela di combustibile, ossidante e biossido di carbonio brucia in un combustore di un espantore producendo un gas di combustione pressurizzato costituito esclusivamente o quasi esclusivamente da biossido di carbonio e acqua.

[0006] Il gas di combustione viene espanso nell'espantore per generare potenza meccanica. Il gas di combustione esausto scaricato sul lato di scarico dell'espantore viene raffreddato in uno scambiatore di calore rigenerativo e ulteriormente refrigerato per condensare l'acqua che in tal modo può essere rimossa dal gas di combustione refrigerato. Il gas di combustione a bassa temperatura, costituito principalmente o esclusivamente da biossido di carbonio, viene pressurizzato e messo in ricircolo attraverso lo scambiatore di calore rigenerativo verso il combustore dell'espantore.

[0007] L'ossigeno alimentato al combustore dell'espantore può essere ottenuto mediante separazione dall'aria ambiente, rimuovendo l'azoto da essa, in modo tale che il fluido di lavoro alimentato al combustore sia costituito principalmente da ossigeno e biossido di carbonio e non includa azoto. Il gas di combustione risultante è costituito principalmente da acqua e biossido di carbonio. L'acqua è rimossa dal gas di combustione mediante condensazione e la parte di gas di combustione priva d'acqua, che non è messa in ricircolo nel combustore, può essere efficacemente trattata in un'unità di cattura di biossido di carbonio.

[0008] Il ciclo a ossi-combustione riassunto sopra è un ciclo semichiuso in quanto soltanto una frazione del gas di combustione esce dal ciclo dopo che l'acqua è stata rimossa da esso.

[0009] I cicli a ossi-combustibile o ossi-combustione, come quelli descritti sopra, sono particolarmente interessanti in termini di efficienza e riduzione delle emissioni nocive. Tuttavia, essi funzionano in condizioni di CO_2 supercritico o transcritico e sono caratterizzati

da un'elevata caduta di pressione attraverso l'espantore e da un'elevata coppia applicata al rotore dell'espantore. Questi fattori diventano critici e comportano sfide rilevanti nella progettazione del rotore dell'espantore, quando la potenza nominale dell'espantore aumenta, e possono porre limitazioni alla potenza nominale massima dell'espantore.

[0010] Una nuova configurazione di rotore e di turbomacchina atta a ottenere potenze nominali superiori, per esempio in un ciclo a ossi-combustibile, sarebbe ben accolto nella tecnica.

Sommario

[0011] Viene qui descritto un espantore per un ciclo termodinamico a biossido di carbonio supercritico. L'espantore comprende una cassa esterna, un combustore nella cassa esterna o associato o collegato alla cassa esterna, e un rotore con un asse di rotazione, alloggiato per ruotare nella cassa esterna. Il rotore comprende una porzione di albero intermedia su cui una pluralità di dischi di rotore è montata mediante calettamento a caldo. Ciascun disco di rotore comprende una rispettiva fila anulare di pale di rotore. A monte di ciascuna fila anulare di pale di rotore, è prevista una rispettiva fila anulare di palette fisse. Ciascuna fila anulare di palette fisse e la rispettiva fila anulare di pale di rotore formano uno stadio di espantore.

[0012]

[0013] Caratteristiche e forme di realizzazione aggiuntive del rotore e di una turbomacchina per la generazione di potenza che include detto rotore sono descritte di seguito con riferimento agli allegati disegni e delineate nelle allegate rivendicazioni.

Breve descrizione dei disegni

[0014] A questo punto è fatto brevemente riferimento agli allegati disegni nei quali:

- la figura 1 è uno schema di un circuito di potenza a ossi-combustione;
- la figura 2 è una vista in sezione di un espantore in una forma di realizzazione;
- la figura 3 è una vista in sezione ingrandita, secondo un piano parallelo all'asse di rotazione, di una porzione del rotore;
- la figura 4 è una vista in sezione trasversale secondo la linea IV-IV della figura 3;
- la figura 5 è una vista in sezione trasversale secondo la linea V-V della figura 3;

la figura 6 è una vista in sezione trasversale secondo la linea VI-VI della figura 3.

Descrizione dettagliata

[0015] Lo schema della figura 1 illustra un ciclo a biossido di carbonio supercritico semplificato (abbreviato in ciclo CO₂), come un ciclo Allam o come un ciclo a ossi-combustione simile, in cui può essere particolarmente vantaggioso l'uso di un espantore che comprende un rotore secondo la presente descrizione.

[0016] Il sistema di potenza 1 della figura 1 comprende un espantore (anche noto come turboespantore) 3 che include una sezione di espansione 5 e un combustore 7. Il combustore 7 può essere per esempio un combustore anulare, un combustore tubolare, un combustore tubo-anulare o simili. In forme di realizzazione attualmente preferite, il combustore è un combustore tubolare comprendente una pluralità di camere di combustione disposte intorno all'asse di rotazione dell'espantore 3, come mostrato in maggiore dettaglio nella figura 2. Le camere di combustione sono alloggiate in una rispettiva sede formata in una cassa di alta pressione dell'espantore, come sarà descritto in maggiore dettaglio nel seguito. Il numero di riferimento 7.1 nella figura 2 indica singole camere di combustione di un combustore di tipo tubolare o tubo-anulare. In altre forme di realizzazione, non mostrate, il combustore può essere un combustore anulare, come menzionato.

[0017] Il combustore 7 è alimentato con un flusso di ossidante erogato da una sorgente di ossidante. L'ossidante può essere ossigeno (O₂) o una miscela di ossigeno e biossido di carbonio (CO₂). Il flusso di ossidante può essere prodotto da un'unità di separazione d'aria 9, che rappresenta una sorgente di ossidante. L'unità di separazione d'aria 9 può rimuovere azoto o azoto e biossido di carbonio dall'aria ambiente per produrre il flusso di ossidante richiesto, che è alimentato attraverso una linea di ossidante 11 al combustore 7 dell'espantore 3. In alcune forme di realizzazione, al fine di facilitare la gestione del flusso di ossidante, quest'ultimo può comprendere circa il 20% in volume di ossigeno e l'80% in volume di biossido di carbonio. Le percentuali di CO₂ e O₂ sopra menzionate sono esemplificative. Il biossido di carbonio può essere aggiunto all'ossigeno attraverso una linea di ricircolo 12.

[0018] Il numero di riferimento 13 indica una linea di alimentazione di combustibile, per esempio atta ad alimentare gas naturale, come metano, al combustore 7, in particolare a

ciascuna sua camera di combustione 7.1. L'ossidante e il combustibile sono alimentati in corrispondenza del lato di ingresso dell'espantore 3 al combustore 7 ad alta pressione, per esempio pari o superiore a 200 barA, preferibilmente circa di 250 barA o superiore, o più maggiore, per esempio pari o superiore a 300 barA. La miscela di ossidante-combustibile è bruciata nel combustore 7. Il gas da combustione caldo pressurizzato risultante dalla combustione si espande nella sezione di espansione 5 dell'espantore 3. La temperatura in corrispondenza del lato di uscita degli ugelli fissi a valle del combustore, vale a dire in corrispondenza dell'ingresso del rotore dell'espantore 3, può essere compresa per esempio tra 800°C e 1500°C.

[0019] Il gas di combustione esausto è scaricato dopo l'espansione in corrispondenza di un lato di scarico dell'espantore 3 in una linea di scarico 15. Il gas di combustione nella linea di scarico 15 può essere a una temperatura tra circa 400°C e circa 700°C, per esempio circa 600°C, e a una pressione che può variare tra circa 10 barA e circa 100 barA, preferibilmente tra circa 20 barA e circa 60 barA.

[0020] Il circuito comprende inoltre uno scambiatore di calore rigenerativo 17, in cui il gas di combustione caldo che fluisce attraverso un lato caldo 17.1 dello scambiatore di calore rigenerativo 17 è raffreddato nello scambiatore di calore con un flusso di gas di combustione refrigerato che fluisce attraverso un lato freddo 17.2 dello scambiatore di calore rigenerativo 17. Il gas di combustione scaricato dal lato caldo 17.1 dello scambiatore di calore rigenerativo 17 è ulteriormente refrigerato in uno scambiatore di calore di refrigerazione 19 a una temperatura che causa la condensazione del vapore d'acqua contenuto nel gas di combustione esausto. L'acqua di condensazione è rimossa dal gas di combustione esausto in un separatore di acqua/gas 21.

[0021] Il gas di combustione esausto, disidratato e refrigerato, costituito principalmente o esclusivamente da biossido di carbonio, è compresso in un compressore di gas di combustione 23 alla pressione in corrispondenza del lato di ingresso dell'espantore 3. Sebbene nello schema della figura 1 il compressore di gas di combustione 23 sia rappresentato graficamente come compressore singolo, in alcune forme di realizzazione possono essere usati compressori multipli. Per esempio, il compressore di gas di combustione 23 può essere un compressore multistadio o un treno di compressori. In alcune forme di realizzazione, un compressore principale può essere disposto in serie con una o più pompe disposte in sequenza.

[0022] Il gas di combustione compresso erogato dal compressore di gas di combustione 23 è parzialmente rimosso dal ciclo attraverso una linea di scarico 25. Se il compressore 23 è rappresentato da una pluralità di turbomacchine disposte in serie, la linea di scarico 25 può essere collegata tra due turbomacchine disposte in sequenza.

[0023] La maggior parte del gas di combustione compresso è erogata attraverso il lato freddo 17.2 dello scambiatore di calore rigenerativo 17 ed è riscaldata mediante scambio di calore con il gas di combustione caldo che fluisce attraverso il lato caldo 17.1 dello scambiatore di calore rigenerativo 17, e messa in ricircolo nell'espantore 3 attraverso una linea di ricircolo 25. Il gas di combustione messo in ricircolo attraverso la linea di ricircolo 25 è miscelato con il gas da combustione generato nel combustore 7, o con il flusso di ossidante dalla linea di ossidante 11.

[0024] Un flusso laterale di gas di combustione refrigerato è erogato attraverso una linea di raffreddamento 27, che bypassa lo scambiatore di calore rigenerativo 17, verso componenti dell'espantore 3 che richiedono un raffreddamento.

[0025] L'espantore 3 può includere un albero di uscita 31, su cui la potenza meccanica generata dall'espansione del gas di combustione nella sezione di espansione 5 dell'espantore 3 è disponibile a fini di azionamento meccanico o generazione di potenza. Nella forma di realizzazione esemplificativa della figura 1, l'albero di uscita 31 è accoppiato a un generatore elettrico 33, che a sua volta è accoppiato elettricamente a una rete di distribuzione di energia elettrica 35. Nelle figure 1 e 2 l'albero di uscita è mostrato in corrispondenza del lato posteriore dell'espantore 3. In altre forme di realizzazione, non mostrate, l'albero di uscita 31 può essere disposto in corrispondenza del lato anteriore dell'espantore. In ancora ulteriori forme di realizzazione, non mostrate, possono essere previsti due alberi di uscita, uno in corrispondenza del lato anteriore e uno in corrispondenza del lato posteriore dell'espantore.

[0026] Nel senso qui utilizzato, "anteriore" e "posteriore" sono riferiti al verso del flusso del gas di processo attraverso l'espantore 3. Pertanto, "anteriore" indica una posizione sul lato del combustore 7 e "posteriore" indica una posizione sul lato opposto al combustore 7, vale a dire il lato di scarico dell'espantore 3.

[0027] L'elevata caduta di pressione attraverso l'espantore 3, l'elevata pressione assoluta

nel combustore 7 e nei condotti di raffreddamento degli espantori, nonché l'elevata coppia applicata all'albero di espantore comportano sfide rilevanti nella progettazione dell'espantore 3, in particolare per potenze nominali elevate, per esempio circa pari o superiori a 50 MW, preferibilmente circa pari o superiori a 100 MW, più preferibilmente circa pari o superiori a 150 MW, per esempio circa pari o superiori a 200 MW. La potenza nominale può essere per esempio pari o inferiore a 2000 MW, preferibilmente pari o inferiore a 1500 MW, per esempio pari o inferiore a 1000 MW, o pari o inferiore a 800 MW. In alcune forme di realizzazione, la potenza nominale può essere compresa tra 200 MW e 650 MW.

[0028] Continuando a fare riferimento alla figura 1, la figura 2 illustra una vista in sezione dell'espantore 3 in una forma di realizzazione e la figura 3 una vista in sezione ingrandita di un dettaglio del rotore dell'espantore.

[0029] L'espantore 3 comprende una cassa esterna 41, che alloggia il combustore 7. In alcune forme di realizzazione, la cassa esterna 41 comprende un corpo principale 41.1, qui indicato come cassa di alta pressione, e una chiusura 41.2, qui indicata come cassa di scarico di bassa pressione. La cassa di alta pressione 41.1 può includere un corpo principale, che può essere monolitico, vale a dire che può essere costituito da un pezzo unico, per esempio fabbricato mediante fucinatura, lavorazione a macchina, fusione o una combinazione di queste. La cassa di alta pressione 41.1 può essere a forma di cilindro. La cassa di scarico di bassa pressione 41.2 può essere posizionata sul lato di scarico, vale a dire il lato posteriore, dell'espantore 3, vale a dire sul lato di opposto al combustore 7. Anche la cassa di scarico di bassa pressione 41.2 può essere monolitica, vale a dire che può essere costituita da un pezzo unico per esempio fabbricata mediante fucinatura, lavorazione a macchina, fusione o una combinazione di queste.

[0030] La cassa di alta pressione 41.1 e la cassa di scarico di bassa pressione 41.2 possono essere collegate tra loro lungo un piano P che è ortogonale a un asse di rotazione A-A di un rotore 43 supportato per ruotare nella cassa esterna 41.

[0031] In alcune forme di realizzazione, la cassa di scarico di bassa pressione 41.2 forma una voluta di scarico o un plenum di scarico 41.3, attraverso cui il gas di combustione esausto è scaricato dall'espantore 3. In alcune forme di realizzazione, la cassa di alta pressione 41.1 forma sedi per singole camere di combustione 7.1, come mostrato nella figura 2.

[0032] I numeri di riferimento 45, 47 indicano disposizioni di cuscinetti che supportano in modo girevole il rotore 43. Per esempio, la disposizione di cuscinetti 45 in corrispondenza del lato opposto al combustore 7, vale a dire in corrispondenza del lato posteriore, può includere un cuscinetto assiale o reggispinta in combinazione con un cuscinetto radiale, o un cuscinetto avente una capacità di supporto assiale-radiale. La disposizione di cuscinetti 47 sul lato di combustore, vale a dire sul lato anteriore, può includere un cuscinetto radiale. È anche possibile una disposizione invertita, con un cuscinetto avente capacità di carico assiale disposto sul lato di combustore.

[0033] Il rotore 43 può essere accoppiato meccanicamente all'albero di uscita 31 attraverso un giunto 49. Le disposizioni di cuscinetti 45, 47 possono essere disposte in casse di cuscinetto, non mostrate in dettaglio.

[0034] In alcune forme di realizzazione, il rotore 43 è circondato da una o più casse interne 51, alloggiate in modo stazionario nella cassa esterna 41. Ciascuna cassa interna 51 può essere divisa in due porzioni lungo un piano parallelo all'asse di rotazione A-A del rotore 43, per esempio un piano contenente l'asse di rotazione A-A. La disposizione delle casse interne 51 e della cassa esterna 41 è particolarmente vantaggiosa quando il gas di combustione raggiunge pressioni elevate, circa pari o superiori a 200-300 barA. La cassa di alta pressione monolitica 41.1 può sopportare i carichi generati dall'alta pressione all'interno della cassa esterna, mentre le casse interne 51 facilitano il montaggio delle palette fisse o delle pale fisse, descritte di seguito, e formano un gruppo con il rotore alloggiato all'interno.

[0035] La caduta di pressione attraverso l'espantore 3 può essere circa pari o superiore a 200 bar. Per espandere il gas di combustione generato nel combustore 7, è preferito un numero elevato di stadi di espansione. Nella forma di realizzazione esemplificativa della figura 2, l'espantore 3 comprende otto stadi. In altre forme di realizzazione, può essere previsto un numero differente di stadi di espansione, preferibilmente uguale o superiore a quattro, più preferibilmente uguale o superiore a cinque. In alcune forme di realizzazione, il numero di stadi di espansione può essere superiore a otto, per esempio nove, dieci, undici o maggiore. Gli stadi di espansione formano un percorso di flusso assiale per il gas di processo che viene espanso attraverso l'espantore 3.

[0036] Ciascuno stadio di espansione include una fila anulare di palette fisse o pale fisse 53 che sono disposte in modo stazionario nella cassa esterna. Nella forma di realizzazione

esemplificativa della figura 2, le file anulari di pale fisse sono alloggiare nelle casse interne 51. Ciascuno stadio di espansione include inoltre una rispettiva fila anulare di pale di rotore 55. Ciascuna fila di pale di rotore 55 è disposta a valle di una rispettiva fila anulare di pale fisse lungo il percorso di flusso di gas di processo, che si estende dal combustore 7 attraverso la sezione di espansione 5 al plenum di scarico 41.3 in una direzione anteriore-posteriore.

[0037] In alcune forme di realizzazione, una prima fila anulare di pale fisse 53.1 può essere disposta in corrispondenza dell'estremità di scarico del combustore 7 e formare una matrice di ugelli che dirigono gas di combustione caldo ad alta pressione dalle camere di combustione 7.1 del combustore 7 alla prima fila di pale di rotore. Una prima fila anulare di pale di rotore indicate con 55.1 può essere disposta direttamente a valle della prima fila anulare di pale fisse 53.1 adiacente al combustore 7. Un'ultima fila anulare di pale fisse 53.8 può essere posizionata vicino al plenum di scarico 41.3, a monte dell'ultima fila anulare di pale di rotore mostrata in 55.8. Il numero di riferimento 55 si riferisce genericamente a una qualsiasi delle file anulari di pale di rotore o a una pala di rotore come tale.

[0038] Le pale di rotore 55 formano parte del rotore 43, vale a dire che sono collegate a esso per la co-rotazione con un albero di rotore 65. In forme di realizzazione, ciascuna fila anulare di pale di rotore 55 (vale a dire, ciascuna fila 55.i, con i= da 1 a 8) è collegata a un rispettivo disco di rotore. I dischi di rotore sono indicati con 57.1, 57.2, 57.3, 57.4, 57.5, 57.6, 57.7 e 57.8. Il numero di riferimento 57 indica un disco di rotore generico.

[0039] Le pale di rotore possono essere fabbricate in modo separato dal rispettivo disco di rotore e montate su esso. In altre forme di realizzazione, ciascun disco di rotore, o alcuni di essi, possono essere fabbricati come un blocco monolitico con le rispettive pale di rotore, per esempio mediante manifattura additiva.

[0040] Come meglio mostrato nella figura 3, i dischi di rotore 57 sono calettati a caldo sull'albero 65 del rotore 43.

[0041] In forme di realizzazione, l'albero 65 comprende una porzione di albero anteriore 65A, una porzione di albero intermedia 65B e una porzione di albero posteriore 65C. Preferibilmente, i dischi di rotore 57 sono calettati a caldo lungo la porzione di albero intermedia 65B.

[0042] In alcune forme di realizzazione, l'albero 65 e i dischi di rotore 57 possono essere realizzati nello stesso materiale metallico. In altre forme di realizzazione, per esempio per impedire più efficacemente l'allentamento della connessione torsionale tra l'albero 65 e i dischi di rotore 57, per esempio durante i transitori, per via dei gradienti di temperatura, l'albero 65, e in particolare la sua porzione di albero intermedia 65B, è realizzato in un materiale, avente un primo coefficiente di espansione termica, e i dischi di rotore 57 sono realizzati in un materiale differente, avente un secondo coefficiente di espansione termica, inferiore al primo coefficiente di espansione termica. In forme di realizzazione, l'albero 65, e in particolare la porzione di albero intermedia 65B, è realizzato in un metallo o una lega metallica avente un coefficiente di espansione termica superiore rispetto al materiale in cui sono realizzati i dischi di rotore 57. Il coefficiente di espansione termica superiore della porzione interna del rotore, costituita dalla porzione di albero intermedia 65B, causa un'espansione termica maggiore della porzione di albero rispetto all'espansione termica dei dischi di rotore, garantendo con ciò una connessione stabile tra i dischi di rotore su un lato e l'albero sull'altro.

[0043] In forme di realizzazione, il rotore 43 può includere un tamburo di bilanciamento. Il tamburo di bilanciamento può essere formato nella porzione di albero anteriore o nella porzione di albero posteriore.

[0044] Come sarà descritto in maggiore dettaglio nel seguito, nella forma di realizzazione mostrata nei disegni, il tamburo di bilanciamento è formato dalla porzione di albero anteriore 65A dell'albero di rotore. In alcune forme di realizzazione, la porzione di albero anteriore 65A può essere fabbricata in due o più sezioni come mostrato nella figura 2.

[0045] La porzione di albero intermedia 65B e la porzione di albero posteriore 65C sono preferibilmente fabbricate come corpo unico, vale a dire in modo monolitico, come un blocco unico.

[0046] Per supportare la forza assiale generata dall'espansione del gas di processo e applicata alle pale di rotore 55 e ai dischi di rotore 57, la porzione di albero intermedia 65B può essere dotata di una battuta anulare 65D. La battuta anulare 65D può essere posizionata nella zona di transizione tra la porzione di albero intermedia 65B e la porzione di albero posteriore 65C. Almeno il rotore più a valle 57.8 può essere disposto in battuta contro la battuta anulare 65D e di conseguenza trasmettere la spinta assiale applicata a

esso all'albero di rotore.

[0047] Tutti i restanti dischi di rotore calettati a caldo 57.1-57.7 possono essere compressi l'uno contro l'altro nella direzione assiale mediante la forza generata dall'espansione del gas di processo, in modo tale che la battuta 65D cooperi nel supportare l'intero carico assiale applicato sui dischi di rotore 57. Anelli distanziatori anulari 64 (vedere la figura 3) possono essere disposti tra dischi di rotore adiacenti 57, per trasferire la spinta assiale applicata a ciascun disco di rotore 57 a quello successivo nella direzione anteriore-posteriore.

[0048] In alcune forme di realizzazione, anelli di battuta intermedi, anche indicati come anelli di taglio, indicati con 66, possono essere montati lungo la porzione di albero intermedia 65B, come mostrato schematicamente nelle figure 2, 3 e 6 tra almeno una coppia di dischi di rotore adiacenti 57, o preferibilmente tra una pluralità di coppie di dischi di rotore adiacenti 57. Nella figura 2, un anello di taglio è posizionato dopo ciascun disco di rotore 57 in una posizione pari, vale a dire dopo il secondo, il quarto e il sesto disco di rotore 57.2, 57.4 e 57.6.

[0049] In alcune forme di realizzazione, almeno uno o preferibilmente ciascun anello di battuta intermedio o anello di taglio 66 può essere fabbricato in due o più sezioni di anello o settori di anello. I settori di anello possono essere alloggiati in una scanalatura tangenziale 70, lavorata nella porzione di albero intermedia 65B. In alcune forme di realizzazione, la scanalatura tangenziale 70 può includere una pluralità di scanalature tangenziali, ciascuna estendendosi per un angolo minore di 360° intorno all'asse di rotore. Ciascun settore di anello di taglio può essere alloggiato in una rispettiva scanalatura tangenziale.

[0050] Per esempio, la figura 6 mostra una vista in sezione trasversale ingrandita di una porzione del rotore, in cui due scanalature tangenziali 70 sono separate da una sporgenza radiale, attraverso cui si estende un condotto di raffreddamento 72, che sarà descritto in maggiore dettaglio nel seguito. Settori di anello di taglio separati 66 sono alloggiati nelle scanalature tangenziali separate.

[0051] Ciò garantisce una connessione meccanica sicura e garantisce il trasferimento della spinta assiale generata sui rispettivi dischi di rotore all'albero di rotore 65 durante il funzionamento dell'espantore 3. Più in particolare, gli anelli di taglio forniscono una separazione strutturale tra la spinta assiale e la trasmissione della coppia, per un progetto

di rotore più efficace e una resistenza meccanica migliorata.

[0052] Tra dischi di rotore adiacenti 57 è solitamente previsto uno spazio anulare 58 chiuso da a tenuta 68, che è atta a ricevere un fluido di raffreddamento e/o di purga. In alcune forme di realizzazione, il rotore 43 comprende uno o più condotti di raffreddamento estendentisi preferibilmente in una direzione assiale, vale a dire parallela all'asse di rotazione A-A, o più generalmente in una direzione longitudinale lungo il rotore 43.

[0053] Ciascun condotto di raffreddamento è atto ad alimentare fluido di raffreddamento a uno o più spazi anulari 58. In alcune forme di realizzazione, almeno un condotto di raffreddamento indipendente fornisce il fluido di raffreddamento soltanto a uno spazio anulare 58. In alcune forme di realizzazione, per un raffreddamento o di purga particolarmente efficiente degli spazi anulari 58, è prevista una pluralità di condotti di raffreddamento, per esempio due, tre o quattro condotti di raffreddamento, per ciascuno spazio anulare 58, ciascun condotto di raffreddamento alimentando un mezzo di raffreddamento soltanto a un rispettivo spazio anulare 58.

[0054] Un condotto di raffreddamento 72 è mostrato nelle viste in sezione delle figure da 3 a 6. Ciascun condotto di raffreddamento 72 ha un'estremità di ingresso 72A che è in accoppiamento di fluido con un plenum di raffreddamento 74 (figura 2) che può essere previsto nell'area anteriore della cassa esterna 41.

[0055] In forme di realizzazione, ciascun condotto di raffreddamento 72 può essere formato da una scanalatura estendentesi longitudinalmente, e preferibilmente parallela all'asse di rotazione, lungo l'albero di rotore e in particolare lungo la porzione di albero intermedia 65B. Ciascun condotto di raffreddamento 72 può essere realizzato mediante fresatura e può essere inizialmente conformato come un canale aperto radialmente verso l'esterno. Una lastra 72C può essere saldata lungo la scanalatura in modo da chiudere la scanalatura radialmente verso l'esterno e formare il condotto di raffreddamento 72 avente un ingresso e un'uscita in corrispondenza delle sue estremità opposte.

[0056] Il raffreddamento del rotore 43 può essere effettuato alimentando un fluido di raffreddamento pressurizzato al plenum di raffreddamento 74 e da qui ai condotti di raffreddamento 72 formati nel rotore 43. In particolare, in alcune forme di realizzazione, biossido di carbonio compresso e raffreddato può essere erogato a un plenum di

raffreddamento 74.

[0057] L'uno o ciascun condotto di raffreddamento 72 ha almeno un'apertura di uscita 72B in accoppiamento di fluido con uno spazio anulare 58, per erogare il fluido di raffreddamento in esso. In alcune forme di realizzazione, lo stesso condotto di raffreddamento 72 può avere una pluralità di aperture di uscita in accoppiamento di fluido con una pluralità di spazi anulari 58. Nella forma di realizzazione mostrata nella figura 3, il condotto di raffreddamento 72 ha un'unica apertura di uscita 72B in accoppiamento di fluido con un unico spazio anulare intermedio 58. Con ciascuno spazio anulare 58 può essere in accoppiamento di fluido più di un condotto di raffreddamento. Nella forma di realizzazione della figura 3, l'apertura di uscita 72B è in accoppiamento di fluido con lo spazio anulare 58 attraverso una luce 64A formata in un rispettivo anello distanziatore 64.

[0058] Il fluido di raffreddamento erogato agli spazi anulari 58 tra dischi di rotore adiacenti 57 e sotto le rispettive tenute 68 serve a purgare i rispettivi spazi anulari 58 e a impedire che il gas di processo fluisca attraverso di essi, accrescendo in questo modo l'efficienza dell'espantore 3. Pertanto, la pressione del fluido di raffreddamento deve essere sufficiente a bilanciare la pressione del gas di processo che si espande lungo il percorso di flusso formato dalle pale fisse 53 e dalle pale di rotore 55. La pressione del gas di processo decresce lungo il percorso di flusso dal primo all'ultimo stadio di espantore. La pressione del fluido di raffreddamento necessaria negli stadi di espantore più a monte può essere compresa per esempio tra 200 barA e 600 barA. La spinta assiale generata dal fluido di raffreddamento sui dischi di rotore 57 può essere bilanciata mediante calettamento a caldo tra il disco di rotore e l'albero 65, ed eventualmente dalla battuta anulare 65 e dagli anelli di taglio 66.

[0059] In alcune forme di realizzazione, l'espantore 3 comprende un tamburo di bilanciamento accoppiato meccanicamente al rotore 43. Nella forma di realizzazione della figura 2, un tamburo di bilanciamento 75 è previsto in corrispondenza dell'estremità anteriore del rotore 43, tra il primo stadio di espantore e la disposizione di cuscinetti anteriore 47, e più in particolare formato dalla porzione di albero anteriore 65A.

[0060] In alcune forme di realizzazione, il tamburo di bilanciamento 75 è formato integralmente con la porzione di albero anteriore 65A.

[0061] Nella forma di realizzazione della figura 2, il tamburo di bilanciamento 75 comprende due porzioni di tamburo di bilanciamento 75A e 75B, che sono accoppiate tra loro mediante una serie di tiranti 77 disposti intorno all'asse di rotazione A-A. I tiranti 77 collegano le porzioni di tamburo di bilanciamento 75A, 75B l'una all'altra e a una sezione di estremità anteriore 79 della porzione di albero anteriore 65A, la sezione di estremità anteriore 79 essendosi attraverso la disposizione di cuscinetti anteriore 47.

[0062] In aggiunta, i tiranti 77 collegano il tamburo di bilanciamento 75 e la sezione di estremità anteriore 79 dell'albero di rotore 65 alla porzione di albero intermedia 65B.

[0063] In alcune forme di realizzazione, la porzione di albero anteriore comprende una flangia interna 82 che può essere accoppiata a un codolo coassiale 65F della porzione intermedia 65B dell'albero 65. Il tamburo di bilanciamento 75 è accoppiato alla flangia 82 mediante i tiranti 77. La flangia 82 può essere accoppiata al codolo 65F per mezzo di un dado 84 avvitato su una porzione filettata del codolo 65F.

[0064] Dividendo la porzione di albero anteriore 65A in vari componenti, in particolare le porzioni di tamburo di bilanciamento 75.1, 75.2, l'estremità di albero anteriore 79 e la flangia 82, la fabbricazione del tamburo di bilanciamento e delle porzioni di albero anteriore 65A, per esempio mediante fucinatura, è facilitata.

[0065] Forme di realizzazione esemplificative sono state descritte sopra e illustrate nei disegni allegati. Gli esperti nella tecnica comprenderanno che varie modifiche, omissioni e aggiunte possono essere realizzate rispetto a quanto specificamente illustrato nella presente senza discostarsi dall'ambito dell'invenzione come definito nelle rivendicazioni seguenti.

[0066] Per esempio, sebbene nella forma di realizzazione qui illustrata il combustore sia alloggiato nell'espantore, in altre forme di realizzazione il combustore può essere disposto all'esterno dell'espantore.

[0067] In ancora ulteriori forme di realizzazione, l'espantore illustrato nella presente può essere usato in un ciclo termodinamico a circuito chiuso, come un ciclo a biossido di carbonio supercritico, in cui il calore è introdotto nel ciclo termodinamico attraverso uno scambiatore di calore, anziché usando un combustore.

Nuovo Pignone Tecnologie – S.r.l.
a Firenze

ESPANTORE E CICLO TERMODINAMICO UTILIZZANTE L'ESPANTORE

RIVENDICAZIONI

1. Un espantore per un ciclo termodinamico a biossido di carbonio supercritico o transcritico, l'espantore comprendendo:

- una cassa esterna;
- almeno un combustore abbinato alla cassa esterna, l'almeno un combustore essendo atto a ricevere un flusso di ossidante compresso e un combustibile;

- un rotore con un asse di rotazione, alloggiato per la rotazione nella cassa esterna; in cui il rotore comprende:

- un albero;

- una pluralità di dischi di rotore montati sulla porzione di albero intermedia; in cui ciascun disco di rotore di detta pluralità di dischi di rotore comprende una rispettiva fila anulare di pale di rotore; e

- a monte di ciascuna fila anulare di pale di rotore, una rispettiva fila anulare di palette fisse; in cui ciascuna fila anulare di palette fisse e la rispettiva fila anulare di pale di rotore formano uno stadio di espantore;

- in cui ciascun disco di rotore di detta pluralità di dischi di rotore è montato sull'albero mediante calettatura a caldo.

2. L'espantore della rivendicazione 1, in cui l'albero è realizzato almeno parzialmente in una prima lega metallica e i dischi di rotore sono realizzati in una seconda lega metallica, e in cui la prima lega metallica ha un coefficiente di espansione termica superiore rispetto a un coefficiente di espansione termica della seconda lega metallica.

3. L'espantore della rivendicazione 1 o 2, in cui l'albero comprende una porzione di albero anteriore, una porzione di albero intermedia e una porzione di albero posteriore; in cui i dischi di rotore sono calettati a caldo sulla porzione intermedia dell'albero; in cui la porzione di albero intermedia e la porzione di albero posteriore sono formate integralmente come un corpo monolitico; in cui l'albero comprende una battuta formata in modo monolitico con l'albero, tra la porzione intermedia e la porzione posteriore; e in cui almeno il più a valle di detti dischi di rotore è disposto in battuta contro detta battuta.

4. L'espantore della rivendicazione 3, comprendente inoltre almeno una battuta anulare montata sulla porzione di albero intermedia e disposta tra due dischi di rotore consecutivi.

5. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre un tamburo di bilanciamento.

6. L'espantore della rivendicazione 3 o 4, in cui la porzione di albero anteriore presenta un tamburo di bilanciamento.

7. L'espantore della rivendicazione 5 o 6, in cui il tamburo di bilanciamento comprende una prima porzione di tamburo di bilanciamento e una seconda porzione di tamburo di bilanciamento collegate tra loro attraverso almeno un tirante e preferibilmente attraverso una pluralità di tiranti disposti in direzione perimetrale intorno a un asse di rotazione del rotore a una distanza radiale da esso.

8. L'espantore della rivendicazione 7, in cui la porzione di albero anteriore comprende una flangia interna, accoppiata a un codolo coassiale della porzione intermedia, e in cui il tamburo di bilanciamento è accoppiato a detta flangia mediante detti tiranti.

9. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre anelli distanziatori tra coppie di dischi di rotore adiacenti.

10. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre almeno un anello di taglio frapposto tra due dischi di rotore consecutivi.

11. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre almeno un condotto di raffreddamento estendentesi lungo l'albero, il condotto di raffreddamento avendo un'estremità di ingresso atta a essere in accoppiamento di fluido con un plenum di alta pressione della turbomacchina quando il rotore è montato nella turbomacchina, e in accoppiamento di fluido con almeno uno spazio anulare intermedio tra una coppia di dischi di rotore disposti in sequenza.

12. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre una pluralità di condotti di raffreddamento per una pluralità di stadi di rotore; in cui ciascun condotto di raffreddamento si estende lungo l'albero e ha un'estremità di ingresso atta a essere in accoppiamento di fluido con un plenum di alta pressione della

turbomacchina quando il rotore è montato nella turbomacchina, e in accoppiamento di fluido con un rispettivo spazio anulare intermedio tra una coppia di dischi di rotore disposti in sequenza.

13. L'espantore della rivendicazione 11 o 12, in cui ciascun condotto di raffreddamento è configurato come una scanalatura estendentesi in una direzione longitudinale lungo il rotore e all'interno di una superficie esterna del rotore; in cui detta scanalatura è chiusa mediante una lastra avente una superficie interna rivolta verso la scanalatura e una superficie esterna a filo con la superficie esterna del rotore.

14. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni da 11 a 13, in cui ciascun condotto di raffreddamento è in accoppiamento di fluido con un rispettivo spazio anulare attraverso una luce prevista in un anello distanziatore, l'anello distanziatore essendo posizionato tra la coppia di dischi di rotore disposti in sequenza, tra cui è formato lo spazio anulare.

15. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni da 11 a 14, comprendente inoltre almeno un anello di taglio comprendente una pluralità di settori di anello, ciascun settore di anello essendo alloggiato in una rispettiva scanalatura tangenziale del rotore; e in cui l'almeno un condotto di raffreddamento si estende tra due settori di anello adiacenti e rispettive scanalature tangenziali in cui sono alloggiati i settori di anello.

16. L'espantore della rivendicazione 10 o 15, comprendente una pluralità di anelli di taglio per una pluralità di dischi di rotore, fino ad almeno un anello di taglio per ciascun disco di rotore.

17. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre un plenum di alta pressione atto a ricevere un fluido refrigerante compresso, in accoppiamento di fluido con almeno un condotto di raffreddamento estendentesi lungo l'albero, il condotto di raffreddamento essendo in accoppiamento di fluido con il plenum di alta pressione e con almeno un volume anulare intermedio tra una coppia di dischi di rotore disposti in sequenza.

18. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la cassa esterna comprende una cassa di alta pressione e una cassa di scarico di bassa pressione; in cui la cassa di alta pressione e la cassa di scarico di bassa pressione sono accoppiati

lungo un piano ortogonale all'asse di rotazione.

19. L'espantore della rivendicazione 17, in cui la cassa di alta pressione comprende un corpo di cilindro monolitico.

20. L'espantore della rivendicazione 17 o 18, in cui la cassa di scarico di bassa pressione è configurata come un corpo monolitico.

21. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la cassa esterna comprende almeno una sede, e in cui l'almeno un combustore è almeno parzialmente alloggiato in detta sede.

22. L'espantore come della rivendicazione 20, in cui la cassa di scarico di bassa pressione forma un plenum di scarico.

23. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre almeno una cassa interna, e preferibilmente una pluralità di casse interne, alloggiato in modo stazionario nella cassa esterna, e circondanti il rotore; in cui ciascuna cassa interna è divisa in una prima porzione di cassa e in una seconda porzione di cassa lungo un piano parallelo all'asse di rotazione del rotore; e in cui la cassa interna contiene file anulari di pale fisse.

24. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il rotore è atto a ricevere un gas di processo a una temperatura T compresa tra 800°C e 1500°C .

25. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il rotore è atto a ricevere un gas di processo a una pressione superiore a 50 barA, preferibilmente superiore a 100 barA, più preferibilmente pari o superiore a 200 barA; e in cui il rotore è atto a ricevere un gas di processo a una pressione inferiore a 800 barA, preferibilmente pari o inferiore a 650 barA.

26. L'espantore di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, atto a generare una potenza superiore a 50 MW, preferibilmente pari o superiore a 100 MW, e preferibilmente inferiore a 2000 MW.

27. Un circuito termodinamico a biossido di carbonio supercritico o transcritico comprendente:

- una sorgente di ossidante;
 - un espantore con un lato di ingresso e un lato di scarico, in cui il lato di ingresso è in accoppiamento di fluido con la sorgente di ossidante;
 - una linea di ricircolo di gas di combustione, atta a mettere in ricircolo il gas di combustione dal lato di scarico dell'espantore a un combustore dell'espantore;
 - nella linea di ricircolo di gas di combustione, un refrigeratore atto a raffreddare il gas di combustione dal lato di scarico dell'espantore e a condensare l'acqua contenuta nel gas di combustione;
 - uno scambiatore di calore rigenerativo, in cui il gas di combustione dall'espantore fluisce scambio termico con il gas di combustione refrigerato dal refrigeratore;
- in cui l'espantore è un espantore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti.

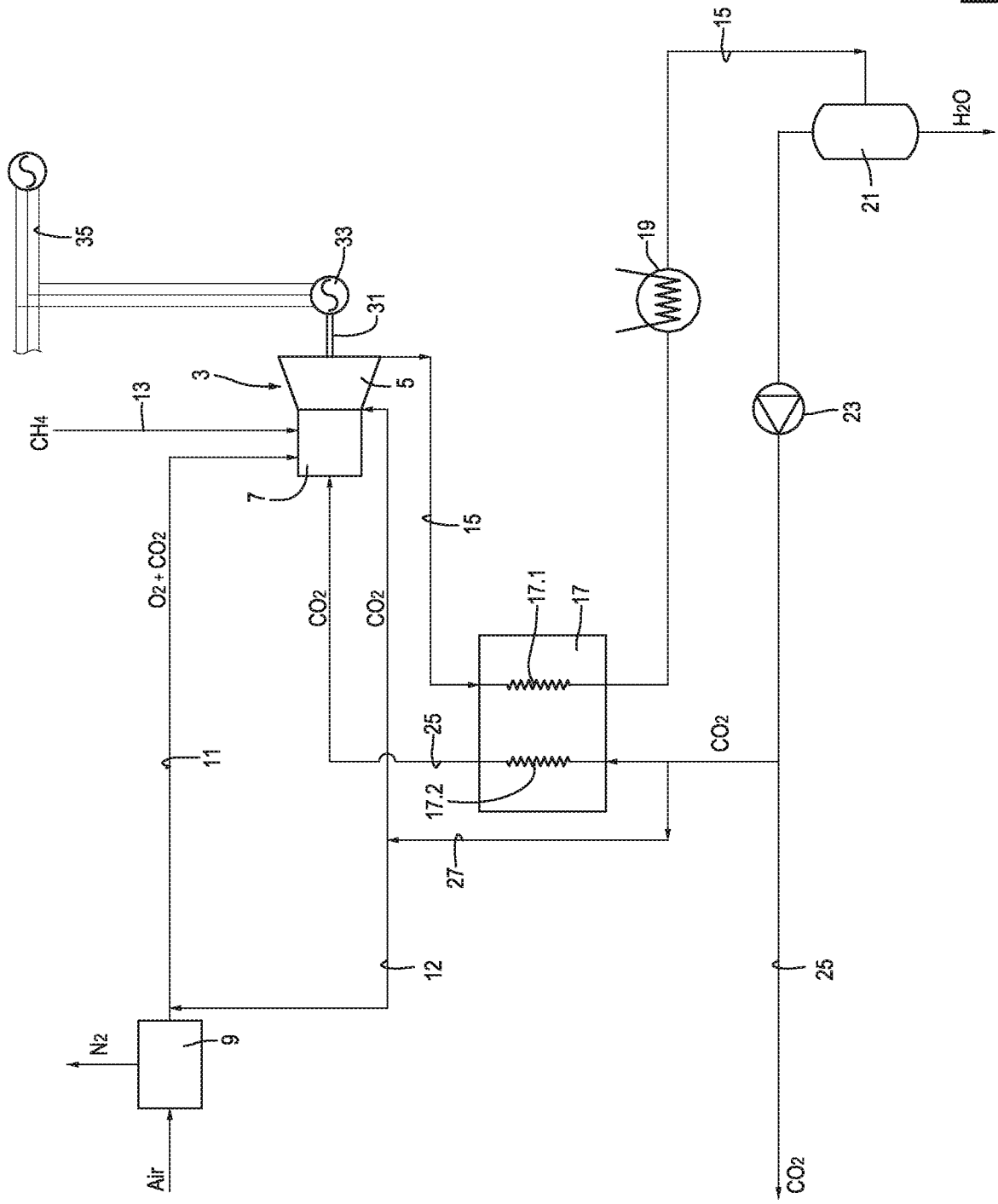


Fig.1

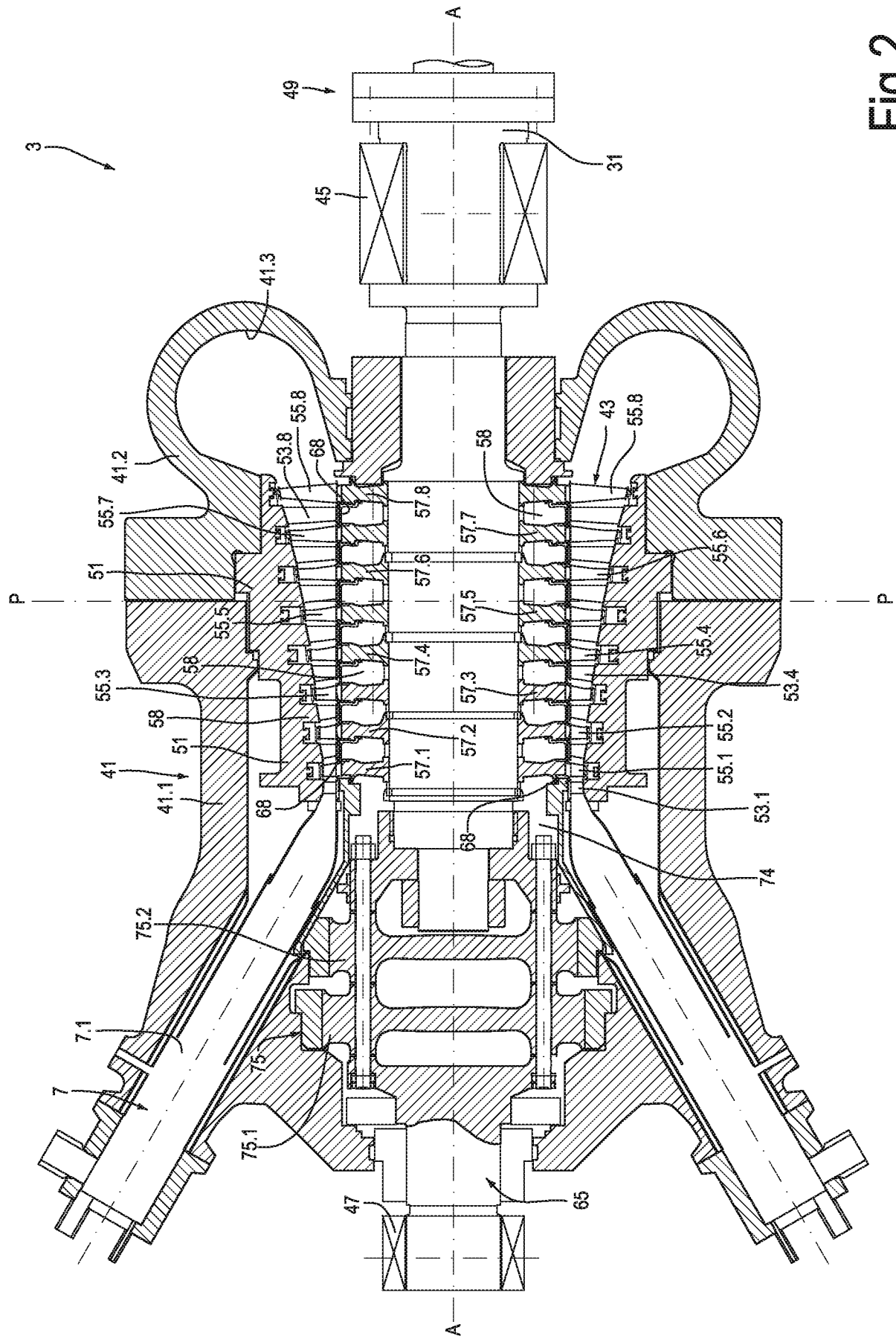


Fig.2

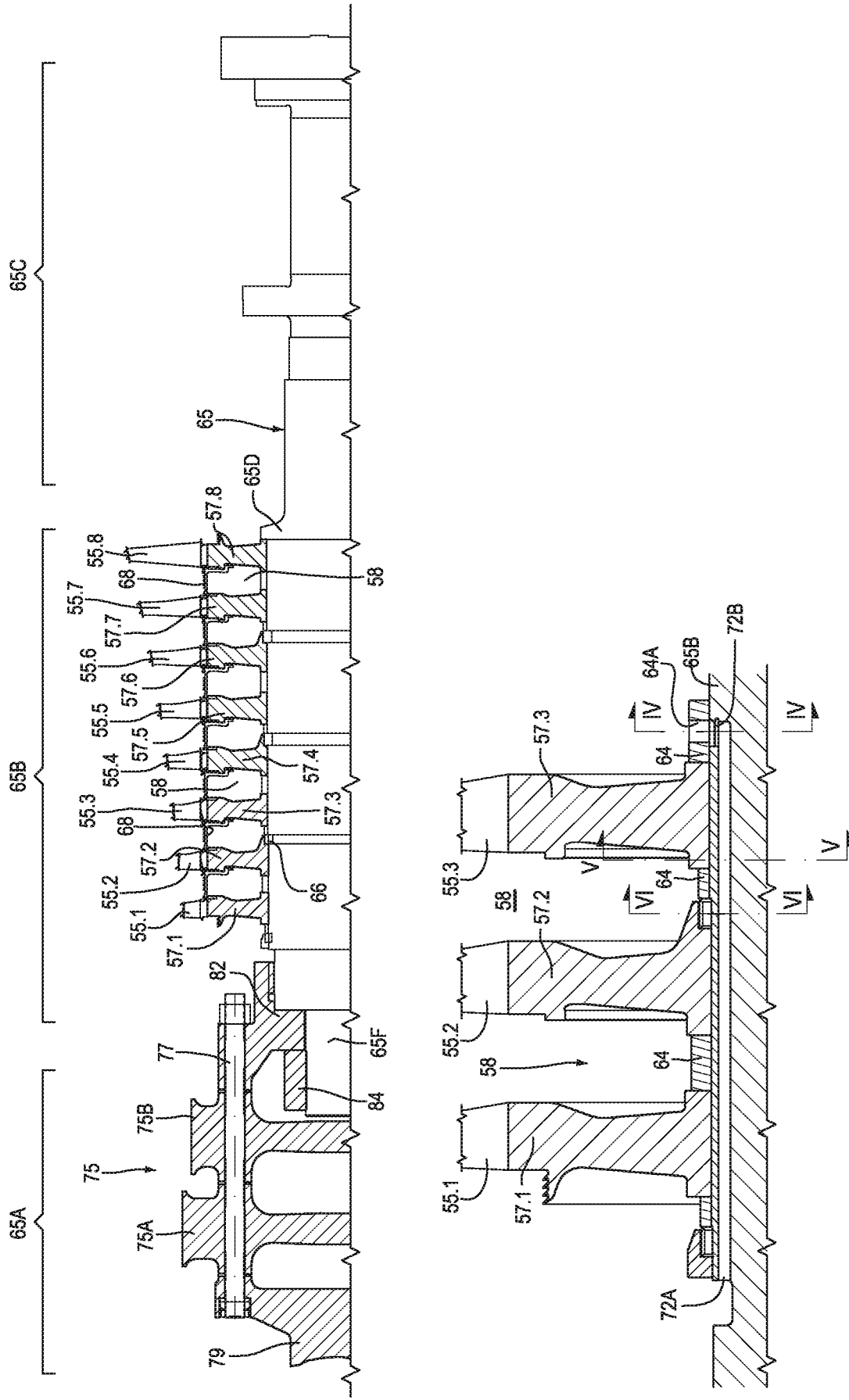


Fig.3

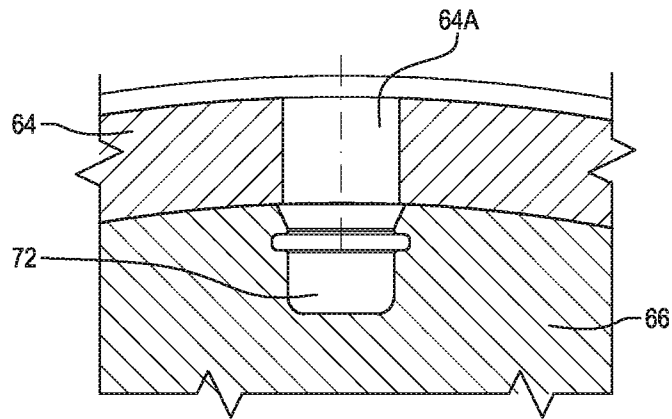


Fig.4

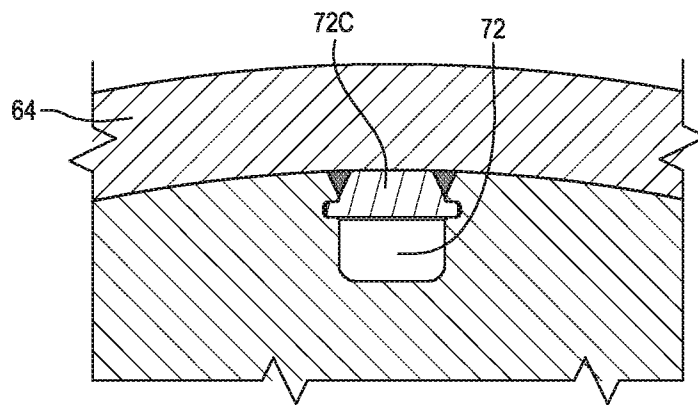


Fig.5

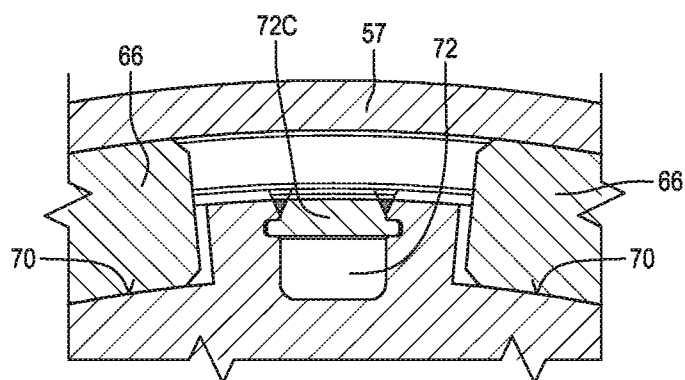


Fig.6