



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

PATENT A5

(11)

643 035

(21) Gesuchsnummer: 4746/79

(73) Inhaber:
Curtiss-Wright Corporation, Wood Ridge/NJ
(US)

(22) Anmeldungsdatum: 21.05.1979

(72) Erfinder:
Rossa W. Cole, East Rutherford/NJ (US)
August H. Zoll, Cedar Grove/NJ (US)

(24) Patent erteilt: 15.05.1984

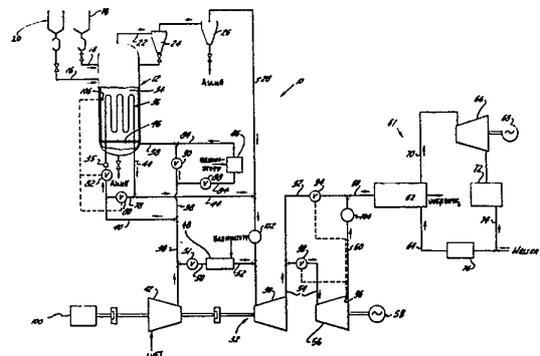
(45) Patentschrift
veröffentlicht: 15.05.1984

(74) Vertreter:
Patentanwalts-Bureau Isler AG, Zürich

(54) Gasturbinenanordnung und Verfahren zu ihrem Betrieb.

(57) Diese Gasturbinenanordnung enthält eine luftgekühlte Fließbett-Brennkammer (12) zur Erzeugung von Verbrennungsgasen aus der Verbrennung von pulverisiertem Brennstoff im Beisein von zerkleinertem Dolomit.

Die Anordnung enthält eine erste Gasturbine (30), die von den Verbrennungsgasen angetrieben wird und ihrerseits einen Luftkompressor (42) antreibt, der Druckluft zum Kühlen und Aufrechterhalten des Fließbettes, sowie den für die Verbrennung notwendigen Sauerstoff liefert. Eine zweite Gasturbine (56), welche einen elektrischen Wechselstromgenerator (58) antreibt, wird von den Abgasen der ersten Gasturbine (30) beaufschlagt. Für den Anlaufbetrieb sind verschiedene ventilgesteuerte Bypassleitungen zum Vorheizen der komprimierten Luft vor deren Eintritt in die Fließbett-Brennkammer (12), zum Vorbeiführen der zur Kühlung dienenden komprimierten Luft an der Brennkammer (12) und zum Umleiten der Abgase der ersten Gasturbine (30) um die zweite Gasturbine (56) vorhanden. Der ventilgesteuerte Bypass (92) zum Umleiten der Abgase um die zweite Gasturbine dient ferner zum raschen Anpassen der Gaszufuhr zur zweiten Gasturbine, um bei starken Lastabfällen das Auftreten einer schädlichen Überdrehzahl zu vermeiden, ohne dabei die Funktion und das thermische Gleichgewicht in der Fließbett-Brennkammer zu stören.



PATENTANSPRÜCHE

1. Gasturbinenanordnung, gekennzeichnet durch eine Brennkammer (12) zur Verbrennung von pulverisiertem Brennstoff unter Druck in einem Fließbett und durch eine Einrichtung (14, 18) zur Zuführung des pulverisierten Brennstoffes in die Brennkammer (12);

einen in der Brennkammer (12) eingebauten Wärmetauscher (36) zur Steuerung der Reaktionstemperatur in der Brennkammer;

einen Luftkompressor (42);

eine erste Leitungsanordnung (38, 40) zur Verbindung des Kompressors (42) mit dem Wärmetauscher (36) und der Brennkammer (12), um einen Teil der vom Kompressor (42) abgegebenen Druckluft zum Wärmetauscher (36) und einen anderen Teil dieser Druckluft zur Erhaltung des Fließbettes und zur Unterstützung der Verbrennung in die Brennkammer (12) zu leiten;

eine den Kompressor (42) antreibende erste Gasturbine (30) und eine Anfahr-Brennkammer (48) zum Anfahren der ersten Gasturbine (30);

eine zweite Leitungsanordnung (28, 52) zum Beimischen von Verbrennungsgas aus der Brennkammer (12) zu dem Verbrennungsgas aus der Anfahr-Brennkammer (48) zur Beaufschlagung der ersten Gasturbine (30);

eine zweite Gasturbine (56) zum Antreiben einer Last (58), welche zweite Gasturbine (56) aus der ersten Gasturbine gespeist ist; und durch ein Steuersystem mit:

in der ersten Leitungsanordnung (38, 40) vorgesehenen ersten Ventilen (82, 90), mit einer Offen- und einer Schliessstellung zur Steuerung der Druckluftströmung durch den Wärmetauscher (36) und die Brennkammer (12); einer ventilgesteuerten Nebenschlussleitung (92) zum Umleiten des aus der ersten Gasturbine (30) austretenden Verbrennungsgases um die zweite Gasturbine (56) beim Anfahren bei geschlossenen ersten Ventilen (82, 90) sowie zur Verhinderung einer Überdrehzahl bei plötzlichem Lastabfall an der zweiten Gasturbine (56).

2. Anordnung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Heizvorrichtung (86) und ein Ventil (88) im Nebenschluss zu der ersten Leitungsanordnung (38, 40) derart, dass das letztgenannte Ventil mit einem der ersten Ventile (90) zusammen während des Anfahrbetriebes Druckluft vor deren Eintritt in die Brennkammer (12) über die Heizvorrichtung (86) leitet.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine dritte Leitungsanordnung (54) zur Zuleitung von Verbrennungsgas aus der ersten Gasturbine (30) zur zweiten Gasturbine (56) und ein drittes Ventil (98) in dieser dritten Leitungsanordnung (54) vorhanden sind, wobei das dritte Ventil (98) die Verbrennungsgasmenge durch die dritte Leitungsanordnung in umgekehrtem Verhältnis zu der die ventilgesteuerte Beipassleitung (92, 94) durchströmenden Verbrennungsgasmenge steuert.

4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (94) in der ventilgesteuerten Nebenschlussleitung (92) zur Sperrung des Durchflusses durch diese Nebenschlussleitung (92) in Abhängigkeit von der Drehzahl der zweiten Gasturbine (56) bei Drehzahlen unter einer vorgegebenen Drehzahl vorhanden ist, und das dritte Ventil (98) zur Durchleitung des Abgasstromes bei Drehzahlen unterhalb der vorgegebenen Drehzahl vorhanden ist.

5. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass über Abschnitte der ersten und zweiten Leitungsanordnungen (38, 52) der ersten Gasturbine (30) Druckluft aus dem Kompressor (42) über die Anfahr-Brennkammer (48) zuführbar ist und dass ein weiteres Ventil (51) zur Steuerung dieser Druckluft vorgesehen ist.

6. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekenn-

zeichnet, dass Mittel (51) zum Sperren der Druckluft aus dem Kompressor (42) zur Anfahr-Brennkammer (48) für die erste Gasturbine (30) vorhanden sind, so dass diese ausschliesslich durch das Verbrennungsgas aus der Brennkammer (12) antreibbar ist.

7. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuersystem eine Mess- und Signalerzeugungseinrichtung (96) zum Messen der Last der zweiten Gasturbine (56) aufweist, derart, dass bei einem Lastabfall das dritte Ventil (98) die Verbrennungsgasmenge zur zweiten Gasturbine (56) verringert und das Nebenschlussventil (94) die Verbrennungsgasmenge durch die Nebenschlussleitung erhöht, um eine Überdrehzahl zu verhindern.

8. Verfahren zum Betrieb der Gasturbinenanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

a) zum Anfahren der beiden Gasturbinen (30, 56) und zum anfänglichen Antreiben des Luftkompressors (42) die erste Gasturbine (30) zunächst von einem Startantrieb (100) getrieben wird, und dass der der Anfahrbrennkammer (48) zugeführte Brennstoff gezündet wird;

b) gleichzeitig der Druckluftstrom zur Brennkammer (12) und zum Wärmetauscher (36) gesperrt wird;

c) nach Erreichen des Eigenbetriebs der ersten Gasturbine (30) der Startantrieb (100) abgeschaltet und die Druckluft vorgeheizt und gleichzeitig mit dem pulverisierten Brennstoff und Dolomit in die Brennkammer (12) eingegeben wird, so dass der Brennstoff und der Dolomit in einen fließfähigen Zustand gebracht werden und der Brennstoff verbrennt;

d) innerhalb eines ersten vorgegebenen Temperaturbereichs in der Brennkammer (12) die Druckluft in den Wärmetauscher und in graduell zunehmenden Mengen zur Aufrechterhaltung des Fließbettes in die Brennkammer eingeleitet wird;

e) die Verbrennungsgase aus der ersten Gasturbine (30) um die zweite Gasturbine (56) geleitet werden; und dass

f) innerhalb eines zweiten vorgegebenen Temperaturbereichs in der Brennkammer, der höher als der erste vorgegebene Temperaturbereich ist, die Vorheizung der Druckluft und die Erzeugung von Verbrennungsgas in der Anfahrbrennkammer unterbrochen werden, und der Nebenschluss (92) für das Verbrennungsgas gesperrt wird, um das Verbrennungsgas als Antriebsmedium in die zweite Gasturbine zu leiten.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der erste vorgegebene Temperaturbereich zwischen 750 °C und 800 °C liegt.

10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite vorgegebene Temperaturbereich zwischen 870 °C und 925 °C liegt.

11. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die genannten ersten und zweiten Temperaturbereiche zwischen 750 °C und 925 °C liegen.

12. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Temperaturbereich ein Teil der Druckluft über einen Beipass (78) an dem Wärmetauscher vorbeigeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur im Fließbett durch einen Fühler (106) gemessen und danach ein Signal erzeugt wird, mit welchem im zweiten vorgegebenen Temperaturbereich der Zustrom von Druckluft in den Wärmetauscher (36), die Abschaltung der Heizvorrichtung (86) und die Unterbrechung des Nebenschlusses (92) für das Verbrennungsgas um die zweite Gasturbine (56) gesteuert werden.

14. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Geschwindigkeit des dem Fließbett zugeführten Luftstromes auf einem konstanten Wert gehalten wird.

Die Erfindung bezieht sich auf eine Gasturbinenanordnung gemäss dem Oberbegriff des unabhängigen Anspruchs 1 und ferner ein Verfahren zum Betrieb der Anordnung.

Gasturbinenanordnungen mit einer als Lastantrieb dienenden Gasturbine, die von in einer Fließbett-Brennkammer erzeugten Gasen getrieben wird, wobei die Verbrennung mit pulverisiertem Brennstoff erfolgt, sind beispielsweise aus den US-PS'n 3 791 137, 3 924 402 und 4 028 883 bekannt. Bei solchen Gasturbinenanordnungen ist die Betriebssteuerung sehr schwierig. Die Schwierigkeiten der Steuerung in Anordnungen kommerzieller Grösse gehen vor allem auf das grosse Volumen von erhitzter Druckluft und die grosse Brennstoffmenge in der Fließbett-Brennkammer und in Anordnungen, bei denen der Brennstoff zusammen mit zerkleinertem Dolomit verbrannt wird, auf die Vielzahl von Tonnen an erhitztem Dolomit zurück, wodurch die Anordnung auf Laständerungen nur schwerfällig anspricht.

Im Anlaufbetrieb einer solchen Gasturbinenanordnung muss dieses grosse Volumen und die grosse Materialmenge zunächst relativ langsam in thermodynamisches Gleichgewicht gebracht werden, bevor eine Last (z.B. ein elektrischer Generator) wirksam angetrieben werden kann. So kann es beispielsweise 3 bis 4 Stunden dauern, bis die Fließbett-Brennkammer in den geeigneten Betriebszustand gebracht worden ist. Wenn eine besondere Gasturbine im Unterschied zu dem Expander einer Gasturbinenmaschine als Antrieb eines elektrischen Generators verwendet wird, kann eine plötzliche grössere Verminderung der elektrischen Generatorlast zu einer überhöhten Geschwindigkeit und zur Beschädigung dieser Lastturbine führen, da der Betrieb der Gasturbinenmaschine und der Fließbett-Brennkammer nicht so rasch geändert werden kann, um an die Geschwindigkeits- und/oder Lastbedarfsänderungen an der Lastturbine angepasst zu werden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, bei einem Gasturbinentriebwerk mit einer Fließbett-Brennkammer und einer Gasturbine zum Antreiben einer Last ein Steuersystem zur Verfügung zu stellen, das rasch auf an der Turbine wirksame Geschwindigkeits- und/oder Lastbedarfsänderungen ansprechen kann, ohne den thermodynamischen Betrieb der Fließbett-Brennkammer und der Gasturbinenmaschine zu beeinträchtigen. Die im Steuersystem verwendeten Ventile sollen dabei keinen sehr hohen Temperaturen ausgesetzt sein, so dass keine Spezialventile erforderlich sind. Ausserdem gibt die Erfindung ein Betriebsverfahren an, das getrennte Anlauf- und Primärluftkompressoren überflüssig macht.

Die wesentlichen Merkmale der Gasturbinenanordnung ergeben sich aus der Kennzeichnung des Patentanspruchs 1. Das erfindungsgemässe Betriebsverfahren ist in der Kennzeichnung des Patentanspruchs 8 definiert.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert, in der ein Ausführungsbeispiel der Gasturbinenanordnung schematisch gezeigt ist.

In der Zeichnung bezeichnet das Bezugszeichen 10 ein Gasturbinentriebwerk mit einer Fließbett-Brennkammer und einem diesem zugeordneten Steuersystem.

Zum Triebwerk 10 und zum Steuersystem gehört eine Fließbett-Brennkammer 12, welche über eine Versorgungseinrichtung, z.B. Leitungen 14 und 16 mit einer Quelle von pulverförmigem festen Brennstoff 18 und Schwefeldioxyd-absorbierendem Material 20, z.B. Kohle bzw. zerkleinertem Dolomit, verbunden ist. Die Verbrennungsgase, welche durch Verbrennung des Brennstoffs in der Brennkammer 12 erzeugt werden, werden aus dieser über eine Rohrleitung 22 zu Separatoren 24 und 26, z.B. Zyklonenabscheidern für zweistufige Trennung und über ein Leitungsrohr 28 zum Expander 30 einer Gasturbinenmaschine 32 geleitet. Die Brennkammer 12

ist mit einem Luft-Kühlsystem zur Steuerung der Reaktionstemperatur im Fließbett 34 auf einen Bereich zwischen etwa 700 und 925 °C versehen.

Das Luft-Kühlsystem weist einen Wärmetauscher 36 eines geeigneten Typs im Fließbett 34 auf, der über Rohrleitungen 38 und 40 zur Aufnahme von Druckluft mit einem Luftkompressor 42 verbunden ist. Der Wärmetauscher 36 ist ausserdem über ein Auslassrohr 44 mit einem Rohr 28 derart verbunden, dass erhitzte komprimierte Luft mit den durch die Rohrleitung 28 strömenden gereinigten Verbrennungsgasen aus der Brennkammer 12 gemischt wird.

Die Brennkammer 12 ist über eine Rohrleitung 38 mit dem Kompressor 42 verbunden, um einen Teil der von diesem abgegebenen Druckluft aufzunehmen. Diese in die Brennkammer 12 eingeführte Druckluft wird durch geeignete Verteilungsmittel, z.B. eine Verteilersiebplatte 46 in das Fließbett 34 verteilt. Die Druckluft dient zum Aufrechterhalten des Brennstoffs und anderen Teilchenmaterials, z.B. Dolomit, in einem suspendierten Wirbelstromzustand und zur Sauerstoffzufuhr für die Unterstützung der Verbrennung des Brennstoffs.

Der Luftkompressor 42 wird vom Expander 30 der Gasturbinenmaschine 32 angetrieben und kann Bestandteil der Gasturbinenanlage oder als getrennte Einheit, getrieben von dem Expander 30, angeordnet sein. Die Anfahr-Brennkammer 48 kann ebenfalls als integraler Bestandteil oder getrennt von der Gasturbinenanlage vorgesehen sein. Die Anfahr-Brennkammer 48 erhält Druckluft vom Kompressor 42 über eine Anschlussleitung 50 und Brennstoff von einer geeigneten Quelle zur Erzeugung von Brenngasen, die über eine Ableitung 52 dem Gas in der Leitung 28 beigemischt werden. Komprimierte Luft strömt, gesteuert durch ein Ventil 51, durch die Leitung 52, das Verbrennungsgas aus der Anfahr-Brennkammer 48 dient allein oder zusammen mit dem Verbrennungsgas aus der Leitung 28 und erhitzter Druckluft zum Antreiben des Expanders 30.

Das Abgas aus dem Expander 30 wird über einen Durchlass oder ein Leitungsrohr 54 einer Gasturbine 56 zugeführt. Diese Gasturbine 56 treibt eine Last, z.B. einen elektrischen Generator 58. Das Abgas aus der Gasturbine 56 wird über eine Abgasleitung 60 einem Dampf- und Energieerzeugungssystem 61 zugeführt.

Das Dampf- und Energieerzeugungssystem 61 weist einen Abgaskessel 62 auf, der Abgas aus der Turbine 56 aufnimmt und durch indirekten Wärmeaustausch das Wasser aus der Speiseleitung 64 erhitzt und verdampft. Eine über eine Auslassleitung 70 gespeiste Dampfturbine 66 treibt einen elektrischen Generator 68 an. Der abströmende Dampf aus der Dampfturbine 66 wird zu einem Dampfkondensator 72 geführt, von welchem das kondensierte Wasser über eine Rohrleitung 74, einen Speisewassererhitzer 76 und eine Speiseleitung 64 zum Abgaskessel 62 zurückgeleitet wird.

Zur Steuerung der Anordnung sind einige ventilgesteuerte Beipassrohre oder -leitungen vorgesehen, welche die Triebwerkanlage in Betrieb setzen und eine rasche Anpassung der Leistungsturbine 56 auf Änderungen des Lastbedarfs am elektrischen Generator 58 ermöglichen sowie diese Turbine 56 gegen Überdrehzahl bei plötzlichem Absinken der Lastanforderung an den elektrischen Generator 58 schützen.

Das Steuersystem weist im einzelnen eine Beipassleitung 78 auf, welche die, die Druckluft zum Wärmetauscher 36 übertragende Leitung 40 mit der Auslassleitung 44 verbindet, um dadurch einen Beipass zum Wärmetauscher 36 zu schaffen. Ein Ventil 80 ist in dieser Beipassleitung 78 angeordnet und steuert den Durchfluss durch diese Leitung, während ein Ventil 82, das in der Leitung 40 angeordnet ist, den Druckluftstrom zum Wärmeaustauscher 36 steuert. Die Ventile 80 und 82 sind derart einstellbar, dass sie die Druckluft vollstän-

dig am Wärmetauscher 36 vorbeiführen können, wie dies während eines Teils der Anlassperiode notwendig ist, oder den Zustrom zum Wärmetauscher 36 so zu steuern, dass die Temperatur des Fliessbetts 34 innerhalb des gewünschten Temperaturbereichs zwischen 700 und 925 °C während des Betriebs gehalten wird.

Die Ventile 80 und 82 dienen auch gemeinsam zur Steuerung der Strömungsgeschwindigkeit des Wirbelluftstroms im Fliessbett 34 auf einen konstanten Istwert. Diese zuletzt genannte Funktion wird dadurch erfüllt, dass die Luft-Strömungsgeschwindigkeit in der Leitung 40 abströmseitig vom Ventil 82, z.B. bei 35, gemessen wird und dieser Messwert mit der Luftgeschwindigkeit im Fliessbett in Beziehung gesetzt wird, indem die Temperatur und der Druck im Fliessbett als Funktion der Geschwindigkeit gemessen werden.

Eine zweite Beipassleitung 84 im Kühlluftsystem dient zur Umleitung der Druckluft, die von dem Luftkompressor 42 in die Rohrleitung 38 abgegeben wird. Eine geeignete Heizvorrichtung 86 ist in der Beipassleitung 84 angeordnet und erhitzt die komprimierte Luft vor deren Zuführung zur Fliessbett-Brennkammer 12. Die Heizvorrichtung 86 kann beliebiger Bauart zur Erhitzung von Druckluft sein und kann beispielsweise als Brennstoff-Verbrennungsvorrichtung ausgebildet sein. Zur Steuerung der Druckluftströmung durch die Beipassleitung 84 und die Leitung 38 sind Ventile 88 und 90 in den zugehörigen Leitungen 84 bzw. 38 vorgesehen.

Eine andere Beipassleitung 92 ist an einem Ende mit der Abgas-Leitung 54 des Expanders 30 und am entgegengesetzten Ende mit der Abgasleitung 60 verbunden und bildet für die Abgase aus dem Expander 30 eine Umgehung um die Turbine 56. Ein Ventil 94, das in Abhängigkeit von einem durch einen Drehzahlwechsler oder eine andere geeignete Last-Messvorrichtung 96 wirksam ist, ist zur Steuerung des Durchflusses in der Beipassleitung 92 angeordnet. Bei Betrieb unter im wesentlichen konstanter Last an der Turbine 56 befindet sich das Ventil 94 in der Schliessstellung. Im Anlaufbetrieb der Triebwerksanlage 10 ist das Ventil 94 dagegen vollständig offen. Ferner dient das Ventil 94 zur Anpassung des von der Turbine 96 entwickelten Drehmoments auf wesentliche Änderungen der Lastanforderungen am Generator 58. Im Falle eines plötzlichen Lastabfalls öffnet das Ventil 94, um das Druckgefälle an der Turbine 56 im wesentlichen auf 0 zu bringen und dadurch zu verhindern, dass die Turbine 56 überdreht und dadurch beschädigt werden kann. Dieser Beipass 92 und das Ventil 94 ergeben eine rasche und genaue Steuerung der Turbinen-Ausgangsleistung ohne Störung des thermodynamischen Gleichgewichts der Fliessbett-Brennkammer 12. Zum weiteren Schutz der Turbine 56 ist vorzugsweise ein Ventil 98 in der Leitung 54 eingebaut.

Das Ventil 98 ist normalerweise geöffnet und dient zum Sperren des Gasstroms zur Turbine 56, wenn ein plötzlicher Lastabfall an ihr auftritt. Dieser plötzliche Lastbedarfsverlust kann dann entstehen, wenn eine elektrische Störung im Generator 58, eine Schaltungsunterbrechung oder eine Kupplungsunterbrechung zwischen der Turbine 56 und dem Generator 58 auftritt. Diese Ventilvorrichtung 98 kann irgendeine geeignete Ausführung annehmen; so beispielsweise eine Gruppe von ungekrümmten Schaufeln oder Lamellen im Eingangsring der Turbine 56, die bei einer normalerweise offenen Position mit der Richtung der Gasströmung ausgerichtet angeordnet sind und durch ein geeignetes Hebelsystem und eine Ringanordnung soweit gedreht werden, dass sie eine im wesentlichen rechtwinklige Orientierung bezüglich der Richtung des Gasstroms erhalten und eine völlig geschlossene Stellung einnehmen; eine Gruppe von Iris- oder Guillotine-Platten kann derart angeordnet und betätigt werden, dass sie ein Ringventil bilden; oder bei neueren Leistungsturbinenausführungen können die Statorschaufeln der ersten Stufe drehbar

gemacht und in eine Schliessstellung gedreht werden, um die Gaszufuhr zu sperren.

Es ist erwünscht, dass die Ventilvorrichtung 98 im Steuersystem vorgesehen ist und mit dem Ventil 94 in der Beipassleitung 92 zusammenwirkt, denn es wurde gefunden, dass in einigen Situationen nicht genügend Gas über die Leitung 92 umgeleitet werden kann, um die Energieabgabe der Freiflugturbine 56 auf 0 zurückzustellen und ein Überdrehen der Freiflugturbine zu vermeiden. Die Ventilvorrichtung 98 ist ähnlich dem Ventil 94 so angeschlossen, dass sie auf die Last-Messeinrichtung 96 anspricht und schliesst, wenn das Ventil 94 öffnet. Die Ventilvorrichtung 98 bewirkt in einer Schliessstellung und in Verbindung mit dem geschlossenen Ventil 94 auch, dass der Rückdruck bzw. Staudruck auf die Gasturbinenmaschine 32 aufrechterhalten wird und verhindert dadurch deren Überdrehzahl.

Anlauf

Für den Anlauf des Triebwerks werden zuerst die Ventile 80, 82, 88, 90 und 98 geschlossen und die Ventile 51 und 94 geöffnet. Bei dieser Lage der genannten Ventile wird der Druckluftstrom zur Brennkammer 12 unterbrochen und die Beipassleitung 92 geöffnet, so dass Abgas vom Expander 30 nicht in die Turbine 56 einströmen kann. Bei geöffnetem Ventil 51 wird ein geeigneter Starterantrieb 100, z.B. ein Motor mit interner Verbrennung betätigt und treibt den Luftkompressor 42 an. Die gesamte, vom Luftkompressor 42 erzeugte Druckluft strömt durch den Durchlass 50 in die Anfahr-Brennkammer 48, wo Treibstoff injiziert und zur Erzeugung von Verbrennungsgas gezündet wird. Dieses Verbrennungsgas wird über den Durchlass 52 zur Leitung 28 und von dort zum Expander 30 zu dessen Antrieb geleitet. Ein Rückschlagventil 102 oder eine andere Absperrvorrichtung in der Leitung 28 verhindert, dass Verbrennungsgas in Richtung der Fliessbett-Brennkammer 12 strömt. Das Abgas aus dem Expander 30 wird zu dem Dampf- und Energieerzeugungssystem 61 über die Leitung 54, die Beipassleitung 92 und die Abgasleitung 60 geleitet. Ein Rückschlagventil 104 verhindert einen Rückstrom von Abgas in die Abgasleitung 60. Sobald der Expander 30 angetrieben ist, wird die Startervorrichtung 100 ausgeschaltet und die Verbrennungsvorrichtung 48 derart betätigt, dass die Gasturbinenmaschine geheizt wird. Wenn sich die Gasturbinenmaschine 32 betriebsmässig stabilisiert hat, wird das Ventil 88 in der Beipassleitung 84 geöffnet und lässt Druckluft zur Heizvorrichtung 86 durch, wobei ein Teil der Druckluft die Verbrennung des Brennstoffs unterstützt. Das Gemisch aus Verbrennungsgas und erhitzter komprimierter Luft fliesst über die Leitung 38 in die Brennkammer 12. Nachdem die erhitzte Druckluft und das Verbrennungsgas in der Brennkammer 12 nach Volumen und Druck ausreichen, um den Brennstoff und das Teilchenmaterial im Fluidisierungszustand zu halten, werden Brennstoff und Teilchenmaterial über die Leitungen 14 und 16 in die Fliessbett-Verbrennungsvorrichtung 12 eingeleitet. Das Gemisch aus heissen Verbrennungsgasen und komprimierter Luft liefert auch die Wärme und den Sauerstoff zum Zünden des Brennstoffs im Fliessbett 34. Wenn die Fliessbetttemperatur einen Wert zwischen etwa 750 °C und 800 °C erreicht hat, gemessen von einer Temperaturmess- und Signalgabevorrichtung 106, wird das Ventil 82 zunehmend geöffnet und lässt Druckluft über die Leitung 40 in den Wärmetauscher 36 strömen. Durch graduelle Erhöhung des Druckluftstroms in und durch den Wärmetauscher 36 wird ein übermässiger Wärmeshock am Wärmetauscher verhindert, wenn die relativ kalte Druckluft durch den Wärmetauscher zu strömen beginnt. Wenn das Fliessbett 34 eine Temperatur innerhalb des Bereichs zwischen etwa 870 °C und etwa 925 °C erreicht hat, öffnet das Ventil 80, so dass die den Wärmetauscher 36 durchströmende

Druckluftmenge zur Aufrechterhaltung des Fliessbetts 34 bei der gewünschten Temperatur im Bereich von etwa 870 °C und etwa 925 °C gesteuert werden kann, wobei der Durchfluss durch den Wärmetauscher und die Beipassleitung 78 variiert wird. Die Ventile 80 und 82 wirken in der Weise zusammen, dass bei Bewegung des einen Ventils in eine Schliessstellung das andere Ventil in eine Offenstellung bewegt wird, wodurch der Luftstrom aufgeteilt wird, damit die Fliessbetttemperatur im genannten Temperaturbereich gehalten wird. Diese Ventile wirken auch im Sinne einer Aufrechterhaltung einer konstanten Wirbelluftgeschwindigkeit zusammen. Das im Fliessbett 34 erzeugte Gas wird über die Leitungen 22 und 28 in den Expander 30 der Gasturbinenmaschine 32 geleitet. Das Abgas aus dem Expander 30 umgeht zu diesem Zeitpunkt über die Beipassleitung 92 die Turbine 56. Wenn das Fliessbett 34 eine Temperatur im Bereich von etwa 750 bis etwa 800 °C und die Gasturbine 32 den synchronisierten Freilaufpunkt erreicht hat, wird das Ventil 88 geschlossen und die Brennstoffzufuhr zur Heizvorrichtung 86 unterbrochen. Im wesentlichen gleichzeitig mit dem Schliessen des Ventils 88 wird das Ventil 90 geöffnet, so dass jetzt der Druckluftstrom direkt zur Brennkammer 12 gelangt, in der das Fliessbett sein thermodynamisches Gleichgewicht erreicht hat. Zu diesem Zeitpunkt wird das Beipassventil 94 geschlossen und das Ventil 98 geöffnet, um das Abgas aus dem Expander 30 in die Turbine 56 zu

leiten und dadurch letztere anzutreiben. Ebenfalls zu diesem Zeitpunkt wird das Ventil 51 geschlossen und die Brennstoffzufuhr zur Anfahr-Brennkammer 48 unterbrochen, so dass der Expander 30 nur noch von einem Gemisch aus Verbrennungsgas und erhitzter Druckluft, das dem Expander über die Leitungen 28 und 44 zugeführt wird, getrieben wird. Die Triebwerkanlage 10 ist jetzt bei vollem Lastbedarf des Generators 58 in Betrieb, wobei die Ventile 94 und 98 den Durchfluss durch die Leitung 54 und die Beipassleitung 92 ändern, um Schwankungen im Lastbedarf zu kompensieren, wobei sie bei plötzlichem Lastabfall öffnen bzw. schliessen, um eine Überdrehzahl an der Turbine 56 und am Expander 30 zu verhindern.

Nach den vorstehenden Erläuterungen enthält die beschriebene Gasturbinenanordnung ein Steuersystem für ein Gasturbinentriebwerk mit einer Fliessbett-Brennkammer, die einen verbesserten und vereinfachten Anlass- bzw. Startbetrieb, die Anpassung an Änderungen des Lastbedarfs ohne Störung des thermodynamischen Gleichgewichts der Fliessbett-Brennkammer und Schutz der Lastturbine gegen Überdrehzahl im Falle eines plötzlichen und beträchtlichen Abfalls des Lastbedarfs bewirkt. Die Ventile des Steuersystems steuern die Gasströme an solchen Stellen, an denen die Gase relativ niedrige Temperaturen haben, so dass die Ventile keinen besonderen baulichen Aufwand erfordern.

