

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 995 484 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
29.01.2003 Patentblatt 2003/05

(51) Int Cl.7: **B01F 3/02**

(21) Anmeldenummer: **98811042.5**

(22) Anmeldetag: **19.10.1998**

(54) **Verfahren zur Erzeugung eines Gasstromes mittleren Druckes und mittlerer Temperatur aus einem Gasstrom hohen Druckes und hoher Temperatur sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens**

Method of producing a gas stream of medium pressure and medium temperature from a gas stream of high pressure and high temperature as well as apparatus for carrying out the process

Méthode pour la production d'un courant de gas à moyenne pression et température moyenne à partir d'un courant de haute pression et haute température ainsi qu'un dispositif pour la réalisation de la méthode

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.04.2000 Patentblatt 2000/17

(73) Patentinhaber: **ALSTOM (Switzerland) Ltd**
5401 Baden (CH)

(72) Erfinder:

- **Hagström, Gustav**
5415 Nussbaumen (CH)
- **Keller, Jakob, Prof.Dr.**
5610 Wohlen (CH)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-87/04776
US-A- 4 333 017

US-A- 2 839 900

EP 0 995 484 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

- 5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Strömungstechnik. Sie betrifft ein Verfahren zur Erzeugung eines dritten Gasstromes mittleren Druckes und mittlerer Temperatur, welcher insbesondere als Kühlluft für eine Gasturbine einsetzbar ist, aus einem ersten Gasstrom hohen Druckes und hoher Temperatur, gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.
- [0002]** Ein solches Verfahren ist z.B. aus der Druckschrift US-A-2,839,900 bekannt.
- 10 **[0003]** Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

STAND DER TECHNIK

- 15 **[0004]** Eine besondere Schwierigkeit im Zusammenhang mit der Kühlung von Gasturbinen besteht darin, dass am Kompressor nur eine begrenzte Anzahl von Druckstufen für die Sekundärluftversorgung zur Verfügung steht. Infolge dieser Einschränkung kommt es häufig vor, dass Kühlluft mit einem sehr hohen Druck bereit gestellt wird, und dass hohe Verluste entstehen, bevor die Kühlluft ein gewünschtes Druckniveau erreicht, dass sehr viel tiefer liegen kann als das Druckniveau bei der Bereitstellung. In diesem Fall besteht ein weiteres Problem darin, dass die Temperatur der Kühlluft sehr hoch ist, weil eine reine Druckabsenkung die Ruhetemperatur der Kühlluft nicht verringert.
- 20 **[0005]** Eine besonders missliche Situation ergibt sich bei den niedrigen Versorgungsdruckniveaus eines Kompressors, wenn die Einlass-Leitschaufeln des Kompressors weitgehend geschlossen sind. In diesem Fall kann der niedrigste Versorgungsdruck, der bei vollkommen geöffneten Einlass-Leitschaufeln etwa 2 bar betragen würde, unter den Umgebungsdruck absinken. Als Folge davon würde der niedrigste erlaubte Versorgungsdruck für die Versorgung der Lager mit Sperrluft und der letzten Turbinenscheibe mit Kühlluft bis zu 5 bar hoch sein, obgleich ein Ueberdruck von
- 25 200 mbar ausreichend sein würde (siehe z.B. die US-A-5,564,896)
- [0006]** Aus der eingangs genannten Druckschrift US-A-2,839,900 ist ein regeneratives Vortex-Kühlsystem gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 3 für Turbinen von Flugzeugen bekannt, bei dem in einem mehrstufigen Abkühlprozess mittels zweier Wärmetauscher und zwei hintereinandergeschalteter Vortexrohre heisse komprimierte Luft aus dem Verdichterteil der Turbine durch Energieaustausch mit angesaugter Luft von der Eingangsseite des Verdichterteils
- 30 abgekühlt wird. Die beiden Luftströme werden dabei voneinander getrennt geführt, was nicht nur einen sehr aufwendigen Aufbau der Wärmetauscher bedingt, sondern auch den Energieaustausch behindert.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

- 35 **[0007]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung anzugeben, mit welchen die Kühlluft bzw. generell ein Gasstrom mit gutem Wirkungsgrad von einem vergleichsweise hohen Ausgangsdruck und einer vergleichsweise hohen Ausgangstemperatur auf besser geeignete niedrigere Niveaus des Druckes und der Temperatur abgesenkt werden kann.
- [0008]** Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 3 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, den Druck und die Temperatur des eingangsseitigen Gasstromes durch Kombination mit einem weiteren Gasstrom geringen Drucks und geringer Temperatur energetisch günstig in mehreren Schritten in einer Kaskade von Energieaustauschern abzusenken, in denen jeweils durch Mischung zweier Massenströme unterschiedlichen Druckes und unterschiedlicher Temperatur ein resultierender dritter Massenstrom erzeugt wird.
- 40 **[0009]** Es gibt eine Vielzahl verschiedener Typen von Energieaustauschern, die in einer solchen Kaskade eingesetzt werden können, einschliesslich Turboladern, Druckwellenmaschinen, Ranque-Hilsch-Rohren oder einfachen Strahl-injektoren. In jedem Fall wird in einem solchen einzelnen Energieaustauscher ein Gasstrom hohen Druckes und ein Gasstrom niedrigen Druckes zu einem resultierenden Gasstrom mit einem mittleren Druck kombiniert. Eine erste bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens nach der Erfindung ist daher dadurch gekennzeichnet, dass der dritte Massenstrom des zweiten und aller weiteren Energieaustauscher jeweils in zwei Teilströme aufgeteilt wird, dass der erste
- 45 Teilstrom als erster Massenstrom des innerhalb der Kaskade nachfolgenden Energieaustauschers verwendet wird, dass der zweite Teilstrom als zweiter Massenstrom des innerhalb der Kaskade vorangegangenen Energieaustauschers verwendet wird, dass der erste Gasstrom als erster Massenstrom in den ersten Energieaustauscher eingespeist wird, dass der zweite Gasstrom als zweiter Massenstrom in den letzten Energieaustauscher eingespeist wird, und dass der erste Teilstrom des letzten Energieaustauschers als resultierender Gasstrom der Kaskade entnommen wird.
- 50 **[0010]** Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Typen von Energieaustauschern sind im wesentlichen verknüpft mit den unterschiedlichen Anwendungsbereichen, mit unterschiedlichen Komplexität und unterschiedlicher Effektivität. Die einfachste Klasse von Energieaustauschern sind die sogenannten direkten Flüssigkeits-Flüssigkeits-Energieaustauscher, zu denen der Strahlinjektor und das Ranque-Hilsch-Rohr zählen. Man kann daher gemäss einer
- 55

zweiten bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens nach der Erfindung auf besonders einfache Weise ausreichend hohe Effektivitäten erzielen, wenn die Energieaustauscher als Strahlinjektoren ausgebildet sind, d.h., wenn in jedem der Energieaustauscher der Kaskade der erste und der zweite Massenstrom jeweils als Strahl in einen Mischraum eingedüst und dort zum dritten Massenstrom miteinander vermischt werden.

[0011] Die erfindungsgemässe Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von Energieaustauschern in einer Kaskade hintereinandergeschaltet sind, dass jeder der Energieaustauscher zwei Eingänge und einen Ausgang aufweist, dass der Ausgang eines Energieaustauschers jeweils mit dem ersten Eingang des nachfolgenden Energieaustauschers verbunden ist, dass Mittel vorhanden sind, welche jeweils einen Teilstrom vom Ausgang eines Energieaustauschers auf seinen zweiten Eingang zurückführen, dass der erste Eingang des ersten Energieaustauschers als Hochdruckeinlass zum Einspeisen des ersten Gasstromes vorgesehen ist, dass der zweite Eingang des letzten Energieaustauschers als Niederdruckeinlass zum Einspeisen des zweiten Gasstromes vorgesehen ist, und dass der Ausgang des letzten Energieaustauschers als Mitteldruckauslass zur Entnahme des dritten Gasstromes vorgesehen ist.

[0012] Eine wegen der Einfachheit bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass jeder der Energieaustauscher als Strahlinjektor ausgebildet ist und jeweils einen von den Gasströmen durchströmten Mischraum aufweist, dass an dem Mischraum stromaufwärts zwei düsenförmige Einlässe vorgesehen sind, welche die beiden Eingänge des Energieaustauschers bilden, und dass an dem Mischraum stromabwärts ein Auslass angeordnet ist, welcher des Ausgang des Energieaustauschers bildet.

[0013] Ein sehr kompakter Aufbau lässt sich für die gesamte Kaskade dadurch erreichen, dass die Injektorkaskade aus einer Mehrzahl von im Durchmesser abgestuften halbkreisförmigen Rohrsegmenten aufgebaut ist, welche alternierend und konzentrisch auf den beiden Seiten einer Mittelebene angeordnet und mit ihren offenen Seiten so zur Mittelebene hin orientiert sind, dass die Rohrsegmente ineinandergreifen, und zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rohrsegmenten auf derselben Seite der Mittelebene jeweils Mischkanäle gebildet werden, welche untereinander kaskadenartig in Verbindung stehen.

Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

[0014] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhand mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 die schematisierte grundsätzliche Anordnung einer 3-stufigen Kaskade mit Strahlinjektoren mit den dazugehörigen Druckniveaus und Massenströmen gemäss einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 2 den prinzipiellen Aufbau eines einzelnen Strahlinjektors mit Mischrohr mit den für eine Berechnung notwendigen Parametern;

Fig. 3-11 verschiedene Diagramme mit berechneten charakteristischen Grössen einer beispielhaften 7-stufigen Kaskade mit Strahlinjektoren gemäss Fig. 2 in Abhängigkeit vom Verhältnis der Einlassquerschnitte; und

Fig. 12 im Querschnitt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel für eine aus konzentrischen halbkreisförmigen Rohrsegmenten zusammengesetzte, kompakte Strahlinjektorkaskade.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0015] In Fig. 1 ist die schematisierte grundsätzliche Anordnung einer 3-stufigen Kaskade mit Strahlinjektoren mit den dazugehörigen Druckniveaus und Massenströmen gemäss einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wiedergegeben. Die Kaskade 10 umfasst drei als Strahlinjektoren ausgebildete Energieaustauscher EE1,...,EE3, die hintereinander angeordnet und in charakteristischer Weise untereinander verbunden sind. Die Darstellung ist zugleich auf einer Druckskala p so gewählt, dass die jeweiligen Druckniveaus p_0 bis $r^4 p_0$ in den einzelnen Stufen der Kaskade erkennbar sind (die Bedeutung der Grössen p_0 und r^4 ergibt sich aus den weiter unten folgenden Erläuterungen). Am linken Hochdruckeinlass 21 der Kaskade wird ein erster Gasstrom S1 mit einem hohen Druck $r^4 p_0$ (und einer hohen Temperatur) als Massenstrom F_1 in einen ersten Eingang (Hochdruckeingang) des ersten Energieaustauschers EE1 der Kaskade 10 eingespeist. In einen zweiten Eingang (Niederdruckeingang) des ersten Energieaustauschers EE1 gelangt ein zweiter Massenstrom R_1 mit einem niedrigeren Druck $r^2 p_0$ (und einer niedrigeren Temperatur). Am Ausgang des Energieaustauschers EE1 steht dann ein aus den Massenströmen F_1 und R_1 kombinierter Massenstrom F_2 bei einem mittleren Druck $r^3 p_0$ (und einer mittleren Temperatur) zur Verfügung. Der kombinierte Massenstrom $F_2 = F_1 +$

R_1 wird auf den ersten Eingang des nachfolgenden Energieaustauschers EE2 gegeben, dessen zweiter Eingang mit einem weiteren Massenstrom R_2 mit dem Druck p_0 beaufschlagt wird. Am Ausgang entsteht aus den beiden eingangsseitigen Massenströmen F_2 und R_2 ein weiterer Massenstrom $F_2 + R_2$ mit dem mittleren Druck $r^2 p_0$.

[0016] Von diesem ausgangsseitigen Massenstrom $F_2 + R_2$ wird der Massenstrom $R_1 = \beta_1 F_1$ als Teilstrom abgezweigt und auf den zweiten Eingang des ersten Energieaustauschers EE1 zurückgeleitet. Der restliche Massenstrom $F_3 = F_2 + R_2 - R_1$ vom Ausgang des zweiten Energieaustauschers EE2 gelangt auf den ersten Eingang des in der Kaskade 10 nachfolgenden dritten Energieaustauschers EE3. Auf den zweiten Eingang des dritten Energieaustauschers EE3, der einen Niederdruckeinlass 20 bildet, wird von aussen ein Gasstrom S2 als Massenstrom $R_3 = \beta_3 F_3$ mit dem niedrigsten Druck p_0 gegeben. Aus beiden Massenströmen ergibt sich am Ausgang des dritten Energieaustauschers EE3 der Massenstrom $F_3 + R_3$, von dem der Teilstrom $R_2 = \beta_2 F_2$ abgezweigt und auf den zweiten Eingang des vorangehenden Energieaustauschers EE2 zurückgeführt wird. Der restliche Massenstrom $F_4 = F_3 + R_3 - R_2$ steht am Mitteldruckauslass 22 der Kaskade 10 als Gasstrom mit reduzierten Druck p_0 (und reduzierter Temperatur) zur Verfügung. Enthält die Kaskade weitere Stufen bzw. Energieaustauscher, erfolgt die Führung der Gasströme bzw. Massenströme entsprechend.

[0017] Die grundsätzliche Situation bei einem einzelnen Strahlinjektor kann anhand der Fig. 2 betrachtet werden. Der dort dargestellte schematisierte Strahlinjektor 11 besteht aus einem zentralen Mischrohr 12, welches von links nach rechts durchströmt wird: Auf der (linken) Eingangsseite des Mischrohrs 12 sind zwei durch eine Trennwand 15 voneinander getrennte düsenartige Einlässe 13 und 14 vorgesehen. Auf der rechten Seite des Mischrohrs 12 befindet sich ein Auslass 16. In der Fig. 2 sind verschiedene, mit Indizes versehene Parameter eingetragen. Die Indizes "1", "2", "3" und "13" beziehen sich dabei auf unterschiedliche Orte innerhalb des Strahlinjektors 11. Eine zusätzlich "0" am Ende der Indizes bezeichnet einen zugehörigen stationären Zustand. Die Parameter p , T , u und α bezeichnen den Druck, die Temperatur, die Strömungsgeschwindigkeit und das Verhältnis der Querschnittsfläche des Hochdruckeinlasses 13 zur Querschnittsfläche des Mischrohrs 12. Weitere, in der Fig. 2 nicht eingezeichnete Parameter für die nachfolgende formelmässige Betrachtung sind die Dichte ρ , die Schallgeschwindigkeit c , die Machzahl M , das Verhältnis γ der spezifischen Wärmen, und die spezifische Wärme c_p bei konstantem Druck.

[0018] Für verlustfreie Strömungen durch die Einlässe 13 und 14 gilt:

$$(1) \quad \frac{p_{10}}{p_{13}} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_1^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}, \quad \frac{p_{30}}{p_{13}} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_3^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}.$$

[0019] Die Impulserhaltung über die Mischzone des Strahlinjektors 11 ergibt:

$$(2) \quad p_{13} + \alpha \rho_1 u_1^2 + (1 - \alpha) \rho_3 u_3^2 = p_2 + \rho_2 u_2^2.$$

[0020] Die Bedingung der Erhaltung der Masse kann wie folgt formuliert werden:

$$(3) \quad \alpha \rho_1 u_1 + (1 - \alpha) \rho_3 u_3 = \rho_2 u_2,$$

und die Erhaltung der Energie über die Mischzone erfordert, wenn die spezifischen Wärmen als konstant angenommen werden:

$$(4) \quad \alpha \rho_1 u_1 T_{10} + (1 - \alpha) \rho_3 u_3 T_{30} = \rho_2 u_2 T_{20}.$$

[0021] Weiterhin gelten die Zustandsgleichung

$$(5) \quad \frac{p}{\rho T} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} c_p,$$

und die Bedingungen für eine isentropische Strömung

$$(6) \quad \frac{p}{p_0} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^\gamma = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = \left(\frac{c}{c_0}\right)^{\frac{2\gamma}{\gamma - 1}},$$

um die lokalen Grössen mit den entsprechenden Grössen unter stationären Bedingungen in Beziehung zu setzen.

[0022] Auf der Basis der Gleichungen (1) bis (6) lassen sich nun die Bedingungen am Einlass und am Auslass des Strahlinjektors 11 miteinander verknüpfen. Nimmt man weiterhin, dass das Flächenverhältnis α und das Druckverhältnis pro Stufe $r = p_{n+1,0}/p_{n,0}$ für alle Strahlinjektoren dieselben sind, können die Strahlinjektoren bzw. Energieaustauscher gemäss Fig. 1 zu der entsprechenden Kaskade 10 kombiniert werden. Wird der vorwärts gerichtete Massenstrom von der Stufe n zur Stufe $n+1$ mit F_n bezeichnet, und der von der Stufe $n+1$ zur Stufe n zurückgeführte Massenstrom mit R_n , ergibt die Massenerhaltung:

$$(7) \quad F_{n+1} = F_n + R_n - R_{n-1}.$$

[0023] Auf der anderen Seite führt die Lösung der Gleichungen (1) bis (6) bei vorgegebenen stationärem Druck- und Temperaturverhältnissen zu einer Beziehung der Form:

$$(8) \quad R_n = \beta_n F_n,$$

wobei der Proportionalitätsfaktor β_n ein Mass für die Effektivität der n -ten Stufe der Kaskade 10 ist. Geht man davon aus, dass die Kaskade aus N Stufen zusammengesetzt ist, müssen $N-1$ Strahlinjektoren miteinander verknüpft werden. In diesem Fall ist das Druckverhältnis zwischen dem Hochdruckeingang und dem Niederdruckeingang $r_{\text{total}} = r^N$, während das Druckverhältnis zwischen dem Ausgang und dem Niederdruckeingang r beträgt.

[0024] Bezeichnet man die stationären Temperaturen beim hohen Druck und beim niedrigen Druck mit T_{HP0} bzw. T_{LP0} , können die Verhältnisse der Massenströme bei den Hochdruckeingängen und den Niederdruckeingängen $\dot{m}_{HP}$ und $\dot{m}_{LP}$ für eine verlustfreie Energieaustauscher-Kaskade wie folgt ausgedrückt werden:

$$(9) \quad \frac{\dot{m}_{LP}}{\dot{m}_{HP}} = \frac{T_{HP0}}{T_{LP0}} \frac{1 - r^{-(N-1)\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}.$$

[0025] Die Effektivität η_E des Energieaustausches der vollständigen Kaskade 10 kann dann ausgedrückt werden durch

$$(10) \quad \eta_E = \left(\frac{F_N}{R_{N-1}} - 1 \right) \frac{\dot{m}_{HP}}{\dot{m}_{LP}} = \left(\frac{F_N}{R_{N-1}} - 1 \right) \frac{T_{LP0}}{T_{HP0}} \frac{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{1 - r^{-(N-1)\frac{\gamma-1}{\gamma}}}.$$

Beispiel:

[0026] Eine Kaskade mit 7 Strahlinjektoren ($N = 8$) hat folgende Bedingungen am Hochdruckeingang und am Niederdruckeingang:

$$(11) \quad p_{HP0} = 5.10^5 \text{ Pa}, T_{HP0} = 480 \text{ K}, p_{LP0} = 10^5 \text{ Pa}, T_{LP0} = 288 \text{ K}.$$

[0027] Die unter diesen Bedingungen errechneten Ergebnisse für verschiedene Parameter sind in den Figuren 3 bis 11 wiedergegeben. Fig. 3 zeigt die berechneten stationären Temperaturen in allen Stufen der Kaskade als Funktion des Flächenverhältnisses α des einzelnen Strahlinjektors gemäss Fig. 2. Die Figuren 4 und 5 zeigen die Machzahlen der eingangsseitigen Ströme am jeweiligen Hochdruck- und Niederdruckeingang (Einlass 13 bzw. 14) des einzelnen Injektors. Fig. 6 zeigt die kumulierte Effektivität an jeder Stufe der Kaskade einschliesslich der gesamten Effektivität, die in der 7. Stufe erreicht wird. Es soll noch darauf hingewiesen werden, dass die Gültigkeit der Ergebnisse auf den Fall der unterschallschnellen Strömungen beschränkt ist. Es ist nicht ratsam, die Machzahlen (Fig. 4) wesentlich über 1 zu erhöhen. Die Prandtl-Meyer-Winkel, die aufgrund einer überschallschnellen Ausdehnung auftreten würden, wür-

den zu einer Verschlechterung der Energieaustausch-Effektivität führen. Aus diesem Grund (siehe Fig. 4) sollte die Kaskade nahe bei $\alpha = 0,435$ ausgelegt werden, wo die gesamte Effektivität ungefähr 0,4 und das Verhältnis der Gesamt-Massenströme gemäss Fig. 7 etwa 4 beträgt.

[0028] Eine Verringerung oder Erhöhung der Anzahl der Stufen führt zu einer Verringerung bzw. Erhöhung der Kaskaden-Effektivität. Jedoch ist es kaum möglich, für ein grosses Druckverhältnis eine Kaskaden-Effektivität von mehr als 0,5 zu erreichen. Ein typischer Bereich der Effektivität, die mit einer geeigneten Anzahl von Stufen erreicht werden kann, liegt irgendwo zwischen 0,35 und 0,5. Die Geometrie bzw. Auslegung der Kaskade wird durch die Fig. 8 bis 11 festgelegt, welche die auf die Querschnittsfläche des ersten Hochdruckeinlasses der Kaskade normalisierte Querschnittsfläche des jeweiligen Hochdruckeinlasses eines Energieaustauschers (Fig. 8), des jeweiligen Niederdruckeinlasses eines Energieaustauschers (Fig. 9), der jeweiligen Mischkammer eines Energieaustauschers (Fig. 10), und des jeweiligen Auslasses für den zurückgeführten Teilstrom eines Energieaustauschers (Fig. 11) in Abhängigkeit vom Flächenverhältnis α zeigen. Es ist anzumerken, dass die Abstimmung zwischen den Auslass- und Einlassflächen aufeinanderfolgender Stufen relativ gut ist. Daher ist es nicht notwendig, viel kinetische Energie durch Abbremsen nach einem Auslass und Beschleunigen vor einem Einlass zu opfern. Die Uebergänge zwischen den Stufen können so ziemlich fliegend gehalten werden.

[0029] Eine sehr einfach aufgebaute und kompakte Injektorkaskade 17 für die Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens kann gemäss Fig. 12 dadurch realisiert werden, dass eine Mehrzahl von im Durchmesser abgestuften, halbkreisförmigen Rohrsegmenten (Halbrohren) 18, 19 konzentrisch und alternierend auf beiden Seiten einer Mittelebene 26 so angeordnet werden, dass auf beiden Seiten der Mittelebene 26 zwischen aufeinanderfolgenden Rohrsegmenten jeweils ein gekrümmter Mischkanal 23-25 gebildet wird. Die Rohrsegmente 18, 19 sind so ineinander verschachtelt, dass jeder Mischkanäle auf der einen Seite der Mittelebene 26 an beiden Enden gleichzeitig mit zwei Mischkanälen auf der anderen Seite der Mittelebene 26 in Verbindung steht. Der innerste Mischkanal ist mit dem Hochdruckeinlass 21 verbunden, der äusserste Mischkanal 24 mit dem Niederdruckeinlass 20 und dem Mitteldruckauslass 22. Es versteht sich von selbst, dass die Anordnung Rohrsegmente (Halbrohre) an ihren beiden Seiten durch entsprechende Endplatten begrenzt und geschlossen ist.

[0030] Insgesamt ergibt sich mit der Erfindung eine einfache Möglichkeit, mit hoher Effizienz aus einem Hochdruck-Gasstrom einen Gasstrom mittleren Druckes zu erzeugen, die insbesondere für die Bereitstellung von Kühlluft für eine Gasturbine aus dem Kompressor geeignet ist.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0031]

10	Kaskade
11	Strahlinjektor
12	Mischrohr
13,14	Einlass
15	Trennwand
16	Auslass
17	Injektorkaskade
18,19	Rohrsegment (halbkreisförmig)
20	Niederdruckeinlass
21	Hochdruckeinlass
22	Mitteldruckauslass
23,24,25	Mischkanal
26	Mittelebene
EE1,...,EE3	Energieaustauscher
$F_1,...,F_4$	Massenstrom
$R_1,...,R_3$	Massenstrom
$S_1,...,S_3$	Gasstrom

Patentansprüche

- Verfahren zur Erzeugung eines dritten Gasstromes (S_3) mittleren Druckes und mittlerer Temperatur, welcher insbesondere als Kühlluft für eine Gasturbine einsetzbar ist, aus einem ersten Gasstrom (S_1) hohen Druckes und hoher Temperatur, bei welchem Verfahren die Reduzierung durch stufenweisen Energieaustausch zwischen dem ersten Gasstrom (S_1) und einem zweiten Gasstrom (S_2) niedrigen Druckes und niedriger Temperatur in einer

Kaskade (10) aus mehreren hintereinandergeschalteten Energieaustauschern (EE1,...,EE3) vorgenommen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** in jedem der Energieaustauscher (EE1,...,EE3) aus einem ersten Massenstrom ($F_1, \dots, F_3$) mit einem ersten Druck und einer ersten Temperatur und einem zweiten Massenstrom ($R_1, \dots, R_3$) mit einem zweiten Druck und einer zweiten Temperatur, welche kleiner sind als der erste Druck und die erste Temperatur, ein resultierender dritter Massenstrom ($F_2, \dots, F_4$) mit einem dritten Druck und einer dritten Temperatur erzeugt wird, welche zwischen dem ersten und zweiten Druck und der ersten und zweiten Temperatur liegen, und dass in jedem der Energieaustauscher (EE1,...,EE3) der Kaskade (10) der erste und der zweite Massenstrom jeweils als Strahl in einen Mischraum (12, 24) eingedüst und dort zum dritten Massenstrom miteinander vermischt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der dritte Massenstrom des zweiten und aller weiteren Energieaustauscher (EE2, EE3) jeweils in zwei Teilströme aufgeteilt wird, dass der erste Teilstrom als erster Massenstrom des innerhalb der Kaskade (10) nachfolgenden Energieaustauschers verwendet wird, dass der zweite Teilstrom (R_1, R_2) als zweiter Massenstrom des innerhalb der Kaskade (10) vorangegangenen Energieaustauschers verwendet wird, dass der erste Gasstrom (S1) als erster Massenstrom in den ersten Energieaustauscher (EE1) eingespeist wird, dass der zweite Gasstrom (S2) als zweiter Massenstrom in den letzten Energieaustauscher (EE3) eingespeist wird, und dass der erste Teilstrom des letzten Energieaustauschers (EE3) als resultierender Gasstrom der Kaskade (10) entnommen wird.

3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei eine Mehrzahl von Energieaustauschern (EE1,...,EE3) in einer Kaskade (10) hintereinandergeschaltet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder der Energieaustauscher (EE1,...,EE3) zwei Eingänge und einen Ausgang aufweist, dass der Ausgang eines Energieaustauschers jeweils mit dem ersten Eingang des nachfolgenden Energieaustauschers verbunden ist, dass Mittel vorhanden sind, welche, beim zweiten Energieaustauscher beginnend, jeweils einen Teilstrom vom Ausgang eines Energieaustauschers auf den zweiten Eingang des in der Kaskade (10) vorangehenden Energieaustauschers zurückführen, dass der erste Eingang des ersten Energieaustauschers (EE1) als Hochdruckeinlass (21) zum Einspeisen des ersten Gasstromes (S1) vorgesehen ist, dass der zweite Eingang des letzten Energieaustauschers (EE3) als Niederdruckeinlass (20) zum Einspeisen des zweiten Gasstromes (S2) vorgesehen ist, und dass der Ausgang des letzten Energieaustauschers (EE3) als Mitteldruckauslass (22) zur Entnahme des dritten Gasstromes (S3) vorgesehen ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder der Energieaustauscher (EE1,...,EE3) als Strahlinjektor (11) ausgebildet ist und jeweils einen von den Gasströmen durchströmten Mischraum (12, 23-25) aufweist, dass an dem Mischraum (12, 23-25) stromaufwärts zwei düsenförmige Einlässe (13, 14) vorgesehen sind, welche die beiden Eingänge des Energieaustauschers bilden, und dass an dem Mischraum (12, 23-25) stromabwärts ein Auslass (16) angeordnet ist, welcher des Ausgang des Energieaustauschers bildet.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mischraum als Mischrohr (12) ausgebildet ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Injektorkaskade (17) aus einer Mehrzahl von im Durchmesser abgestuften halbkreisförmigen Rohrsegmenten (18, 19) aufgebaut ist, welche alternierend und konzentrisch auf den beiden Seiten einer Mittelebene (26) angeordnet und mit ihren offenen Seiten so zur Mittelebene (26) hin orientiert sind, dass die Rohrsegmente (18, 19) ineinandergreifen und zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rohrsegmenten auf derselben Seite der Mittelebene (26) jeweils Mischkanäle (24, 25) gebildet werden, welche untereinander kaskadenartig in Verbindung stehen.

Claims

1. Method of generating a third gas flow (S3) of medium pressure and medium temperature, which can be employed, in particular, as cooling air for a gas turbine, from a first gas flow (S1) of high pressure and high temperature, in which method the reduction is undertaken by stepwise energy exchange between the first gas flow (S1) and a second gas flow (S2) of low pressure and low temperature in a cascade (10) consisting of a plurality of energy exchangers (EE1, ..., EE3) connected in series **characterized in that** from a first mass flow ($F_1, \dots, F_3$) with a first pressure and a first temperature and a second mass flow ($R_1, \dots, R_3$) with a second pressure and a second temperature, which are smaller than the first pressure and the first temperature, a resultant third mass flow ($F_2, \dots, F_4$) with a third pressure and a third temperature is generated in each of the energy exchangers (EE1, ..., EE3), which third pressure and third temperature lie between the first and the second pressures and the first and second temperatures, and **in that** in each of the energy exchangers (EE1, ...

EE3) of the cascade (10), the first and the second mass flows are respectively injected as a jet into a mixing space (12, 24) and are there mixed with one another to form the third mass flow.

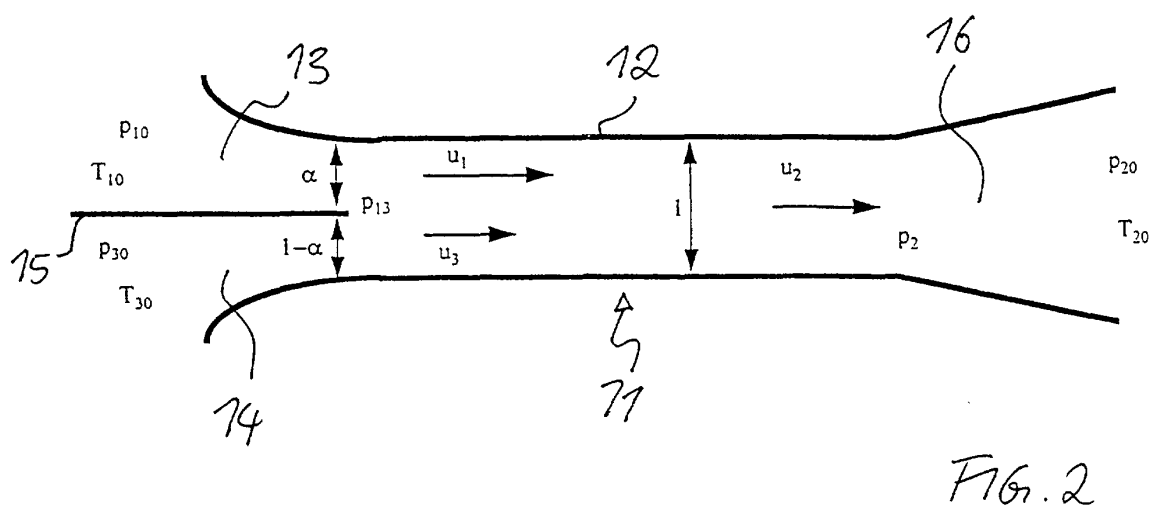
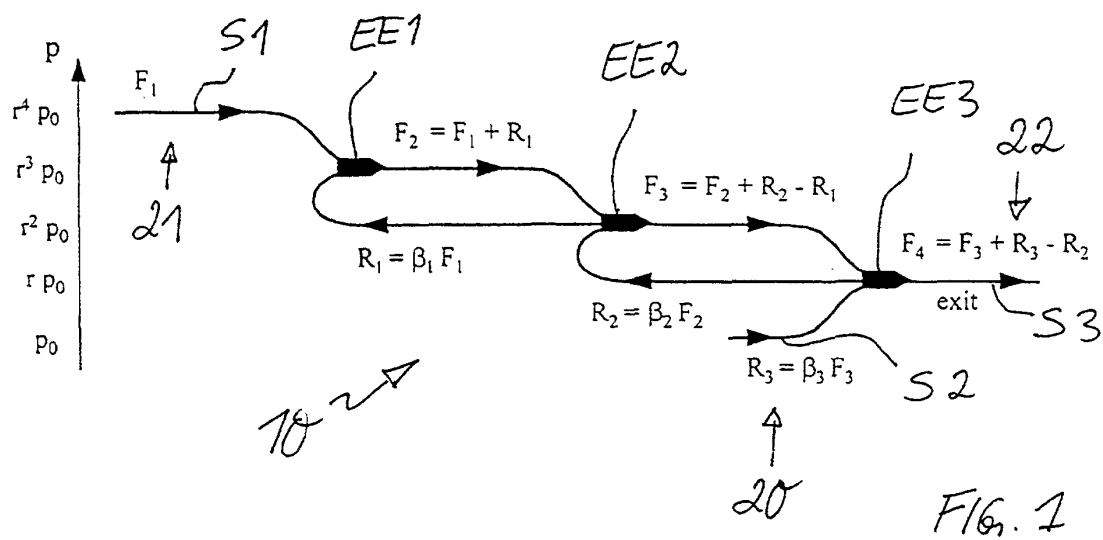
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the respective third mass flow of the second and all further energy exchangers (EE2, EE3) is divided into two partial flows, **in that** the first partial flow is used as the first mass flow of the following energy exchanger within the cascade (10), **in that** the second partial flow (R_1 , R_2) is used as the second mass flow of the preceding energy exchanger within the cascade (10), **in that** the first gas flow (S1) is fed into the first energy exchanger (EE1) as the first mass flow, **in that** the second gas flow (S2) is fed into the last energy exchanger (EE3) as the second mass flow, and **in that** the first partial flow of the last energy exchanger (EE3) is extracted from the cascade (10) as the resultant gas flow.
3. Appliance for carrying out the method according to one of Claims 1 to 2, wherein a plurality of energy exchangers (EE1, ..., EE3) are connected in series in a cascade (10), **characterized in that** each of the energy exchangers (EE1, ..., EE3) has two inlet openings and one outlet opening, **in that** the outlet opening of one energy exchanger is respectively connected to the first inlet opening of the following energy exchanger, **in that** means are present which, starting with the second energy exchanger, respectively feed back a partial flow from the outlet opening of an energy exchanger to the second inlet opening of the preceding energy exchanger in the cascade (10), **in that** the first inlet opening of the first energy exchanger (EE1) is provided as the high-pressure inlet (21) for feeding in the first gas flow (S1), **in that** the second inlet opening of the last energy exchanger (EE3) is provided as the low-pressure inlet (20) for feeding in the second gas flow (S2), and **in that** the outlet opening from the last energy exchanger (EE3) is provided as the medium-pressure outlet (22) for extracting the third gas flow (S3).
4. Appliance according to Claim 3, **characterized in that** each of the energy exchangers (EE1, ..., EE3) is configured as an injector (11) and each has a mixing space (12, 23-25) through which the gases flow, **in that** two nozzle-shaped inlets (13, 14), which form the two inlet openings of the energy exchanger, are provided upstream of the mixing space (12, 23-25), and **in that** an outlet (16), which forms the outlet opening of the energy exchanger, is arranged downstream of the mixing space (12, 23-25).
5. Appliance according to Claim 4, **characterized in that** the mixing space is configured as a mixing tube (12).
6. Appliance according to Claim 4, **characterized in that** the injector cascade (17) is made up of a plurality of semicircular tube segments (18, 19), which are stepped in diameter, which are alternately and concentrically arranged on both sides of a central plane (26) and whose open sides are oriented relatively to the central plane (26) in such a way that the tube segments (18, 19) engage with one another and that mixing ducts (24, 25), which are connected to one another in the manner of a cascade, are respectively formed between two sequential tube segments on the same side of the central plane (26).

Revendications

1. Méthode pour la production d'un troisième courant de gaz (S3) à moyenne pression et température moyenne, qui peut être utilisé en particulier comme air de refroidissement pour une turbine à gaz, à partir d'un premier courant de gaz (S1) de haute pression et haute température, dans laquelle méthode la réduction est réalisée par un échange d'énergie de manière étagé entre le premier courant de gaz (S1) et un deuxième courant de gaz (S2) à basse pression et basse température dans une série (10) constituée de plusieurs échangeurs d'énergie (EE1,...,EE3) montés les uns derrière les autres, **caractérisée en ce que** dans chaque échangeur d'énergie (EE1,...,EE3) on produit, à partir d'un premier débit massique (F_1 , ..., F_3) à une première pression et une première température et d'un deuxième débit massique (R_1 ,..., R_3) à une deuxième pression et une deuxième température, qui sont inférieures à la première pression et à la première température, un troisième débit massique résultant (F_2 ,..., F_4) avec une troisième pression et une troisième température qui se trouvent entre la première et la deuxième pression et la première et la deuxième température, et **en ce que** dans chaque échangeur d'énergie (EE1,...,EE3) de la série (10), le premier et le deuxième débits massiques sont injectés à chaque fois sous forme de jet dans une chambre de mélange (12, 24) et y sont mélangés l'un à l'autre pour former un troisième débit massique.
2. Méthode selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le troisième débit massique du deuxième et de tous les autres échangeurs d'énergie (EE2, EE3) est divisé à chaque fois en deux courants partiels, **en ce que** le premier courant partiel est utilisé comme premier débit massique de l'échangeur d'énergie suivant dans la série (10), **en ce que** le deuxième courant partiel (R_1 , R_2) est utilisé en tant que deuxième débit massique de l'échangeur

d'énergie précédent dans la série (10), **en ce que** le premier courant de gaz (S1) est alimenté en tant que premier débit massique dans le premier échangeur d'énergie (EE1), **en ce que** le deuxième courant de gaz (S2) est alimenté en tant que deuxième débit massique dans le dernier échangeur d'énergie (EE3) et **en ce que** le premier courant de gaz du dernier échangeur d'énergie (EE3) est prélevé de la série (10) en tant que courant de gaz résultant.

3. Dispositif pour réaliser la méthode selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel une pluralité d'échangeurs d'énergie (EE1,...,EE3) sont montés les uns derrière les autres en série (10), **caractérisé en ce que** chaque échangeur d'énergie (EE1,...,EE3) présente deux entrées et une sortie, **en ce que** la sortie d'un échangeur d'énergie est connectée à chaque fois à la première entrée de l'échangeur d'énergie suivant, **en ce que** des moyens sont prévus pour ramener, en commençant par le deuxième échangeur d'énergie, à chaque fois un courant partiel de la sortie d'un échangeur d'énergie à la deuxième entrée de l'échangeur d'énergie précédent dans la série (10), **en ce que** la première entrée du premier échangeur d'énergie (EE1) est prévue en tant qu'admission à haute pression (21) pour l'apport du premier courant de gaz (S1), **en ce que** la deuxième entrée du dernier échangeur d'énergie (EE3) est prévue en tant qu'admission à basse pression (20) pour l'apport du deuxième courant de gaz (S2), et **en ce que** la sortie du dernier échangeur d'énergie (EE3) est prévue en tant que sortie à pression moyenne (22) pour prélever le troisième courant de gaz (S3).
4. Dispositif selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** chaque échangeur d'énergie (EE1,...,EE3) est réalisé en tant qu'injecteur de jet (11) et présente à chaque fois une chambre de mélange (12, 23-25) parcourue par les courants de gaz, **en ce que** deux admissions (13, 14) en forme de tubulure sont prévues en amont sur la chambre de mélange (12, 23-25), lesquelles forment les deux entrées de l'échangeur d'énergie, et **en ce qu'**une sortie (16) est prévue en aval sur la chambre de mélange (12, 23-25), laquelle forme la sortie de l'échangeur d'énergie.
5. Dispositif selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la chambre de mélange est réalisée en tant que tube de mélange (12).
6. Dispositif selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la série d'injecteurs (7) est constituée d'une pluralité de segments tubulaires (18, 19) de forme semi-circulaire de diamètres étagés, qui sont disposés en alternance et de manière concentrique des deux côtés d'un plan médian (26) et qui sont orientés avec leurs côtés ouverts vers le plan médian (26) de telle sorte que les segments tubulaires (18, 19) viennent en prise les uns dans les autres, et qu'entre deux segments tubulaires successifs du même côté du plan médian (26), des conduits de mélange (24, 25) respectifs soient formés, lesquels communiquent les uns avec les autres en série.



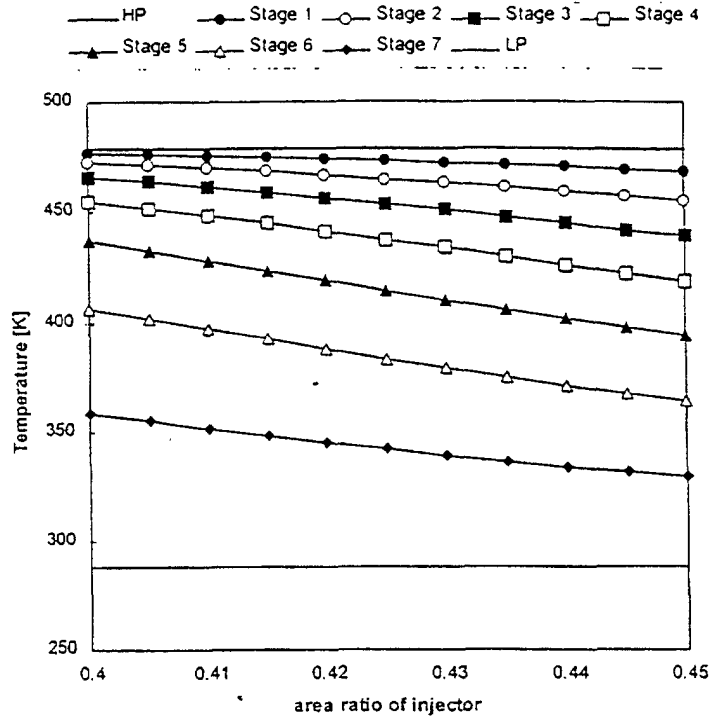


FIG. 3

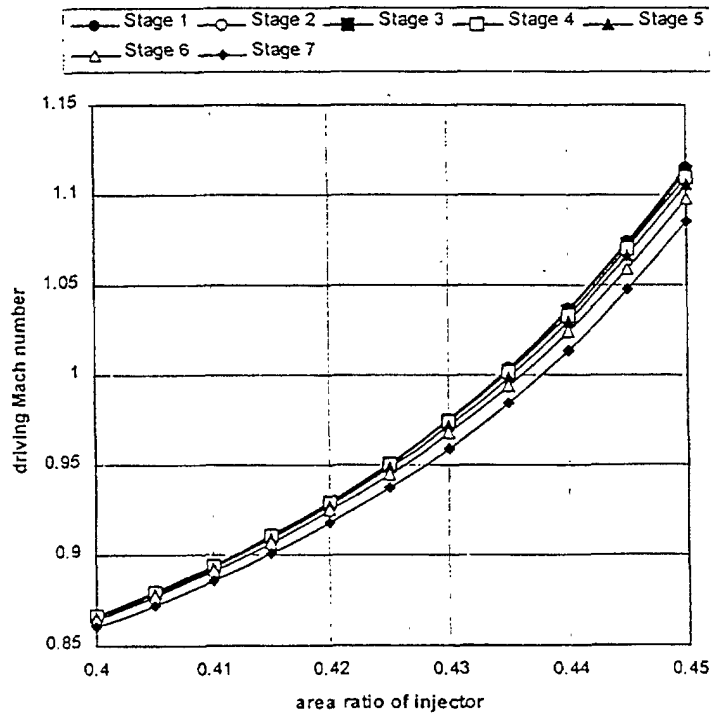


FIG. 4

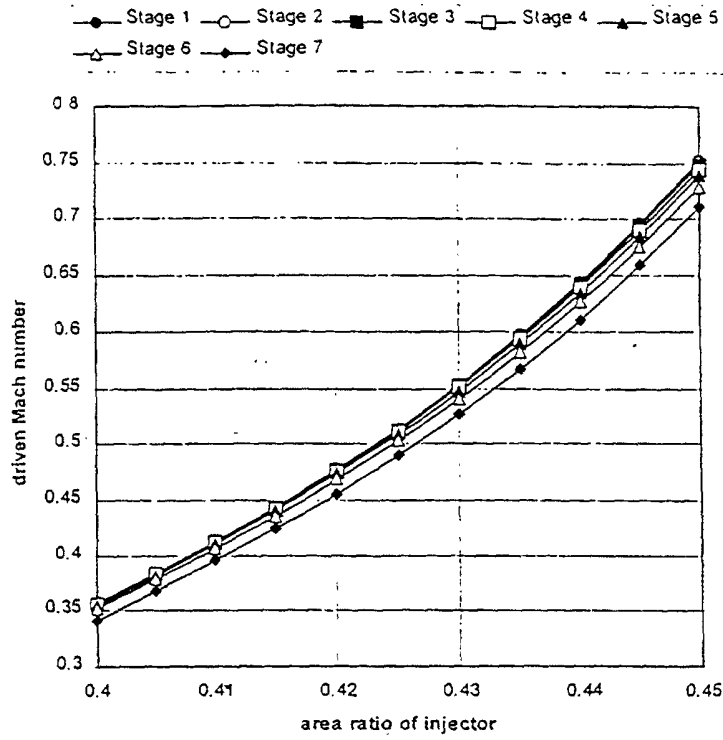


FIG. 5

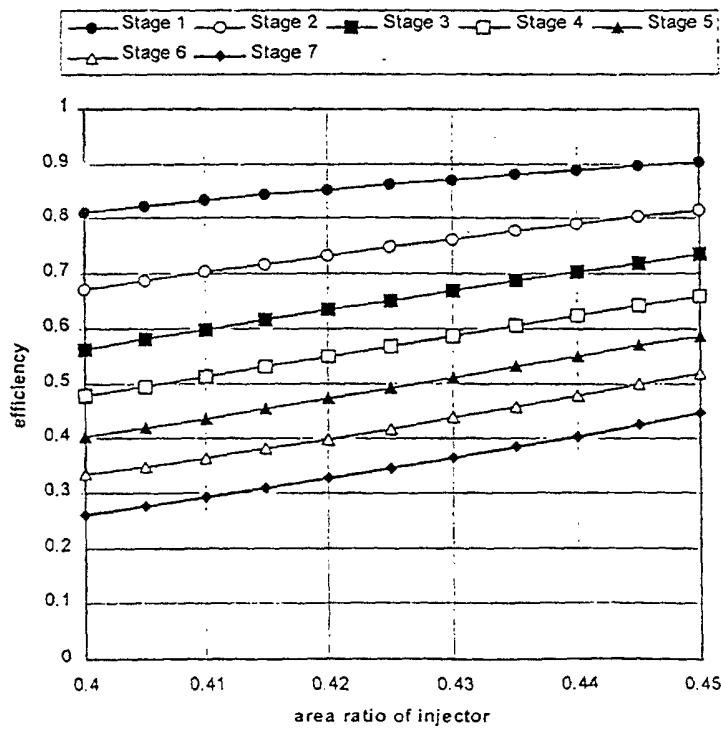


FIG. 6

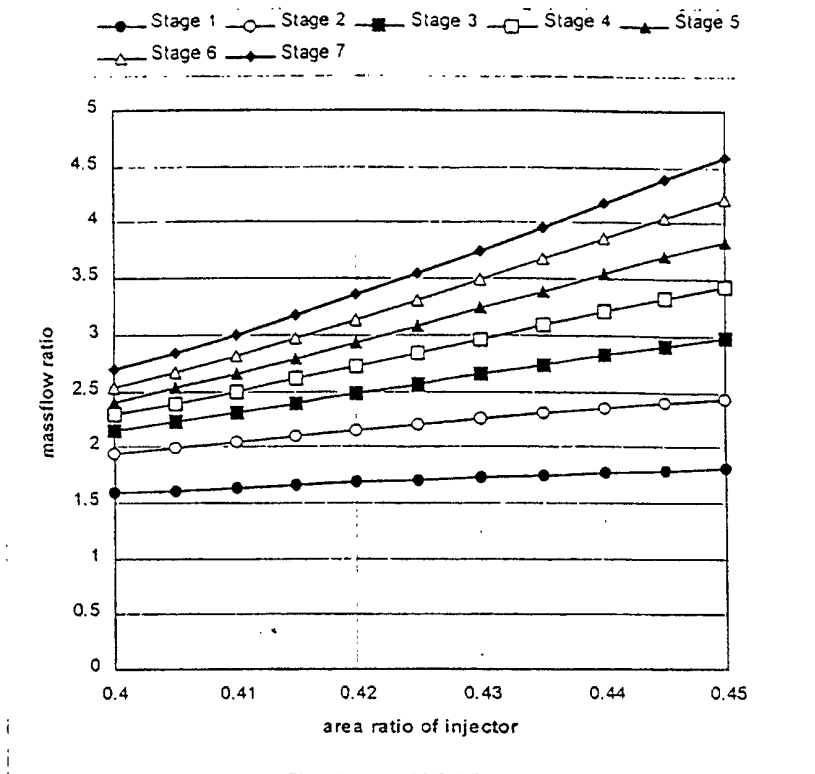


FIG. 7

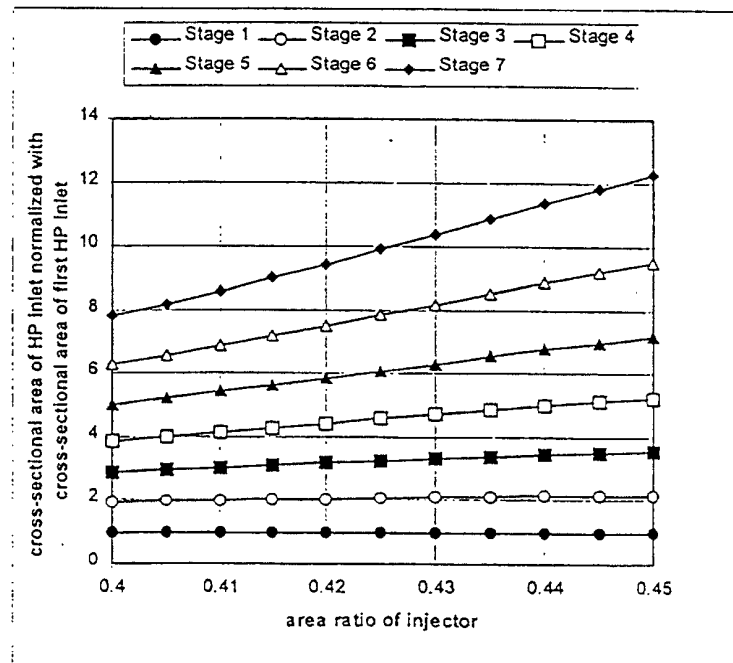


FIG. 8

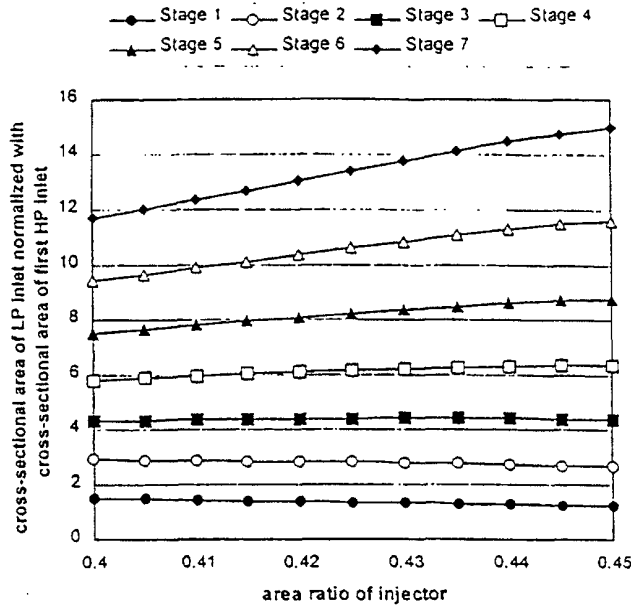


FIG. 9

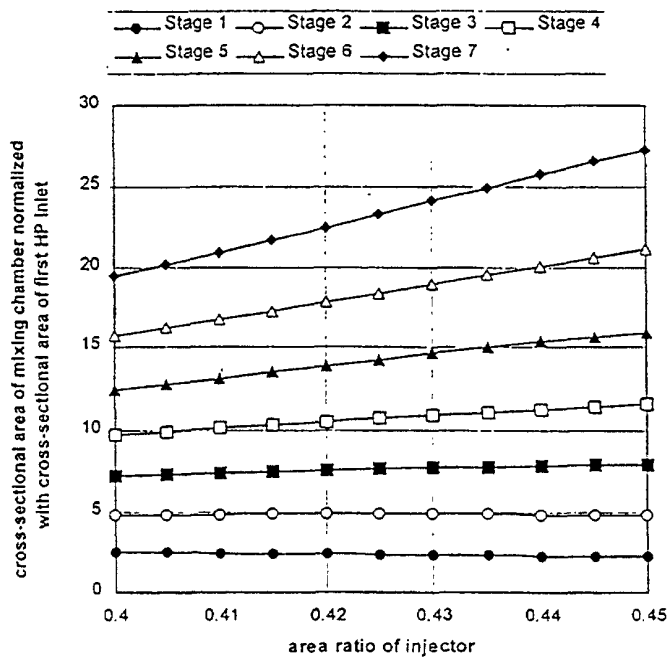


FIG. 10

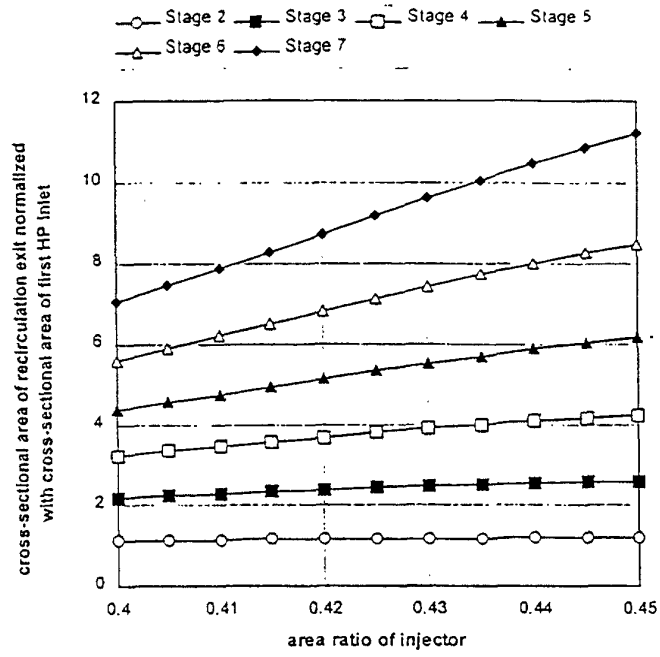


FIG. 11

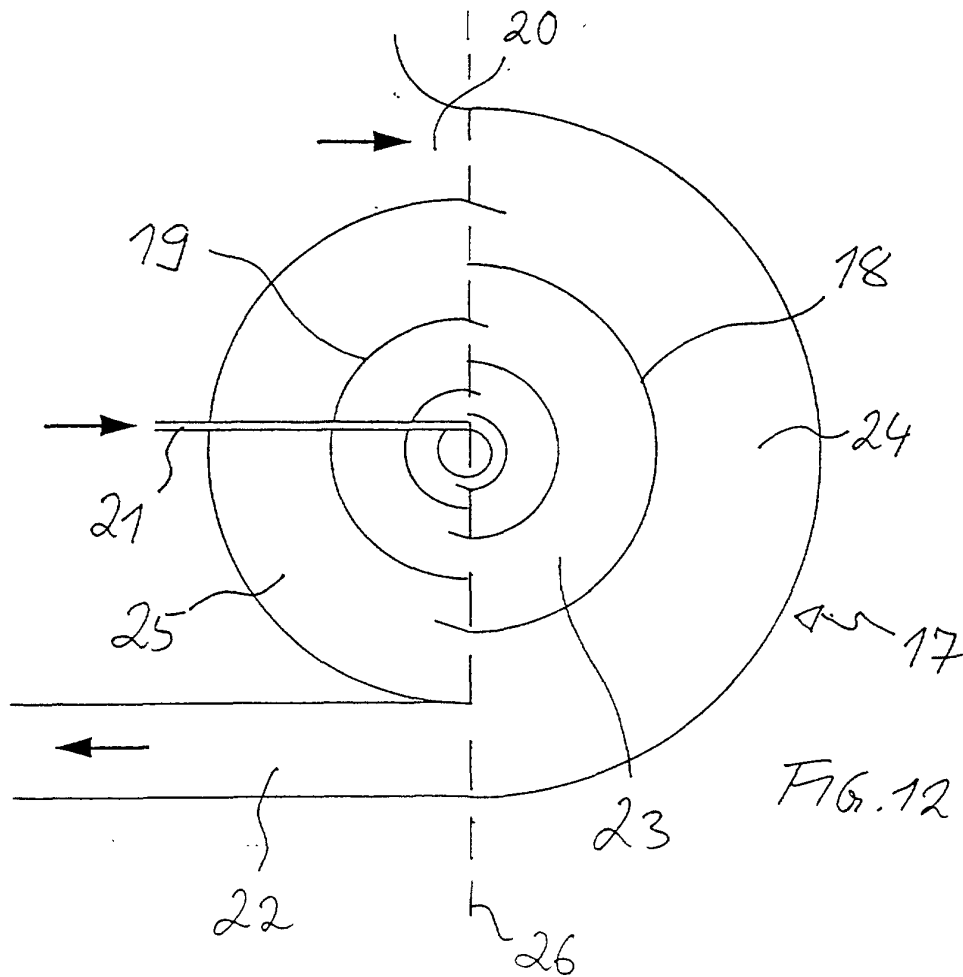


FIG. 12