



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 01 820 T2** 2004.11.04

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 156 287 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 01 820.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 111 848.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **16.05.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.11.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **21.01.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.11.2004**

(51) Int Cl.7: **F25B 21/00**

F25J 1/02, F25B 9/00, F25B 25/00

(30) Unionspriorität:

572844 18.05.2000 US

(73) Patentinhaber:

Praxair Technology, Inc., Danbury, Conn., US

(74) Vertreter:

Schwan Schwan Schorer, 80796 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, GB, IT

(72) Erfinder:

**Acharya, Arun, East Amherst, New York 14051,
US; Arman, Bayram, Grand Island, New York
14072, US**

(54) Bezeichnung: **Magnetisches Kühlsystem mit Vorkühlung durch ein Mehrkomponenten-Kühlmittel**

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).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Diese Erfindung bezieht sich im allgemeinen auf die Kühlung und genauer auf die Erzeugung und Bereitstellung von Kälte bei sehr niedrigen Temperaturen wie z. B. zur Verflüssigung von Gasen wie z. B. Wasserstoff.

Stand der Technik

[0002] Die Verflüssigung bestimmter Gase wie z. B. Neon, Wasserstoff oder Helium erfordert die Erzeugung von Kälte mit sehr niedriger Temperatur. Beispielsweise wird bei Atmosphärendruck Neon bei 27,1 K, Wasserstoff bei 20,39 K und Helium bei 4,21 K verflüssigt. Die Erzeugung einer derartigen Kälte mit sehr niedriger Temperatur ist sehr teuer. Insofern die Verwendung von Fluiden wie z. B. Neon, Wasserstoff und Helium in solchen Gebieten wie z. B. der Energieerzeugung, Energieübertragung und der Elektronik zunehmend wichtiger wird, wäre jede Verbesserung für Systeme zur Verflüssigung derartiger Fluide sehr erwünscht. Systeme, die Kälte mit sehr niedrigen Temperaturen erzeugen, sind bekannt (siehe die Dokumente US-A-4 702 090 und US-A-6 041 621), jedoch sind sie im allgemeinen nur in einem relativ kleinen Maßstab effizient.

[0003] Dementsprechend besteht eine Aufgabe dieser Erfindung in der Bereitstellung eines Systems, das auf effiziente Weise Kälte bei sehr niedrigen Temperaturen erzeugen und bereitstellen kann.

[0004] Eine weitere Aufgabe dieser Erfindung besteht in der Bereitstellung eines verbesserten Systems zur Erzeugung von Kälte, die ausreicht, um schwer zu verflüssigende Fluide wie z. B. Neon, Wasserstoff oder Helium zu verflüssigen.

[0005] Noch eine weitere Aufgabe dieser Erfindung besteht in der Bereitstellung eines Systems zum Verflüssigen von schwer zu verflüssigenden Fluiden wie z. B. Neon, Wasserstoff oder Helium, das mit einem relativ hohen Erzeugungspegel betrieben werden kann.

Zusammenfassung der Erfindung

[0006] Die obigen und weitere Aufgaben, die dem Fachmann anhand der folgenden Beschreibung deutlich werden, werden durch die vorliegende Erfindung gelöst, deren einer Aspekt in einem Verfahren zum Bereitstellen von Kälte bei sehr niedrigen Temperaturen besteht, wobei im Zuge des Verfahrens:

(A) ein Mehrkomponentenkühlfluid komprimiert wird, das komprimierte Mehrkomponentenkühlfluid gekühlt wird, um gekühltes Mehrkomponenten-

kühlfluid zu erzeugen, und das gekühlte Mehrkomponentenkühlfluid entspannt wird;

(B) ein Regeneratorbett eines Magnetkühlersystems magnetisiert wird, um das Regeneratorbett zu erwärmen, Arbeitsfluid erwärmt wird, indem es durch das Magnetkühlersystem hindurchgeleitet wird, und anschließend das Arbeitsfluid aus dem Magnetkühlersystem in indirektem Wärmeaustausch mit dem gekühlten entspannten Mehrkomponentenkühlfluid gebracht wird, um gekühltes Arbeitsfluid zu erzeugen;

(C) das Regeneratorbett entmagnetisiert wird, um das Regeneratorbett zu kühlen, und das gekühlte Arbeitsfluid durch das Magnetkühlersystem hindurchgeleitet wird, um das Arbeitsfluid auf eine sehr niedrige Temperatur weiter zu kühlen; und
(D) Kälte von dem bei sehr niedriger Temperatur befindlichen Arbeitsfluid auf eine Wärmelast übergeleitet wird.

[0007] Ein weiterer Aspekt der Erfindung besteht in einer Vorrichtung zum Erzeugen von Kälte bei einer sehr niedrigen Temperatur mit:

(A) einem Kompressor, einem Mehrkomponentenkühlfluid-Wärmetauscher, Mitteln zum Überleiten von Fluid von dem Kompressor zu dem Mehrkomponentenkühlfluid-Wärmetauscher, einer Entspannungseinrichtung, sowie Mitteln zum Überleiten von Fluid von dem Mehrkomponentenkühlfluid-Wärmetauscher zu der Entspannungseinrichtung;

(B) einem Wärmetauscher für mittlere Temperaturen und Mittel zum Überleiten von Fluid von der Entspannungseinrichtung zu dem Wärmetauscher für mittlere Temperaturen;

(C) ein Magnetkühlersystem mit einem Bett aus magnetisierbarem Bettmaterial, Mitteln zum Magnetisieren des magnetisierbaren Bettmaterials, Mitteln zum Überleiten von Fluid von dem Magnetkühlersystem zu dem Wärmetauscher für mittlere Temperaturen, und Mitteln zum Überleiten von Fluid von dem Wärmetauscher für mittlere Temperaturen zu dem Magnetkühlersystem; und
(D) einer Wärmelast und Mitteln, um Fluid von dem Magnetkühlersystem in Wärmeaustausch mit der Wärmelast zu bringen.

[0008] Wie hier verwendet bezeichnet der Begriff "Mehrkomponentenkühlfluid" ein zwei oder mehr Spezies aufweisendes Fluid, das Kälte erzeugen kann.

[0009] Wie hier verwendet bezeichnet der Begriff "Kühlmittel für variable Last" ein Gemisch aus zwei oder mehr Komponenten in derartigen Anteilen, dass die Flüssigphase solcher Komponenten einer kontinuierlichen und zunehmenden Temperaturveränderung zwischen dem Blasenpunkt und dem Taupunkt des Gemisches unterzogen wird. Der Blasenpunkt

des Gemisches ist die Temperatur bei einem gegebenen Druck, bei der sich das Gemisch vollständig in der Flüssigphase befindet, die Zuführung von Wärme jedoch die Ausbildung einer im Gleichgewicht mit der Flüssigphase befindlichen Dampfphase auslöst. Der Taupunkt des Gemisches ist die Temperatur bei einem gegebenen Druck, bei der sich das Gemisch vollständig in der Dampfphase befindet, eine Extraktion von Wärme jedoch die Ausbildung einer im Gleichgewicht mit der Dampfphase befindlichen Flüssigphase auslöst. Daher ist der Temperaturbereich zwischen dem Blasenpunkt und dem Taupunkt des Gemisches derjenige Bereich, in dem sowohl Flüssig- wie Dampfphasen im Gleichgewicht koexistieren. In der Praxis dieser Erfindung betragen die Temperaturdifferenzen zwischen dem Blasenpunkt und dem Taupunkt für das Kühlmittel für variable Last im allgemeinen mindestens 10°C, vorzugsweise mindestens 20°C und am bevorzugtesten mindestens 50°C.

[0010] Wie hier verwendet bezeichnet der Begriff "sehr niedrige Temperatur" eine Temperatur von 90 K oder weniger.

[0011] Wie hier verwendet bezeichnet der Begriff "indirekter Wärmeaustausch" das Verbringen von Fluiden in eine Wärmeaustauschbeziehung ohne jeglichen physikalischen Kontakt oder ein Vermischen der Fluide miteinander.

[0012] Wie hier verwendet bezeichnet der Begriff "direkter Wärmeaustausch" die Übertragung von Kälte durch einen Kontakt der Kühl- und Erwärmungseinheiten.

[0013] Wie hier verwendet bezeichnet der Begriff "Entspannung" die Bewerkstelligung einer Druckreduzierung.

[0014] Wie hier verwendet bezeichnet der Begriff "atmosphärisches Gas" eines der folgenden Gase: Stickstoff (N₂), Argon (Ar), Krypton (Kr), Xenon (Xe), Neon (Ne), Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO₂), Sauerstoff (O₂), Deuterium (D₂), Wasserstoff (H₂) und Helium (He).

[0015] Wie hier verwendet bezeichnet der Begriff "magnetisieren" den Umstand, dass einer Substanz durch die Verwendung eines extern angelegten elektrischen Feldes magnetische Eigenschaften verliehen werden.

[0016] Wie hier verwendet bezeichnet der Begriff "Wärmelast" die Zufuhr einer gegebenen Menge an Wärme zu einem jeweiligen Körper oder zu einer jeweiligen Substanz.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0017] Fig. 1 ist eine vereinfachte schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0018] Fig. 2 ist eine Querschnittsdarstellung einer Ausführungsform eines aktiven Magnetregenerators-Kühlersystems, das in der Praxis dieser Erfindung verwendet werden kann.

[0019] Fig. 3 ist eine vereinfachte schematische Darstellung einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, die für die Verflüssigung eines Prozessgases besonders nützlich ist.

Ausführliche Beschreibung

[0020] Im allgemeinen weist die Erfindung die Erzeugung von Kälte bei sehr niedrigen Temperaturen unter Verwendung eines Mehrkomponentenkühlfluid-Kühlersystems und eines aktiven Magnetregenerators-Kühlersystems auf. Das Mehrkomponentenkühlfluidsystem ist auf eine definierte Weise in dem Magnetregeneratorsystem integriert, wodurch Wärme von dem Magnetregeneratorsystem in das Mehrkomponentenkühlfluidsystem zurückgewiesen wird, und die Erzeugung von Kälte mit sehr niedriger Temperatur für eine Wärmelast wie z. B. für das Verbringen einer relativ großen Menge an Produktfluid auf sehr kalte Bedingungen möglich wird.

[0021] Die Erfindung wird nun ausführlicher mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben werden. Nun auf Fig. 1 Bezug nehmend wird ein Mehrkomponentenkühlfluid in einem Strom **310** in einem Kompressor **313** auf einen Druck komprimiert, der im allgemeinen in dem Bereich von 3,45 bis 68,9 bar (50 bis 1000 pound pro inch² absolut (psia)) liegt. Das in der Praxis dieser Erfindung nützliche Mehrkomponentenkühlfluid weist im allgemeinen mindestens ein atmosphärisches Gas, vorzugsweise Stickstoff, Argon und/oder Neon, und vorzugsweise mindestens eine Fluor enthaltende Verbindung mit bis zu sechs Kohlenstoffatomen wie z. B. Fluorkohlenstoffe, Fluorwasserkohlenstoffe, Chlorwasserfluorkohlenstoffe, Fluorethern und Fluorwasserstoffethern, und/oder mindestens einen Kohlenwasserstoff mit bis zu fünf Kohlenstoffatomen auf.

[0022] Eine bevorzugte Ausführungsform des in der Praxis dieser Erfindung nützlichen Mehrkomponentenkühlfluids weist mindestens zwei Komponenten aus der aus Fluorkohlenstoffen, Fluorwasserkohlenstoffen, Fluorethern und Fluorwasserstoffethern bestehenden Gruppe auf.

[0023] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des in der Praxis dieser Erfindung nützlichen Mehrkomponentenkühlfluids weist mindestens eine Kom-

ponente aus der aus Fluorkohlenstoffen, Fluorwasserkohlenstoffen, Fluorethern und Fluorwasserstoffethern bestehenden Gruppe und mindestens ein atmosphärisches Gas auf.

[0024] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des in der Praxis dieser Erfindung nützlichen Mehrkomponentenkühlfluids weist mindestens zwei Komponenten aus der aus Fluorkohlenstoffen, Fluorwasserkohlenstoffen, Fluorethern und Fluorwasserstoffethern bestehenden Gruppe und mindestens zwei atmosphärische Gase auf.

[0025] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des in der Praxis dieser Erfindung nützlichen Mehrkomponentenkühlfluids weist mindestens ein Fluorether und mindestens eine Komponente aus der aus Fluorkohlenstoffen, Fluorwasserkohlenstoffen, Fluorethern und atmosphärischen Gasen bestehenden Gruppe auf.

[0026] In einer bevorzugten Ausführungsform besteht das Mehrkomponentenkühlfluid ausschließlich aus Fluorkohlenstoffen. In einer anderen bevorzugten Ausführungsform besteht das Mehrkomponentenkühlfluid ausschließlich aus Fluorkohlenstoffen und Fluorwasserkohlenstoffen. In noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform besteht das Mehrkomponentenkühlfluid nur aus Fluorkohlenstoffen und atmosphärischen Gasen. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform besteht das Mehrkomponentenkühlfluid ausschließlich aus Fluorkohlenstoffen, Fluorwasserkohlenstoffen, Fluorethern und Fluorwasserstoffethern. In noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform besteht das Mehrkomponentenkühlfluid nur aus Fluorkohlenstoffen, Fluorethern, Fluorwasserstoffethern und atmosphärischen Gasen.

[0027] Das in der Praxis dieser Erfindung nützliche Mehrkomponentenkühlfluid kann andere Komponenten wie z. B. Chlorwasserfluorkohlenstoffe und/oder Kohlenwasserstoffe enthalten. Vorzugsweise enthält das Mehrkomponentenkühlfluid keine Chlorwasserfluorkohlenstoffe. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung enthält das Mehrkomponentenkühlfluid keine Kohlenwasserstoffe. Am bevorzugtesten weist das Mehrkomponentenkühlfluid weder Chlorwasserfluorkohlenstoffe noch Kohlenwasserstoffe auf. Am bevorzugtesten ist das Mehrkomponentenkühlfluid nicht toxisch, nicht entflammbar und nicht ozonabreichernd und am bevorzugtesten ist jede Komponente des Mehrkomponentenkühlfluids entweder ein Fluorkohlenstoff, ein Fluorwasserkohlenstoff ein Fluorether oder ein atmosphärisches Gas.

[0028] Ein komprimiertes Mehrkomponentenkühlfluid **312** wird anschließend von der Kompressionswärme in einen Kühler **313** durch indirekten Wärme-

austausch mit einem geeigneten Kühlfluid wie z. B. Kühlwasser gekühlt, und ein sich ergebendes Mehrkomponentenkühlfluid **314** wird durch einen Mehrkomponentenkühlfluid-Wärmetauscher **301** geleitet, worin es durch indirekten Wärmeaustausch mit wärmendem Mehrkomponentenkühlfluid gekühlt wird, was nachstehend weiter beschrieben wird. Das gekühlte Mehrkomponentenkühlfluid **315** wird von dem Wärmetauscher **301** zu einer Entspannungseinrichtung **316**, die vorzugsweise ein Entspannungsventil ist, geführt, worin es auf einen geringeren Druck gedrosselt wird und dadurch seine Temperatur verringert wird. Die Reduzierung der Temperatur des Mehrkomponentenkühlfluids infolge seiner Entspannung in der Entspannungseinrichtung **316** dient dazu, das Mehrkomponentenkühlfluid zu kühlen, und im allgemeinen mindestens teilweise und vorzugsweise vollständig zu kondensieren. Anschließend wird dieses sich ergebende Mehrkomponentenkühlfluid in einer Leitung **317** zu dem Wärmetauscher **303** für mittlere Temperaturen geführt. Im allgemeinen liegt die Temperatur des gekühlten entspannten Fluids in dem Strom **317** in dem Bereich von 50 bis 250 K.

[0029] Ein Magnetkühlersystem **302** weist ein Gehäuse auf, das magnetisierbares Bettmaterial enthält. Ein oder mehrere Betten von magnetisierbarem Bettmaterial kann können für das Magnetkühlersystem dieser Erfindung verwendet werden. Unter dem geeigneten magnetisierbaren Bettmaterialien, die in der Praxis dieser Erfindung anwendbar sind, können $GdNi_2$, $GdZn_2$, $GdTiO_3$, Gd_2Ni_{17} , $GdAl_2$, $GdMg$, $GdCd$, Gd_4Co_3 , $GdGa$, Gd_5Si_4 und $GdZn$ angeführt werden.

[0030] Das Bett aus magnetisierbarem Material wird magnetisiert, was zum Anheben der Temperatur des Betts dient. Arbeitsfluid wie z. B. Helium, Neon, Stickstoff, Argon, Methan, Kohlenstofftetrafluorid Fluorkohlenstoffe, Fluorwasserkohlenstoffe, Fluorether und Fluorwasserstoffether wird für die Wärmeübertragung mit dem Bett verwendet.

[0031] Arbeitsfluid **327** wird durch das System **302** geleitet und tritt von ihm als warmes Arbeitsfluid **320** aus. Das warme Arbeitsfluid **320** wird durch eine Pumpe **321** und anschließend als ein Strom **322** zu dem Wärmetauscher **303** für mittlere Temperaturen geführt, worin es durch indirekten Wärmeaustausch mit wärmendem Mehrkomponentenkühlfluid, das dem Wärmetauscher **303** für mittlere Temperaturen in einem Strom **317** zugeführt wurde, gekühlt wird. Das sich ergebende erwärmte Mehrkomponentenkühlfluid tritt in einem Strom **318** aus dem Wärmetauscher **303** für mittlere Temperaturen aus und wird danach zu dem Mehrkomponentenkühlfluid-Wärmetauscher **301** geleitet. Innerhalb des Mehrkomponentenkühlfluid-Wärmetauschers **301** wird das Mehrkomponentenkühlfluid durch indirekten Wärmeaustausch mit dem kühlenden Mehrkomponentenkühlfluid, das wie zuvor erläutert dem Wärmetauscher **301** in einem

Strom **314** zugeführt worden ist, noch weiter erwärmt und das resultierende noch weiter erwärmte Mehrkomponentenkühlfluid wird von dem Wärmetauscher **301** in einer Leitung **310** zu dem Kompressor **313** geleitet. Dann beginnt der Kühlzyklus der Mehrkomponentenkühlfluid-Vorkühlung von neuem.

[0032] Wenn das Arbeitsfluid durch den Wärmetauscher **303** für mittlere Temperaturen läuft, wird es auf eine mittlere Temperatur gekühlt und tritt aus ihm als ein Arbeitsfluid **324** mit mittlerer Temperatur aus, wobei die Temperatur im allgemeinen in dem Bereich von 50 bis 250 K liegt.

[0033] Das Bett des Magnetkühlersystems **302** wird entmagnetisiert, wodurch das Bettmaterial gekühlt wird. Das Arbeitsfluid **324** mit mittlerer Temperatur läuft zu und durch das System **302** und wird in dem Verfahren weiter gekühlt. Das sich ergebende weiter gekühlte Arbeitsfluid tritt von dem System **302** als ein Arbeitsfluid **325** mit sehr niedriger Temperatur aus, das in gasförmiger, flüssiger oder mischphasiger Form vorliegen kann.

[0034] Das Fluid **325** mit sehr niedriger Temperatur wird in einen Wärmeaustausch mit einer Wärmelast gebracht, wodurch Kälte von dem Arbeitsfluid mit niedriger Temperatur zu der Wärmelast geleitet wird.

[0035] Der Wärmeaustausch kann durch indirekten oder durch direkten Wärmeaustausch erfolgen. In **Fig. 1** ist die Wärmelast durch den mit Q bezeichneten Pfeil dargestellt und der Wärmeaustausch wird durch einen Wärmetauscher **326** repräsentiert. Beispiele von Wärmelasten in der Praxis dieser Erfindung beinhalten Klimaanlage für die Kühlung von Häusern, Büros, Gebäuden und Fahrzeugen; häusliche oder kommerzielle Kühlschränke für die Kühlung von Lebensmittel; Lebensmittelgefrierschränke für das Gefrieren von Lebensmittel; Verflüssiger für industrielle Gase wie z. B. Erdgas, Sauerstoff, Stickstoff, Argon und Neon; Wärmepumpen; Wasserkondensatoren; und Kühler, die in Abfalltrennungs- und -behandlungssystemen verwendet werden können. Der Wärmeaustausch in dem Wärmetauscher **326** könnte auch mit einem Mehrkomponentenkühlfluid in einem zur Erzeugung von Kälte für sogar noch niedrigere Temperaturen verwendeten Kühlkreislauf erfolgen. Der Wärmeaustausch mit der Wärmelast erwärmt das Arbeitsfluid und ein sich ergebendes Arbeitsfluid **327** wird zu dem Magnetkühlersystem **302** geführt, um wie zuvor beschrieben erwärmt zu werden, und der Kühlzyklus mit sehr niedriger Temperatur beginnt von neuem.

[0036] Die Magnetkühlung funktioniert mit dem magneto-kalorischen Effekt. Die Temperatur eines Bettes aus magnetischen Teilchen wird mit einem angelegten Magnetfeld geladen. Der Temperatureffekt durch das Anlegen eines Magnetfeldes an ein mag-

netisches Teilchen erfolgt äußerst rasch. Typischerweise wird Heliumgas als ein Wärmeübertragungsfluid benutzt, um die von den magnetischen Teilchen erzeugte Wärme oder Kälte zu dem Arbeitsfluid zu befördern.

[0037] Ein Beispiel eines in der Praxis dieser Erfindung nützlichen aktiven Magnetregenerator-Kühlersystems ist in **Fig. 2** dargestellt. Nun auf **Fig. 2** Bezug nehmend beinhaltet das System ein poröses körniges Magnetbett **1**, einen beweglichen starken Elektromagneten oder Supraleitmagneten **2**, zwei Kolben **3** und **4**, einen Kaltwärmetauscher **5** und einen Heißwärmetauscher **6**. Der Lückenraum, der die Magnetbett-Teilchen in dem Bett **1** umgibt und die Volumina in den Kolbenzylindern **7** und **8** werden mit unter Druck stehendem Heliumgas aufgefüllt. Das Magnetbett **1** kann aus einer Anzahl verschiedener magnetischer Materialien zusammengesetzt sein, für die Gadolinium-Nickel ($GdNi_2$) ein Beispiel ist. In anderen Ausführungsformen von Magnetkühlersystemen können mehr als ein beweglicher Magnet verwendet werden, oder das Bett bzw. die Betten aus magnetisierbarem Material können selbst beweglich sein.

[0038] Zu Beginn des Zyklus befindet sich der Kaltwärmetauscher **5** anfänglich bei einer niedrigen Temperatur, z. B. 40 K, und der Heißwärmetauscher **6** liegt bei einer wärmeren Temperatur vor, z. B. bei 70 K. Der Magnet **2** wird nach rechts bewegt und somit wird das Magnetfeld, das das Magnetregeneratorbett **1** umgibt, erhöht. Der magneto-kalorische Effekt bewirkt, dass sich jedes magnetische Teilchen in dem Bett **1** leicht erwärmt. Die Kolben **3** und **4** werden zu ihrer äußersten rechten Position bewegt, was dazu führt, dass das eingeschlossene Heliumgas von dem linken Zylinder **7**, durch den Kaltwärmetauscher **5**, das Magnetkühlerbett **1** und durch den Heißwärmetauscher **6** strömt, um das Volumen in dem Zylinder **8** aufzufüllen. Die Teilchen in dem Bett **1** werden durch das strömende Gas gekühlt und das Gas wird wiederum erwärmt. Von dem Gas stammende Wärme wird zu dem Arbeitsfluid übertragen, wenn das Gas durch den Heißwärmetauscher **6** strömt. Wenn die Kolben ihre äußerste rechte Position erreicht haben, wird die Gasströmung gestoppt und das Magnetfeld wird abgezogen, indem der Magnet **2** zu dem linken Ende hin repositioniert wird, wodurch das Bett **1** durch den magneto-kalorischen Effekt gekühlt wird. Die Kolben **3** und **4** werden zurück zu ihren äußersten linken Positionen bewegt, wodurch bewirkt wird, dass das Heliumgas von dem Zylinder **8**, durch den Heißwärmetauscher **6**, das Magnetkühlerbett **1** und durch den Kaltwärmetauscher **5** in das Zylindervolumen **7** strömt. Das Heliumgas wird bei seinem Durchlauf durch das Bett **1** gekühlt und in dem Kaltwärmetauscher **5** erwärmt, wenn es mittels indirektem Wärmeaustausch das den Wärmetauscher durchquerende Arbeitsfluid abkühlt.

[0039] Obgleich die Erfindung ausführlich mit Bezug auf eine bestimmte bevorzugte Ausführungsform beschrieben worden ist, versteht sich für den Fachmann, dass weitere Ausführungsformen der Erfindung vorliegen und diese in den Rahmen der Ansprüche fallen.

[0040] Eine derartige weitere Ausführungsform ist in **Fig. 3** illustriert. Die Bezugszeichen in **Fig. 3** sind für die allgemeinen Elemente die gleichen wie diejenigen aus **Fig. 1** und diese allgemeinen Elemente werden nicht erneut ausführlich beschrieben werden. Die in **Fig. 3** dargestellte Ausführungsform ist für die Verflüssigung eines Prozessgases wie z. B. Sauerstoff, Stickstoff, Argon oder Erdgas besonders anwendbar. Nun auf **Fig. 3** Bezug nehmend wird ein Prozessgasstrom **400** durch indirekten Wärmeaustausch mit dem Mehrkomponentenkühlfluid in einem Wärmetauscher **301** vorgekühlt und anschließend als ein Strom **401** in einem Wärmetauscher **303** mittels indirektem Wärmeaustausch mit sowohl dem Mehrkomponentenkühlfluid wie dem Arbeitsfluid von dem Magnetkühlersystem weiter gekühlt. Das sich ergebende Prozessgas **402** wird in einem System **302** mindestens teilweise kondensiert und anschließend als ein Strom **403** zu einem Wärmetauscher **326** als die Wärmelast geleitet, wobei in diesem Wärmetauscher die Verflüssigung des Prozessgases mit einem möglichen Unterkühlen des kondensierten Verfahrensfluids vervollständigt wird. Anschließend wird ein resultierender verflüssigter Prozessgasstrom **404** zu einem Speicher geführt oder anderweitig gewonnen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bereitstellen von Kälte bei sehr niedrigen Temperaturen, wobei im Zuge des Verfahrens:

(A) ein Mehrkomponentenkühlfluid (**312**) komprimiert wird, das komprimierte Mehrkomponentenkühlfluid gekühlt wird, um gekühltes Mehrkomponentenkühlfluid (**315**) zu erzeugen, und das gekühlte Mehrkomponentenkühlfluid entspannt wird;

dadurch gekennzeichnet, dass

(B) ein Regeneratorbett (**1**) eines Magnetkühlersystems (**302**) magnetisiert wird, um das Regeneratorbett zu erwärmen, Arbeitsfluid erwärmt wird, indem es durch das Magnetkühlersystem (**302**) hindurchgeleitet wird, und anschließend das Arbeitsfluid aus dem Magnetkühlersystem in indirektem Wärmeaustausch mit dem gekühlten entspannten Mehrkomponentenkühlfluid gebracht wird, um gekühltes Arbeitsfluid zu erzeugen;

(C) das Regeneratorbett (**1**) entmagnetisiert wird, um das Regeneratorbett zu kühlen, und das gekühlte Arbeitsfluid durch das Magnetkühlersystem hindurchgeleitet wird, um das Arbeitsfluid auf eine sehr niedrige Temperatur weiter zu kühlen; und

(D) Kälte von dem bei sehr niedrige Temperatur befindlichen Arbeitsfluid auf eine Wärmelast (**326**) über-

geleitet wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das entspannte Mehrkomponentenkühlfluid mindestens teilweise kondensiert ist.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das entspannte Mehrkomponentenkühlfluid vollständig kondensiert ist.

4. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Mehrkomponentenkühlfluid mindestens ein atmosphärisches Gas aufweist.

5. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei es sich bei dem Mehrkomponentenkühlfluid um ein Kühlmittel für variable Last handelt.

6. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei ferner Prozessgas mittels indirektem Wärmeaustausch mit dem Mehrkomponentenkühlfluid gekühlt wird und danach das Prozessgas mittels indirektem Wärmeaustausch mit dem Arbeitsfluid kondensiert wird.

7. Vorrichtung zum Erzeugen von Kälte bei einer sehr niedrigen Temperatur mit:

(A) einem Kompressor (**313**), einem Mehrkomponentenkühlfluid-Wärmetauscher (**301**), Mitteln zum Überleiten von Fluid von dem Kompressor (**313**) zu dem Mehrkomponentenkühlfluid-Wärmetauscher (**301**), einer Entspannungseinrichtung (**316**), sowie Mitteln zum Überleiten von Fluid von dem Mehrkomponentenkühlfluid-Wärmetauscher (**301**) zu der Entspannungseinrichtung (**316**);

(B) einem Wärmetauscher (**303**) für mittlere Temperaturen und Mittel zum Überleiten von Fluid von der Entspannungseinrichtung (**316**) zu dem Wärmetauscher (**303**) für mittlerer Temperaturen;

gekennzeichnet durch

(C) ein Magnetkühlersystem (**302**) mit einem Bett aus magnetisierbarem Bettmaterial (**1**), Mitteln (**2**) zum Magnetisieren des magnetisierbaren Bettmaterials, Mitteln zum Überleiten von Fluid von dem Magnetkühlersystem (**302**) zu dem Wärmetauscher (**303**) für mittlere Temperaturen, und Mitteln zum Überleiten von Fluid von dem Wärmetauscher für mittlere Temperaturen zu dem Magnetkühlersystem (**302**); und

(D) eine Wärmelast (**326**) und Mitteln, um Fluid von dem Magnetkühlersystem in Wärmeaustausch mit der Wärmelast (**326**) zu bringen.

8. Vorrichtung gemäß Anspruch 7, ferner versehen mit Mitteln zum Überleiten von Prozessgas zu dem Mehrkomponentenkühlfluid-Wärmetauscher, von dem Mehrkomponentenkühlfluid-Wärmetauscher zu dem Wärmetauscher für mittlere Temperaturen, und von dem Wärmetauscher für mittlere Temperaturen zu dem Magnetkühlersystem.

9. Vorrichtung gemäß Anspruch 7, wobei das Ma-

gnetkühlersystem zwei Kolben-Zylinder auf entgegengesetzten Seiten des Betts aus magnetisierbarem Bettmaterial aufweist, um Gas von dem einen Kolbenzylinder durch das Bett hindurch zu dem anderen Kolbenzylinder überzuleiten.

10. Vorrichtung gemäß Anspruch 7, wobei die Mittel zum Magnetisieren des magnetisierbaren Bettmaterials mindestens einen beweglichen Magneten aufweisen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

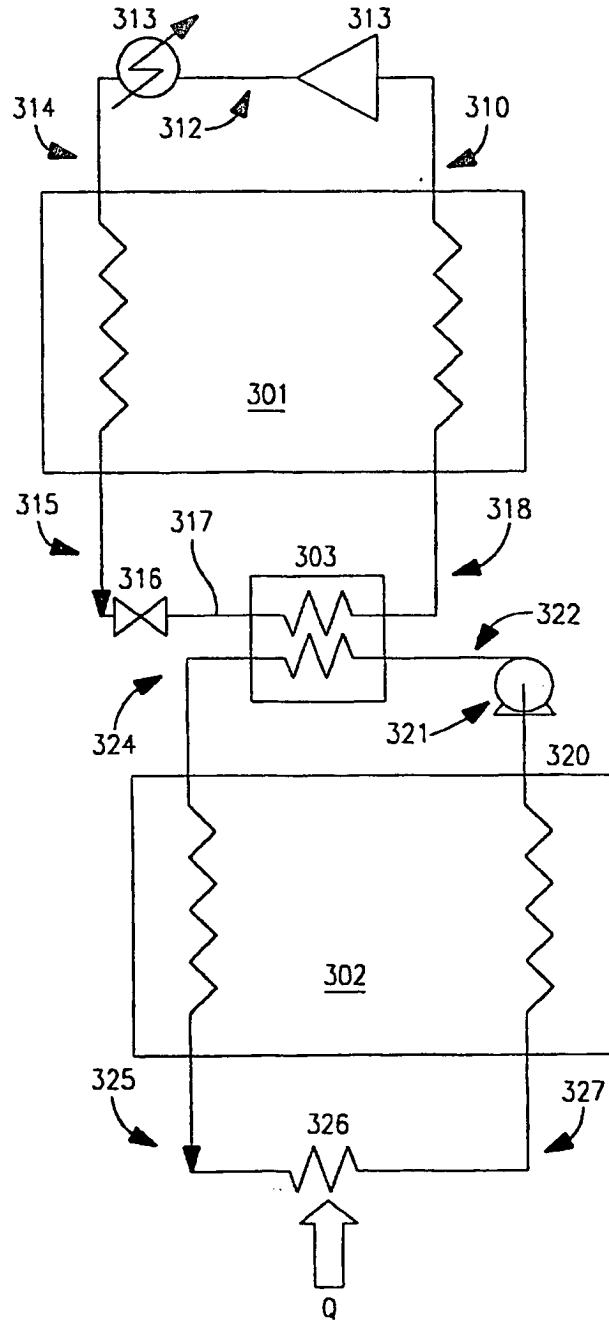


FIG. 1

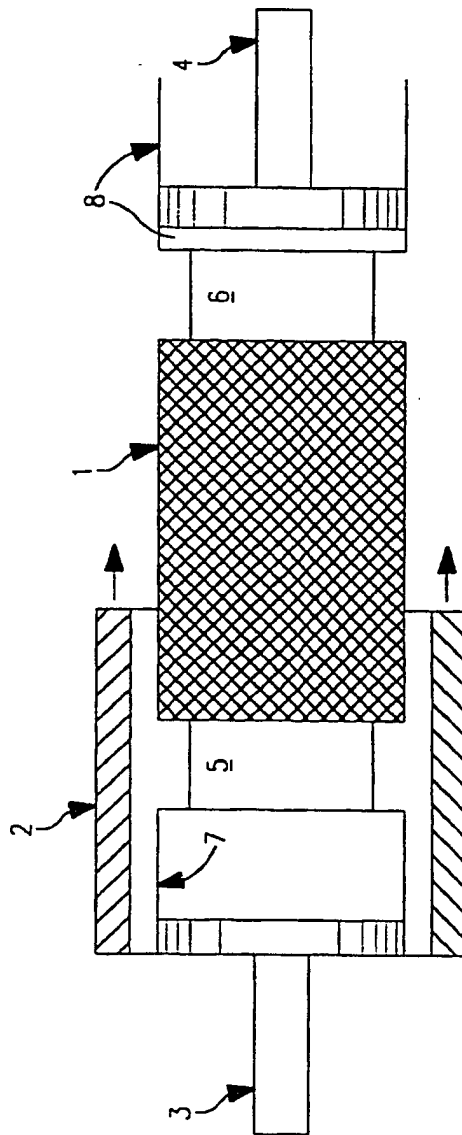


FIG. 2

