(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 594 554 A1**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
15.01.2020 Patentblatt 2020/03

(51) Int Cl.:
F17C 9/00 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **19180177.8**

(22) Anmeldetag: **14.06.2019**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(30) Priorität: **11.07.2018 DE 102018005503**

(71) Anmelder: **Messer Group GmbH**
65812 Bad Soden (DE)

(72) Erfinder: **Dietrich, Oliver**
47800 Krefeld (DE)

(74) Vertreter: **Münzel, Joachim R.**
Messer Group GmbH
Messer-Platz 1
65812 Bad Soden (DE)

(54) VORRICHTUNG ZUM UNTERKÜHLEN VON VERFLÜSSIGTEN GASEN

(57) Unterkühler nach dem Stande der Technik umfassen einen Behälter, in dem ein verflüssigtes Gas bei einem geringeren Druck und damit bei einer tieferen Temperatur bevorratet wird als das an einer Wärmetauscherfläche thermisch mit dem Behälterinnern verbundene zu unterkühlende verflüssigte Gas. Bei stark schwankenden Kühlanforderungen kann es bei zu kleiner Dimensionierung der Wärmetauscherfläche zu Filmsieden an der Oberfläche der Wärmetauscherfläche kommen, durch die die Kühlleistung des Unterkühlers drastisch herabgesenkt wird. Auch entsteht bei hohem Kühlmittelbedarf ein erhöhter Druckverlust und damit einhergehend der Anfall einer neuen Gasphase.

Um diesen Nachteil zu überwinden wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, eine Mehrzahl an Wärmetauscherflächen vorzusehen, die parallel zueinander angeordnet und entsprechend der angeforderten Kühlleistung zu- oder abgeschaltet werden. Dadurch wird die Größe der Wärmetauscherfläche im Behälter der jeweiligen Kühlanforderung angepasst.

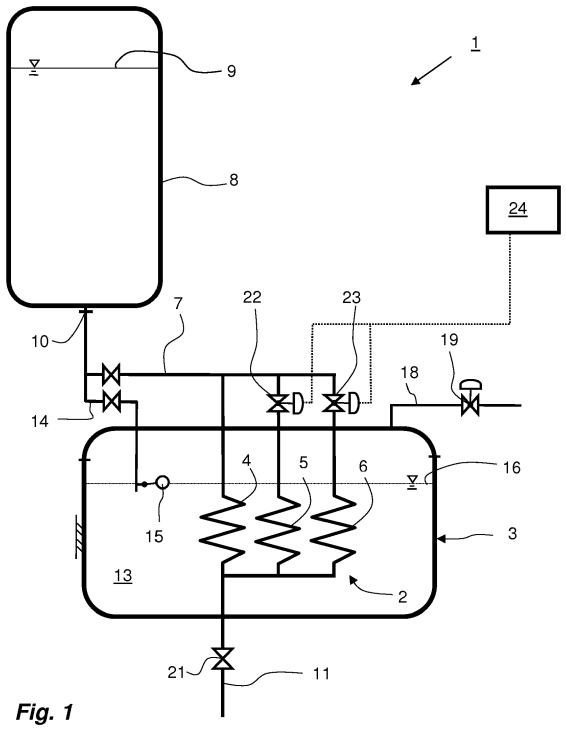

Fig. 1

EP 3 594 554 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Unterkühlen von verflüssigten Gasen, mit einem isolierten Behälter zur Aufnahme eines Kühlbades, welches aus einem auf niedrigen Druck entspannten Teilstrom eines aus einem Vorratstank entnommenen verflüssigten Gases gespeist wird, mit einer Einrichtung zum Abzug einer Gasphase aus dem isolierten Behälter und mit einer innerhalb des isolierten Behälters angeordneten, mit dem Vorratstank über eine Zuleitung strömungsverbundenen Einrichtung zur Wärmeübertragung von dem durch die Zuleitung geführten, zu unterkühlenden verflüssigten Gas auf das Kühlbad.

[0002] Derartige, üblicherweise als "Unterkühler" bezeichnete Vorrichtungen kommen beispielsweise bei der Kühlung von Oberflächen zwecks Entgratung von Formteilen aus Kunststoff, Gummi, Elastomeren, etc. zum Einsatz, wie beispielsweise in der EP 2 143 528 A1 beschrieben. Um insbesondere weichere Formteile zu entgraten werden die Noppen und Grate durch Beaufschlagung mit einem aus einem tiefsiedenden Flüssiggas, wie flüssiger Stickstoff, bestehenden Kältemittel zumindest oberflächlich versprödet und anschließend in einer Behandlungkammer auf mechanischem Wege entfernt. Um zu verhindern, dass die Eintrittstemperatur des Kältemittels beim Eintritt in die Behandlungskammer der Entgratungsanlage vom Druck und der Temperatur des mit der Entgratungsanlage verbundenen Kältemitteltanks abhängt, ist beim Gegenstand der EP 2 143 528 A1 in der Kältemittelzuleitung eine Einrichtung zum Unterkühlen des Kältemittels vorgesehen, mittels der die Temperatur des Kältemittels vor der Behandlung der Formteile auf eine definierte Temperatur unterhalb seiner Siedetemperatur gebracht wird. Dadurch wird insbesondere gewährleistet, dass das Kältemittel die zu behandelnden Formteile noch im flüssigen Zustand erreicht, wodurch der Kältemittelverbrauch minimiert und der Wärmeübergang vom Kältemittel auf die Formteile effizienter gestaltet wird. Des Weiteren ermöglicht die Unterkühlung, das Kältemittel mit einer genau definierten Temperatur in die Behandlungskammer einzutragen; die Temperatur des eingetragenen Kältemittels hängt also nicht mehr vom Druckzustand im Vorratstank des Kältemediums ab.

[0003] Eine Unterkühlung eines als Kältemittel eingesetzten verflüssigten Gases wird auch bei der Technik des Leichtmetall-Strangpressens eingesetzt, wie beispielsweise in der DE 198 57 790 A1 beschrieben. Gegenstand dieser Druckschrift ist ein Strangpress-Verfahren, bei dem flüssiger Stickstoff als Kältemittel dafür eingesetzt wird, während des Pressvorgangs der zum Umformen des Profilstranges eingesetzten Matrize Wärme zu entziehen und somit die Umformwärme ganz oder teilweise abzuführen. Dieses Verfahren erfordert eine sehr genaue Dosierung des Kältemittels, was jedoch bei einem tiefsiedenden Flüssiggas wie Stickstoff oder Argon insoweit problematisch ist, als dieser bereits bei der Zuführung zum Presswerkzeug zu einem schwer kalkulierbaren Teil verdampft. Daher wird das Flüssiggas mit einem Unterkühler auf eine Temperatur von beispielsweise 10K bis 15K unterhalb seiner Siedetemperatur unterkühlt, sodass gewährleistet ist, dass der Stickstoff vollständig in flüssigen Zustand auf die Matrize auftrifft.

[0004] Eine weitere Anwendung eines unterkühlten ist die Technik des Kaltmahlens. So wird in der EP 2 368 638 A1 ein Verfahren und eine Einrichtung zum Kaltmahlen von Produkten beschrieben, bei dem ein kryogenes Kältemittel vor seiner Zuführung zu einer die Produkte mahlenden Mühle auf eine Temperatur unterhalb seiner Siedetemperatur gebracht, also unterkühlt wird. Dadurch lässt sich eine wesentlich genauere Dosierung des Kältemittels erreichen, wodurch die Effizienz des Mehlverfahrens erhöht wird.

[0005] Eine bei den vorgenannten Anwendungen einsetzbare Einrichtung zum Unterkühlen umfasst einen Behälter mit thermisch isolierten Wänden, in dessen Innern eine Kühlschlange aus Edelstahl oder Kupfer als Wärmetauscher angeordnet ist. Durch die Kühlschlange wird ein tiefsiedendes Flüssiggas, beispielsweise flüssiger Stickstoff, aus einem Vorratstank herangeführt und nach Durchlaufen der Kühlschlange der Behandlungseinrichtung zugeführt. Eine gleichfalls mit dem Vorratstank verbundene Zweigleitung mündet an einem Entspannungsventil in den isolierten Behälter ein. Beim Entspannungsventil handelt es sich beispielsweise um ein Schwimmerventil, bei dem eine mit einem Schwimmkörper ausgerüstete Mechanik bei Unterschreiten einer vorgegebenen Füllhöhe des Flüssiggaspegels im Behälter eine Zuströmöffnung zum Zuführen von flüssigem Stickstoff aus dem Vorratstank in den isolierten Behälter freigibt bzw. diese bei Überschreiten der Füllhöhe schließt. Die Gasphase im Behälter ist mit einer Abgasleitung zum Ableiten von verdampftem Flüssiggas strömungsverbunden, in der ein Druckhalteventil montiert ist, das den Druck in der Abgasleitung stromaufwärts zum Druckhalteventil und damit zugleich im Behälter im wesentlichen konstant hält. Der Druck im Behälter ist dabei stets niedriger als der Druck im Vorratstank bzw. in der durch den Behälter hindurch geführten Kühlschlange. Dementsprechend ist auch die Temperatur des verflüssigten Gases im Behälter niedriger als die Temperatur des durch die Kühlschlange geführten verflüssigten Gases. Daher gibt das durch die Kühlschlange geführte verflüssigte Gas Wärme an das umgebende verflüssigte Gas im Behälter ab und weist im Folgenden eine Temperatur auf, die deutlich niedriger (abhängig vom Druckunterschied üblicherweise zwischen 1 K und 20 K) als die Siedetemperatur des verflüssigten Gases beim in der Kühlschlange herrschenden Druck ist. Zusätzlich kommt es zur Rekondensation von im verflüssigten Gas vorhandenen Gasblasen. Anstelle eines mechanischen Schwimmerventils kann im Übrigen auch ein Magnetventil zum Einsatz kommen, mittels dem das Nachfüllen von Flüssigstickstoff in den Behälter in Abhängigkeit von der durch geeignete Sensoren gemessenen Füllhöhe des Kältemittelbades im Behälter geregelt wird. Die Unterkühlung sollte dabei

die Temperatur des unterkühlten verflüssigten Gases so weit reduzieren, dass auch nach Durchlaufen von stromab zum Unterkühler angeordneten Armaturen, die zu einem Druckverlust im verflüssigten Gas und damit zu einer Erniedrigung des Siedepunkts führen, die Temperatur auf einem Wert unterhalb des jeweiligen Siedepunkt bleibt.

[0006] Eine Weiterentwicklung stellt die in der EP 0 524 432 A1 beschriebene Integration eines Gasphasenseparators in den Unterkühler dar, der Stickstoff, der noch vor dem Unterkühlungsvorgang in seiner Gasphase übergegangen ist, von der flüssigen Phase trennt.

[0007] Bei großen Durchsätzen an verflüssigtem Gas kommt es bei Unterkühlern leicht zu Druckschwankungen und damit zu Temperaturschwankungen innerhalb des Behälters. Um diesen Nachteil zu überwinden, wird in der EP 2 679 879 A2 vorgeschlagen, dass der Behälter mit einer Mehrzahl von unterschiedlich tief in den Behälter eintauchenden Zuleitungen ausgerüstet ist, die jeweils ein Ventil aufweisen, das in Abhängigkeit von der Höhe der Füllhöhe der Flüssigkeit im Behälter die jeweilige Zuleitung öffnet bzw. schließt. Auf diese Weise wird der Mengenstrom des in den Behälter zugeführten verflüssigten Gases in Abhängigkeit von der Kühlanforderung geregelt und das Auftreten von Druckschwankungen reduziert.

[0008] Die Dimensionierung des Wärmetauschers, wie beispielsweise Länge, Durchmesser und Wandstärke der Kühlschlange, richtet sich nach der geforderten Wärmeübertragungsleistung. Zu dieser tragen insbesondere der erforderliche Kältemitteldurchsatz, der Gasphasenanteil im als Kältemittel eingesetzten verflüssigten Gas, der Druck des Kältemittels sowie die gewünschte Kühlvorlauftemperatur der Kälteanwendung bei. Werden Kälteanwendungen zu oder abgeschaltet, oder variieren aufgrund von sich im Lauf den Einsatzes des Unterkühlers ändernden Lagerbedingungen Gasphasenanteil oder Gasdruck im zu unterkühlenden Kältemittel, beispielsweise infolge eines Anstiegs der Temperatur und/oder einer absinkenden Füllhöhe des Kältemittels im Tank, variiert auch die Wärmeübertragungsleistung.

[0009] Demzufolge werden die Kühlschlangen in der Regel derart ausgelegt, dass insbesondere auch Betriebszustände mit hohen Kältemitteldurchsätzen und ungünstigen Lagerbedingungen abgedeckt werden können. Sie weisen somit eine - gegenüber den Anforderungen einer durchschnittlichen Wärmeübertragungsleistung - vergleichsweise große Rohrlänge und/oder einen großen Rohrdurchmesser auf. Eine sehr lange Rohrschlange führt bei hohen Kältemitteldurchsätzen jedoch zu einem Druckverlust, der wiederum zu einem erhöhten Gasphasenanteil führt; auch kann es im Kühlbad an der Oberfläche des Wärmetauschers zum Filmsieden kommen, welches die Wärmeübertragung verschlechtert. Ist dagegen der Durchmesser der Rohrleitung sehr groß ausgelegt und nimmt aufgrund eines geringeren Kältebedarfs die Durchströmgeschwindigkeit ab, reduziert sich die Wärmeübertragung an der Rohrschlange aufgrund einer sich einstellenden laminaren Strömung.

[0010] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist daher, eine Vorrichtung zum Unterkühlen kryogener Flüssigkeiten zu schaffen, die die vorgenannten Nachteile überwindet.

[0011] Gelöst ist diese Aufgabe bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art und Zweckbestimmung dadurch, dass die Einrichtung zur Wärmeübertragung mit einer Mehrzahl an parallel zueinander geschalteten Wärmetauschern ausgerüstet ist, die zumindest teilweise jeweils mit einer Sperrarmatur zum Zu- und Abschalten des Durchflusses durch den Wärmetauscher ausgerüstet sind.

[0012] Als "Mehrzahl von Wärmetauschern" soll hier eine Anzahl von mindestens zwei, bevorzugt von drei bis zehn Wärmetauschern verstanden werden, die jeweils gleiche oder unterschiedliche Wärmeübertragungskapazitäten aufweisen können. Zumindest ein Teil der Wärmetauscher ist mit einer Sperrarmatur ausgerüstet, mittels der der Durchfluss von Kältemittel durch diesen Wärmetauscher ermöglicht oder gesperrt werden kann. Bei den Sperrarmaturen kann es sich beispielsweise um manuell zu betätigende Ventile handeln, bevorzugt handelt es sich dabei jedoch um steuerbare Armaturen, beispielsweise Magnetventile, die mittels einer Steuereinheit in Abhängigkeit von den jeweiligen Anforderungen, beispielsweise in Abhängigkeit eines gemessenen Regelgröße, betätigt werden können. Die Einrichtung zur Wärmeübertragung ist bevorzugt so ausgelegt, dass das zu unterkühlende verflüssigte Gas auf eine Temperatur von 1K bis 25K, bevorzugt 10K bis 20K unterhalb seines Siedepunkts bei dem in der Einrichtung herrschenden Druck unterkühlt werden kann.

[0013] Durch die Erfindung kann also die Anzahl der zur Wärmeübertragung im Behälter eingesetzten Wärmetauscher durch Zu- oder Abschalten einzelner Wärmetauscher variiert und somit die Wärmeübertragungskapazität den jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Beispielsweise wird im Falle gleichartiger Wärmetauscher die Wärmeübertragungskapazität durch Zuschalten eines weiteren Wärmetauschers gegenüber der eines einzelnen Wärmetauschers verdoppelt, bei Zuschalten zweier Wärmetauscher verdreifacht, usw.. Da durch die parallele Anordnung der Wärmetauscher das zu unterkühlende Kältemittel gleichzeitig durch alle zugeschalteten Wärmetauscher strömt, kann eine effiziente Kühlung auch bei einer starken Erhöhung des Kältemitteldurchflusses bei geringem Druckverlust erreicht werden. Eine durch Druckverlust innerhalb der Einrichtung der Wärmeübertragung hervorgerufene Neugasphasenbildung kann dadurch zuverlässig vermieden werden. Umgekehrt kann bei einer reduzierten geforderten Wärmeübertragungsleistung die Anzahl der zugeschalteten Wärmetauscher vermindert und damit der Gefahr einer zu geringen Strömungsgeschwindigkeit begegnet werden.

[0014] Eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht dabei vor, dass zumindest ein Teil der Wärmetau-

scher derart miteinander verschaltet sind, dass sie unabhängig voneinander zu- und abschaltbar sind. Auf diese Weise können Wärmetauscher individuell miteinander kombiniert und zugeschaltet werden. Die Sperrarmaturen sind in diesem Fall zumindest teilweise im Bereich von Zweigleitungen angeordnet, die von einer gemeinsamen Zuleitung abführen und jeweils die Strömungsverbindung zu einem Wärmetauscher herstellen. Besonders vorteilhaft ist diese Ausgestaltung bei Wärmetauschern unterschiedlicher Wärmeübertragungskapazität, da so eine den jeweils geforderten Wärmeübertragungsleistung angepasste Gesamtwärmeübertragungskapazität eingestellt werden kann.

[0015] In einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die Wärmetauscher derart miteinander verschaltet, dass ein Teil der Wärmetauscher erst zuschaltbar ist, wenn wenigstens ein weiterer Wärmetauscher bereits zugeschaltet ist. Auf diese Weise ist in blockweises Zu- und Abschalten einer Gruppe aus mehreren Wärmetauschen möglich. Hierzu ist wenigstens eine Sperrarmatur stromauf zu einer Mehrzahl von Zweigleitungen angeordnet, die jeweils die Strömungsverbindung zu einem Wärmetauscher herstellen und ihrerseits mit einer Sperrarmatur ausgerüstet sein können. Bei dieser Ausgestaltung handelt es sich um eine einfach zu realisierende Lösung, die sich insbesondere eignet, wenn alle Wärmetauschern im wesentlichen die gleiche Wärmeübertragungskapazität besitzen.

[0016] Zweckmäßigerweise sind die Sperrarmaturen mit einer insbesondere computerunterstützten Steuerung wirkverbunden, mittels der die Wärmetauscher nach einem vorgegebenen Programm oder in Abhängigkeit von gemessenen Parametern zu- und abschaltbar sind. Die Steuerung ist also so ausgelegt, dass in Abhängigkeit von den jeweiligen Anforderungen, beispielsweise bei einer mittels geeigneter Mittel erfassten Änderung des Kältemitteldurchflusses, die Anzahl und/oder die Kapazität der zuzuschaltenden Wärmetauscher ermittelt und die Sperrarmaturen entsprechend angesteuert werden.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung eine Apparatur zur laufenden Erfassung der Durchflussmenge des verflüssigten Gases vorgesehen, beispielsweise ein Coriolis-Durchflussmesser. Diese Apparatur ist beispielsweise in einer Zuleitung, also stromauf zu den Wärmetauschern angeordnet. Um insbesondere eine zuverlässige Durchflussmessung bei verflüssigten Gasen mit hohem Gasphasenanteil zu gewährleisten, empfiehlt sich der Einbau einer solchen Apparatur zur Erfassung der Durchflussmenge stromab zu den Wärmetauschern, beispielsweise in einer gemeinsamen Ausleitung, in die die Wärmetauscher strömungstechnisch einmünden. Die Daten der Apparatur werden bevorzugt an die vor erwähnte Steuerung übermittelt und von dieser nach einem vorgegebenen Programm zum Ansteuern der Sperrarmaturen eingesetzt. Eine gleichfalls vorteilhafte Ausgestaltung sieht eine stromab zu den Wärmetauschern angeordnete Einrichtung zur Erfassung der Temperatur des unterkühlten Kältemittels vor, deren Messwerte in der Steuereinrichtung zur Bestimmung der Anzahl und/oder Kapazität der zuzuschaltenden Wärmetauscher einsetzbar sind.

[0018] Eine abermals vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der Zuleitung für das zu unterkühlende verflüssigte Gas ein Gasphasenseparator zugeordnet ist. Beim Gasphasenseparator handelt es sich beispielsweise um einen Gegenstand, wie er in der EP 0 524 432 A1 beschrieben ist. Dabei ist innerhalb des Kühlbads im isolierten Behälter ein weiterer Behälter (im folgenden "Separatorbehälter" genannt) mit thermisch gut leitenden Wänden aufgenommen, in den das mit dem Vorratstank strömungsverbundene Auslassrohr einmündet. Im oberen Teil des Separatorbehälters ist ein Gasauslass vorgesehen, der mit der Gasphase im Vorratstank strömungsverbunden ist und durch den bereits auf dem Weg von Vorratstank verdampftes Flüssiggas abgezogen wird. Zum Abzug der Flüssigphase weist der Separatorbehälter in seinem unteren Teil einen Anschluss auf, von dem aus das unterkühlte Flüssiggas zur weiteren Verwendung abgeführt wird. Dem Anschluss zum Abzug der Flüssigphase schließt sich strömungstechnisch die im Kühlbad angeordnete Einrichtung zur Wärmeübertragung an, in der die dem Gasphasenseparator entnommene Flüssigphase durch thermischen Kontakt mit dem Kühlbad im isolierten Behälter weiter unterkühlt wird. Durch den Gasphasenseparator wird sichergestellt, dass das durch das Auslassrohr geführte Flüssiggas sich zumindest weitestgehend im flüssigen Zustand befindet und keine oder nur wenige gasförmige Einschlüsse enthält.

[0019] Eine ebenfalls vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass Mittel vorgesehen sind, um der Zustrom an verflüssigtem Gas an das Kühlbad zu regeln. Dadurch kann auch die Menge des im Kühlbad befindlichen Kältemittels der jeweiligen Wärmeübertragungsleistung angepasst werden. Beispielsweise kann dies mit einer Mehrzahl an parallel schaltbaren Zuführungen für das Kältemittel erreicht werden, die jeweils in Abhängigkeit von einer Füllhöhe im Kühlbad geöffnet und geschlossen werden. Eine derartige Anordnung wird in der EP 2 679 879 A2, auf die hier ausdrücklich Bezug genommen wird.

[0020] Eine bevorzugte Verwendung der Vorrichtung stellt die Bereitstellung eines unterkühlten verflüssigten Gases, insbesondere Flüssigstickstoff, als Kältemittel zur Kühlung einer Einrichtung zum Leichtmetall-Strangpressen, insbesondere einer Aluminium- Stranggussextrusionseinrichtung, dar. Eine andere bevorzugte Verwendung der Vorrichtung erfolgt in einer Einrichtung zum Kaltmahlen oder in einer Anordnung von mehreren parallel geschalteten Einrichtungen zum Kaltmahlen.

[0021] Bevorzugt kommt als zu unterkühlendes verflüssigtes Gas ein tiefsiedendes verflüssigtes Gas (Kryogen) zum Einsatz, wie beispielsweise Stickstoff, Sauerstoff, LNG oder ein Edelgas wie etwa Argon oder Helium.

[0022] Anhand der Zeichnung soll ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher erläutert werden.

[0023] Die einzige Figur (Fig. 1) zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung.

[0024] Die Vorrichtung 1 zum Unterkühlen umfasst eine Einrichtung 2 zur Wärmeübertragung, die in einem Behälter 3 mit thermisch isolierten Wänden angeordnet ist. Die Einrichtung 2 zur Wärmeübertragung umfasst eine Mehrzahl von Wärmetauschern, im Ausführungsbeispiel drei Kühlschlangen 4, 5, 6, die über eine druckfeste und wärmeisolierte Zuleitung 7 mit einem wärmeisolierten Vorratstank 8 strömungsverbunden sind. Im Vorratstank 8 wird ein kryogenes Medium, beispielsweise Stickstoff im tiefkalt verflüssigten Zustand, bis zur Höhe eines Pegels 9 bevorratet. Der flüssige Stickstoff liegt im Innern des Vorratstanks 8 bei seiner Siedetemperatur vor; im unteren Bereich des Vorratstanks 8, im Bereich eines Anschlussstutzens 10 für die Stickstoffzuleitung 7, wird die Siedetemperatur wiederum durch den hydrostatischen Druck der im Innern des Vorratstanks 8 bis zur Höhe des Pegels 9 stehenden Flüssigkeitssäule mitbestimmt. So beträgt bei einem Druck von 5 bar die Temperatur des flüssigen Stickstoffs am Anschlussstutzen 10 beispielsweise etwa minus 180°C, bei 6 bar sogar minus -177°C. Ausgangsseitig sind die Kühlschlangen 4, 5, 6 mit einer gemeinsamen, thermisch isolierten Ausleitung 11 strömungsverbunden, über die der flüssige Stickstoff anschließend einer weiteren Verwendung zugeführt wird, beispielsweise als Kältemittel einer hier nicht gezeigten Vorrichtung zugeführt.

[0025] Innerhalb des Behälters 3 befindet sich ein Kühlbad 13, in das die Kühlschlangen 4, 5, 6 eintauchen. Das Kühlbad 13 besteht aus dem gleichen kryogenen Medium wie das im Vorratstank 8 bevorratete, im Ausführungsbeispiel also aus flüssigem Stickstoff. Zum Zuführen von Kältemittel in das Kühlbad 13 dient eine Kältemittelzuleitung 14, die von der Zuleitung 7 noch außerhalb des Behälters 3 abzweigt. Die Kältemittelzuleitung 14 ist ausgangsseitig mit einem Schwimmerventil 15 ausgerüstet. Das Schwimmerventil 15 funktioniert in der Weise, dass bei Unterschreiten einer vorgegebenen Füllhöhe 16 des Kühlbades 13 im Behälter 3 flüssiger Stickstoff in den Behälter 3 nachströmt, wobei sich dieser auf den Druck im Behälter 3 entspannt. Im Behälter 3 besteht zwischen den Kühlschlangen 4, 5, 6 einerseits und dem Kühlbad 13 andererseits lediglich eine thermische Verbindung, jedoch keine Strömungsverbindung.

[0026] Anstelle eines Schwimmerventils 15 können im Übrigen auch andere Einrichtungen vorgesehen sein, die in Abhängigkeit von der Füllhöhe 16 des Kühlbades 13 die Zuführung von Flüssigstickstoff durch die Kältemittelzuleitung 14 steuern, beispielsweise Magnetventile, die mit geeigneten Sensoren zur Füllstanderfassung, beispielsweise supraleitenden Sensoren, wirkverbunden sind.

[0027] Im Dachraum des Behälters 3 ist eine Abgasleitung 18 zur Ableitung von gasförmigem Stickstoff vorgesehen. In der Abgasleitung 18 ist ein Druckhalteventil 19 montiert, das den Druck in der Abgasleitung 18 stromauf zum Druckhalteventil 19 und damit zugleich im Behälter 3 auf einen vorbestimmten Wert von beispielsweise 1 bar konstant hält. Der Druck im Behälter 3 kann frei gewählt werden, muss jedoch geringer sein als der Druck im Vorratstank 8 im Bereich des Anschlussstutzens 10, um zu gewährleisten, dass die Temperatur des Kühlbades 13 niedriger ist als die Temperatur des Flüssigstickstoffs in der Zuleitung 7. Beispielsweise ergibt sich bei einem angenommenen Druck im Behälter 3 von 1 bar (abs.) eine Temperatur des Flüssigstickstoffs im Behälter 3 von ca. minus 196°C, bei einem Druck von 0,3 bar sogar ca. minus 204°C, und damit eine geringere Temperatur als die des Flüssigstickstoffs im Vorratstank 8 bei einem dort angenommenen Druck von beispielsweise 5-6 bar. Im Übrigen kann in einer vereinfachten Ausführung auch auf das Druckhalteventil 19 verzichtet werden, mit der Folge, dass das Kältemittel im Behälter 3 stets auf Atmosphärendruck vorliegt. in diesem Falle ist die Temperatur des verdampfenden Kältemittels im Innern des Behälters 3 jedoch den durch die Änderungen des Atmosphärendrucks bedingten Schwankungen unterworden.

[0028] Im Betrieb der Vorrichtung 1 liegt im Innern des Behälters 3 das Kältemittelbad 13 bis zu einer Füllhöhe 16 oberhalb des Schwimmerventils 15 vor. Der Druck im Behälter 3 entspricht dem am Druckhalteventil 19 eingestellten Wert und beträgt beispielsweise 1 bar (abs.). Der Druck des flüssigen Stickstoffs in der Kältemittelzuleitung 14 und in der Zuleitung 7 entspricht ungefähr dem im Vorratstank 8 im Bereich des Anschlussstutzens 10. Durch Öffnen des Ventils 21 wird zu unterkühlender Stickstoff durch die Zuleitung 7, die Einrichtung 2 und die Ausleitung 11 einem hier nicht gezeigten Verbraucher, beispielsweise einer Strangpresse oder einer Kaltmahleinrichtung, zugeführt. Aufgrund des höheren Drucks in der Zuleitung 7 gegenüber dem Druck im Behälter 3 weist das durch die Zuleitung 7 geführte Kältemittel eine höhere Temperatur auf als die des Kältemittels im Kühlbad 13. An der Einrichtung 2 wird somit Wärme aus dem durch die Zuleitung 7 geführten Kältemittel an das Kühlbad 13 abgegeben und das Kältemittel in der Zuleitung 7 wird unterkühlt.

[0029] Um rasch auf schwankende Kühlanforderungen reagieren zu können, kann in der Einrichtung 2 die Anzahl der aktiven, d.h. zur Wärmeübertragung eingesetzten Kühlschlangen 4, 5, 6 variiert werden. Dazu sind die Kühlschlangen 4, 5, 6 parallel zueinander geschaltet, wobei die Kühlschlange 4 im Ausführungsbeispiel stets als Wärmetauscherfläche zur Verfügung steht, während die Kühlschlangen 5, 6 mittels Ventilen 22, 23 zugeschaltet oder getrennt werden können. Durch Zuschalten der Kühlschlange 5 oder 6 wird das Kältemittel zu gleichen Teilen durch die Kühlschlangen 4 und 5 (bzw. 4 und 6) geführt, wodurch eine gegenüber der Benutzung lediglich des Wärmetauschers 4 doppelte Wärmetauscherfläche zur Verfügung steht. Bei Zuschaltung beider Kühlschlangen 5 und 6 steht entsprechend eine dreifache

Wärmetauscherfläche zur Verfügung. Die Ventile 22, 23 können mittels einer elektronischen Steuerung 24 angesteuert werden, die es ermöglicht, die Zu- und Abschaltung der Kühlschlangen 5, 6 nach einem vorgegebenen Programm und/oder in Abhängigkeit von gemessenen Parametern, beispielsweise der Temperatur oder dem Mengenstrom des dem Verbraucher zugeführten Kältemittels, zu regeln.

[0030] Auf diese Weise kann die zur Verfügung stehende Wärmetauscherfläche auch schwankenden Kälteanforderungen rasch angepasst werden. Die Gefahr eines Filmsiedens von Kältemittel des Kühlbades 13 auf der Außenoberfläche der Kühlschlange 4, durch das die Wärmeübertragungsleistung eingeschränkt werden würde, wird dadurch wesentlich verringert. Auch wird durch Zuschalten der Kühlschlangen 5 und/oder 6 eine effiziente Unterkühlung auch bei hohen geforderten Wärmeübertragungsleistungen ermöglicht, ohne dass dazu der Einbau einer langen und mit dementsprechend hohem Druckverlust arbeitenden Kühlschlange erforderlich wäre.

[0031] Im Übrigen ist die Erfindung nicht auf das Vorsehen von drei gleichen Kühlschlangen 4, 5, 6, wie im Ausführungsbeispiel gezeigt, beschränkt, es können im Rahmen der Erfindung auch lediglich zwei oder mehr als drei Wärmetauscherflächen vorgesehen sein, die jeweils gleiche oder unterschiedliche Wärmeübertragungskapazitäten aufweisen und blockweise oder unabhängig voneinander zuschaltbar sind. Im Falle von unterschiedlichen Wärmeübertragungskapazitäten der Kühlschlangen 4, 5, 6 ist es vorteilhaft, auch die Kühlschlange 4 mit einer Absperrarmatur ausrüsten, um fallweise einen Durchfluss des Kältemittels lediglich über die Kühlschlangen 5 und/oder 6 zu ermöglichen. Auf diese Weise kann die Wärmeübertragungskapazität noch besser an die jeweils geforderte Wärmeübertragungsleistung angepasst werden.

[0032] Durch den Eintrag von Wärme aus dem durch die Zuleitung 7 geführten Kältemittel verdampft Kältemittel aus dem Kühlbad 13. Der Zustrom von Kältemittel in das Kühlbad 13 kann dabei (hier nicht gezeigt) über eine Mehrzahl an Zuleitungen geregelt und den Anforderungen angepasst werden, wie beispielsweise in der EP 2 679 879 A2 beschrieben.

[0033] Das beim Wärmetausch im Behälter 3 entstehende gasförmige Kältemittel wird über die Abgasleitung 18 abgeführt und ggf. einer weiteren Verwendung zugeführt. Nach Durchlaufen der Kühlschlange/n 4, 5, 6 besitzt das über die Ausleitung 11 transportierte Kältemittel zumindest annähernd die Temperatur des Kühlbades 13 (beispielsweise minus 196°C), und damit eine Temperatur, die deutlich unterhalb der Siedetemperatur von Stickstoff bei dem in der Zuleitung 7 herrschenden Druck liegt.

[0034] Als Kältemittel kommt im Ausführungsbeispiel flüssiger Stickstoff zum Einsatz, im Rahmen der Erfindung sind jedoch auch andere kryogene Kältemittel denkbar, beispielsweise LNG, flüssiger Sauerstoff, flüssiger Wasserstoff oder ein verflüssigtes Edelgas.

Bezuaszeichenliste

[0035]

1. Vorrichtung
2. Einrichtung zur Wärmeübertragung
3. Behälter
4. Kühlschlange
5. Kühlschlange
6. Kühlschlange
7. Zuleitung
8. Tank
9. Pegel
10. Anschlussstutzen
11. Ausleitung
12. -
13. Kühlbad
14. Kältemittelzuleitung
15. Schwimmerventil
16. Füllhöhe
17. -
18. Abgasleitung
19. Druckhalteventil
20. -
21. Ventil
22. Ventil
23. Ventil
24. Steuerung

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Unterkühlen von verflüssigten Gasen, mit einem isolierten Behälter (3) zur Aufnahme eines Kühlbades (13), welches aus einem auf niedrigen Druck entspannten Teilstrom eines aus einem Vorratstank (8) entnommenen verflüssigten Gases gespeist wird, mit einer Einrichtung (18, 19) zum Abzug einer Gasphase aus dem isolierten Behälter (3), und mit einer innerhalb des isolierten Behälters (3) angeordneten, mit dem Vorratstank (8) über eine Zuleitung (7) strömungsverbundenen Einrichtung (2) zur Wärmeübertragung von dem durch die Zuleitung (7) geführten, zu unterkühlenden verflüssigten Gas auf das Kühlbad (13),
dadurch gekennzeichnet,
dass die Einrichtung (2) zur Wärmeübertragung mit einer Mehrzahl an parallel zueinander geschalteten Wärmetauschern (4, 5, 6) ausgerüstet ist, die zumindest teilweise mit einer Sperrarmatur (22, 23) zum Zu- oder Abschalten des Durchflusses durch den jeweiligen Wärmetauscher (4, 5, 6) ausgerüstet sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Teil der Wärmetauscher (4, 5, 6) derart miteinander verschaltet sind, dass sie unabhängig voneinander zu- und abschaltbar sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Teil der Wärmetauscher (4, 5, 6) derart miteinander verschaltet sind, dass ein Teil der Wärmetauscher (4, 5, 6) erst zuschaltbar ist, wenn wenigstens weiterer Wärmetauscher (4, 5, 6) bereits zugeschaltet ist.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sperrarmaturen (22, 23) mit einer Steuerung (24) wirkverbunden sind, mittels der die Wärmetauscher (4, 5, 6) nach einem vorgegebenen Programm oder in Abhängigkeit von gemessenen Parametern zu- und abschaltbar sind.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromauf und/oder stromab zu den Wärmetauschern (4, 5, 6) eine Apparatur zur Erfassung der Durchflussmenge des verflüssigten Gases und/oder eine Einrichtung zur Erfassung der Temperatur des unterkühlten verflüssigten Gases zugeordnet ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zuleitung (7) für das zu unterkühlende verflüssigte Gas ein Gasphasenseparator zugeordnet ist.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zustrom an verflüssigtem Gas an das Kühlbad (13) regelbar ist.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die Verwendung zum Kühlen in einer Aluminiumstranggussextrusionseinrichtung oder in einer Kaltmahleinrichtung.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als verflüssigtes Gas ein tiefsiedendes Gas zum Einsatz kommt.

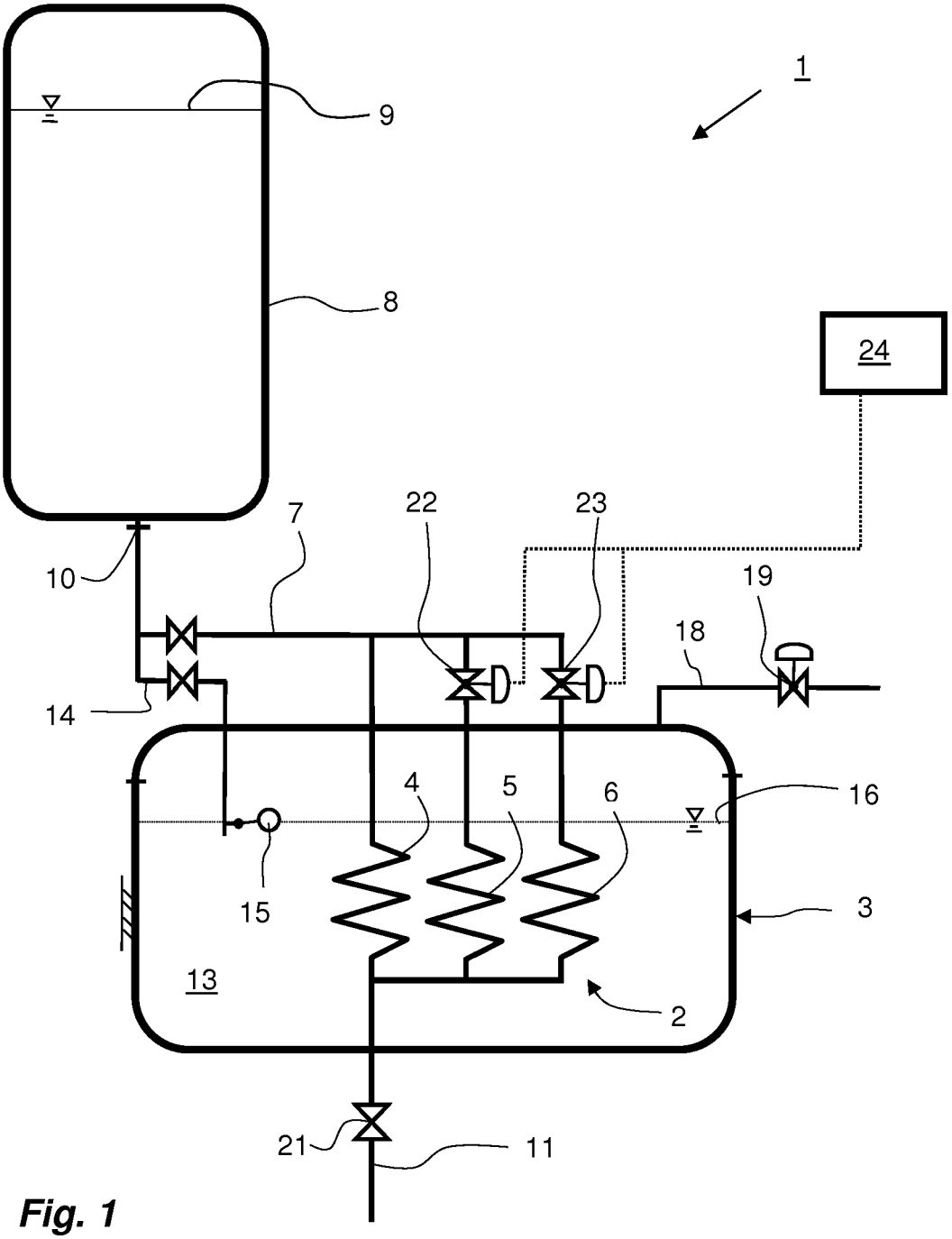

Fig. 1

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 19 18 0177

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,D	EP 2 679 879 A2 (MESSER GROUP GMBH [DE]) 1. Januar 2014 (2014-01-01) * Abbildung 1 *	1-9	INV. F17C9/00
A,D	EP 2 368 638 A1 (MESSER GROUP GMBH [DE]) 28. September 2011 (2011-09-28) * das ganze Dokument *	1-9	
A	EP 1 818 633 A2 (MESSER GROUP GMBH [DE]) 15. August 2007 (2007-08-15) * das ganze Dokument *	1-9	
A	US 2006/053165 A1 (HUME HOWARD R [US] ET AL) 9. März 2006 (2006-03-09) * Absatz [0044] - Absatz [0046]; Abbildung 6 *	1-9	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)

F17C

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	28. November 2019	Forsberg, Peter

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 19 18 0177

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

28-11-2019

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2679879 A2	01-01-2014	DE 102012013300 A1	02-01-2014
		EP 2679879 A2	01-01-2014
		ES 2718672 T3	03-07-2019
		PL 2679879 T3	31-07-2019
EP 2368638 A1	28-09-2011	DE 102010012448 A1	29-09-2011
		EP 2368638 A1	28-09-2011
		ES 2714687 T3	29-05-2019
		HU E042560 T2	29-07-2019
		PL 2368638 T3	28-06-2019
EP 1818633 A2	15-08-2007	DE 102006005885 A1	16-08-2007
		EP 1818633 A2	15-08-2007
US 2006053165 A1	09-03-2006	CN 101010509 A	01-08-2007
		US 2006053165 A1	09-03-2006
		US 2008092558 A1	24-04-2008

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2143528 A1 **[0002]**
- DE 19857790 A1 **[0003]**
- EP 2368638 A1 **[0004]**
- EP 0524432 A1 **[0006] [0018]**
- EP 2679879 A2 **[0007] [0019] [0032]**