

Kaltkopf für Tieftemperatur-Kältemaschine

Die Erfindung betrifft einen Kaltkopf für eine Tieftemperatur-Kältemaschine.

WO 94/29653 beschreibt einen Kaltkopf für eine Tieftemperatur-Kältemaschine, der mit Helium als Arbeitsgas betrieben wird und an einer Hochdruckquelle und einer Niederdruckquelle angeschlossen ist. Der Kaltkopf enthält ein mehrkanaliges Steuerventil, das die Verbindung eines Hochdruck-Einlasses und eines Niederdruck-Einlasses jeweils mit einer Kolben-Zylinder-Einheit und mit einem warmseitigen Arbeitsraum des Kaltfingers steuert. Der Verdränger, der einen Regenerator enthalten kann, begrenzt an seinem einen Ende einen warmseitigen Arbeitsraum und am gegenüberliegenden Ende einen kaltseitigen Arbeitsraum. Während der Verdränger durch die Kolben-Zylinder-Einheit periodisch hin- und herbewegt wird, wird dem Gehäuse des Kaltkopfs ständig Wärme entzogen. Mit einem Kaltkopf mit einstufigem Verdränger lassen sich Temperaturen bis herunter zu etwas 30 K erzeugen. Mit zwei- oder dreistufigen Verdrängern können Temperaturen bis unter 1 K erzeugt werden. In dem Kaltkopf wird mit dem Prozessgas, in der Regel Helium, ein thermodynamischer Kreisprozess (Stirling Prozess oder Gifford-McMahon-Prozess) durchgeführt, wobei das Prozessgas in einem geschlossenen Kreislauf geführt wird. Die Folge ist, dass dem einen Endbereich des den Verdränger umschließenden Gehäuses Wärme entzogen wird.

Der Kaltkopf ist mit einem Kompressor verbunden. Da es sich um einen geschlossenen Kreislauf handelt, ist sowohl der Hochdruckanschluss als auch der Niederdruckanschluss des Kaltkopfs mit dem Kompressor verbunden. Derartige Kompressoren weisen üblicherweise ein Überströmventil auf. Dieses ist in einem zwischen der Hochdruckseite und der Niederdruckseite angeordneten Rückströmkanal angeordnet. Üblicherweise handelt es sich bei Überströmventilen um federbelastete Rückschlagventile, die üblicherweise auf eine Differenzdruck zwischen Hoch- und Niedrigdruck des Kompressors von beispielsweise 18 bar ausgelegt sind. Ist an den Kompressor ein Kaltkopf angeschlossen, dessen Widerstand sehr groß ist, kommt es zu einer Überhöhung des Arbeitsdrucks auf der Hochdruckseite am Kompressor. Zur Abfuhr dieser überschüssigen Energie öffnet das Überströmventil, so dass das Kältemedium, wie insbesondere Helium, über die Rückströmleitung zur Niederdruckseite des Kompressors strömt. Aufgrund des zyklischen Prozesses des Kaltkopfs erfolgt eine gepulste Gaszufuhr von dem Kompressor zu dem Kaltkopf. Hierbei können sich Gasschwingungen einstellen. Dies kann, insbesondere über einen langen Zeitraum, zu einem häufigen Öffnen und Schließen des Überströmventils führen. Hierdurch treten erhebliche Überlastungen des Überströmventils auf. Diese können zu einer Beschädigung oder sogar Zerstörung des Ventilsitzes des Überströmventils führen. Des Weiteren treten hierbei erhebliche Geräuscentwicklungen und Leistungsverluste auf. Bei einem beschädigten Überströmventil kann es ferner vorkommen, dass Öl in den Kältekreislauf gelangt. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass Leistungsverluste aufgrund der bestehenden Hysterese des Überströmventils zwischen Öffnungs- und Schließdruck auftreten.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Belastung des Überströmventils zu verringern.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch einen Kaltkopf gemäß Anspruch 1 gelöst.

Der erfindungsgemäße Kaltkopf für eine Tieftemperatur-Kältemaschine weist in einem gegebenenfalls mehrteiligen Gehäuse einen Arbeitsraum auf. In dem Arbeitsraum ist ein ein- oder mehrstufiger Verdränger angeordnet. Ferner weist der Kaltkopf einen Hochdruckanschluss zur Zufuhr von hochkomprimiertem Kältemedium zu dem Arbeitsraum sowie einen Niederdruckanschluss zur Abfuhr von entspanntem bzw. einen niedrigen Druck aufweisenden Kältemedium auf. Des Weiteren ist eine Steuerventileinrichtung vorgesehen. Die Steuerventileinrichtung dient zum Steuern der Zu- und Abfuhr von Kältemedium in bzw. aus dem Arbeitsraum. Hierbei kann die Steuereinrichtung mehrere Ventile, wie beispielsweise ein Einlass- und ein Auslassventil, aufweisen. Bevorzugt ist es, dass die Steuerventileinrichtung ein mehrkanaliges Steuerventil aufweist, durch das die Verbindung zwischen dem Hochdruckanschluss, dem Niederdruckanschluss sowie dem Arbeitsraum gesteuert wird. Erfindungsgemäß weist der Kaltkopf einen zwischen dem Hochdruckanschluss und dem Niederdruckanschluss angeordneten bzw. die beiden Anschlüsse verbindenden Bypasskanal auf. Hierüber kann erforderlichenfalls überschüssiges Kältemedium unmittelbar von dem Hochdruckanschluss zum Niederdruckanschluss strömen, ohne dass es den Kaltkopf durchströmt. Derartige auftretende Energieüberschüsse können somit über den Bypass abgeleitet werden. Dies führt dazu, dass das in den Kompressor integrierte Überströmventil entlastet wird. Gegebenenfalls kann das Überströmventil in dem Kompressor sogar vollständig entfallen oder lediglich nur noch als Sicherheitseinrichtung vorgesehen werden. Dies führt dazu, dass zumindest ein deutlich kostengünstigeres Überströmventil verwendet werden kann.

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist in dem Bypasskanal eine Durchflussregulierungseinrichtung angeordnet. Hierbei handelt es sich beispielsweise um eine Düse und/oder ein Ventil. Die Durchflussregulierungseinrichtung kann einstellbar sein. Hierbei ist es möglich, dass vor dem Betrieb eine Festeinstellung erfolgt, so dass das Ventil beispielsweise bei Überschreiten einer Druckdifferenz öffnet. Ferner ist es

möglich, eine Einstellung der Durchflussregulierungseinrichtung von außen, d. h. von außerhalb des Kaltkopfes, zu ermöglichen. Insofern ist es gegebenenfalls möglich, entsprechende Einstellungen auch während des Betriebs vorzunehmen.

Aufgrund des erfindungsgemäßen Vorsehens eines vorzugsweise eine Druckregulierungseinrichtung aufweisenden Bypasses in dem Kaltkopf, kann eine erhebliche Kostenreduzierung bei den verwendeten Kompressoren erzielt werden. Ferner kann die Betriebssicherheit der Kompressoren verbessert und eine Erhöhung der Kompressorleistung erzielt werden. Auch die Gefahr von Öldurchbrüchen aufgrund eines beschädigten Überströmventils im Kompressor ist reduziert. Des Weiteren sind die Standzeiten erhöht und ein gleichbleibendes Geräuschverhalten kann erzielt werden.

Bei einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung weist der Kaltkopf eine Bewegungseinrichtung zum Bewegen des Verdrängers auf. Bei der Bewegungseinrichtung, kann es sich um einen Motor handeln. Mit Hilfe des Motors, bei dem es sich beispielsweise um einen Elektromotor handeln kann, kann eine Bewegung des Verdrängers mit Hilfe einer Kulissenführung erfolgen. Dies kann beispielsweise über einen Exzenter erfolgen, so dass die Drehbewegung des Motors auf einfache Weise in eine Linearbewegung des Verdrängers überführt wird. Alternativ kann zur Bewegung des Verdrängers eine Kolben-Zylinder-Einheit vorgesehen sein. Die Kolben-Zylinder-Einheit kann beispielsweise über ein gesondertes Hydrauliksystem betrieben werden. Bevorzugt ist es jedoch, die Kolben-Zylinder-Einheit zur Betätigung mit dem Hochdruckanschluss und dem Niederdruckanschluss zu verbinden. Das Betätigen der Kolben-Zylinder-Einheit und somit das Bewegen des Verdrängers, erfolgt somit in bevorzugter Ausführungsform mittels des Kältemediums.

Des Weiteren ist es bevorzugt, dass der Kaltkopf einen Verteilkörper aufweist, in dem zumindest ein erster Verbindungskanal vorgesehen ist. Der erste

Verbindungskanal dient zur Verbindung des Hochdruckanschlusses mit dem Arbeitsraum. Vorzugsweise erfolgt diese Verbindung über die Steuerventileinrichtung, so dass der erste Verbindungskanal zwischen der Steuerventileinrichtung und dem Arbeitsraum angeordnet ist. Vorzugsweise weist der Verteilkörper zusätzlich einen zweiten Verbindungskanal auf, der zwischen der Steuerventileinrichtung und dem Niederdruckanschluss angeordnet ist.

In besonders bevorzugter Ausführungsform ist der Ventilkörper derart ausgebildet, dass er auch einen Steuerkanal aufweist. Der Steuerkanal dient zur Zu- und Abfuhr von Steuermedium zu der Bewegungseinrichtung, d. h. insbesondere zu der Kolben-Zylinder-Einheit. Bei dem Steuermedium handelt es sich vorzugsweise um das Kältemedium.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer bevorzugten Ausführungsform unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Tieftemperatur-Kältemaschine nach dem Stand der Technik,

Figur 2 eine schematische Darstellung einer Tieftemperatur-Kältemaschine gemäß der Erfindung und

Figur 3 eine schematische Schnittansicht einer erfindungsgemäßen Ausführungsform eines Kaltkopfs.

Eine Tieftemperatur-Kältemaschine nach dem Stand der Technik (Figur 1) weist einen Kompressor 10 auf, durch den Kältemedium, wie Helium, komprimiert wird. Hochdruckseitig ist der Kompressor 10 über eine Leitung 12 mit einem Hochdruckanschluss 14 eines Kaltkopfs 16 verbunden. Ein

Niedrigdruckanschluss 18 des Kaltkopfes 16 ist über eine Leitung 20 mit der Niederdruckseite des Kompressors 10 verbunden. Zur Vermeidung von Überlastungen des Kompressors 10 ist in einer Rückströmleitung 22, die die Hochdruckseite des Kompressors 10 mit der Niederdruckseite des Kompressors 10 verbindet, ein Rückschlagventil 24 angeordnet.

Innerhalb des Kaltkopfes 16 ist ein Arbeitsraum 26 vorgesehen, in dem ein in Figur 1 nicht dargestellter Verdrängerkolben angeordnet ist. Ein Einlassventil 28 ist mit dem Hochdruckanschluss 14 verbunden, so dass bei geöffnetem Einlassventil 28 komprimiertes Kältemedium in den Arbeitsraum 26 strömt. Über ein Auslassventil 30 kann expandiertes Kältemedium zum Niederdruckanschluss 18 geführt werden.

Bei dem in Figur 2 dargestellten prinzipiellen Aufbau eines erfindungsgemäßen Systems sind ähnliche und identische Bauteile mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet.

Erfindungsgemäß ist in schematischer Darstellung zwischen dem Einlassventil 28 des Kaltkopfes 16 und dem Auslassventil 30 des Kaltkopfes 16 ein Bypasskanal 32 vorgesehen, in der gegebenenfalls eine Durchflussregulierungseinrichtung angeordnet ist. Wie in Figur 2 gestrichelt dargestellt, können durch Vorsehen des erfindungsgemäßen Bypasskanals 32 die Rückströmleitung 22 sowie das Überströmventil 24 entfallen.

Eine bevorzugte Ausführungsform des Kaltkopfes 16 ist in schematischer Schnittansicht in Figur 3 dargestellt.

Der Kaltkopf 16 hat ein Gehäuse, welches aus den beiden Gehäuseteilen 34 und 36 besteht. Im Gehäuseteil 34 sind zwei zylindrische kaltseitige Arbeitsräume 38 und 40 für die beiden Verdrängerstufen 42 und 44 untergebracht.

Die obere Verdrängerstufe 42 begrenzt einen warmseitigen Arbeitsraum 46 und sie ist mit einem Antriebskolben 48 ausgerüstet, der in einem Zylinder 50 eines Verteilkörpers 52 untergebracht ist. Der Verdränger 42, 44 ist somit in einem aus mehreren Teilräumen bestehen Arbeitsraum 38, 40, 46 angeordnet.

Der Verteilkörper 52 begrenzt den warmseitigen Arbeitsraum 46. Er ist mit Bohrungen ausgestattet, die einen Steuerkanal 54, einen ersten Verbindungskanal 56 sowie einen zweiten Verbindungskanal 57 bilden. Der erste Verbindungskanal 56 mündet in den Arbeitsraum 46 und dient der Versorgung dieses Raumes mit dem Arbeitsgas. Alle drei Kanäle werden von dem Steuerventil 58 gesteuert. Der erste Verbindungskanal 56 verbindet das Steuerventil 58 mit dem warmseitigen Arbeitsraum 46, der Steuerkanal 54 verbindet das Ventil 58 mit dem Zylinder 50 und der zweite 57 verbindet das Ventil 58 mit einem Niederdruckanschluss 60. Das Steuerventil 58 ist ferner mit einem Raum 62 verbunden, der mit einem Hochdruckanschluss 64 in Verbindung steht. Der Hochdruckanschluss 64 liefert Helium-Gas mit einem Druck von ca. 20 bar, während an dem Niederdruck-Anschluss 18 Helium mit einem Druck von etwa 5 bar ansteht. Durch den Raum 62 bzw. den zweiten Verbindungskanal 57 werden beide Drücke entsprechenden (nicht dargestellten) Anschlüssen des Steuerventils 58 zugeführt. Sämtliche Leitungen führen in die Oberseite des Verteilkörpers 52 und von dort zu dem Ventil 58.

In dem Gehäuseteil 36 ist ein Motor 66 untergebracht, der über eine Welle 68 das Steuerventil 58 antreibt. Dieses steht unter der Wirkung einer Druckfeder 70.

Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind das Prozessgas, das dem thermodynamischen Kreisprozess unterworfen ist und das Antriebsgas für die Kolben-Zylinder-Einheit 48, 50 identisch. Zweckmäßig wird Helium eingesetzt. Man kann auch als Antriebsgas ein anderes Gas als das Prozessgas benutzen.

Anstelle der im dargestellten Ausführungsbeispiel zur Bewegung der Verdränger 72, 76 angeordneten Kolben-Zylinder-Einheit 48, 50 kann auch eine motorische Bewegung der Verdränger 72, 76, beispielsweise mit Hilfe eines Elektromotors, erfolgen. Hierzu kann der Elektromotor mit einem Exzenter und einer Kulissenführung versehen sein, so dass die Drehung des Exzenters in eine Linearbewegung überführt wird.

Die Verdrängerstufe 42 weist in dem zylindrischen Arbeitsraum 46 einen rohrförmigen Verdränger 72 auf, der mit einem thermischen Regenerator 74 ausgefüllt ist, der gasdurchlässig ist. Der Regenerator 74 dient der Kältespeicherung und der Abgabe von gespeicherter Kälte an das nachströmende warme Gas.

In gleicher Weise enthält die Verdrängerstufe 44, die einen kleineren Durchmesser hat als die Verdrängerstufe 42, einen in dem zylindrischen Arbeitsraum 40 axial verschiebbaren rohrförmigen Verdränger 76, der mit dem Verdränger 72 verbunden und ebenfalls mit einem gasdurchlässigen Regenerator 78 gefüllt ist.

Beim Betrieb des Kaltfingers wird zunächst der warmseitige Arbeitsraum 46 über den ersten Verbindungskanal 56 und das Steuerventil 58 mit dem Hochdruckanschluss 64 verbunden. Gleichzeitig wird über den Steuerkanal 54 der Hochdruck in Zylinder 50 eingelassen. Die Verdränger 72 und 76 werden zur Kaltseite (nach unten) verschoben. Das unter Hochdruck stehende Gas strömt durch die Regeneratoren 74 und 78 ebenfalls zur Kaltseite. Dabei entspannt es sich unter Abkühlung, wobei eine weitere Entspannung durch Wärmeaustausch mit den Regeneratoren erfolgt.

In der zweiten Phase wird der Steuerkanal 54 mit dem Niederdruck-Anschluss verbunden. Unter der Wirkung des Hochdrucks werden die Verdränger 72 und 76 zur Warmseite hin verschoben, so dass der warmseitige Arbeitsraum 46

sich verkleinert und Gas durch die Regeneratoren 74 und 78 in den kaltseitigen Arbeitsraum 40 strömt.

In der dritten Phase bewirkt das Steuerventil 58, dass der Arbeitsraum 40 über die Leitung 56 mit dem Niederdruck-Anschluss 60 verbunden wird. Dadurch entspannt sich das Gas in sämtlichen Arbeitsräumen des Kaltkopfes unter Abkühlung.

Anschließend werden die Verdränger 72 und 76 zur Kaltseite bewegt, wodurch sich das Volumen des kaltseitigen Arbeitsraumes 40 verkleinert, um für den nächsten Zyklus vorbereitet zu sein. In dieser Phase strömt das kalte Gas aus dem Arbeitsraum 40 in die Regeneratoren 74 und 78, die dadurch weiter abgekühlt werden.

Die Frequenz des beschriebenen Arbeitszyklus beträgt etwa 2 Hz.

Ferner ist in dem dargestellten Ausführungsbeispiel in dem Verteilkörper 52 ein erfindungsgemäßer Bypasskanal 80 vorgesehen. Der Bypasskanal 80 verbindet den zweiten Verbindungskanal 57 mit dem Raum 62. Der Bypasskanal 80 verbindet somit den Hochdruckanschluss 64 mit dem Niederdruckanschluss 60. Innerhalb des Bypasskanals 80 ist schematisch dargestellt eine Druckflussregulierungseinrichtung, wie ein Ventil 82, angeordnet. Bei einem in dem Raum 62 ungewollt hohen Druckanstieg strömt somit ein Teil des Kältemediums unmittelbar durch den Bypasskanal 80 zurück in den mit dem Niederdruckanschluss 60 verbundenen Kanal 57.

Ansprüche

1. Kalkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen, mit

Einem in einem Arbeitsraum (38, 40, 46) eines Gehäuses (34, 36) angeordneten Verdränger (72, 76),

einem Hochdruckanschluss (64) zur Zufuhr von hochkomprimiertem Kältemedium in den Arbeitsraum (38, 40, 46),

einem Niederdruckanschluss (60) zur Abfuhr entspannten Kältemediums aus dem Arbeitsraum (38, 40, 46) und

einer Steuerventileinrichtung (28, 30; 58) zum Steuern der Zu- und Abfuhr von Kältemedium in bzw. aus dem Arbeitsraum (38, 40, 46),

gekennzeichnet durch

einen den Hochdruckanschluss (64) mit dem Niederdruckanschluss (60) verbindenden Bypasskanal (80).

2. Kalkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Bypasskanal (80) eine Durchflussregulierungseinrichtung (82) angeordnet ist.
3. Kalkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchflussregulierungseinrichtung (82) insbesondere während des Betriebs einstellbar ist.

4. Kalkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach einem der Ansprüche 1 – 3, gekennzeichnet durch eine Bewegungseinrichtung (48, 50) zum Bewegen des Verdrängers (72, 76).
5. Kalkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungseinrichtung als Kolben-Zylinder-Einheit (48, 50) ausgebildet ist, die zur Betätigung vorzugsweise mit dem Hochdruckanschluss (64) und dem Niederdruckanschluss (60) verbunden ist.
6. Kalkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungseinrichtung einen Motor, insbesondere einen Elektromotor, aufweist.
7. Kalkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektromotor einen Exzenter antreibt, der auf eine Kulissenführung einwirkt um eine Linearbewegung des Verdrängers (72, 76) zu bewirken.
8. Kalkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach einem der Ansprüche 1 – 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerventileinrichtung (28, 30; 58) ein zyklisch arbeitendes mehrkanaliges Steuerventil (58) aufweist, das den Anschluss eines Arbeitsraums (38, 40 ,46) an einen Hochdruckanschluss (64) und einen Niederdruckanschluss (60) steuert.
9. Kalkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuerventil (58) den Anschluss der Kolben-Zylinder-Einheit (48, 50) steuert.
10. Kalkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach einem der Ansprüche 1 – 9, gekennzeichnet durch einen Verteilkörper (52), in dem zumindest ein erster Verbindungskanal (56) zur Verbindung des

Hochdruckanschlusses (64) mit dem Arbeitsraum (38, 40, 46) vorgesehen ist.

11. Kaltkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Verbindungskanal (56) zwischen dem Steuerventil (58) und dem Arbeitsraum (38, 40, 46) angeordnet ist.
12. Kaltkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Verteilkörper (52) einen zweiten Verbindungskanal (57) zwischen dem Steuerventil (58) und dem Niederdruckanschluss (60) aufweist.
13. Kaltkopf für Tieftemperatur-Kältemaschinen nach einem der Ansprüche 10 – 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Verteilkörper (52) einen Steuerkanal (54) zur Zu- und/oder Abfuhr von Steuermedium, insbesondere Kältemedium, zu der Kolben-Zylinder-Einheit (48, 50) aufweist.