



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 43 45 137 A 1**

51 Int. Cl. 6:
F 25 B 9/04

21 Aktenzeichen: P 43 45 137.3
22 Anmeldetag: 23. 12. 93
43 Offenlegungstag: 29. 6. 95

DE 43 45 137 A 1

71 Anmelder:
Keller, Jürgen U., Univ.-Prof. Dr., 57076 Siegen, DE

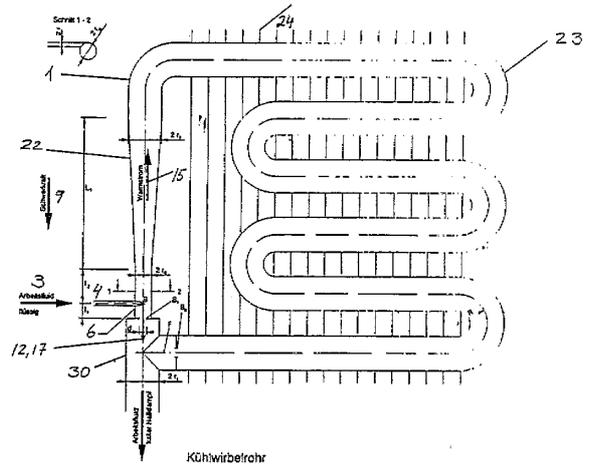
72 Erfinder:
gleich Anmelder

54 Kühlwirbelrohr

57 Die Erfindung betrifft eine Kühleinrichtung (1), in welcher ein eingebrachtes unterkühltes oder siedendes Arbeitsfluid (3) einem exothermen Entspannungsprozeß unterzogen wird.

Die Kühleinrichtung besteht im wesentlichen aus einem Doppelkammer-Wirbelrohr (6) und einem Kühlrohr (23). Das Arbeitsfluid (3) wird in der 1. Kammer des Wirbelrohres teilweise verdampft. Der Dampf wird in der 2. Kammer des Wirbelrohres thermisch separiert, der Heißgasanteil im Kühlrohr (23) gekühlt und alle Massenströme in einem Mischrohrabschnitt (30) vereinigt.

Die Kühleinrichtung kann anstelle von (isenthalpen) Expansionsventilen oder Entspannungsdüsen in verfahrenstechnischen Apparaten und Anlagen wie Kältemaschinen und Wärmepumpen eingesetzt werden und dort zu nicht unwesentlichen Steigerungen der Leistungszahlen führen.



DE 43 45 137 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 05. 95 508 026/533

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft eine Kühleinrichtung, in welcher ein eingebrachtes siedendes Arbeitsfluid einem exothermen Entspannungsprozeß unterzogen wird.

Stand der Technik

In Kühleinrichtungen der bekannten Art werden sogenannte Kältemaschinen, d. h. technische Anlagen verwendet, in welchen durch Zufuhr von Arbeit oder Wärme innerhalb eines Kreisprozesses Kälte erzeugt wird. Nach dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik kann ein Wärmefluß von selbst nur von einem hohen zu einem tiefen Temperaturniveau erfolgen. Bei der Kälteerzeugung, d. h. bei einem Wärmefluß entgegen diesem Temperaturgefälle ist mithin ein Energieaufwand erforderlich, um die bei niedriger Temperatur aufgenommene Wärme auf eine höhere Temperatur zu bringen. Die zum Wärmetransport erforderliche Arbeit kann einem gas- oder dampfförmigen Arbeitsmedium, dem sogenannten Arbeitsfluid, in Form von Wärme oder mechanischer Arbeit zugeführt werden.

Je nach Art des Arbeitsprozesses unterscheidet man Kompressions-, Kälte-, Dampfstrahlkälte-, Kaltgas- und Absorptionskältemaschinen, die sämtlich kontinuierlich arbeiten, sowie die Adsorptionskältemaschine mit periodischem Arbeitsablauf.

Die Erfindung bezieht sich auf Kühleinrichtungen, die beliebige kondensierbare Arbeitsfluide einsetzen, wobei Kompressionsprozesse mit oder ohne Lösungsmittelkreisläufen vorgesehen sind und Adsorptions- bzw. Absorptionsprozesse durchgeführt werden können.

Beispielsweise wird bei einer Kompressionskältemaschine, die aus einem Verdampfer, einem Kompressor, einem Kondensator und einem Drosselventil besteht, ein Kreisprozeß durchlaufen, der in der Idealform einem umgekehrten reversibel verlaufenen Carnot-Prozeß entspricht, für den im wesentlichen gilt, daß die für die Kälteerzeugung aufzuwendende Arbeit proportional der Temperaturdifferenz zwischen Kondensator und Verdampfer ist. Bei diesen bekannten Kompressionskältemaschinen saugt der motorgetriebene Kompressor aus dem Verdampfer das verdampfte Kältemittel an und komprimiert es. Im Verdampfer wird die Wärme bei einem bestimmten Druck einem zu kühlenden Gut entzogen und vom Kältemittel auf genommen. Nach der Kompression folgt im Kondensator bei einem unterschiedlichen Druck und einer unterschiedlichen Temperatur die Kondensation des Kältemittels mit der Übertragung von Wärme an die Umgebung oder an ein Kühlmittel. Das verflüssigte Kältemittel strömt danach durch das Drosselventil, entspannt dabei auf den Verdampferdruck und verdampft anschließend wieder im Verdampfer. Dieser einfache Kreisprozeß kann auch zweistufig erfolgen, dabei wird die Temperaturdifferenz erhöht, wie dies bei Wärmepumpen der Fall ist.

Wenn sich auch derartige Kältemaschinen mit Kühleinrichtungen in der in Frage stehenden Art in vielerlei Hinsicht bewährt haben, so läßt doch ihre Leistungszahl die u. a. durch den adiabaten Entspannungsprozeß in der Drosselvorrichtung bzw. in einer Entspannungsdüse begrenzt wird, zu wünschen übrig.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Kühleinrichtung so weiterzubilden, daß durch ihren Ein-

satz die Leistungszahl von Wärmepumpen und Kältemaschinen erhöht werden kann. Dabei sollte insbesondere versucht werden, die isenthalpe Zustandsänderung des Arbeitsfluides beim Entspannen in einer Drossel durch eine exotherme, also mit Wärmeabgabe verbundene Zustandsänderung zu ersetzen um dadurch die Kältekapazität des Arbeitsmediums zu vergrößern.

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen 2—5, Anspruch 6 betrifft vorteilhafte Verwendungen der Einrichtung.

Als Kern der Erfindung wird es angesehen, den adiabaten Entspannungsprozeß in der Drossel bzw. in einer Entspannungsdüse durch einen im allgemeinen nicht-adiabaten, insbesondere durch einen exothermen dynamischen Entspannungsprozeß zu ersetzen, was in einem Doppelkammer-Wirbelrohr, d. h. einem modifizierten Wirbelrohr nach Ranque-Hilsch geschieht.

Wirbelrohre, in denen komprimierte Gase entspannt werden, sind seit mehreren Dekaden bekannt, auf die Basisveröffentlichungen von G. Ranque (Journal de physique et le radium, 4 (1933), Nr. 7) sowie R. Hilsch, Z. F. Naturforschung 1 (1946), Nr. 28—214 wird Bezug genommen.

Auch bei der Entspannung hochkomprimierter Flüssigkeiten treten in einem Wirbelrohr grundsätzlich thermische Separationseffekte auf. Diese sind aber im allgemeinen wesentlich kleiner als bei Gasen und Dämpfen. (Vgl. J.U. Keller, Ki Klima, Kälte, Heizung, 7—8/1993, p.300—304.)

In Versuchen wurde nachgewiesen, daß bei der Entspannung siedender Flüssigkeiten in Wirbelrohren ein Teil der Flüssigkeit spontan verdampft. Der dabei entstehende Dampf kann durch die Wirkung der Schwerkraft zwar von der Restflüssigkeit absepariert werden, besitzt aber im allgemeinen keine große Strömungsgeschwindigkeit mehr, so daß sich ein thermischer Separationseffekt in der Regel nur sehr schwach, wenn überhaupt, ausbildet. Leitet man aber den Dampf unter erneuter Druckabsenkung in ein günstigerweise konzentrisch angeordnetes 2. Wirbelrohr, so kann sehr wohl ein thermischer Separationseffekt, d. h. die Trennung in einen Heißgasanteil und einen teilweise rückkondensierenden Kaltgasanteil beobachtet werden.

Das auf diese Weise entstandene Doppelkammer-Wirbelrohr erlaubt es also, hochkomprimierte und/oder siedende Flüssigkeit in einen Heißgasstrom und einen Kaltfluidstrom, bestehend aus Gas und Flüssigkeit, umzuwandeln.

Durch Kühlung des Heißgasstromes kann bei Wärmepumpenprozessen zusätzlich Nutzwärme gewonnen werden. Bei Kälteprozessen wird die Kälteleistung in entsprechender Weise erhöht, da das Arbeitsmedium nach Wiedervereinigung mit dem Kaltstrom mit einer der abgegebenen Kühlwärme entsprechend verminderter Enthalpie in den Verdampfer eines Kühlkreislaufes eintreten kann. Dadurch wird die aufgabengemäß angestrebte Erhöhung der Leistungszahl von Wärmepumpen und Kältemaschinen möglich.

Der Warmgasstrom wird dabei über einen Kühlrohrabschnitt geleitet und in einem unterhalb des Doppelkammer-Wirbelrohres angeordneten Mischrohrabschnittes mit dem Kaltfluidstrom vereinigt.

Das so gebildete Kühlwirbelrohr, bestehend im wesentlichen aus dem Doppelkammer-Wirbelrohr und einem Kühlrohr, kann anstelle einer Drossel oder eines Expansionsventils in einen beliebigen verfahrenstechni-

schen Prozeß, also z. B. in einen Kältekreisprozeß oder Wärmepumpenprozeß mit Kompressions- oder Absorptionstechnik eingesetzt werden.

Nachfolgend wird nunmehr auf die Unteransprüche Bezug genommen.

Für den Wirkungsgrad der Kühleinrichtung hat es sich als vorteilhaft erwiesen, unter dem Ausgang des inneren Wirbelrohres ein genau einstellbares Ventil anzuordnen und ferner, beim Übergang vom Doppelkammer-Wirbelrohr zum Mischrohrabschnitt und vor der Einleitung des Kühlrohres in das Mischrohr von außen verstellbare Irisblenden anzuordnen, um die Druckverhältnisse und die Massenströme in den Wirbelrohrkammern optimal einstellen zu können.

Der Kühlrohrabschnitt sollte von außen durch fluide Wärmeträger gekühlt werden.

Die Ausbildung der Düsenringe, durch welche das Arbeitsfluid in die Wirbelrohrkammern strömt, ist von entscheidender Bedeutung für den erzielbaren Dampfstrom und Temperaturseparationseffekt.

Der Kühlrohrabschnitt geht rechtwinklig in den Mischrohrabschnitt über. Dabei reißt der Kaltfluidstrom den gekühlten Heißgasstrom nach Art einer Wasserstrahlpumpe mit.

Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in den Zeichnungsfiguren näher erläutert. Diese zeigen:

Fig. 1 eine schematische Schnittdarstellung einer Kühleinrichtung, die ein Doppelkammer-Wirbelrohr enthält;

Fig. 2 eine Teilschnittdarstellung durch das Doppelkammer-Wirbelrohr

Fig. 3 eine Querschnittdarstellung durch den Düsenbereich gemäß Schnitt A—F in Fig. 2.

Fig. 1

Die dargestellte Kühleinrichtung "Kühlwirbelrohr" 1 weist ein Doppelkammer-Wirbelrohr 6 auf, in welches ein Arbeitsfluid 3, nämlich eine unterkühlte oder siedende Flüssigkeit oder auch ein Flüssigkeit-Dampf-Gemisch, durch eine Versorgungsleitung 4 eintritt. Im Doppelkammer-Wirbelrohr wird ein Teil des Fluides verdampft und durch thermische Separation (Ranque-Hilsch-Effekt) in einen Heißgasstrom oder Warmstrom 15 und einen Kaltgasstrom 17 geteilt. Der Warmstrom 15 wird in einem Expansionsrohr 22 verzögert und tritt danach in ein Kühlrohr 23 ein, in dem er gekühlt wird. Danach strömt er durch eine verstellbare Blende B₂ in ein unter dem Doppelkammer-Wirbelrohr 6 angeordnetes Mischrohr 30, wo er mit einem von oben herabfließenden Kaltfluidstrom 12 und Kaltgasstrom 17 gemischt wird. Dieser Mischstrom verläßt als entspannter, gekühlter Naßdampf die Kühleinrichtung 1.

Der Konuswinkel des Expansionsrohres 22 beträgt etwa 8 — 10°. Das Kühlrohr ist mit einer Kühlberipung 24 versehen. Es kann entweder allein durch diese oder aber auch durch andere, möglicherweise zusätzliche Maßnahmen, etwa Kühlfluide, gekühlt werden.

Fig. 2

Gleiche Teile wie in Fig. 1 tragen gleiche Bezugszeichen. Das dargestellte Doppelkammer-Wirbelrohr 6 besteht aus einem Grundkörper 31, der einen Ringkanal 5, eine äußere Wirbelkammer 8, eine innere Wirbelkammer 1'4, verschiedene Gewindebohrungen und Bohrungen 32 für Verbindungsschrauben enthält. Durch die Gewindebohrungen können von oben ein Diffusor 33,

ergänzt durch eine Wirbelbremse 21 und ein Heißdampfaustrittsrohr 34 montiert werden. Von unten kann der zweiteilige Kondensatauffangbehälter 35 eingeschraubt und mit Zylinderschrauben 36 befestigt werden. Durch diese Art der Konstruktion ist gewährleistet, daß das Regulierventil 18 einfach zugänglich ist.

Das Arbeitsfluid 3 tritt durch die Eintrittsöffnung 2 und die Versorgungsleitung 4 in den Ringkanal 5 ein. Von dort strömt es unter Druckabfall durch Düsenkanäle 7 (Fig. 3) in die äußere Wirbelkammer 8, verdampft teilweise und wird unter dem Einfluß der Schwerkraft 9 in einen Kaltfluidstrom 12 und einen Dampfstrom 10 separiert. Der Kaltfluidstrom strömt durch Schlitze 11 im Boden der äußeren Wirbelkammer in den Sammelraum 19, vereinigt sich mit einem aus dem Ventil 18 austretenden Kaltgasstrom und verläßt das Doppelkammer-Wirbelrohr durch die Austrittsöffnung 20. Der Dampfstrom 10 tritt durch Düsenkanäle 13 aus der äußeren Wirbelkammer 8 unter Druckabfall in die innere Wirbelkammer 14 und wird infolge seiner hohen Strömungsgeschwindigkeit unter Ausbildung einer Drallströmung durch die Wirkung der Fliehkraft thermisch separiert. Dabei entsteht achsnahe ein Kaltgasstrom 17, der infolge seiner höheren Dichte und weiterem Druckabfall nach unten durch eine Austrittsdüse 37 und das Regulierventil 18 in den Sammelraum 19 austritt. Der bei der thermischen Separation — Ranque-Hilsch-Effekt — entstehende wandnahe Heißgasstrom oder Warmstrom 15 steigt auf, wird im Diffusor 33 verzögert, durch die Wirbelbremse 21 weiter abgebremst und strömt durch das Austrittsrohr 34 in den Kühlrohrabschnitt 23 des Kühlwirbelrohres.

Die Kühleinrichtung 1 kann grundsätzlich zur Kühlung beliebiger Arbeitsfluide verwendet werden. Im konkreten Anwendungsfall ist auf die Auswahl geeigneter Werkstoffe besonders zu achten. (Kavitation)

Fig. 3

Gleiche Teile wie in Fig. 1 und 2 tragen gleiche Bezugszeichen.

Dargestellt ist der Schnitt A-F durch das Doppelkammer-Wirbelrohr 6. Durch die Eintrittsöffnung 2 und die Versorgungsleitung 4 tritt das Arbeitsfluid 3 zunächst in den Ringkanal 5. Danach strömt es unter Druckabfall durch die Düsenkanäle 7 des äußeren Düsenringes in die äußere Wirbelkammer, verdampft durch die Entspannung teilweise und fließt unter dem Einfluß der Schwerkraft durch unterhalb der Düsenkanäle 7 angeordnete Schlitze in einen Sammelraum 19 (s. Fig. 2). Der entstandene Dampf wird auch durch die Wirkung der Schwerkraft von der Flüssigkeit getrennt, steigt nach oben in der äußeren Wirbelkammer auf und tritt unter weiterem Druckabfall durch die Düsenkanäle 13 des inneren Düsenringes 27 in die innere Wirbelkammer 14. Dort wird er durch einen Ranque-Hilsch-Effekt in einen nach oben aufsteigenden wandnahen Heißgasstrom 15 und in einen nach unten durch eine Austrittsöffnung 16 (s. auch Fig. 2) abfließenden, teilkondensierten Kaltgasstrom geteilt.

Für die Einstellung optimaler Druck- und Temperaturverhältnisse ist die Ausgestaltung und Dimensionierung der Düsenringe 26 und 27 von entscheidender Bedeutung. Zur Regulierung des gestuften Druckabfalles im Wirbelrohr dienen das feinregulierbare Ventil 18 und die Blenden B₁ und B₂ (Fig. 1).

Bezugszeichenliste

1 Kühleinrichtung	
2 Eintrittsöffnung	
3 Arbeitsfluid	
4 Versorgungsleitung	
5 Ringkanal	5
6 Doppelkammerwirbelrohr	
7 Düsenkanäle (Außenkammer)	
8 Äußere Wirbelkammer	
9 Schwerkraft	
10 Dampfstrom	10
11 Schlitze	
12 Kaltfluidstrom	
13 Düsenkanäle	
14 Innere Wirbelkammer	
15 Heißgasstrom	15
16 Austrittsöffnung (Innenkammer)	
17 Kaltgasstrom	
18 Ventil	
19 Sammelraum	
20 Austrittsöffnung (Sammelraum)	20
21 Wirbelbremse	
22 Expansionsrohr	
23 Kühlrohrabschnitt	
24 Kühlrippen	
25 Ventilkegel	25
26 Düsenring (Außenkammer)	
27 Düsenring (Innenkammer)	
28 Austrittsöffnung eines äußeren Düsenkanals	
29 Austrittsöffnung eines inneren Düsenkanals	
30 Mischrohrabschnitt	30
31 Grundkörper	
32 Bohrung(en)	
33 Diffusor	
34 Heißdampfaustrittsrohr	
35 Kondensatauffangbehälter	35
36 Zylinderschraube (n)	
37 Austrittsdüse	

Patentansprüche

1. Kühleinrichtung (1), Fig. 1, in welcher ein eingebrachtes komprimiertes oder siedendes Arbeitsfluid (3) einem exothermen Entspannungsprozeß unterzogen wird, **gekennzeichnet durch** folgende Merkmale:
- a) das Arbeitsfluid (3) wird über eine Versorgungsleitung (4) in den Ringkanal (5) eines Doppelkammerwirbelrohres (6) geführt, aus dem es durch Düsenkanäle (7) unter Druckabsenkung tangential an die Wandungen in die äußere Wirbelkammer (8) eintritt, unter Bildung einer Drallströmung teilweise verdampft und unter Einwirkung der Schwerkraft (9) in einen nach oben steigenden Dampfstrom (10) und einen nach unten durch Schlitze (11) abfließenden Kaltfluidstrom (12) separiert wird;
- b) der Dampfstrom (10) strömt durch verhältnismäßig enge, oberhalb angeordnete Düsenkanäle (13) tangential an die Wandungen in die innere Wirbelkammer (14), bildet eine Drallströmung und separiert sich unter dem Einfluß der Fliehkraft in einen nach oben aufsteigenden wandnahen Heißgasstrom (15) und einen durch eine Öffnung (16) nach unten abfließenden Kaltgasstrom (17);
- c) der Kaltgasstrom (17) strömt durch eine Ventil (18) in einen Sammelraum (19) und verläßt zusammen mit dem Kaltfluidstrom (12)

durch eine Austrittsöffnung (20) als Zweiphasenströmung das Doppelkammerwirbelrohr; d) der Heißgasstrom (15) wird nach Passieren einer Wirbelbremse (21) in ein konisches Expansionsrohr (22) und danach in einen Kühlrohrabschnitt (23) mit Kühlrippen (24) geleitet und in einem unterhalb des Doppelkammerwirbelrohres (6) angeordneten Mischrohrabschnittes (30) mit dem Kaltfluidstrom (12) und Kaltgasstrom (17) vereinigt.

2. Kühleinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Doppelkammerwirbelrohr (6) ein justierbares Ventil (18) und 2 Irisblenden B₁, B₂ mit von außen verstellbaren Querschnitten besitzt.

3. Kühleinrichtung nach Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlrohrabschnitt (23) im wesentlichen einen konstanten Rohrquerschnitt besitzt und von außen mit wärmeabführenden Elementen (Kühlgasen oder Kühlflüssigkeiten) ausgestattet ist.

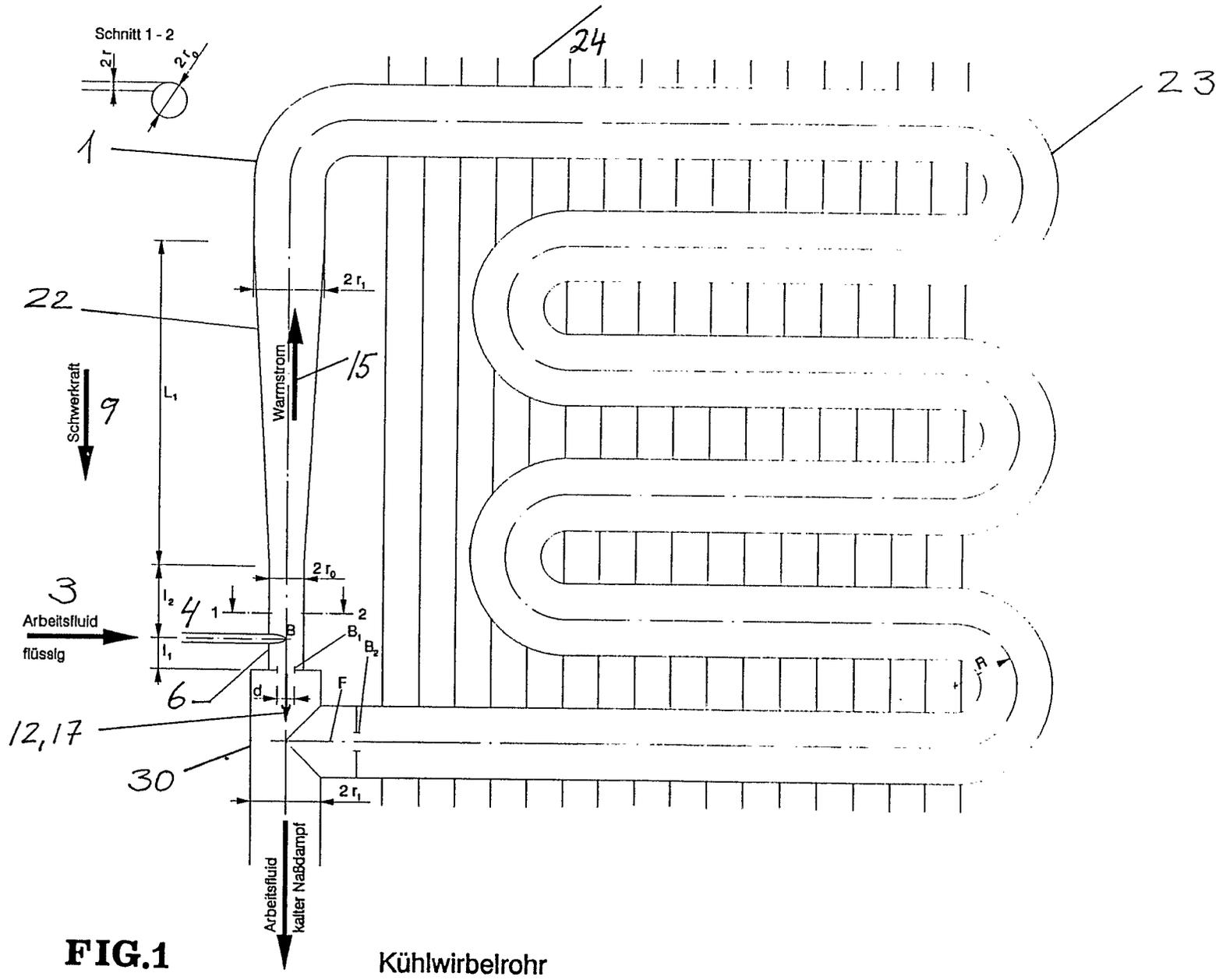
4. Kühleinrichtung nach einem der vorliegenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Doppelkammerwirbelrohr (6) zwei Düsenringe (26) und (27) mit je mindestens 4 Düsenkanälen (7) bzw. (13) geeigneter Breite und Tiefe besitzt, deren Austrittsöffnungen (28) bzw. (29) parallel zu den sie aufnehmenden Wandbereichen des äußeren bzw. inneren Düsenringes verlaufen.

5. Kühleinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß der Kaltfluidstrom (12) zusammen mit dem Kaltgasstrom (17) nach Durchströmen der Austrittsöffnung (20) den gekühlten Heißgasstrom (15) nach Art einer Wasserstrahlpumpe in den Mischrohrabschnitt (30) einsaugt.

6. Verwendung einer Kühleinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1—5 in Wärmepumpen und Kältemaschinen mit Kompressionstechnik, Absorptionstechnik, Adsorptionstechnik oder einer Kombination dieser Techniken als Ersatz für adiabate Expansionsventile bzw. für adiabate Entspannungsdüsen.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



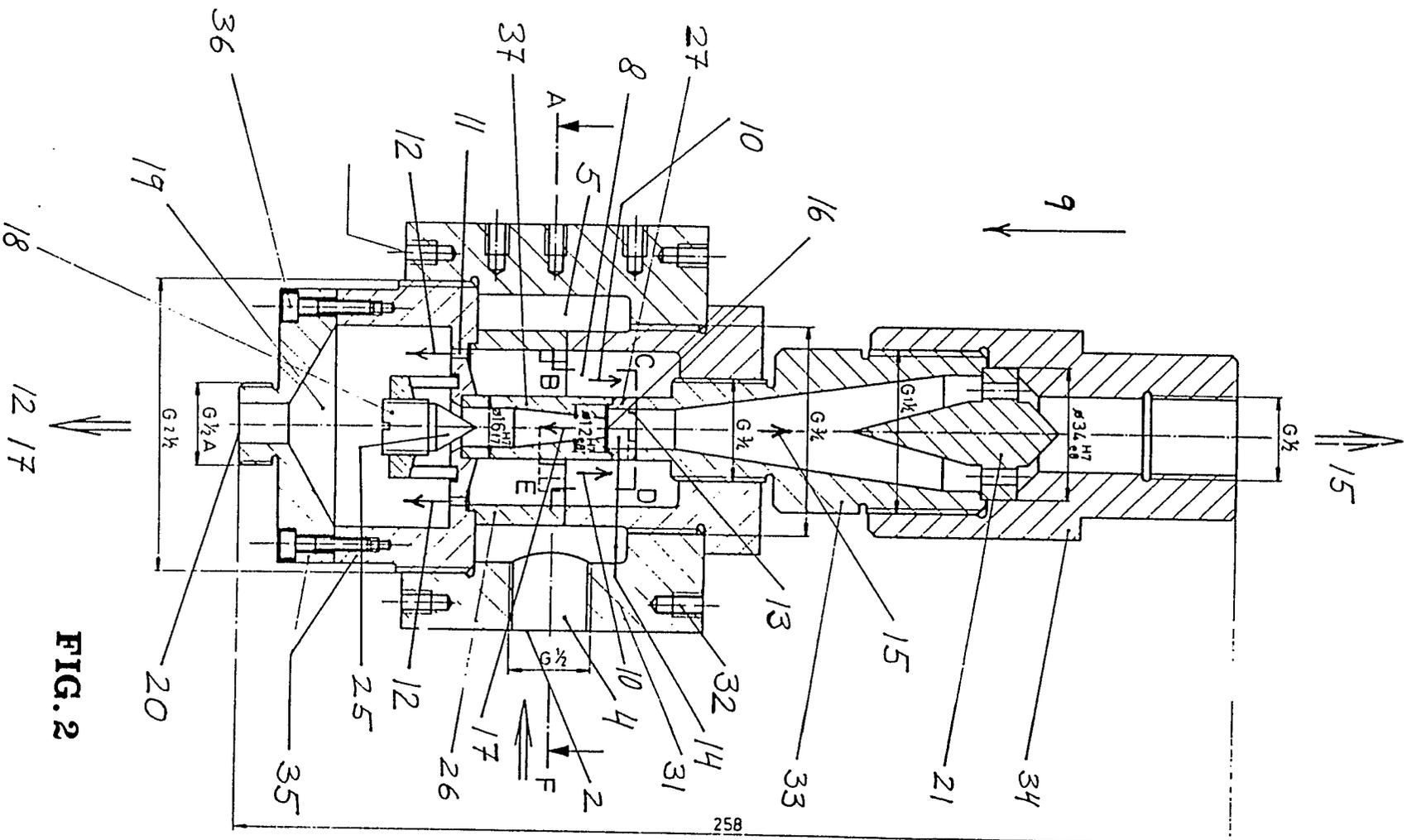


FIG. 2

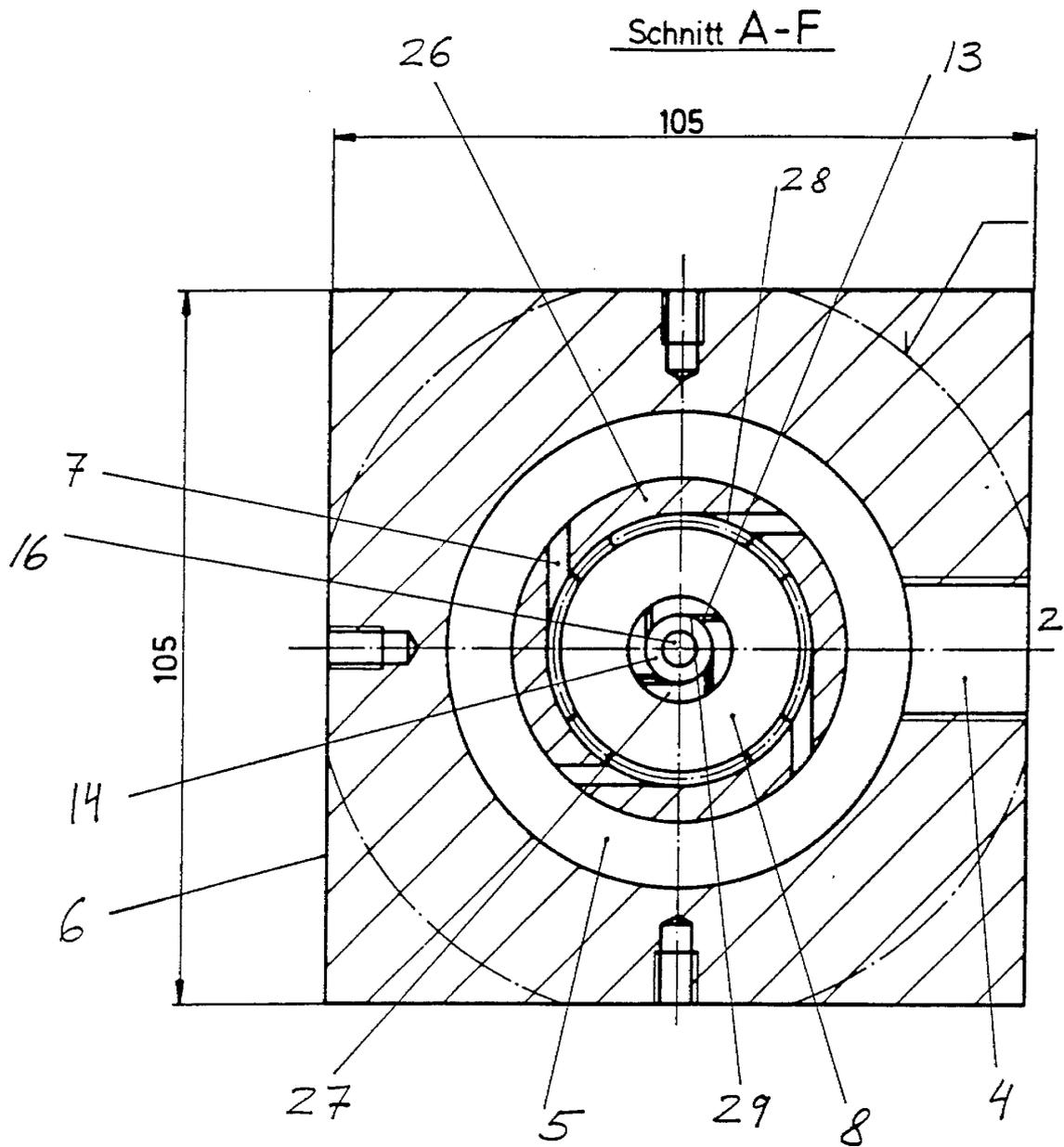


FIG. 3