



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 195 34 379 A 1**

51 Int. Cl.⁸:
F 02 G 1/055

21 Aktenzeichen: 195 34 379.4
22 Anmeldetag: 15. 9. 95
43 Offenlegungstag: 20. 3. 97

DE 195 34 379 A 1

71 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE
74 Vertreter:
Anwaltskanzlei München, Rösler, Steinmann, 80689
München

72 Erfinder:
Schmidt, Thomas, 79111 Freiburg, DE
56 Entgegenhaltungen:
DE 30 15 815 A1
DE-OS 26 08 959
US 50 76 058
JP 63-1 38 143 A

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Thermodynamische Maschine, die nach dem Stirling-Prozeß betreibbar ist

57 Beschrieben wird eine thermodynamische Maschine, die nach dem Stirling-Prozeß betreibbar ist, mit einem geschlossenen Gehäuse, in dem wenigstens zwei Kammern vorgesehen sind, deren eine Wand jeweils wärmebeaufschlagt und deren gegenüberliegende Kammerwand gekühlt sind, jeweils einer zwischen diesen Kammerwänden hin und her bewegbaren Verdrängereinheit, die ein durch die Kammerwände eingeschlossenes Arbeitsmedium hin und her bewegt sowie einem an dem geschlossenen Gehäuse angebrachten Arbeitskolben, der an eine, kinetische Energie speichernde Vorrichtung gekoppelt ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß die Kammern stapelförmig angeordnet sind.

DE 195 34 379 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf eine thermodynamische Maschine, die nach dem Stirling-Prozeß betreibbar ist, mit einem geschlossenen Gehäuse, in dem wenigstens zwei Kammern vorgesehen sind, deren eine Wand jeweils wärmebeaufschlagt und deren gegenüberliegende Kammerwand gekühlt sind, jeweils einer zwischen diesen Kammerwänden hin- und herbewegbaren Verdrängereinheit, die ein durch die Kammerwände eingeschlossenes Arbeitsmedium hin- und herbewegt, sowie einem an dem geschlossenen Gehäuse angebrachten Arbeitskolben, der an eine, kinetische Energie speichernde Vorrichtung gekoppelt ist.

Thermodynamische Maschinen, die nach dem Stirling-Prozeß arbeiten, werden in aller Regel auch Heißgasmotoren genannt, deren ursprünglicher Aufbau aus einem langen Metallzylinder besteht, der an der einen Seite beheizt und an der anderen Seite gekühlt wird. In dem Metallzylinder ist ein längsbeweglicher Verdrängerkolben vorgesehen, während an einer Stelle des Metallzylinders ein Druckabnehmer angeschlossen ist, der die Druckschwankungen im Zylinder in kinetische Energien umsetzt. Mit dieser Anordnung wird die in dem Metallzylinder vorhandene Luft oder ein anderes Arbeitsmedium im kalten Raum vorwiegend komprimiert und aus dem heißen Raum expandiert. Da die Expansion der heißen Luft mehr Wärme in mechanische Energie umwandelt als es für die Verdichtung der kalten Luft erforderlich ist, ergibt sich als Differenz die abzugebende mechanische Energie.

Der Durchlauf eines vollständigen thermodynamischen Zyklusses einer Stirling-Maschine durchläuft folgende vier Zustände:

- 1) Isothermische Kompression,
- 2) isochore Erwärmung,
- 3) isothermische Expansion und
- 4) isochore Abkühlung.

Unter der Annahme, daß die während der isochoren Zustandsänderungen involvierten Wärmemengen gegenseitig kompensiert werden, berechnet sich der Wirkungsgrad einer Stirling-Maschine exakt nach der Formel gemäß eines Carnotprozesses:

$$\eta = 1 - (T_{\text{kalte}}/T_{\text{warme}})$$

Aus der vorstehenden Berechnungsformel des Wirkungsgrades einer Stirling-Maschine kann geschlossen werden, daß zur Steigerung des Wirkungsgrades möglichst große Temperaturunterschiede eingestellt werden sollten.

Ivo Kolin realisierte 1980 erstmals eine Wärmekraftmaschine, die auf dem Stirlingkreisprozeß basiert und bei einer Temperaturdifferenz von weniger als 50°C arbeitet. Ein gasgefülltes, abgeschlossenes Volumen in der Form eines flachen Quaders ist auf zwei gegenüberliegenden Seiten von einer kalten und warmen Platte berandet. Der Temperaturunterschied dieser Platte entspricht der Arbeitstemperaturdifferenz der Maschine. Zwischen diesen Flächen bewegt sich in an sich bekannter Weise eine Platte aus geschlossenenporigem Schaum mit geeigneter, thermischer Masse diskontinuierlich hin und her und bringt die Luft periodisch in Kontakt mit der warmen und kalten Wärmetauscherplatte. Hierdurch wird eine nahezu isochore Erwärmung und Abkühlung des gesamten Arbeitsgases ohne die Schaffung

von Toträumen erreicht. In den Zeiten, in denen der Verdränger an einer Wärmetauscherplatte anliegt, erfolgt eine isotherme Expansion bzw. Kompression des Arbeitsgases. Die dabei freiwerdende Energiedifferenz wird über einen mit einem Schwungrad gekoppelten Arbeitskolben abgeführt und steht dann als kinetische Energie an einer Antriebswelle zur Verfügung.

Weitere Entwicklungen auf diesem Gebiet sind bekannt, beispielsweise durch die Arbeiten von James R. Senft, der für die Kolin'sche-Stirling-Maschine das Prinzip der pneumatischen Verdrängersteuerung übernommen hat und auf diese Weise eine Maschine realisierte, die mit einer Temperaturdifferenz von ca. 1°C arbeitet. Die mechanische Leistung dieser Maschinen liegt jedoch nur im Bereich von ca. 5 Watt pro Quadratmeter Maschinengrundfläche bei einer Temperaturdifferenz von ca. 50°C. Eine für den praktischen Einsatz notwendige Vergrößerung der Leistung um 2 bis 3 Größenordnungen würde jedoch zu unakzeptablen Maschinengrundflächen führen.

Neben Vergrößerungsmaßnahmen der zur Kühlung und Erwärmung des Arbeitsgases beitragenden Wandflächen der Wärmekraftmaschine, um die Leistungsfähigkeit der Maschine zu steigern, sind Hybrid-Wärmekraftmaschinen vorgeschlagen worden, die beispielsweise eine Kombination von Sonnenkollektoren und Stirling-Motor darstellen. Hierzu sei beispielsweise auf die amerikanische Druckschrift US-4 414 814 hingewiesen. Soll jedoch auch die Leistungsfähigkeit einer Hybrid-Wärmekraftmaschine gesteigert werden, so müßten ebenso die thermisch aktiven Flächen vergrößert werden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine thermodynamische Maschine, die nach dem Stirling-Prozeß betreibbar ist, mit einem geschlossenen Gehäuse, in dem wenigstens zwei Kammern vorgesehen sind, deren eine Wand jeweils wärmebeaufschlagt und deren gegenüberliegende Kammerwand gekühlt sind, jeweils einer zwischen diesen Kammerwänden hin- und herbewegbaren Verdrängereinheit, die ein durch die Kammerwände eingeschlossenes Arbeitsmedium hin- und herbewegt sowie einem an dem geschlossenen Gehäuse angebrachten Arbeitskolben, der an eine, kinetische Energie speichernde Vorrichtung angekoppelt ist, derart weiterzubilden, so daß bei möglichst gleichbleibender Maschinengrundfläche die Leistungsfähigkeit der Wärmekraftmaschine gesteigert werden kann. Ferner sollen keine Toträume innerhalb der Wärmekraftmaschine innerhalb denen das Arbeitsgas eingefangen werden kann und somit nicht zur thermodynamischen Wirkung des Kreisprozesses beitragen kann, entstehen, um die spezifische Leistung pro Arbeitsvolumen und pro Zyklus zu maximieren. Überdies soll die Wärmekraftmaschine einen möglichst dem Carnot-Wirkungsgrad nahekommenden Wirkungsgrad aufweisen. Schließlich soll der neue Maschinentyp mit sogenannten Niedrigtemperaturwärmequellen und -senken, deren Temperaturdifferenz im Bereich von ca. 10°C bis 150°C differiert zur Erzeugung mechanischer Energie genutzt werden.

Die Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Die erfindungsgemäße thermodynamische Maschine weiterbildende Merkmale sind den sich daran anschließenden Ansprüchen 2 ff. zu entnehmen.

Erfindungsgemäß ist eine thermodynamische Maschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 derart ausgebildet, daß wenigstens zwei Kammern, in Stapelform angeordnet sind. Der Erfindung liegt die Idee zugrunde,

zur Leistungssteigerung der Wärmekraftmaschine die am Kreisprozeß thermisch aktive Wandfläche derart zu vergrößern, in dem mehrere, gleichdimensionierte Kammereinheiten übereinander angeordnet werden.

Aus dem relativ niedrigen Carnot-Wirkungsgrad, der sich für Wärmekraftmaschinen im Niedertemperaturbereich ergibt, beispielsweise bei Temperaturunterschieden von 50°C wird ein Carnot-Wirkungsgrad von 0,14 erreicht, folgt, daß das ca. 10-Fache der gewünschten mechanischen Leistung ständig an Wärme übertragen werden muß. Da das Arbeitsmedium der hier beschriebenen Maschine nur die halbe Zykluszeit in Kontakt mit der warmen bzw. kalten Tauscherfläche ist, muß temporär ca. die 20-fache Menge des Betrages der mechanischen Leistung an Wärme ausgetauscht werden. Dies erfordert aufgrund des relativ kleinen Wärmeübertragungskoeffizienten von Festkörperflächen auf Luft und der gewünschten niedrigen Arbeitstemperaturdifferenzen sehr große Wärmetauscherflächen.

Um dennoch eine kompakte Anordnung der geforderten Wärmetauschergröße zu erzielen, wird die gesamte benötigte Fläche in einzelne, gleich große Segmente aufgeteilt, die erfindungsgemäß übereinander gestapelt werden. Vorzugsweise werden die übereinander gestapelten Flächensegmente mit gleichem Abstand zueinander angeordnet.

In einer besonders bevorzugten Ausführung stehen wenigstens zwei Kammern derart miteinander in Verbindung, daß sie eine wärmebeaufschlagte oder gekühlte Kammerwand gemeinsam haben. Auf diese Weise steht die Vorder- und Rückseite eines jeden thermisch aktiven Flächenelementes zum Wärmeaustausch zur Verfügung. Durch diese Maßnahme kann die Stapelanordnung erheblich kompakter ausgestaltet werden, so daß eine deutliche Steigerung der Wärmetauscherfläche und damit Leistungssteigerung der Gesamtanlage durch Mehrfachstapelung einzelner miteinander in thermischen Kontakt verbundenen Kammern möglich ist, ohne den Platzbedarf für die Standfläche einer solchen Anlage zu vergrößern.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben.

Die einzige Figur zeigt einen schematisierten Querschnitt durch eine erfindungsgemäße thermodynamische Maschine, die nach dem Stirling-Prozeß betreibbar ist.

Innerhalb eines Gehäuses G sind sechs Kammern übereinander angeordnet, die jeweils eine kalte Wk- mit Temperatur T_{kalt} und eine warme Ww-Kammerwand mit Temperatur T_{warm} aufweisen. Die einzelnen Kammerwände sind entweder als flüssigkeitsdurchströmte Hohlräume oder als dünne, wärmeleitende Lamellen mit normal zu diesen verlaufenden Wärmeverteilerrohren ausgeführt.

Zur Beheizung bzw. Kühlung der Kammerwände sind zwei Flüssigkeitskreisläufe vorgesehen, die jeweils die wärmenden Kammerwände mit einer warmen Flüssigkeit und die kühlenden Kammerwände mit einer kühlenden Flüssigkeit durchspülen. So wird mittels des einen Flüssigkeitskreislaufes die Wärme auf dem hohen Temperaturniveau in die Maschine hinein-, mittels des anderen auf dem niedrigeren Temperaturniveau befindlichen Flüssigkeitskreislaufes aus ihr herausgeleitet. Auf diese Weise erhält man eine Stapelanordnung von abwechselnd warmen und kalten Kammerwandflächen, von denen wenigsten die inneren Kammerwandflächen zwei benachbarte Kammerzellen zugleich beranden.

Zwischen den Kammerwänden sind Verdrängereinheiten V_p vorgesehen, die aus jeweils gleich großen Verdrängerplatten bestehen und sich hin- und herbewegen. Vorzugsweise sollten die Verdrängerplatten aus einem geschlossenenporigen, durchströmbareren Schaum mit einer geeigneten thermischen Masse und Wärmekapazität (Regeneratorwirkung), die dem Stirling-Prozeß angepaßt sind, aufweisen. Die Bewegung der Verdrängerplatten erfolgt normal zu der Fläche der beheizten bzw. gekühlten Kammerwände. Um das in den einzelnen Kammern vorgesehene Arbeitsgas durch die Plattenbewegung abwechselnd nur in Kontakt mit warmen oder kalten Kammerwänden zu bringen, müssen sich die Verdrängerplatten in benachbarten Arbeitszellen entgegengesetzt bewegen. Daraus resultieren zwei getrennte Verdrängerstapel V_1 und V_2 . Die einzelnen Verdrängerstapel, die im vorgestellten Beispiel jeweils drei parallel zueinander angeordnete Verdrängerplatten über eine gemeinsame Verbindungsstange F miteinander verbinden, sorgen für eine simultane Bewegung von Verdrängerplatten in jeweils identisch temperierten Kammerzellen. Die Doppelanordnung der einzelnen Verdrängerstapeln, deren relativer Bewegungsablauf im Gegentaktbetrieb folgt, leitet sich aus den jeweils umgekehrten temperierten Plattenanordnungen zweier benachbarter Kammern ab.

Jede einzelne Verdrängerplatte der jeweiligen Verdrängerstapeln ist mit Durchführungen für die Verbindungsstangen der anderen Verdrängerstapeln versehen. Der Abstand der Verdrängerplatten innerhalb einer Verdrängerstapeln entspricht gerade dem Abstand zweier Kammerwände gleicher Temperaturverhältnisse.

Jede Verdrängerstapeln ist somit separat gelagert. Bei horizontaler Ausführung der Stapelanordnung ist vorzugsweise jede Verdrängerstapeln zur Kompensation der Gewichtskraft an einer Feder aufgehängt.

Das in den einzelnen Kammern enthaltene Arbeitsgas kann zwischen den einzelnen Kammern durch nicht in der Figur dargestellte Zwischenräume, zwischen den einzelnen Kammern ausgetauscht werden. Somit kann das Schwungrad SR über einen Arbeitskolben A , der an der Gehäusewand G angebracht ist und den sich innerhalb der Gesamtanordnung ausbildenden Druckverhältnissen folgt, angetrieben werden. Durch die pneumatische Ankopplung des Arbeitskolbens A an das durch die Gehäusewand luftdicht abgeschlossene Luftvolumen der Maschine kann die in der Expansionsphase geleistete Arbeit auf das Schwungrad SR übertragen werden. So ist die Energie für die Kompressionsphase zwischengespeichert. Die letztlich verfügbare Nutzenergie bestehend aus der Differenz von Expansions- und Kompressionsarbeit steht an der Welle des Schwungrades zur weiteren Umwandlung zur Verfügung.

Im umgekehrten Fall zum Betrieb der Stirling-Maschine als Wärmekraftmaschine kann im Falle eines Wärmepumpenbetriebes durch Zuführung mechanischer Energie an das Schwungrad der Arbeitskolben bewegt werden. Die auf diese Weise erzeugte Nutzkälte bzw. -wärme kann über die vorstehend beschriebenen Flüssigkeitskreisläufe abgeführt werden.

Die Ansteuerung der Verdrängerstapeln kann nach dem bekannten Ringborn-Prinzip erfolgen. Hierbei befindet sich die Verdrängerkolbenführung für den Stapel, der in seiner unteren Position an der warmen Kammerwand anliegt, an der Deckplatte. Die ande-

re Führung befindet sich an der Bodenplatte des Maschinengehäuses.

Alternativ zu dieser Ansteuerweise, können die Verdrängerplatten entweder kinematisch durch Anbindung eines Pleuls an das Schwungrad oder in Abhängigkeit von einem elektronisch erfaßten Zykluszustand über eine Elektronik mittels elektromagnetischer Stellglieder angesteuert werden.

Patentansprüche

1. Thermodynamische Maschine, die nach dem Stirling-Prozeß betreibbar ist, mit einem geschlossenen Gehäuse, in dem wenigstens zwei Kammern vorgesehen sind, deren eine Wand jeweils wärmebeaufschlagt und deren gegenüberliegende Kammerwand gekühlt sind, jeweils einer zwischen diesen Kammerwänden hin und her bewegbaren Verdrängereinheit, die ein durch die Kammerwände eingeschlossenes Arbeitsmedium hin und her bewegt sowie einem an dem geschlossenen Gehäuse angebrachten Arbeitskolben, der an eine, kinetische Energie speichernden Vorrichtung gekoppelt ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kammern stapelförmig angeordnet sind.
2. Thermodynamische Maschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß wenigstens zwei Kammern derart miteinander verbunden sind, so daß sie eine wärmebeaufschlagte oder gekühlte Kammerwand gemeinsam haben.
3. Thermodynamische Maschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kammerwandabfolge abwechselnd wärmebeaufschlagte und gekühlte Kammerwände aufweist.
4. Thermodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei getrennte Flüssigkeitskreisläufe vorgesehen sind, von denen einer die wärmebeaufschlagten Kammerwände und der andere die gekühlten Kammerwände mit den für den Stirling-Prozeß erforderlichen warmen und kalten Medien versorgt.
5. Thermodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kammerwände von Flüssigkeit zu durchströmende Hohlräume aufweisen.
6. Thermodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kammerwände an ihrer Oberfläche wärmeleitende Lamellen aufweisen.
7. Thermodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kammerwände als dünne, wärmeleitende Lamellen mit normal zu diesen verlaufenden Wärmeverleiteterröhren ausgeführt sind.
8. Thermodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kammerwände lateral von wenigstens einer Verbindungsstange durchsetzt sind, an der die in den einzelnen Kammern vorgesehenen Verdrängereinheiten kinematisch angelenkt sind.
9. Thermodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verdrängereinheit Plattengestalt aufweist und aus einem geschlossenenporigen Schaum besteht.
10. Thermodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verdrängereinheit über eine Verbindungsstange lateral zwischen zwei Kammerwänden bewegbar

ist.

11. Thermodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei Verbindungsstangen zur kinematischen Ansteuerung mehrerer Verdrängereinheiten vorgesehen sind.

12. Thermodynamische Maschine nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verdrängereinheiten in zwei aufeinanderfolgenden Kammern jeweils durch unterschiedliche Verbindungsstangen kinematisch angelenkt sind, so daß zwei kinematisch voneinander getrennte Verdrängerstapeln entstehen.

13. Thermodynamische Maschine nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede Verdrängereinheit eines Stapels mit einer Durchführung für die Verbindungsstange der jeweils anderen Verdrängerstapeln verbunden ist.

14. Thermodynamische Maschine nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Abstand zwischen zwei Verdrängereinheiten einer Verdrängerstapeln gleich dem Abstand zweier Kammerwänden gleicher thermischer Verhältnisse ist.

15. Thermodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verdrängerstapeln gegenläufig arbeiten.

16. Thermodynamische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verbindungsstangen in der Gehäusewand gelagert sind.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

