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

(11) **EP 2 013 482 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
05.11.2014 Patentblatt 2014/45

(21) Anmeldenummer: **07728626.8**

(22) Anmeldetag: **27.04.2007**

(51) Int Cl.:
F04D 19/04 *(2006.01)* ***F04D 29/02*** *(2006.01)*
C22C 21/14 *(2006.01)* ***C22F 1/057*** *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2007/054171

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2007/125104 (08.11.2007 Gazette 2007/45)

(54) **ROTOREN ODER STATOREN EINER TURBOMOLEKULARPUMPE**

ROTORS OR STATORS OF A TURBOMOLECULAR PUMP

ROTORS OU STATORS D'UNE POMPE TURBOMOLÉCULAIRE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI

(30) Priorität: **29.04.2006 DE 102006020100**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
14.01.2009 Patentblatt 2009/03

(73) Patentinhaber:
- **Oerlikon Leybold Vacuum GmbH**
  50968 Köln (DE)
- **Otto Fuchs KG**
  58540 Meinerzhagen (DE)

(72) Erfinder:
- **HÖLZER, Rainer**
  50354 Hürth (DE)
- **FROITZHEIM, Michael**
  41539 Dormagen (DE)
- **ETSCHENBERG, Lars**
  53721 Siegburg (DE)
- **ROTH, Ishan**
  53844 Troisdorf (DE)
- **FISCHER, Gernot**
  58540 Meinerzhagen (DE)
- **SAUER, Dieter**
  58540 Meinerzhagen (DE)
- **TERLINDE, Gregor**
  58540 Meinerzhagen (DE)

(74) Vertreter: **Von Kreisler Selting Werner - Partnerschaft**
von Patentanwälten und Rechtsanwälten mbB
Deichmannhaus am Dom
Bahnhofsvorplatz 1
50667 Köln (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 881 030
WO-A-03/056187
WO-A-03/076809
DE-A1- 4 239 391
DE-A1- 4 300 274
SU-A1- 1 152 308

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 013 482 B1

Beschreibung

[0001] Gegenstand der Erfindung sind Rotoren oder Statoren einer Turbomolekularpumpe mit Rotorschaufeln aus einer speziellen Aluminiumlegierung.

[0002] Für den Bau von Rotoren einer Turbomolekularpumpe mit Rotorschaufeln hat sich Aluminium als Konstruktionswerkstoff durchgesetzt, da sich hierdurch die Forderung nach möglichst geringem spezifischen Gewicht bei gleichzeitig hoher Festigkeit und guter Verarbeitbarkeit am besten vereinen lassen. So ist bereits M. Wutz et. al, Theorie und Praxis der Vakuumtechnik, zweite Aufl., 1982, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, Seite 207/208 bekannt, den Rotor oder Stator aus speziell ausgesuchten Aluminiumlegierungen herzustellen.

[0003] Um leistungsfähige Pumpenrotoren oder -statoren bauen zu können, sind Aluminiumlegierungen mit hoher Warmfestigkeit überwiegend im Einsatz. Rotoren aus derartigen Werkstoffen werden üblicherweise mit Hilfe spanabhebender Verfahren gefertigt, wie sie beispielsweise in DE 10210404 A1 oder DE 29715035 U1, auf die jeweils in vollem Umfang Bezug genommen wird, beschrieben sind. Insbesondere die Formgebung der Flügelkontur ist dabei zeit-und kostenintensiv.

[0004] DE 4239391 A1 und WO 03/057187 beschreiben die Herstellung von Rotoren und Statoren von Turbomolekularpumpen aus Aluminium, Reinmagnesium oder Reintitan sowie aus definierten Legierungen.

[0005] DE 43902274 A1 bezieht sich auf eine Vakuumpumpe, insbesondere Hochvakuumpumpe, mit einem Rotor, der gemeinsam mit einem Stator und gegebenenfalls einem weiteren Rotor einen schmiermittelfreien, von den zu fördernden Gasen durchströmten Förderraum bildet; um den oder die Rotoren mit erhöhten Drehzahlen betreiben zu können, wird vorgeschlagen, dass der bzw, die Rotoren zumindest teilweise aus einer Aluminium-Lithium-Legierung bestehen.

[0006] DE 101 03 230 A1 beschreibt Rotoren, bei denen ein Teil der Rotorsschaufeln eine Rückseite aufweist, die saugseitig konvex und druckseitig konkav ausgestaltet ist, oder dass zumindest ein Teil der Rotorschaufeln eine Vorderseite aufweist, die saugseitig konkav und druckseitig konvex ausgebildet ist.

[0007] Bei der Verwendung hochfester Legierungen ist deren geringes Umformungsvermögen zu berücksichtigen. Dies führt dazu, dass die komplette Formgebung von Vollkörpern oder Scheiben mit Hilfe Span abhebender Verfahren erfolgen muss und kostengünstigere Formgebungsverfahren durch plastische Umformung wie Tordieren, Prägen oder Stanzprägen nicht zum Einsatz kommen können.

[0008] Konkret hat sich bei den mittelfesten Legierungen die Kombination aus Span abhebenden (Drehen, Fräsen) und/oder thermischen Abtragsverfahren (Erodieren) mit Verfahren der plastischen Umformung (Tordieren) als wirtschaftlicheres Herstellverfahren für Rotoren oder Statoren bewährt.

[0009] Dabei werden zunächst einzelne scheibenförmige Segmente Span abhebend in einen zylindrischen Vollkörper gearbeitet, die anschließend funkenerosiv axial geschlitzt werden. Auf diese Weise entstehen scheibenförmige Strukturen je Scheibensegment, die durch eine nachfolgende plastische Torsion um die Flügellängsachse einen definierten Anstellwinkel erhalten.

[0010] Die DE 100 53 664 A1 beschreibt eine mechanische kinetische Vakuumpumpe mit einem aus einer Al-Legierung bestehenden Rotor; zur Erhöhung der Warm- und Zeitstandsfestigkeit wird vorgeschlagen, dass der Rotorenwerkstoff eine pulvermetallurgisch hergestellte Leichtmetalllegierung ist, deren Hauptlegierungsbestandteil neben Aluminium Kupfer ist, die weiterhin Magnesium, Mangan, Zirkonium und Silber sowie gegebenenfalls Titan enthält.

[0011] Durch Verwendung einer neuen hoch- und warmfesten AluminiumKnetlegierung, die im kalt ausgelagerten Zustand eine ungewöhnlich hohe Bruchdehnung aufweist, ist es nun möglich, die oben erwähnten kostengünstigeren Formgebungsverfahren zum Einsatz zu bringen, die bisher nur gering- bis mittelfesten Al-Legierungen vorbehalten waren.

[0012] In WO 2004/003244 A1 wird eine Al-Cu-Mg-Mn-Legierung zur Herstellung von Halbzeugen mit hohen statischen und dynamischen Festigkeitseigenschaften beschrieben. Überraschenderweise konnte gefunden werden, dass die hier beschriebenen Legierungen einerseits besonders warmfest und andererseits im kaltausgelagerten Zustand eine so hohe Duktilität aufweisen, dass eine kostengünstige Rotorfertigung durch Span abhebende oder thermische Abtragverfahren und Umformen (beispielsweise Tordieren oder Biegen) möglich ist.

[0013] Die Erfindung betrifft daher in einer ersten Ausführungsform Rotoren oder Statoren einer Turbomolekularpumpe mit Rotorschaufeln aus einer Aluminiumlegierung, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Legierung eine Al-Cu-Mg-Mn-Knet-Legierung umfasst.

[0014] Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung sind somit mehrstufige, einteilige Rotoren oder Statoren ebenso erhältlich, wie Rotoren oder Statoren, die aus einzelnen Stufensegmenten zusammengesetzt sind. Die Rotoren oder Statoren weisen ein geringes spezifisches Gewicht bei gleichzeitig hoher Festigkeit und guter Verarbeitbarkeit auf.

[0015] Besonders bevorzugt im Sinne der vorliegenden Erfindung weist die eingesetzte Knet-Legierung die folgende Zusammensetzung auf:

0,3 bis 0,7 Gew.-% Silizium (Si),
bis zu 0,15 Gew.-% Eisen (Fe),
3,5 bis 4,5 Gew.-% Kupfer (Cu),
0,1 bis 0,5 Gew.-% Mangan (Mn),
0,3 bis 0,8 Gew.-% Magnesium (Mg),
0,05 bis 0,15 Gew.-% Titan (Ti),
0,1 bis 0,25 Gew.-% Zirkon (Zr),
0,3 bis 0,7 Gew.-% Silber (Ag),

bis zu 0,05 Gew.-% andere, einzeln,
bis zu 0,15 Gew.-% andere, insgesamt und
Rest Gew.-% Aluminium (Al).

[0016] Die verwendeten Knet-Legierungen weisen gegenüber anderen vorbekannten Legierungen eine höhere statische und dynamische Warmfestigkeit und eine verbesserte Kriechbeständigkeit bei gleichzeitig sehr guten bruchmechanischen Eigenschaften auf und sind daher in besonderem Maße für die erfindungsgemäßen Rotoren oder Statoren von Turbomolekularpumpen geeignet. Insbesondere weist die erfindungsgemäß eingesetzte Knet-Legierung eine Bruchdehnung von mindestens 14 %, insbesondere 17 bis 20 % im kaltausgelagertem Zustand auf, bestimmt im Zugversuch nach DIN EN 10002.

[0017] Der Begriff der Knetlegierung im Sinne der Erfindung umfasst eine spezielle Behandlung der erfindungsgemäß eingesetzten Legierung, bei der das Gussgefüge durch beispielsweise Strangpressen, Walzen oder Schmieden bei erhöhter Temperatur umgewandelt und "durchgeknetet" wird. Das Leichtmetall wird dadurch duktiler. Knetlegierungen erlauben deshalb auch weitere Kaltverformungen wie beispielsweise Walzen, Ziehen oder auch Schmieden (beispielsweise auch Kaltschmieden).

[0018] Aus der WO 2004/003244 A1 ist an sich bekannt, dass diese Eigenschaften insbesondere bei einem Kupfer-Magnesium-Verhältnis zwischen 5 und 9,5 insbesondere bei einem Verhältnis zwischen 6,3 und 9,3 erreicht werden.

[0019] Der Kupfergehalt liegt bevorzugt im Bereich von 3,8 und 4,2 Gew.-% und der Magnesiumgehalt im Bereich von 0,45 und 0,6 Gew.-%. Der Kupfergehalt liegt deutlicht über der maximalen Löslichkeit für Kupfer in Gegenwart des beanspruchten Magnesiumgehaltes. Dies hat zur Folge, dass der Anteil an unlöslichen kupferhaltigen Phasen auch unter Berücksichtigung der übrigen Legierungs- und Begleitelemente sehr gering ist. Dadurch ergibt sich eine Verbesserung hinsichtlich der dynamischen Eigenschaften und der Bruchzähigkeit der aus einer solchen Legierung hergestellten Rotoren.

[0020] Im Gegensatz zu im Stand der Technik weiterhin bekannten Aluminiumlegierungen ist der Anteil der beanspruchten Knet-Legierung an Silber mit Gehalten zwischen 0,3 und 0,7 Gew.-%, bevorzugt 0,45 und 0,6 Gew.-%. Im Zusammenspiel mit Silizium (0,3 bis 0,7 Gew.-%, bevorzugt 0,4 bis 0,6 Gew.-%) erfolgt eine Aushärtung über die gleichen Mechanismen wie in silberfreien Al-Cu-Mg-Legierungen. Bei kleineren Siliziumgehalten ist jedoch durch die Silberzugabe der Ausscheidungsverlauf anders. Die aus einer solchen Legierung hergestellten Rotoren weisen zwar gute Warmfestigkeiten und Kriechbeständigkeiten bei kühleren Bedingungen auf; sie entsprechen jedoch nicht den gewünschten Anforderungen. Erst Siliziumgehalte ab 0,3 Gew.-% unterdrücken die ansonsten typische Änderung des Ausscheidungsverhaltens von Al-Cu-Mg-Ag-Legierungen, so dass höhere Festigkeitswerte ohne Einbuße der Warmbeständigkeiten und der Kriechbeständigkeiten bei den Cu- und Mg-Gehalten erzielbar sind.

[0021] Der Mangangehalt der eingesetzten Legierung beträgt 0,1 bis 0,5 Gew.- % bevorzugt 0,2 bis 0,4 Gew.-%. Bei Legierungen mit höheren Mangangehalten wurden bei einer Langzeit-Hochtemperaturbeanspruchung unerwünschte Ausscheidungsvorgänge gefunden, die zu einer Verringerung der Festigkeit führten. Aus diesem Grund ist der Mangangehalt auf 0,5 Gew.-% begrenzt. Grundsätzlich ist Mangan jedoch ein für die Gefügekontrolle benötigter Legierungsbestandteil.

[0022] Zum Ausgleich der reduzierten Lücken des Mangans hinsichtlich der Gefügekontrolle enthält die Legierung Zirkon in einer Menge von 0,10 bis 0,25 Gew.-%, insbesondere 0,14 bis 0,2 Gew.-%. Die sich ausscheidenden Zirkon-Aluminide sind in der Regel sogar feindisperser ausgebildet als Mangan-Aluminide. Überdies hat sich gezeigt, dass die Zirkon-Aluminide zur thermischen Stabilität der Legierung beitragen.

[0023] Zur Kornfeinung ist der Legierung 0,05 bis 0,15 Gew.-%, bevorzugt 0,10 bis 0,15 Gew.-% Titan zugefügt. Zweckmäßigerweise wird das Titan der Legierung in Form einer Al-5Ti-1B-Vorlegierung zugesetzt, wodurch die Legierung automatisch Bor enthält. Daraus bilden sich fein verteilte, nicht lösliche Titandiboride. Diese leisten einen Beitrag zur thermischen Stabilität der Legierung.

[0024] Als unvermeidbare Verunreinigung kann die Legierung maximal 0,15 % Eisen, bevorzugt 0,10 % Eisen aufweisen.

[0025] Die erfindungsgemäßen Rotoren oder Statoren einer Turbomolekularpumpe mit Rotorschaufeln aus der oben definierten Aluminiumlegierung können beispielsweise dadurch hergestellt werden, dass man aus einzelnen Scheiben oder Vollkörpern die Rotorschaufeln durch radiales Trennen erzeugt, die anschließend durch Umformen (beispielsweise Tordieren, Biegen, Prägen, Schmieden usw.) auf einen gewünschten Anstellwinkel hergestellt werden. Die Herstellung des gewünschten Anstellwinkels umfasst dabei auch gegebenenfalls die Herstellung einer definierten Flügelkontur. Alternativ können die Schritte des Trennens und des Umformens auch in einem Arbeitsgang, beispielsweise durch Stanzprägen durchgeführt werden.

[0026] Die Arbeitsschritte dieses Verfahrens an sich sind bekannt, waren jedoch bisher auf gering- und mittelfeste Aluminiumlegierungen beschränkt, da nur diese das erforderliche Umformungsvermögen aufweisen. Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung ist dieses Verfahren jedoch auch auf die definierten hochfesten Aluminiumlegierungen anwendbar.

[0027] Üblicherweise geht man beim Umformen von scheibenförmigen Flügelstufen aus, bei denen zuvor durch radiales Trennen einzelne Flügelsegmente erzeugt werden. Trenn-Verfahren im Sinne der vorliegenden Erfindung umfassen Schneidverfahren, wie Laser oder Wasserstrahl sowie Erodieren, Spanen, Stanzen

oder Stanzprägen.

[0028] Durch die Kombination von Span abhebender Formgebung mit Verfahren der plastischen Umformung lassen sich die Herstellungskosten der Rotoren oder Statoren reduzieren.

Ausführungsbeispiele:

Beispiel 1:

Herstellung der Flügelanstellung von Pumpenrotoren einer TMP durch Umformen

[0029] Aus einem zylindrischen Vollkörper der Legierung AA 2016 (siehe WO 2004/003244) wurden konzentrisch übereinander angeordnet scheibenförmige Segmente entsprechend der gewünschten Anzahl an Pumpstufen Span abhebend herausgearbeitet. Hierdurch entstand ein rotationssymmetrischer Körper, der aus übereinander angeordneten, scheibenförmigen Rippen bestand, die im Nabenbereich miteinander verbunden waren. Die Rippendicke entsprach der späteren Flügeldicke. Jede Rippenscheibe wurde nun in axialer Richtung bis in die Nähe der Nabe in regelmäßigen Abständen über den Umfang geschlitzt, wodurch einzelne Flügelsegmente entstanden.

[0030] Der Werkstoff lag dabei im Zustand "lösungsgeglüht, abgeschreckt und kalt ausgelagert" vor. In diesem Zustand besaß er ein hohes Umformvermögen.

[0031] In demselben Zustand wurden nun die Flügelsegmente um ihre Längsachse tordiert. Die Tordierung erfolgte dabei mit einem gabelförmigen Greifarm, der ein betreffendes Flügelsegment bis nahe an den Flügelfuß umfasste und dann eine Torsionsbewegung um die Flügellängsachse bis zu dem gewünschten Anstellwinkel ausführte. Das Flügelsegment erfuhr dabei eine plastische Umformung im flügelfußnahen Bereich. Auf diese Weise waren Torsions- oder Anstellwinkel von etwa 45 [°] zur Ausgangsposition leicht erreicht worden, ohne dass Anrisse im Flügelfußbereich zu beobachten waren.

[0032] Mit herkömmlichen warmfesten Al-Legierungen sind solche Winkel nicht zu erreichen.

[0033] Zur Erlangung der für den späteren Betrieb erforderlichen Festigkeit erfolgte eine Warmauslagerung zum Erreichen der maximalen Festigkeit entsprechend Zustand T6.

Beispiel 2:

Stanzprägen von Statorscheiben

[0034] Aus Al- Blechen des in Beispiel 1 genannten Werkstoffs werden Statorscheiben durch Stanzprägen wie folgt hergestellt:

> Halbkreisförmige Ringsegmente werden aus Al-Blechen in Dicken zwischen 0,5 und 1,0 [mm] ausgestanzt. Zustand der Bleche: "lösungsgeglüht, abgeschreckt und kalt ausgelagert".

[0035] Diese Ringsegmente werden nun in eine Stanz-Prägeform eingelegt, die durch Pressen der Gegenform auf diese Stanz-Prägeform die Flügelkontur herausarbeitet.

[0036] Dabei werden die Anströmkanten der radialsymmetrisch angeordneten Flügelsegmente herausgestanzt, während der Anstellwinkel der Flügel hingegen durch plastische Umformung in der Prägeform entsteht. Die maximale Umformung tritt dabei im Bereich des Übergangs der freien Flügelanströmkante zum unverformten Blech ein.

[0037] Zur Erlangung der für den späteren Betrieb erforderlichen Festigkeit erfolgt die Warmauslagerung auf maximale Festigkeit entsprechend Zustand T6.

Patentansprüche

1. Rotoren oder Statoren einer Turbomolekularpumpe mit Rotorschaufeln aus einer Aluminiumlegierung, die **dadurch gekennzeichnet ist, dass** die Legierung eine Al-Cu-Mg-Mn-Knet-Legierung umfasst.

2. Rotoren oder Statoren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** diese eine Knet-Legierung mit folgender Zusammensetzung umfassen:

   0,3 bis 0,7 Gew.-% Silizium (Si)
   bis zu 0,15 Gew.-% Eisen (Fe)
   3,5 bis 4,5 Gew.-% Kupfer (Cu)
   0,1 bis 0,5 Gew.-% Mangan (Mn)
   0,3 bis 0,8 Gew.-% Magnesium (Mg)
   0,05 bis 0,15 Gew.-% Titan (Ti)
   0,1 bis 0,25 Gew.-% Zirkon (Zr)
   0,3 bis 0,7 Gew.-% Silber (Ag)
   bis zu 0,05 Gew.-% andere, einzeln
   bis zu 0,15 Gew.-% andere, insgesamt
   Rest Gew.-% Aluminium (Al).

Claims

1. Rotors or stators of a turbomolecular pump with rotor blades made of an aluminum alloy, **characterized in that** said alloy comprises an Al-Cu-Mg-Mn wrought alloy.

2. The rotors or stators according to claim 1, **characterized by** comprising a wrought alloy having the following composition:

   from 0.3 to 0.7% by weight of silicon (Si);
   up to 0.15% by weight of iron (Fe);
   from 3.5 to 4.5% by weight of copper (Cu);
   from 0.1 to 0.5% by weight of manganese (Mn);
   from 0.3 to 0.8% by weight of magnesium (Mg);

from 0.05 to 0.15% by weight of titanium (Ti);
from 0.1 to 0.25% by weight of zirconium (Zr);
from 0.3 to 0.7% by weight of silver (Ag);
up to 0.05% by weight of others individually;
up to 0.15% by weight of others in total; and
aluminum (Al) as the % by weight balance.

Revendications

1. Rotors ou stators d'une pompe turbomoléculaire à pales de rotor consistant en un alliage d'aluminium, **caractérisés en ce que** ledit alliage comprend un alliage de corroyage Al-Cu-Mg-Mn.

2. Rotors ou stators selon la revendication 1, **caractérisés en ce qu'**ils comprennent un alliage de corroyage avec la composition suivante:

de 0,3 à 0,7 pour cent en poids de silicium (Si);
jusqu'à 0,15 pour cent en poids de fer (Fe);
de 3,5 à 4,5 pour cent en poids de cuivre (Cu);
de 0,1 à 0,5 pour cent en poids de manganèse (Mn);
de 0,3 à 0,8 pour cent en poids de magnésium (Mg);
de 0,05 à 0,15 pour cent en poids de titane (Ti);
de 0,1 à 0,25 pour cent en poids de zirconium (Zr);
de 0,3 à 0,7 pour cent en poids d'argent (Ag);
jusqu'à 0,05 pour cent en poids d'autres, individuellement;
jusqu'à 0,15 pour cent en poids d'autres, au total; et
le reste en pour cent en poids étant de l'aluminium (Al).

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

- DE 10210404 A1 **[0003]**
- DE 29715035 U1 **[0003]**
- DE 4239391 A1 **[0004]**
- WO 03057187 A **[0004]**
- DE 43902274 A1 **[0005]**
- DE 10053664 A1 **[0010]**
- WO 2004003244 A1 **[0012] [0018]**
- WO 2004003244 A **[0029]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **M. WUTZ.** Theorie und Praxis der Vakuumtechnik. Friedr. Vieweg & Sohn, 1982, 207, , 208 **[0002]**