

(19)



(11)

EP 1 808 869 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
18.07.2007 Patentblatt 2007/29

(51) Int Cl.:
H01F 5/02 (2006.01) **H01F 7/06** (2006.01)
H01F 5/06 (2006.01) **H01F 27/32** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06023805.2**

(22) Anmeldetag: **16.11.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(30) Priorität: **13.01.2006 DE 102006001817**

(71) Anmelder: **Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
76133 Karlsruhe (DE)**

(72) Erfinder:
• **Brinkmann, Hans-Jörg
76646 Untergrombach (DE)**
• **Fast, Gerald
76131 Karlsruhe (DE)**
• **Hesselschwerdt, Michael
76344 Leopoldshafen (DE)**
• **Vollmer, Ralph
76344 Leopoldshafen (DE)**

(54) **Elektromagnet aus temperaturbeständigem Material**

(57) Ein Elektromagnet in solenoidaler Bauweise ist bei Temperaturen bis zu 600° C in zwei Zustände, den magnetfelderzeugenden und den magnetfeldlosen, wahlweise versetzbar. Der Spulenkörper ist aus betriebstemperaturbeständigem, nichtmagnetischem Metall

oder einer Keramik oder aus Quarzglas und hat einen freien zentralen Durchgang. Der Spulendraht ist aus Eloxaldrabt oder aus einem mit Glasseide ummantelten Metalldrabt.

EP 1 808 869 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Elektromagnet in Form eines Solenoids, dessen Spulenkörper und die darauf aus einem elektrisch isolierten Draht aufgewickelte Spule aus temperaturbeständigem Material sind.

[0002] Der Elektromagnet ist ein Solenoid und für das Arbeiten in Umgebungen mit höheren Temperaturen, beispielsweise mehr als 100°C, vorgesehen. Das Solenoid umgibt den Leitungsabschnitt einer fluidführenden Leitung, in dem ein verschließ- und öffnbarer Mechanismus sitzt, der über ein auf ihn wirkendes Magnetfeld die Leitung verschließt oder öffnet oder umgekehrt. Das Solenoid zusammen mit diesem Leitungsabschnitt bilden ein Magnetventil.

[0003] Aus verfahrenstechnischen Anlagen sind zur schaltungstechnischen Erzeugung von Magnetfeldern Magnetspulen oder Elektromagnete bekannt, deren Kupferdrahtwicklung aus übereinander liegenden Wicklungslagen bestehen, wobei der Spulendraht zur elektrischen Isolation anliegender Drahtwicklungen eine Lackschicht besitzt. In Betriebssituationen bis etwa 200°C können solche lackbeschichteten Spulendrähte noch verwendet werden, darüber hinaus beginnt sich eine solche elektrisch isolierende Lackschicht thermisch zu zersetzen.

[0004] In einer speziellen verfahrenstechnischen Einrichtung ließe sich der Aufbau konstruktiv vereinfachen, wenn Magnetventile bei Temperaturen über 200°C bis etwa 600°C problemlos betrieben werden könnten. Elektromagnete, die in solchen Temperaturbereichen betrieben werden können, sind nicht erhältlich. Deshalb stellte sich die Aufgabe, einen Elektromagneten in solenoidaler Bauweise und mit zentralem Durchgang zu entwickeln und bereit zu stellen, um anlagentechnische Bereiche nicht mit einem zusätzlichen thermotechnischen, wirtschaftlich teuren Aufwand versehen zu müssen.

[0005] Die Aufgabe wird durch einen Elektromagneten, der die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 aufweist, gelöst. Der Elektromagnet ist ein Solenoid und bei Temperaturen bis zu 600°C in zwei Zustände, den magnetfelderzeugenden und den magnetfeldlosen, versetzbar. Um eine solche betriebliche Temperaturumgebung auszuhalten, ist der Spulenkörper aus einem nichtmagnetischen Metall oder aus einer Keramik oder aus Quarzglas gefertigt. Als Baukomponente im Zusammenwirken mit andern Komponenten hat der Elektromagnet einen freien zentralen Durchgang. Die Temperaturumgebung bis 600°C hat auch der Spulendraht unbeeinflusst auszuhalten und ist deshalb etwa aus Eloxaldraht, einem elektrisch oxidierten Aluminiumdraht, dessen Oxidschicht zur Umgebung hin elektrisch isoliert, oder aus einem mit Glasseide ummantelten Metalldraht. In beiden Fällen sind auf dem Spulendraht dünne elektrische Isolationsschichten herstellbar, so dass der auf den Spulenkörper zur Spule gewickelte Draht mit einer hohen Packungsdichte gewickelt werden kann. Dadurch kann mit beschränktem Elektromagnet-/Solenoidvolu-

men entlang der und um die Magnetfeldachse ein genügend starkes Magnetfeld zur sicheren Ventilbetätigung erreicht werden.

[0006] In den Unteransprüchen sind Ausgestaltungen beschrieben und spezifiziert. Nach Anspruch 2 besteht der Spulenkörper aus einem im Betriebstemperaturbereich formstabilen Edelstahl oder Messing oder einer nichtmagnetischen Metalllegierung. Vorzugsweise aus mit Drehautomaten oder Ziehrichtungen bearbeitbarem Material.

Alternativ, wegen sicherer elektrischer Isolationsfestigkeit, kann das keramische Spulenkörpermaterial aus einer auf Silizium basierenden Keramik insbesondere Aluminiumsilikat oder Magnesiumsilikat oder aus einer Oxidkeramik insbesondere Aluminiumoxid sein. Diese Materialien sind zur Keramisierung in ihrer Geometrie derart vorformbar, dass das Endmaß zumindest mit tolerabler Toleranz erreicht wird, andererseits sind sie auch maschinenbearbeitbar, etwa spanabhebend oder schleifend. Ebenfalls alternativ ist Quarzglas wegen seiner sehr guten Temperaturbeständigkeit. Problematisch jedoch in der genauen Endmaßbearbeitung, weil dann nur noch über Diamantschleifen zugänglich, aber für spezielle Problemlösungen im Aufwand gerechtfertigt.

[0007] Nach Anspruch 3 ist der lichte Querschnitt des freien zentralen Durchgangs durch den Spulenkörper rund und der Querschnittsrand hat an jeder Stelle einen von innen nach außen gerichteten Krümmungsradius. Die einfachsten Formen dazu sind der Kreis und die Ellipse oder eine ovale Form. Etwas aufwändigere Formen sind polygonale Formen mit abgerundeten Ecken also insgesamt einfach konvexe, glatte Formen. Alternativ kann der lichte Querschnitt des freien zentralen Durchgangs polygonal, mindestens dreieckig sein. Alle lichten, einfach konvexen Querschnittformen außer der kreisrunden sind verdrehsicher. Der Spulengrund verläuft in beiden Fällen, dem runden und polygonal lichten Querschnitt, rund um den freien zentralen Durchgang unter Wandbildung und hat einen stets nach außen gerichteten Krümmungsradius derart, dass der kleinste Krümmungsradius mindestens gleich dem kleinsten zulässigen Biegeradius des auf den Spulengrund zu wickelnden Spulendrahtes ist. Beim Spulenwickeln muss strikt darauf geachtet werden, dass der Spulendraht an keiner Stelle einen Knick erfährt, da dort einerseits die Isolationsschicht bzw. der Isolationsmantel zumindest beeinträchtigt wird, wenn nicht sogar gleich aufbricht. Andererseits kann das Metallgefüge des Spulendrahtes verändert und damit die elektrische Leitfähigkeit herabgesetzt sein, wenn nicht sogar ein Drahtbruch zustande kommt.

[0008] Zur örtlichen Führung/Beschränkung des Magnetfeldes außerhalb des Elektromagneten kann dieser nach außen hin mit einer Hülse aus magnetisierbarem Material, üblicherweise Weicheisen, ummantelt sein, unter Umständen zusätzlich noch an den freien Stirnseiten (Anspruch 4).

[0009] Ein so aufgebauter Elektromagnet, aufgebautes Solenoid, eine so aufgebaute Elektrospeule steht Tem-

peraturumgebungen bis 600°C in Dauerbetrieb sicher durch. Die sehr dünne Isolationsschicht insbesondere beim Wicklungsdraht aus Eloxal lässt eine hohe Wicklungsdichte bei der Spule und damit ein minimales Spulenvolumen zu. Das erforderliche starke Magnetfeld auch bei höchster Betriebstemperatur von 600°C wird sicher erreicht und gehalten.

[0010] Das einfachste Ausführungsbeispiel des Elektromagneten ist ein kreiszylinderförmiges Solenoid mit magnetachsenzentralem Durchgang und kreisförmig lichter Weite. Diese Situation ist in der einzigen Figur zur Beschreibung beispielhaft dargestellt. Das Solenoid ist in einem axialen Schnitt, in der Stirnansicht und perspektivisch dargestellt, der verwendete Spulenkörper, hier aus Aluminiumsilikat, ist im Schnittbild bemaßt. Die Spule besteht beispielhaft aus 12 Lagen und 13 Windungen pro Lage. Der verwendete Spulendraht ist aus Eloxal und liegt vorzugsweise im Drahtdurchmesserbereich von etwa 0,5 mm bis 1 mm.

[0011] Die Erprobung der elektrischen Spule erfolgte beim Einbau in ein elektromagnetisch schaltbares 2/2-Wegeventil. Die kommerziell eingebaute Spule wurde durch die thermisch sehr viel höher belastbare Spule ersetzt. Bei der Erprobung der mit einem Eloxaldraht gewickelten Spule im Spulenkörper aus Aluminiumsilikat nahm der ohmsche Widerstand des Spulendrahtes erwartungsgemäß zu, und zwar linear mit der Temperatur. Um den magnetfelderzeugenden Strom durch den Spulendraht beizubehalten, wurde die treibende Spannung über eine einstellbare Spannungsquelle entsprechend angehoben. Der thermische Ausdehnungskoeffizient von Aluminium bewirkt im Temperaturbereich bis 600°C eine Längenausdehnung von bis zu 1,5%, das führte aber zu keinen Problemen. Pulsmäßig wurde die Spule problemlos mit einer Schaltfrequenz bis zu 10 Hz mit einem Dachwert des Stromes von 3A jeweils 20 msec lang betrieben.

[0012] Der Eloxaldraht wurde unter Zugspannung sorgfältig, d.h. knick- und bruchstellenfrei, auf den Spulenkörper gewickelt. Hierzu wurde die Zugspannung, bei der die Oxidschicht beginnt zu reißen, experimentell ermittelt, um die Zugspannung bei der Wicklung der Spule sicher drunter zu halten.

[0013] Alternativ zum Eloxaldraht wurde glasfaserummantelter Nickeldraht als Spulendraht untersucht, und zwar nicht als Magnetventilspule sondern in einem Experiment als Sende- und Empfangsspule jeweils auf einem Aluminiumsilikatpulenkörper. Auch dieser Spulenaufbau wurde erfolgreich bis zu der höchsten geforderten Umgebungstemperatur getestet. Der wesentliche höhere spezifische ohmsche Widerstand des Ni-Drahtes ist bekannt, im Vergleich zu Kupfer um 65% höher. Diese Situation ist durch entsprechende Spannungseinstellung kompensierbar, so dass der notwendige Magnetisierungsstrom durch die Spule zuverlässig getrieben werden kann.

[0014] Andere elektrisch leitende Metallmaterialien, wie Kupfer, Silber oder sonstige Leiterlegierungen, sind

als Spulendraht nicht ausgeschlossen. Sie werden anhand einer speziell gestellten Aufgabe als Spulendraht je nach dem in Betracht gezogen.

Patentansprüche

1. Elektromagnet, bestehend aus einem Solenoid, dessen Spulenkörper und die darauf aus einem elektrisch isolierten Draht aufgewickelte Spule aus temperaturbeständigen Material sind,
dadurch gekennzeichnet, dass:

der Elektromagnet ein Solenoid ist und bei Temperaturen bis zu 600° C in zwei Zustände, den magnetfelderzeugenden und den magnetfeldlosen, versetzbar ist,
der Spulenkörper aus:

einem nichtmagnetischen Metall oder aus Keramik oder aus Quarzglas ist und einen freien zentralen Durchgang hat,

der Spulendraht aus Eloxaldraht oder ein mit Glasseide ummantelter Metalldraht ist.

2. Elektromagnet nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Spulenkörper aus:

einem im Betriebstemperaturbereich formstabilen Edelstahl oder Messing oder einer Metalllegierung ist,
oder einer auf Silizium basierenden Keramik insbesondere Aluminiumsilikat oder Magnesiumsilikat ist,
oder einer Oxidkeramik insbesondere Aluminiumoxid ist.

3. Elektromagnet nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der lichte Querschnitt des freien zentralen Durchgangs durch den Spulenkörper rund ist und der Querschnittsrand an jeder Stelle einen von innen nach außen gerichteten Krümmungsradius hat
oder der lichte Querschnitt des freien zentralen Durchgangs polygonal, mindestens dreieckig ist und der Spulengrund in beiden Fällen um den freien zentralen Durchgang unter Wandbildung verläuft sowie rund ist und einen stets nach außen gerichteten Krümmungsradius hat,
wobei der kleinste Krümmungsradius mindestens gleich dem kleinsten zulässigen Biegeradius des auf den Spulengrund zu wickelnden Spulendrahtes ist.

4. Elektromagnet nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Spulenkörper zur räumlich beschränkten Führung des magnetischen Flusses zu-

sätzlich mit einer Hülse aus magnetisierbarem Material gekapselt sein kann.

5

10

15

20

25

30

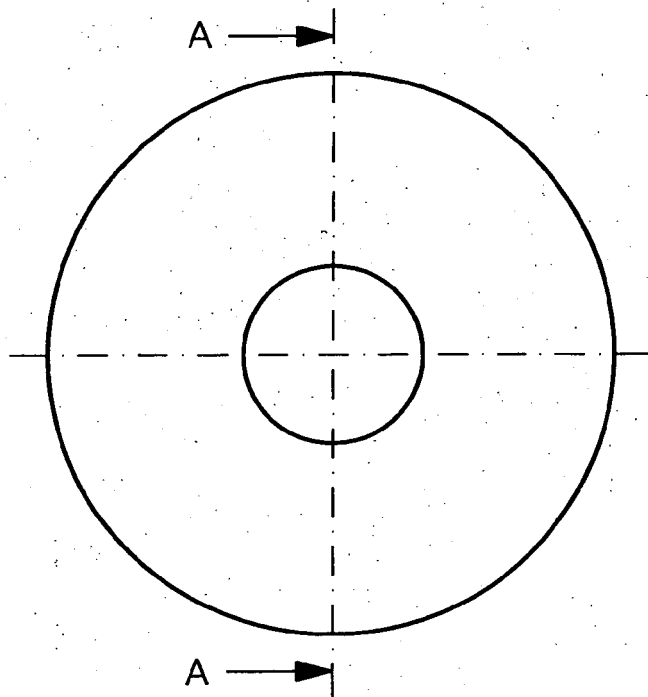
35

40

45

50

55



Schnitt A-A

