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

(11) **EP 2 107 953 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
10.11.2010 Patentblatt 2010/45

(21) Anmeldenummer: **07856575.1**

(22) Anmeldetag: **11.12.2007**

(51) Int Cl.:
B21D 26/02 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2007/010827

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/071396 (19.06.2008 Gazette 2008/25)

(54) **VERFAHREN ZUM HYDROFORMEN VON BAUTEILEN**

METHOD FOR HYDROFORMING COMPONENTS

PROCÉDÉ D'HYDROFORMAGE DE COMPOSANTS

(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 MT NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **13.12.2006 DE 102006060287**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
14.10.2009 Patentblatt 2009/42

(73) Patentinhaber: **Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg**
91054 Erlangen (DE)

(72) Erfinder: **SCHLÜCKER, Eberhard**
74182 Obersulm (DE)

(74) Vertreter: **Zeitler - Volpert - Kandlbinder**
Herrnstrasse 44
80539 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 930 109
DE-A1- 10 240 876
DE-A1- 19 907 018
US-B1- 6 264 880

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 2 107 953 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Hydroformen von Bauteilen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Unter dem Begriff "Hydroformen" (engl.: hydroforming) werden verschiedene Verfahren der wirkmedienbasierten Umformung verstanden, Verfahren also, bei denen flüssige Medien, wie Wasser und Öl, die Funktion der krafteinleitenden Komponente übernehmen. Zu den gängigsten Verfahren des Hydroformens gehören das Hochdruck-Umformen, das hydrostatische Streck-Umformen sowie das hydromechanische Tiefziehen.

[0003] Mit Hilfe dieser Verfahren lassen sich Bauteile herstellen, die gegenüber konventionell gefertigten Bauteilen verbesserte mechanische Eigenschaften, ein geringeres Gewicht sowie eine komplexere Struktur aufweisen.

[0004] Während die guten mechanischen Eigenschaften, z.B. die höhere Steifigkeit und Festigkeit, aus der Art der Krafteinleitung in das Werkstück während der Umformung resultieren, ermöglich es der Wegfall von Schweißflanschen Material und damit auch Gewicht einzusparen. Auf Grund der genannten Vorteile gewinnt das Hydroformen beispielsweise im Automobilbau zunehmend an Bedeutung, da es besonders hier ein stetes Optimierungsziel ist, Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen zu reduzieren, die Sicherheit für den Fahrgast zu erhöhen oder den verfügbaren Nutzraum zu vergrößern.

[0005] Im Speziellen ist somit Hydroformen eine Technik, bei der das zu formende Bauteil mit Hilfe einer Flüssigkeit (auch Druckfluid) gegen ein Werkzeug gepresst wird. Der Vorteil hiervon besteht darin, dass mit einem teilbaren Werkzeug ein Produkt mit einer einheitlichen Form erzeugt werden kann. Außerdem ist es möglich, durch Hydroformen komplexe Formen zu realisieren. Ein Beispiel dafür ist der Übergang von rund zu eckig oder zu anderen Formen. Auch eine Kombination mehrerer Formen gehört in den Bereich der Möglichkeiten. Gleichzeitig kann man schärfere Ecken und höhere Maßhaltigkeit erreichen, abhängig von Flüssigkeitsdruck, der beispielsweise etwa 2.000 bis 4000 bar aber auch mehr betragen kann.

[0006] Hydroformen ist somit ein mittlerweile in vielen Branchen etablierter Herstellprozess für kompliziert geformte Bauteile, beispielsweise im Automobilbau bei der Herstellung von Nockenwellen aus rohrähnlichen Werkstücken. Bei diesen Verfahren wird das Werkstück dicht in ein teilbares Werkzeug eingespannt und mit einem als Druckübertragungsmittel dienenden Druckfluid solange belastet, bis sich die gewünschte Form durch Fließen des Werkstoffes einstellt. Der für diese Prozesse notwendige Druck wird in der Regel mit Kolbenpumpen erzeugt und resultiert aus den Werkstoffeigenschaften des jeweils zu verarbeiteten Metalls bei den gewählten Umgebungsbedingungen. Da in der Regel Stahlbleche oder Stahlprofile (z.B. Rohre) als Rohmaterial verwendet werden, sind für das Hydroformen komplizierter Bauteile bis zu 4000 bar notwendig. Die Beanspruchungen des Druckerzeugers sowie der Werkzeuge auf diesem Druckniveau sind beträchtlich und führen zu massiven kostenintensiven Konstruktionen und einer vergleichsweise hohen Ausfall- bzw. Schadenswahrscheinlichkeit.

[0007] Zur Absenkung des erforderlichen Druckes werden daher die Bauteile vermehrt auch im warmen Zustand - d.h. mit einer heißen Druckflüssigkeit - hergestellt. Eine typische Druckflüssigkeit für solche Anwendungen ist das Thermoöl Marlotherm®, das bis etwa 300°C verwendet werden kann. Für viele Anwendungen der Zukunft ist diese Temperatur aber immer noch nicht hoch genug, da die Materialfestigkeit bei dieser Temperatur noch nicht wesentlich kleiner ist.

[0008] Aus diesem Grund ist schon in Erwägung gezogen worden, Gase als Druckfluid einzusetzen (EP 0 930 109 A, DE 199 07 018 A1, DE 102 40 876 A1). Der Nachteil hierbei ist jedoch, dass die Kompressionsleistung für diese Art von Fluid sehr viel größer ist als die bisher aufgebrachte Pumpenleistung und dass Kompressordimensionen nötig sind, die bisher noch nicht auf dem Markt erhältlich sind. Außerdem würde der Formprozess mehr Zeit beanspruchen. Als einziger Vorteil verbleibt damit die hohe erreichbare Temperatur, die jedoch mit einigen gravierenden Nachteilen erkauft wird.

[0009] Bei einem weiteren bekannten Verfahren zum Hydroformen von Bauteilen (US 6,264,880 B1) kann ein zu verformendes Werkstück in ein teilbares Werkzeug eingelegt und mittels Druckgas zu einem Produkt mit der gewünschten Gestalt geformt werden. Hierbei wird das Druckgas durch Erhitzen einer fluidbildenden Zusammensetzung erzeugt, die in einem mit dem Inneren des zu formenden Bauteils verbundenen Behälter angeordnet wird. Durch das Erhitzen dieser fluidbildenden Zusammensetzung wird das zum Verformen des Bauteils erforderliche Druckgas erzeugt, wobei gleichzeitig auch das Werkstück erhitzt wird. Als fluidbildende bzw. gasbildende Zusammensetzung kann hierbei u.a. auch Lithiumnitrat, Kaliumnitrat usw. zur Anwendung gelangen, d.h. also solche Zusammensetzungen, die beim Erhitzen in den gasförmigen Zustand übergehen. Somit macht sich dieses bekannte Hydroformverfahren lediglich indirekte Eigenschaften der genannten fluidbildenden Zusammensetzungen zu Nutze, um Druckgas zu erzeugen.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, zur Vermeidung der geschilderten Nachteile ein verbessertes Verfahren zum Hydroformen von Bauteilen zu schaffen. Die Merkmale der zur Lösung dieser Aufgabe geschaffenen Erfindung ergeben sich aus Anspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen hiervon sind in den weiteren Ansprüchen beschrieben.

[0011] Bei dem Verfahren zum Hydroformen von Bauteilen, bei dem ein zu verformendes Werkstück in ein teilbares Werkzeug eingelegt und unter Anwendung von Druck auf ein als Druckübertragungsmittel dienendes Druckfluid zu einem Produkt mit der gewünschten Gestalt geformt wird, ist erfindungsgemäß vorgesehen,

dass als Druckfluid eine ionische Flüssigkeit verwendet wird, die eine hohe Temperaturbeständigkeit bis mindestens 550°C aufweist und aus einer organischen ionischen Flüssigkeit oder einer anorganischen ionischen Flüssigkeit oder aber aus einer Mischung aus diesen beiden Flüssigkeiten besteht.

[0012] Die erfindungsgemäß als Druckfluid zu verwendenden ionischen Flüssigkeiten sind derzeit bis mindestens 550° C verwendbar. Hierbei besteht eine typische Mischung aus Lithiumnitrat, Kaliumnitrat, Nitrit und Resten anderer Inhaltsstoffe. Es können aber auch mit noch zu schaffenden ionischen Flüssigkeiten anderer Art höhere Temperaturen erreicht werden. Ein weiterer Vorteil der Gruppe der ionischen Flüssigkeiten ist ihre chemische Inertheit, so dass kaum Angriffe auf Werkstoffe zu befürchten sind. Außerdem reduziert sich auf Grund des extrem niedrigen Dampfdruckes die Geruchsbelastung im Fertigungsumfeld und sorgt somit auch für weniger Druckflüssigkeitsverlust durch Verdampfung.

[0013] Neben der hohen Temperaturbeständigkeit ist gleichermaßen von Bedeutung die bei den ionischen Flüssigkeiten bereits nachgewiesene Drucksteifigkeit. Hierbei haben Untersuchungen mit verschiedenen Flüssigkeiten deutlich geringere Kompressibilitäten als die von Wasser gezeigt, wobei Öl ungefähr die doppelte Kompressibilität wie Wasser aufweist. Damit ist in vorteilhafter Weise eine Reduktion der Kompressibilität auf etwa 30 % möglich. Der Vorteil dieser Eigenschaft liegt in der Reduktion der Förderleistung bei 4000 bar um etwa 30 %.

[0014] Fig. 1 zeigt hierbei in einer Tabelle einen deutlichen Vergleich der Kompressibilität und des Volumenverlustes pro 100 bar bei Wasser sowie einigen organischen ionischen Flüssigkeiten. Die in dieser Tabelle aufgeführten Werte wurden bei Drücken bis 2000 bar und 200°C Gleichzeitigkeitsbelastung geprüft, wobei diese organischen ionischen Flüssigkeiten als stabil erkannt wurden.

[0015] Wie dargelegt, ist es erfindungsgemäß auch möglich, anstelle dieser organischen ionischen Flüssigkeiten auch anorganische ionische Flüssigkeiten (bzw. Mischungen hiervon) anzuwenden, die ebenfalls die beschriebenen Vorteile zeigen.

[0016] Erfindungsgemäß kann das Hydroform-Verfahren auch über einen gesteuerten Prozess betrieben werden, und zwar mit Temperaturen über der Grenztemperatur, z.B. 300 oder auch 550° C, wobei aber unter Atmosphärendruck die vorgenannte Grenztemperatur nicht überschritten wird.

[0017] Lediglich des Verständnisses halber sei an dieser Stelle dargelegt, dass die erfindungsgemäß zu verwendenden ionischen Flüssigkeiten (engl.: Ionic Liquids = IL) Flüssigkeiten sind, die ausschließlich Ionen enthalten. Es handelt sich also um flüssige Salze, ohne dass das Salz dabei in einem Lösungsmittel wie Wasser gelöst ist. Es sollen also unter ionischen Flüssigkeiten solche Substanzen verstanden werden, die aus Kationen und Anionen bestehen. Hierbei sind auch Mischungen von mehreren Kationen und Anionen möglich. Die ionischen Flüssigkeiten haben in ihrer Reinform, die durch die Abwesenheit von nichtionischen Bestandteilen gekennzeichnet ist, einen Schmelzpunkt von unter 100° C, vorzugsweise sogar unterhalb von 25° C.

[0018] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist es möglich, dass man die als Druckfluid verwendete ionische Flüssigkeit indirekt auf das zu formende Bauteil über Gas einwirken lässt, das zuerst in das Bauteil und/oder in einen davor befindlichen Raum eingefüllt wurde.

[0019] Hierbei kann vorgesehen sein, das Gas mit Hilfe eines aus ionischer Flüssigkeit gebildeten Flüssigkeitskolbens zu komprimieren.

[0020] Weitere Vorteile ergeben sich, wenn das zu formende Bauteil vor der Beaufschlagung mit dem durch die ionische Flüssigkeit komprimierten Gas vorgewärmt wird.

[0021] Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass man die ionische Flüssigkeit auf das Gas über ein dazwischen angeordnetes Zwischenmittel einwirken lässt. Hierbei kann als Zwischenmittel entweder eine Vorlageplatte und/oder eine weitere Flüssigkeit verwendet werden, die auf der ionischen Flüssigkeit schwimmt.

[0022] Füllt man das zu formende Bauteil - und ggf. auch noch einen davor befindlichen Raum, eine Kammer oder ein Rohrsystem - zuerst mit Gas, ggf. bereits mit einem bestimmten Druck, und komprimiert sodann dieses Gas mittels eines aus ionischen Flüssigkeiten gebildeten Flüssigkolbens, so wird durch die Kompression das Gas und damit auch das Bauteil erwärmt. Die ionische Flüssigkeit erfährt an der Grenzfläche zum Gas dieselbe Temperatur bzw. durch die Wärmeaufnahme in der ionischen Flüssigkeit eine etwas geringere Temperatur. Hierbei ist von Bedeutung, dass viele ionische Flüssigkeiten wenig Gas aufnehmen.

[0023] Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, dass lediglich durch das technisch relativ einfach Pumpen der ionischen Flüssigkeit das Gas verdichtet werden kann. Die für das Pumpen erforderliche Maschinentechnik ist bereits verfügbar, wobei der Energiebedarf für derartige Maschinen deutlich kleiner ist als bei der Arbeit mit reinem Gas als Druckmedium.

[0024] Es liegt außerdem im Rahmen der Erfindung, das Bauteil vorzuwärmen und sodann mit Gas zu deformieren, das mit einem aus ionischer Flüssigkeit gebildeten Flüssigkolben komprimiert wird. Das Gas wird in diesem Fall wegen der geringeren Wärmekapazität nur wenig kühlend wirken, so dass damit das Bauteil seine hohe Vonrvärmtemperatur weitgehend beibehalten wird.

[0025] Wie schon dargelegt, ist es außerdem möglich, dass der Flüssigkolben auch mit einer Vorlageplatte, die dem Wärme- und Diffusionsschutz dient, oder einer weiteren Flüssigkeit ergänzt wird, die auf der als Druckfluid dienenden ionischen Flüssigkeit schwimmt.

[0026] Die ionische Flüssigkeit kann schließlich bei entsprechender Gestaltung der Hydroform-Anlage in der Pumpe eine andere (niedrigere) Temperatur haben als im Kontaktbereich zum Gas.

[0027] Wie aus Fig. 2 ersichtlich, sind dort einige Fördergradkurven in Abhängigkeit vom Förderdruck dargestellt, wobei deutlich ersichtlich ist, dass die Anwendung einer ionischen Flüssigkeit (IL) als Hydraulikflüssigkeit einen deutlich höheren Fördergrad erzielt als dies bei klassischen Hydraulikflüssigkeiten der Fall ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Hydroformen von Bauteilen, bei dem ein zu verformendes Werkstück in ein teilbares Werkzeug eingelegt und unter Anwendung von Druck auf ein als Druckübertragungsmittel dienendes Druckfluid zu einem Produkt mit der gewünschten Gestalt geformt wird,
dadurch gekennzeichnet, dass als Druckfluid beim Hydroformen eine ionische Flüssigkeit verwendet wird, die eine hohe Temperaturbeständigkeit bis mindestens 550°C aufweist und aus einer organischen ionischen Flüssigkeit oder einer anorganischen ionischen Flüssigkeit oder einer Mischung hieraus besteht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** man die als Druckfluid verwendete ionische Flüssigkeit indirekt auf das zu formende Bauteil über Gas einwirken lässt, das zuerst in das Bauteil und/oder in einen davor befindlichen Raum eingefüllt wurde.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gas durch einen aus ionischer Flüssigkeit gebildeten Flüssigkeitskolben komprimiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zu formende Bauteil vor der Beaufschlagung mit dem durch die ionische Flüssigkeit komprimierten Gas vorgewärmt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** man die ionische Flüssigkeit auf das Gas über ein dazwischen angeordnetes Zwischenmittel einwirken lässt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Zwischenmittel eine Vorlageplatte verwendet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Zwischenmittel eine weitere Flüssigkeit verwendet wird, die auf der ionischen Flüssigkeit schwimmt.

Claims

1. Method for hydroforming components, in which a workpiece to be formed is placed in a separable mould and is formed into a product of the desired configuration by the application of pressure to a fluid for pressure which acts as a means of transmitting pressure, **characterised in that** what is used as the fluid for pressure in the hydroforming is an ionic liquid which has a high temperature resistance of up to at least 550°C and which comprises an organic ionic liquid or an inorganic ionic liquid or a mixture thereof.

2. Method according to claim 1, **characterised in that** the ionic liquid which is used as the fluid for pressure is caused to act on the component to be formed indirectly via a gas with which the component, and/or a space situated in front of the component, is first filled.

3. Method according to claim 2, **characterised in that** the gas is compressed by a piston of liquid formed from ionic liquid.

4. Method according to claim 2 or 3, **characterised in that** the component to be formed is pre-heated before having the gas compressed by the ionic liquid applied to it.

5. Method according to one of claims 2 to 4, **characterised in that** the ionic liquid is caused to act on the gas via an intermediate means arranged between the two.

6. Method according to claim 5, **characterised in that** an insert plate is used as the intermediate means.

7. Method according to claim 5, **characterised in that** a further liquid, which floats on the ionic liquid, is used as the intermediate means.

Revendications

1. Procédé pour l'hydroformage de composants, dans lequel une pièce à oeuvrer qu'il s'agit de déformer est mise en place dans un outil séparable et est mise en forme, pour donner un produit avec la configuration souhaitée, en utilisant la pression d'un fluide sous pression servant de moyen de transmission de pression,
caractérisé en ce que l'on utilise à titre de fluide sous pression lors de l'hydroformage un liquide ionique qui présente une haute résistance à la température jusqu'à au moins 550°C et qui est constitué par un liquide ionique organique ou par un liquide ionique inorganique ou encore un mélange de ceux-ci.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on laisse agir le liquide ionique utilisé à titre de fluide sous pression indirectement sur le composant qu'il s'agit de former par l'intermédiaire d'un gaz qui à été tout d'abord rempli dans le composant et/ou dans un compartiment qui se trouve devant celui-ci.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le gaz est comprimé par un piston liquide formé par un liquide ionique.

4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le composant à former est préchauffé avant d'être soumis au gaz comprimé par le liquide ionique.

5. Procédé selon l'une des revendications 2 à 4, **caractérisé en ce que** l'on laisse agir le liquide ionique sur le gaz via un moyen intermédiaire agencé entre eux.

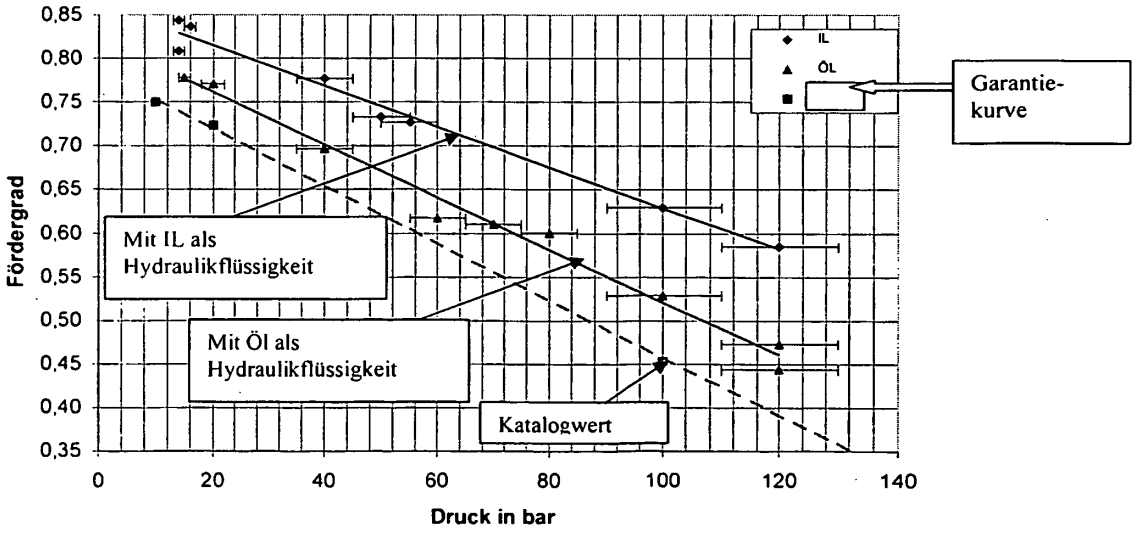
6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'on utilise une plaque préliminaire à titre de moyen intermédiaire.

7. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'on utilise à titre de moyen intermédiaire un autre liquide qui flotte sur le liquide ionique.

Medium	K [Pa^{-1}]	Vol.-verlust pro 100 bar
Wasser	$5 \cdot 10^{-10}$	0,5 %
[EMIM] [$EtSO_4$]	$3,4 \cdot 10^{-10}$	0,34 %
[EMIM] [$MeSO_3$]	$3,1 \cdot 10^{-10}$	0,31 %
[BMIM] [BTA]	$4 \cdot 10^{-10}$	0,4 %
[BMMIM] [BTA]	$4,5 \cdot 10^{-10}$	0,45 %
[OMA] [BTA]	$5 \cdot 10^{-10}$	0,5 %
[MMIM] [Me_2PO_4]	$3,2 \cdot 10^{-10}$	0,32 %

Vergleich der Kompressibilität und des Volumenwertes einiger organischer ionischer Flüssigkeiten mit Wasser pro 100 bar

Fig. 1



Fördergradkurven einer Membranpumpe in Abhängigkeit vom Förderdruck

Fig. 2

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

- EP 0930109 A **[0008]**
- DE 19907018 A1 **[0008]**
- DE 10240876 A1 **[0008]**
- US 6264880 B1 **[0009]**