

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 734 135 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
20.12.2006 Patentblatt 2006/51

(51) Int Cl.:
C21D 1/673^(2006.01) C21D 8/00^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06011169.7**

(22) Anmeldetag: **08.06.2006**

(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

(71) Anmelder: **Benteler Automobiltechnik GmbH
33102 Paderborn (DE)**

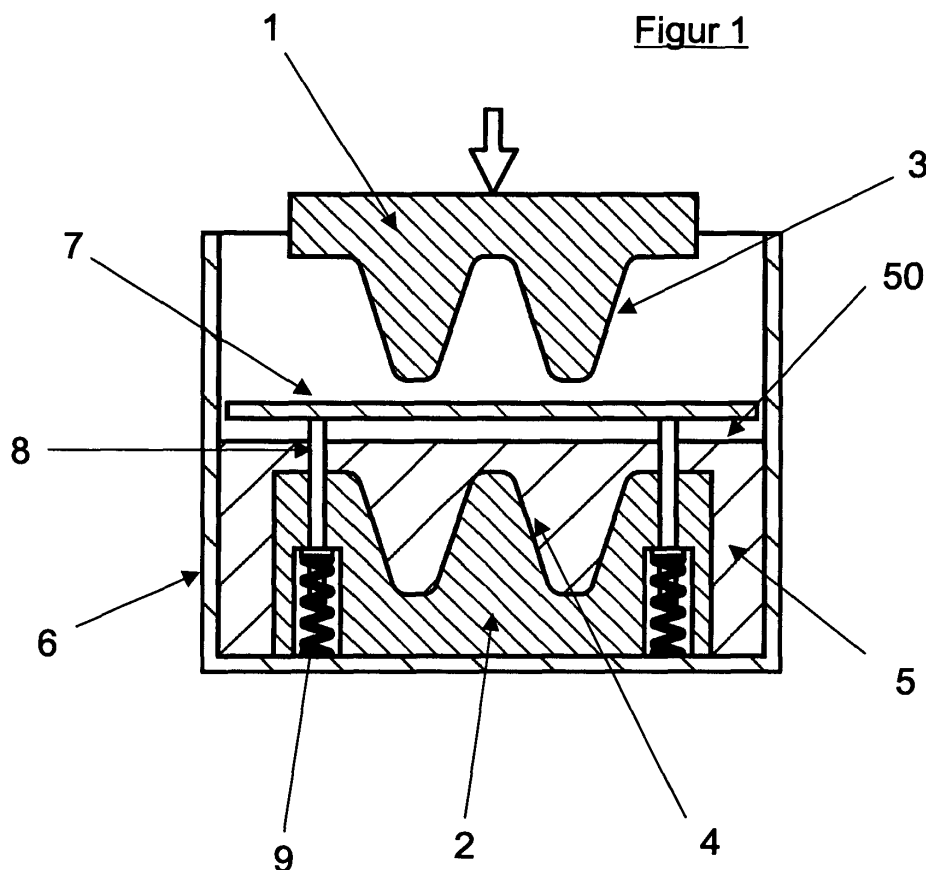
(72) Erfinder:
• **Knaup, Hans-Jürgen
33175 Bad Lippspringe (DE)**
• **Hielscher, Christian, Dr.
33129 Delbrück (DE)**

(30) Priorität: **16.06.2005 DE 10528010**

(54) **Verfahren und Presse zum Warmformen und Härten von Werkstücken aus Stahl**

(57) Vorgeschlagen wird ein Verfahren und eine Presse zum Warmformen und Preßhärten eines hochfesten Bauteils 7. Erfindungsgemäß befindet sich das untere Werkzeug 2 der Presse innerhalb eines Flüssigkeitsbades 5. Dabei können sowohl Teile 40, 41 der Formgeometrie als auch die gesamte Formgeometrie 4 unterhalb des Flüssigkeitsspiegels 50 liegen. Das warmzuformende und zu härtende Bauteil wird oberhalb des Flüssigkeitsspiegels 50 beispielsweise auf Halterungen 8 aufgelegt und beim Zufahren der Presse durch das obere Werkzeug 1 in das Flüssigkeitsbad 5 eingetaucht und in das untere Werkzeug 2 tiefgezogen. Dadurch werden die üblichen Haltezeiten stark verkürzt, was unter anderem einen Einsatz mechanischer Pressen ermöglicht.

mende und zu härtende Bauteil wird oberhalb des Flüssigkeitsspiegels 50 beispielsweise auf Halterungen 8 aufgelegt und beim Zufahren der Presse durch das obere Werkzeug 1 in das Flüssigkeitsbad 5 eingetaucht und in das untere Werkzeug 2 tiefgezogen. Dadurch werden die üblichen Haltezeiten stark verkürzt, was unter anderem einen Einsatz mechanischer Pressen ermöglicht.



EP 1 734 135 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Formen und Härten eines auf über AC_3 erwärmten Werkstücks aus Stahl in einer Presse mit einem oberen und einem unteren Werkzeug mit einer Formgeometrie und eine entsprechende Presse.

[0002] Aus der DE 24 52 486 C2 ist ein Verfahren zum Pressformen und Härten eines Stahlblechs mit geringer Materialdicke und guter Maßhaltigkeit bekannt, bei dem das Stahlblech auf eine Temperatur über AC_3 erwärmt wird, danach in weniger als 5 Sekunden in die endgültige Form zwischen zwei indirekt gekühlten Werkzeugen unter wesentlicher Formveränderung gepresst wird und unter Verbleiben in der Presse einer Schnellkühlung so unterzogen wird, dass ein martensitisches und/ oder bainitisches feinkörniges Gefüge erzielt wird. Ein auf diese Weise hergestelltes Warmformteil wird im Fahrzeugbau beispielsweise für Struktur- und Sicherheitsteile wie Stoßfänger und B-Säulen eingesetzt.

[0003] Zur Zeit werden zum Warmformen und Presshärten handelsübliche hydraulische Pressen verwendet, die für diese spezielle Aufgabe modifiziert und angepasst sind. Wie bereits in der DE 24 52 486 C2 erwähnt werden die Werkzeuge indirekt gekühlt. Zu diesem Zweck befinden sich mit etwa 5 mm Abstand unter der Werkzeugoberfläche entlang der Werkzeuginnenseite mit der vorgegebenen Bauteilkontur Kühlkanäle. Durch diese Kühlkanäle fließt ein Kühlmedium, häufig Wasser, dass die von dem warmen Bauteil an das Werkzeug abgegebene Wärme nach außen abführt. Die Kühlkanäle werden in das Werkzeug gebohrt. Das Einbringen der Bohrungen kann insbesondere bei einer nicht-linearen Form nur abschnittsweise erfolgen, da die Bohrungen immer nur linear ausgeführt werden können. Bei einer gekrümmten und/ oder komplizierten Bauteilform wird das Werkzeug daher in viele Einzelsegmente unterteilt, in denen abschnittsweise ein Kühlkanal eingebracht wird, der dann wiederum mit den anderen Abschnitten durch eine weitere Bohrung verbunden oder nach außen geführt werden muss. Folglich ist die Herstellung der indirekt gekühlten Werkzeuge aufwändig und teuer. Hinzu kommt, dass im Werkzeug während des Betriebs immer wieder durch Spannungsrisse verursachte Undichtigkeiten auftreten, bei denen Kühlflüssigkeit aus den Kühlkanälen austritt und verdampft. Die Werkzeuge müssen daher fortlaufend repariert werden, wodurch es immer wieder zu Stillstandzeiten in der Fertigung kommt.

[0004] Aus der EP 1 191 111 A1 ist ein Verfahren zum Härten von flachen Metallbauteilen bekannt, das folgende Verfahrensschritte umfasst: Erwärmung wenigstens eines Metallbauteils, Förderung der Bauteile entlang eines Förderweges, Förderung der Bauteile zwischen eine untere und eine obere Presseinrichtung, Annäherung der Presseinrichtungen zueinander bis sich Teile der Presseinrichtungen berühren, während sich gleichzeitig die Bauteile in der Presseinrichtung befinden, Kühlen der Bauteile in einer Kühlflüssigkeit, Abgeben und Weiterför-

dern der Bauteile aus der Presseinrichtung heraus, wobei sich eine der Presseinrichtungen vertikal durch den Förderweg bewegt, wenn die Bauteile jeweils zurückgehalten oder abgegeben werden. Zudem wird offenbart, dass sowohl der Förderweg zwischen den Presseinrichtungen als auch die Presseinrichtung und die Objekte selbst in die Kühlflüssigkeit abgesenkt werden, während die Presseinrichtungen die Bauteile halten. Die EP 1 191 111 A1 beschäftigt sich jedoch nur mit der Massenhärtung von flachen Metallbauteilen, die keine Formänderung erfahren, sondern lediglich eingespannt werden, um sich während der Härtung nicht zu verziehen. Eine Formgebung durch die Presseinrichtung der EP 1 191 111 A1 ist nicht vorgesehen.

[0005] Aus der DE 26 03 618 A1 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Wärmebehandlung von Stahl bekannt, bei dem eine Presse eingesetzt wird, die Formbacken besitzt, in deren Flächen konzentrische Ringnuten eingebracht sind, in die mit Abstand aufeinanderfolgend durch die Formbacken hindurchgeführte Kanäle münden. Durch diese Kanäle hindurch wird eine Kühlflüssigkeit bis in die Ringnuten zum direkten Kontakt mit einem zu härtenden eingeklemmten Werkstück geführt. Auf diese Weise soll eine gleichmäßige Härtung sichergestellt werden. Dieses Verfahren zeichnet sich durch eine relativ lange Prozessdauer und eine aufwändige Werkzeugwartung aus.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es daher, die Herstellung eines warmgeformten und in einem Werkzeug gehärteten Bauteils zu vereinfachen und die Prozessgeschwindigkeit zu erhöhen.

[0007] Diese Aufgabe löst die Erfindung mit den Merkmalen des kennzeichnenden Teils von Anspruch 1. Demnach wird ein Verfahren zum Formen und Härten eines auf über AC_3 erwärmten Werkstücks aus Stahl in einer Presse mit einem oberen und einem unteren Werkzeug mit einer Formgeometrie vorgeschlagen, bei dem sich das untere Werkzeug der Presse in einem Flüssigkeitsbad befindet. Das auf über AC_3 erwärmte Werkstück wird oberhalb des Flüssigkeitsspiegels in die Presse eingelegt. Bei dem Werkstück kann es sich sowohl um eine Platine als auch um ein vorgeformtes Bauteil handeln. Das obere Werkzeug verfährt sodann in Richtung des unteren Werkzeugs und taucht dabei das Werkstück in das Flüssigkeitsbad ein. In dem Flüssigkeitsbad befindet sich eine Kühlflüssigkeit zum Abschrecken des Werkstücks. Durch den Kontakt mit der Flüssigkeit setzt sofort der Härteprozess ein, der jedoch erst dann abgeschlossen ist, wenn das Werkstück seine Endform entsprechend der durch die Werkzeuge vorgegebenen Formgeometrie erreicht hat. Folglich findet sowohl ein Formen als auch ein Härten des Werkstücks beim Zufahren des oberen Werkzeugs auf das untere Werkzeug statt.

[0008] Bisher musste das zu härtende Werkstück über eine gewisse Haltezeit in der geschlossenen Presse verbleiben, bis sich die gewünschte Martensitstruktur und die benötigte Bauteilfestigkeit eingestellt hatte. Die erfindungsgemäße Methode reduziert die notwendigen Hal-

tezeiten so sehr, dass eine Fertigung der für dieses Verfahren geeigneten Bauteile im Dauerhub unter mechanischen Pressen möglich wird. Mit dem ersten Kontakt des oberen Werkzeugs am Werkstück setzt der Härteprozess ein. Das Werkstück wird mit einer zunehmenden Formänderung in die Flüssigkeit eingetaucht, gleichzeitig beschleunigt sich der Härteprozess rasant. Dennoch ist der Formänderungswiderstand des Bauteils noch klein genug, um es zwischen den beiden Werkzeughälften entsprechend der Formgeometrie tiefzuziehen. Im Idealfall ist die Härtung gleichzeitig mit dem Tiefziehvorgang abgeschlossen, so dass die Presse im unteren Totpunkt sofort wieder öffnen kann.

[0009] Der Gradient der Abkühlung, also die Abkühlgeschwindigkeit des Werkstücks, lässt sich über die Eigenschaften der Flüssigkeit, die Umformgeschwindigkeit und insbesondere auch über die Höhe des Flüssigkeitsspiegels einstellen. Legt das Werkstück einen kürzeren Weg durch die Flüssigkeit zurück oder durchläuft es die Flüssigkeit schneller, sind höhere Umformgrade erreichbar. Welche Werkstücke mit dem erfindungsgemäßen Verfahren tiefgezogen und gehärtet werden können, hängt sowohl von der Geometrie des Werkstücks als auch von dem Werkstoff ab. Härtet der Werkstoff zu schnell und/ oder ist die Formänderung zu komplex, kann das Werkstück während des Tiefziehvorgangs reißen.

[0010] Als Kühlflüssigkeit eignet sich zum Beispiel Wasser. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann der Umformprozess durch die Zugabe eines Schmiermittels in das Flüssigkeitsbad verbessert werden. Als Schmiermittelzusatz kann zum Beispiel Graphit oder ein graphitfreier, wassermischbarer Gesenkschmierstoff benutzt werden, der derzeit bereits für Schmiedeteile eingesetzt wird. Durch das Schmiermittel wird die Umformung des Werkstücks unterstützt und der Werkzeugverschleiß reduziert.

[0011] In einer besonderen Ausführungsform ist das untere Werkzeug der Presse nur teilweise in das Flüssigkeitsbad eingetaucht. Teile der Formgeometrie liegen oberhalb des Flüssigkeitsspiegels. Unter Umständen kann das zu formende Werkstück direkt auf die aus der Flüssigkeit ragenden Teile der Formgeometrie aufgelegt werden. Während des Tiefziehvorgangs werden innerhalb der Formgeometrie befindliche Flüssigkeitsanteile verdrängt, so dass das Werkstück durch den Verdrängungsprozess nahezu vollständig mit der Flüssigkeit in Kontakt kommt.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich besonders zum Tiefziehen und Härten eines Werkstoffes, der sich in Gewichtsprozent ausgedrückt zusammensetzt aus

Kohlenstoff (C)	0,18 % bis 0,3 %
Silizium (Si)	0,1 % bis 0,7 %
Mangan (Mn)	1,0 % bis 2,5 %
Phosphor (P)	maximal 0,025 %
Chrom (Cr)	bis 0,8 %

(fortgesetzt)

Molybdän (Mo)	bis 0,5 %
Schwefel (S)	maximal 0,01 %
Titan (Ti)	0,02 % bis 0,05 %
Bor (B)	0,0015 % bis 0,005 %
Aluminium (Al)	0,01 % bis 0,06 %

[0013] Rest Eisen einschließlich erschmelzungsbedingter Verunreinigungen. Dieser Werkstoff lässt sich gut in einer Flüssigkeit härten und besitzt nach dem Warmumformen und Härten eine Streckgrenze $R_{P0,2} \geq 950$ MPa, eine Zugfestigkeit $R_m \geq 1350$ MPa und eine Dehnung $A_5 > 6$ %. Insbesondere härtet er auch in einer Flüssigkeit langsam genug, um ihn während des Härtevorgangs tiefzuziehen.

[0014] Versuche haben ergeben, dass ein auf etwa 950° erwärmtes Werkstück aus dem zuvor genannten Material mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bei einer Haltezeit im unteren Totpunkt der Presse von weniger als 1 Sekunde Härten von über 500 HV30 aufweist und ausreichend geformt werden konnte. Sollte die Härte oberhalb eines geforderten Limits liegen, kann sie mit einem anschließenden Glühprozess auf ein gewünschtes niedrigeres Niveau eingependelt werden. Letztlich kann die Härte und eine Restdehnung auch über die Temperatur des Werkstücks zu Beginn des erfindungsgemäßen Verfahrens eingestellt werden. Entscheidend ist, dass das erfindungsgemäße Umform- und Härteverfahren mit einer höheren Taktgeschwindigkeit ablaufen kann als bisher.

[0015] Eine erfindungsgemäße Presse zum Durchführen des Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass sich das untere Werkzeug der Presse in einem Flüssigkeitsbad befindet, wobei die Formgeometrie zumindest teilweise unterhalb eines Flüssigkeitsspiegels liegt. Das obere Werkzeug ist sowohl oberhalb als auch unterhalb der Flüssigkeit verfahrbar, so dass ein Werkstück im geöffneten Zustand der Presse oberhalb des Flüssigkeitsspiegels eingelegt werden kann. Mindestens das untere Werkzeug muss keine inneren Kühlkanäle, Freimachungen oder ähnliches mehr aufweisen. Je nach Pressenkonfiguration gilt dies auch für das obere Werkzeug. Insbesondere in Bezug auf störanfällige und teure Kühlkanäle sind die Werkzeuge mindestens teilweise wartungsfrei. Die Werkzeuge lassen sich außerdem einfacher und billiger herstellen, weil eine aufwändige Technik entfällt. Mangels Freimachungen tritt auch keine Schwächung des Werkzeugs auf. Allerdings kann es je nach Formgeometrie notwendig sein, Bohrungen in eines der Werkzeuge einzubringen, damit Flüssigkeit ablaufen kann, falls bei der Schliessbewegung der Werkzeuge 1 und 2 geschlossene Kammern entstehen, aus denen die Flüssigkeit ansonsten nicht entweichen könnte. Die Presse ist nach Bedarf mit bekannten Elementen wie Niederhaltern, voreilenden Schwertern, Anschlägen, Auswerfern und so weiter versehen. Das Be- und Entladen der Pres-

se mit Werkstücken ist daher einfach. Die Taktgeschwindigkeit, mit der gehärtete, maßgetreue Werkstücke hergestellt werden können, ist relativ hoch.

[0016] Nachfolgend ist die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Umformeinrichtung.

Figur 2 zeigt schematisch eine besondere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Umformeinrichtung.

Figur 3 zeigt die Ausführungsform aus Figur 2 mit Verdrängungselementen 90, 91.

[0017] In Figur 1 ist die Presse selbst nicht näher dargestellt. Zu sehen sind zwei Gesenkhälften oder Werkzeuge 1, 2 mit einer Formgeometrie 3, 4. Die untere Werkzeughälfte 2 ist so in einen mit einer geeigneten Kühl- und/ oder Schmierflüssigkeit 5 gefüllten Behälter 6 eingebaut, dass die untere Formgeometrie 4 vollständig unterhalb des Flüssigkeitsspiegels 50 liegt. Ein austenitisiertes Werkstück 7, in diesem Fall eine Platine 7, liegt oberhalb des Flüssigkeitsspiegels 50 auf speziellen Auflagen 8, die auf nachgiebigen Elementen 9, in diesem Fall Federn 9, gelagert sind. Beim Zufahren des oberen Werkzeugs 1 wird die Platine 7 von der Formgeometrie 3 erfasst und in die Flüssigkeit 5 eingetaucht. Sofort setzt eine Härtung der Platine 7 ein. Die Auflagen 8 werden in Richtung untere Gesenkhälfte 2 auf den Federn 9 gedrückt, bis sich beide Werkzeughälften 1, 2 geschlossen haben und das Werkstück 7 ausgeformt und gehärtet ist. Das Werkstück 7 kann der Presse maßgetreu entnommen werden. Mit einer optimalen Einstellung der Prozessparameter in Bezug auf die Härtegeschwindigkeit und die Bedingungen des Tiefziehvorgangs kann die Presse im Dauerhub arbeiten. Dies beschleunigt den gesamten Prozess und ermöglicht, falls gewünscht, den Einsatz mechanischer Pressen.

[0018] In Figur 2 befindet sich das untere Werkzeug 2 nur teilweise im Flüssigkeitsbad 5. Teile 41 liegen unterhalb des Flüssigkeitsspiegels 50 und andere Teile 40 liegen oberhalb des Flüssigkeitsspiegels 50. Die Platine 7 liegt direkt auf dem unteren Werkzeug 2 auf, wobei die Platine 7 noch keinen Kontakt zu der Flüssigkeit 5 hat. Beim Zufahren des oberen Werkzeugs 1 in Richtung unteres Werkzeug 2 wird die Platine 7 in die Ausnehmungen 80 und 81 tiefgezogen. Dabei wird die in den Ausnehmungen 80 und 81 befindliche Flüssigkeit 5 verdrängt, so dass die Platine 7 auch an den Anlageflächen 40 mit der Flüssigkeit 5 in Kontakt kommt. Durch diese besondere Pressenanordnung können andere Härte- und/ oder Umformgrade eingestellt werden als mit der Pressenanordnung gemäß Figur 1. Die Anordnung selbst ist abhängig von der zu erreichenden Werkstückgeometrie und den einzustellenden Härtewerten.

[0019] In Figur 3 ist die Presse aus Figur 2 zusätzlich mit Verdrängungselementen 90, 91 ausgestattet. Die Verdrängungselemente 90, 91 sind dabei außerhalb des

eigentlichen Formwerkzeugs 1 angebracht. Beim Zufahren des Oberwerkzeugs 1 auf das untere Werkzeug 2 tauchen die Verdrängungselemente 90, 91 seitlich des zu formenden Werkstücks 7 in das Flüssigkeitsbad 5 ein.

Die Flüssigkeit 5 wird durch das Eindringen der Verdrängungselemente 90 und 91 in Richtung oberes Werkzeug 1 verdrängt. Der Flüssigkeitsspiegel 50 steigt. Je nach Höhe des Flüssigkeitsspiegels 50 überflutet die Flüssigkeit 5 beim Zufahren der Werkzeuge 1 und 2 das untere Werkzeug 2 und das Werkstück 7. Mit den Verdrängungskörpern 90, 91 kann der Flüssigkeitsspiegel 50 zusätzlich so reguliert werden, dass das Werkstück 7 in ausreichenden Kontakt mit der Flüssigkeit 5 kommt, um die gewünschten Härtewerte und Umformgrade zu erzielen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Formen und Härten eines auf über AC_3 erwärmten Werkstücks 7 aus Stahl in einer Presse mit einem oberen und einem unteren Werkzeug 1, 2 mit einer Formgeometrie 3, 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass sich das untere Werkzeug 2 der Presse in einem Flüssigkeitsbad 5 befindet, dass das auf über AC_3 erwärmte Werkstück 7 oberhalb eines Flüssigkeitsspiegels 50 in die Presse eingelegt wird,
dass das obere Werkzeug 1 in Richtung des unteren Werkzeugs 2 verfährt und dabei das Werkstück 7 in Richtung unteres Werkzeug 2 in das Flüssigkeitsbad 5 eintaucht
und **dass** sowohl ein Formen als auch ein Härten des Werkstücks 7 beim Zufahren des oberen Werkzeugs 1 auf das untere Werkzeug 2 stattfinden.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Haltezeit zum Härten des Werkstücks 7 im geschlossenen Werkzeug 1, 2 auf ein Minimum reduziert wird oder entfällt.
3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein Gradient einer Abkühlung des Werkstücks 7 über eine Höhe des Flüssigkeitsspiegels 50 festgelegt wird.
4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass dem Flüssigkeitsbad 50 ein Schmiermittel für den Umformvorgang zugegeben wird.
5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

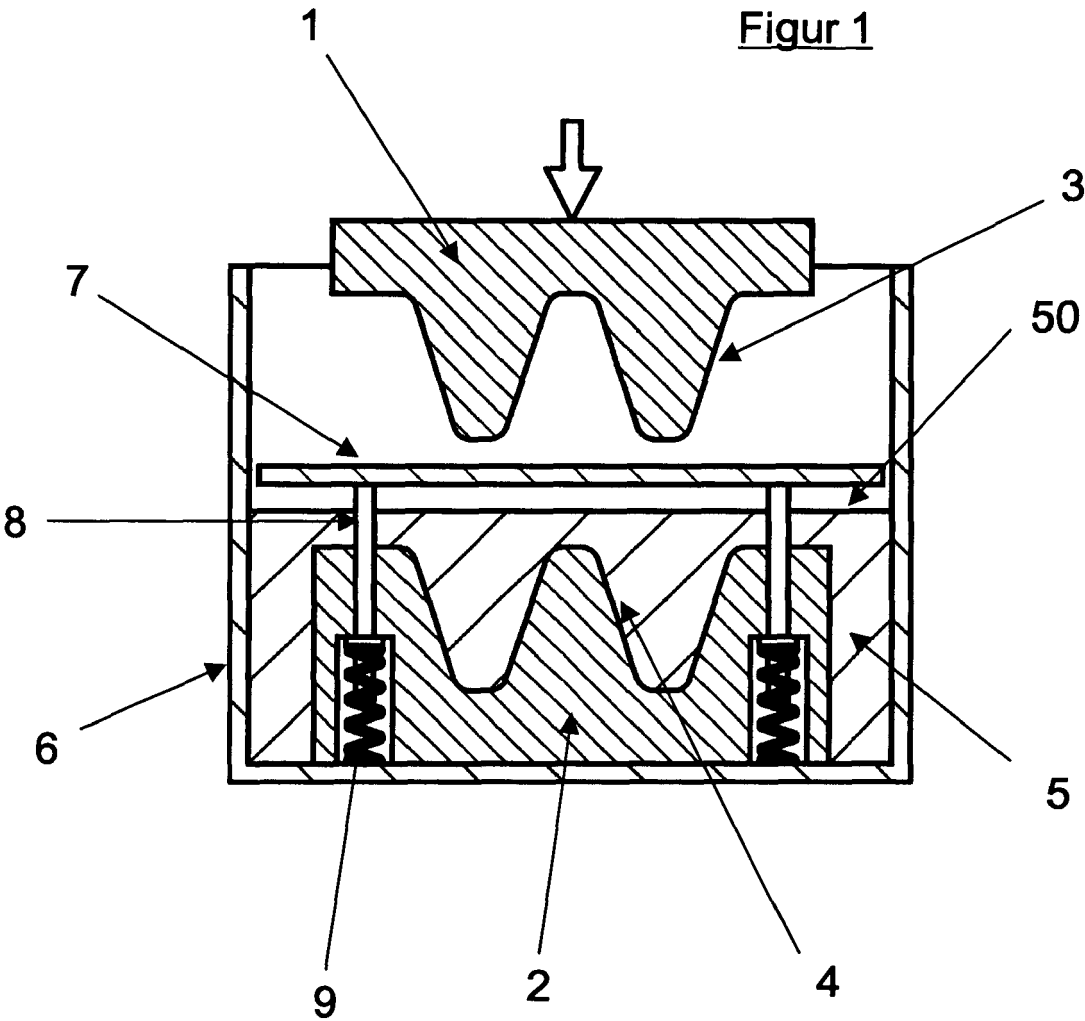
dass der Stahlwerkstoff für das Werkstück 7 aus einer Legierung besteht, die sich in Gewichtsprozent ausgedrückt zusammensetzt aus:

Kohlenstoff (C)	0,18 % bis 0,3 %	5
Silizium (Si)	0,1 % bis 0,7 %	
Mangan (Mn)	1,0 % bis 2,5 %	
Phosphor (P)	maximal 0,025 %	
Chrom (Cr)	bis 0,8 %	10
Molybdän (Mo)	bis 0,5 %	
Schwefel (S)	maximal 0,01 %	
Titan (Ti)	0,02 % bis 0,05 %	
Bor (B)	0,0015 % bis 0,005 %	
Aluminium (Al)	0,01 % bis 0,06 %	15

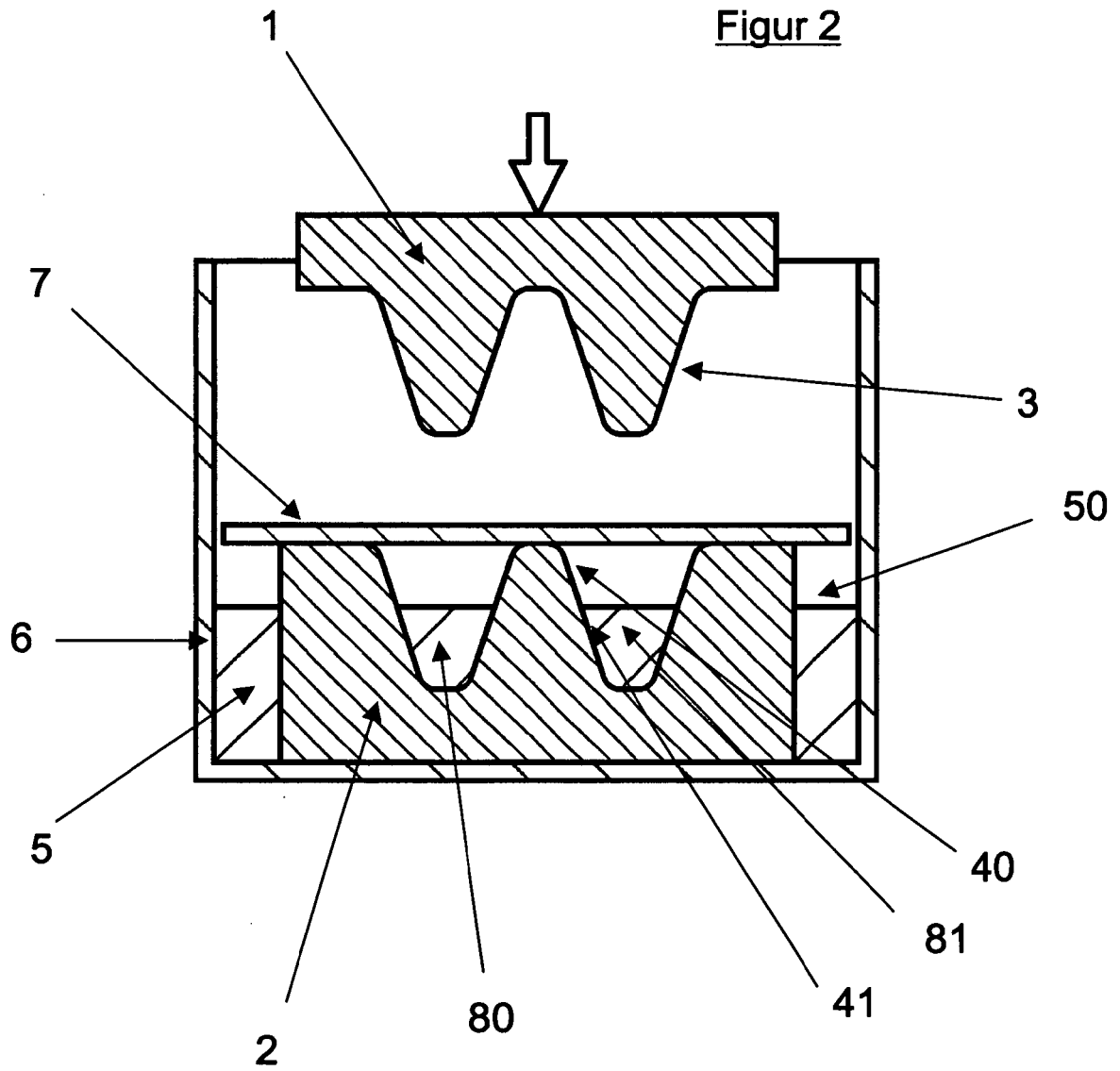
Rest Eisen einschließlich erschmelzungsbedingter Verunreinigungen.

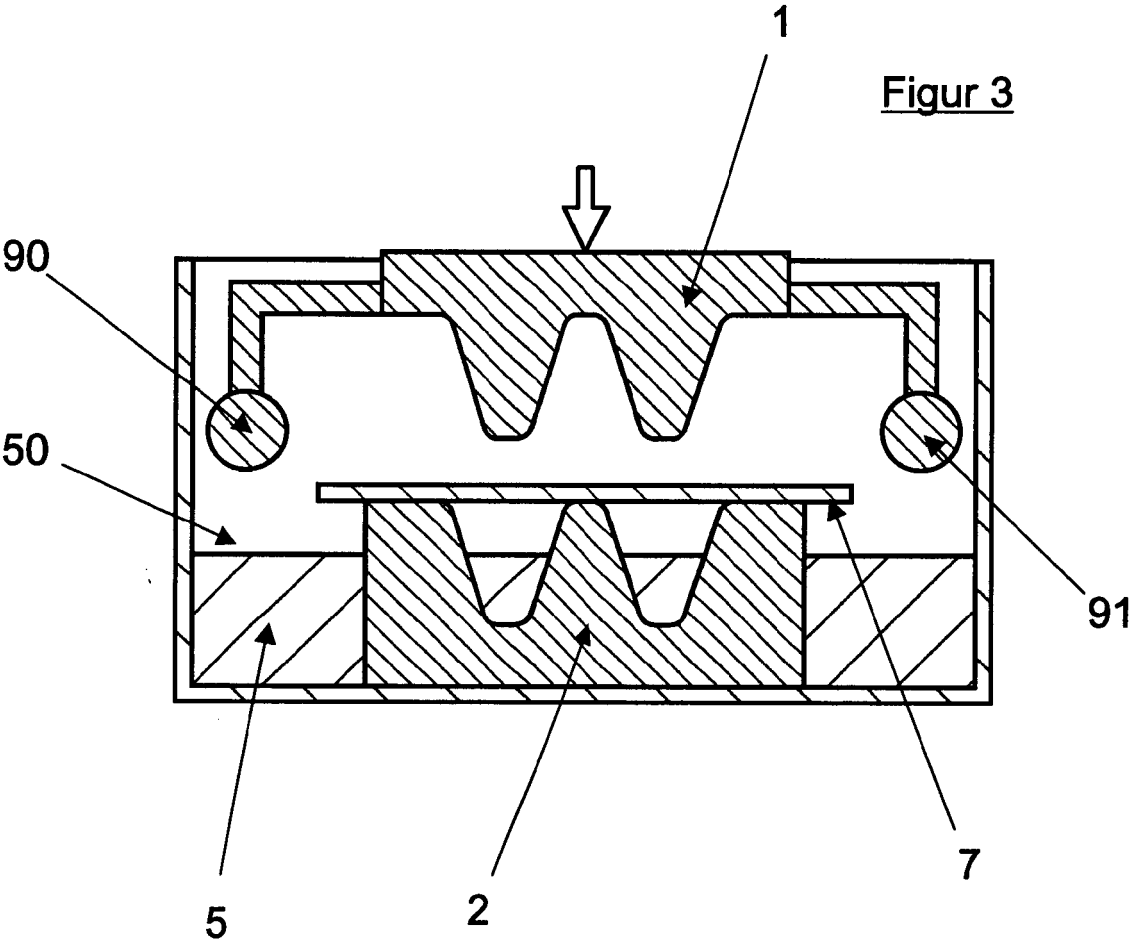
6. Presse zum Formen und Härten eines auf über AC₃ erwärmten Werkstücks 7 aus Stahl mit einem oberen 1 und einem unteren Werkzeug 2 mit einer Formgeometrie 3, 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass sich das untere Werkzeug 2 der Presse in einem Flüssigkeitsbad 5 befindet und dass das obere Werkzeug 1 sowohl oberhalb als auch unterhalb eines Flüssigkeitsspiegels 50 verfahrbar ist. 20
7. Presse nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass nur Teile 41 der Formgeometrie 4 des unteren Werkzeugs 2 unterhalb des Flüssigkeitsspiegels 50 liegen. 25
8. Presse nach einem der Ansprüche 6 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass dem Flüssigkeitsbad ein Schmiermittel für den Umformvorgang zugegeben ist. 30
9. Presse nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Presse mit mindestens einem Verdrängungselement 90, 91 ausgestattet ist. 35
10. Presse nach einem der Ansprüche 6 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Presse im Dauerhub arbeitet. 40
11. Presse nach einem der Ansprüche 6 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Presse eine mechanische Presse ist. 45

55



Figur 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

- DE 2452486 C2 [0002] [0003]
- EP 1191111 A1 [0004] [0004] [0004]
- DE 2603618 A1 [0005]