

(19)



(11)

EP 2 117 744 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
26.09.2018 Patentblatt 2018/39

(51) Int Cl.:
B21D 26/08 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07856709.6**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2007/010966

(22) Anmeldetag: **13.12.2007**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/098608 (21.08.2008 Gazette 2008/34)

(54) VERFAHREN UND WERKZEUGANORDNUNG ZUM EXPLOSIONSUMFORMEN

METHOD AND MOULD ARRANGEMENT FOR EXPLOSION FORMING

PROCÉDÉ ET AGENCEMENT D'OUTILS POUR FORMAGE PAR EXPLOSION

(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

- **KOTAGIRI, Seetarama**
Rochester Hills, MI 48307 (US)
- **STRANZ, Andreas**
A-2651 Reichenau (AT)
- **STOEGER, Philipp**
A-2700 Wr. Neustadt (AT)

(30) Priorität: **14.02.2007 DE 102007007330**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.11.2009 Patentblatt 2009/47

(74) Vertreter: **Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB**
Leopoldstraße 4
80802 München (DE)

(73) Patentinhaber: **Cosma Engineering Europe AG**
2522 Oberwaltersdorf (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
FR-A- 2 280 465 GB-A- 1 419 889
GB-A- 2 047 147 JP-A- 7 051 761

(72) Erfinder:
• **ZAK, Alexander**
A-2340 Mödling (AT)

EP 2 117 744 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Werkzeuganordnung zum Explosionsumformen mit den Merkmalen des Oberbegriffs der Ansprüche 1 und 8.

[0002] Die GB 2 047 147 offenbart eine Vorrichtung der eingangs genannten Gattung, welche zur Herstellung von Aufnahmehülsen für Prothesen durch Stoßwellenumformung eingesetzt wird. Hierbei wird ein hohlgeformter Metallrohling in eine Aussparung einer Matrize eingelegt, wobei die Aussparung der Form des Körperstummels entspricht, dessen Form der Metallrohling nach dem Umformen annehmen soll. Nach dem Befüllen des Metallrohlings mit einer Flüssigkeit wird in den nach oben hin geöffneten Metallrohling ein zylinderförmiger Ansatz einer Gasdruckkammer eingeführt. Um die in der Gasdruckkammer befindlichen Gase von der Flüssigkeit zu separieren, befindet sich an dem Ende des zylinderförmigen Ansatzes eine Abdichtmembran. Die Vorrichtung wird vor dem Zünden des Gasgemisches mit einem verschiebbaren flachen Ring befestigt. Nach der Zündung des Gasgemisches innerhalb der Gasdruckkammer durchbricht die resultierende Stoßwelle die Abdichtmembran und läuft anschließend in den mit Flüssigkeit gefüllten Hohlkörper um diesen zu verformen.

[0003] Bei einem aus der CH 409 831 bekannten Verfahren wird das zu verformende Werkstück, z. B. ein Rohr, in eine Form eingesetzt und mit Wasser gefüllt. Eine mehrere Elektroden umfassende Vorrichtung zur Erzeugung und Zündung von Knallgas wird in einem elastischen Behälter, z. B. einem Plastikbeutel, verpackt. Dieser wird innerhalb des Werkstücks platziert so tief in das Wasser eingesenkt, bis der Beutel völlig unter der Wasseroberfläche liegt. Durch Aktivieren zweier Elektroden wird unter Wasser Knallgas erzeugt, welches sich in dem umgebenden Beutel sammelt. Durch Zünden des in dem Beutel produzierten Knallgases mittels einer Zündkerze oder eines Glühdrahtes, wird in dem Wasser eine Druckwelle erzeugt, welche das Werkstück in die Form presst. Dieses Verfahren ist jedoch aufwendig und zeitintensiv.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Verfahren und eine Werkzeuganordnung zum Explosionsumformen der eingangs genannten Gattung dahingehend zu verbessern, dass das Verfahren und die Werkzeuganordnung vereinfacht und für die Massenproduktion geeignet sind.

[0005] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0006] Das Vorsehen des Gasgemisches wenigstens teilweise über der Flüssigkeitsoberfläche gewährleistet eine leichte und rasche Zufuhr des Gasgemisches. Obwohl das Gasgemisch hier oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche angeordnet, also von dem zu verformenden Werkstück relativ weit beabstandet ist, kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren dennoch ein gutes Umformergebnis erzielt werden. Die Explosion des Gasgemisches

und damit die Entstehung einer Detonationsfront erfolgt hier zunächst oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Kraft- bzw. Energieübertragung über die Phasengrenze Gas-Flüssigkeit hinweg ausreichend gut ist, um ein gutes Umformergebnis zu erzielen. Durch das teilweise Befüllen des Aufnahmeraums mit Flüssigkeit, welche als Druckübertragungsmedium dient, kann die benötigte Gasmenge reduziert werden. Im Gegensatz zum Explosionsumformen ohne Flüssigkeit, werden Verbrennungen des Werkstücks weitgehend vermieden. Durch die hohen Taktzeiten in heutigen Produktionsprozessen erreicht das Formwerkzeug relativ rasch hohe Temperaturen. Die sich in dem Aufnahmeraum befindende Flüssigkeit kann so nicht nur als Druckübertragungsmedium sondern auch der Kühlung dienen.

[0007] Gemäß der Erfindung greuzt das Gasgemisch unmittelbar an die Flüssigkeitsoberfläche an. Obwohl die Detonationsfront in diesem Fall ungehindert auf die Flüssigkeitsoberfläche aufschlägt, wird durch die unmittelbare Anlage des Gases an der Flüssigkeitsoberfläche wird eine gute Kraftübertragung über die Phasengrenze Gas-Flüssigkeit hinweg erreicht.

[0008] Vorteilhafterweise kann der Aufnahmeraum über ein Ventil mit Flüssigkeit befüllt werden. Dies gewährleistet eine gute Steuerung des Befüllvorgangs sowie eine präzise Dosierung der Flüssigkeitsmenge.

[0009] In einer Variante der Erfindung kann das Gasgemisch wenigstens teilweise durch die Flüssigkeit hindurchgeleitet werden. Je nach Gasgemisch können dadurch bei ansonsten gleichbleibender Gasmenge höhere Drücke erzielt werden. Es hat sich gezeigt, dass das Gas in Folge des Hindurchleitens durch die Flüssigkeit wie zum Beispiel Wasser in einem Zustand ist, in welchem eine Zündung des Gases zu einem deutlich höheren Explosionsdruck führt. Dadurch resultiert auch ein höherer auf das Werkstück wirkender Umformdruck.

[0010] Günstigerweise kann sich der Aufnahmeraum wenigstens teilweise durch einen vorgeformten Werkstückhohlraum erstrecken, in welchem sich die Detonationsfront ausbreitet. Die sich im Innern des Werkstücks ausbreitende Detonationsfront kann so die Wandung des Werkstücks gut umformen. So lassen sich z. B. rohrartige Werkstücke gut fertigen.

[0011] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann das Werkstück in einem Werkstückhaltebereich, an welchem das Werkstück in dem Formwerkzeug gehalten ist, mit Flüssigkeitgefüllt werden. So werden auch die in der Werkzeuganordnung gehaltenen Enden des Werkstücks vor Verbrennungen geschützt. In dem Werkstückhaltebereich sind Schnitt- bzw. Kontaktstellen vorhanden z. B. zwischen dem Werkstück und dem Formwerkzeug, welche während des Explosionsumformprozesses dicht halten müssen. Durch das Bedecken dieser Schnittstellenbereiche mit Flüssigkeit kann die konstruktive Ausgestaltung dieser Bereiche vereinfacht werden. Eine flüssigkeitsdichte Schnittstelle ist einfacher und kostengünstiger herzustellen als z. B. eine

gasdichte.

[0012] Vorteilhafterweise kann der gesamte Werkstückhohlraum vollständig mit Flüssigkeit befüllt werden. Dadurch werden große Flächen des Werkstücks vor Verbrennungen geschützt bei gleichzeitig guter Kraftübertragung.

[0013] Günstigerweise kann ein verbleibender, flüssigkeitsfreier Werkstückhohlraum wenigstens teilweise mit dem explosiven Gasgemisch gefüllt werden. Dies gewährleistet ein einfaches und schnelles Befüllen mit dem Gasgemisch.

[0014] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung kann ein verbleibender, flüssigkeitsfreier Hohlraum, welcher beabstandet zu dem eingebrachten Werkstück ist, wenigstens teilweise mit dem explosiven Gasgemisch gefüllt werden. So kann selbst bei vollständig mit Flüssigkeit befülltem Aufnahme- bzw. Werkstückhohlraum eine ausreichend große Gasmenge aufgenommen werden, um eine gute Explosion sowie Ausbreitung der Detonationsfront zu gewährleisten.

[0015] In einer Variante der Erfindung kann der Aufnahmeraum durch Tauchen des Werkstücks in ein Flüssigkeitsbad mit Flüssigkeit befüllt werden. Die Flüssigkeitsbefüllung des Werkstücks kann so z. B. schon vor dem Einbringen des Werkstücks in dem Aufnahmeraum des Formwerkzeugs erfolgen. Diese einfache Art des Befüllens gewährleistet gute Taktzeiten. Innerhalb des Produktionsprozesses kann das Flüssigkeitsbad zugleich als Puffer für weiterzuverarbeitende Werkstücke dienen.

[0016] Vorteilhafterweise kann das Verhältnis von explosivem Gas zu Flüssigkeit etwa 1:10 bis 1:20, vorzugsweise 1:2 bis 1:15, und insbesondere 1:3 bis 1:10 betragen. Dieses Verhältnis gewährleistet eine für das Umformen ausreichend große Explosionskraft sowie eine gute Ausbreitung der Detonationsfront auch über die Phasengrenze hinweg.

[0017] Vorteilhafterweise kann die Zündung des Gasgemisches außerhalb des Werkstückhohlraums erfolgen. So kann der Flüssigkeitsstand im Aufnahmeraum den Produktionserfordernissen angepasst werden. Auch maximale Flüssigkeitsstände wie z. B. ein vollständiges Bedecken des Werkstücks mit Flüssigkeit sind so möglich.

[0018] Die eingangs genannte Aufgabe wird ferner vorrichtungsseitig gelöst durch eine Werkzeuganordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 8.

[0019] Die Anordnung des explosiven Gasgemisches wenigstens teilweise über der Flüssigkeitsoberfläche, erlaubt ein leichtes und rasches Befüllen. Zugleich ist eine gute Übertragung der Explosionskraft bzw. der Detonationsfront über die Phasengrenze hinweg möglich. Obwohl das Gasgemisch hier über der Wasseroberfläche angeordnet ist, wird ein gutes Umformergebnis erzielt.

[0020] Gemäß der Erfindung greuzt das Gasgemisch unmittelbar an die Flüssigkeitsoberfläche an. Die unmittelbare und ungehinderte Berührung des Gasgemisches mit der Flüssigkeitsoberfläche gewährleistet eine gute Kraftübertragung.

[0021] Vorteilhafterweise kann der Aufnahmeraum über ein Ventil mit Flüssigkeit befüllbar sein. Dies erlaubt eine gute Steuerung des Befüllvorgangs und eine gute Dosierung der Flüssigkeitsmenge.

5 **[0022]** In einer Variante der Erfindung kann ein Gasanschluss unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche vorgesehen sein. So kann das Gasgemisch durch die Flüssigkeit hindurch in den Aufnahmeraum geleitet werden. Dies erlaubt, je nach Gasgemisch, höhere Umformdrücke bei gleicher Gasmenge.

10 **[0023]** Günstigerweise kann sich der Aufnahmeraum wenigstens teilweise durch einen vorgeformten Werkstückhohlraum erstrecken. So kann sich die Detonationsfront auch im Innern des Werkstücks ausbreiten.

15 **[0024]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann das Werkstück in einem Werkstückhaltebereich, an welchem das Werkstück in dem Formwerkzeug gehalten ist mit Flüssigkeit gefüllt sein. So werden auch die in dem Formwerkzeug gehaltenen Enden des Werkstücks vor Verbrennungen geschützt. Zugleich lassen sich durch diese Anordnung die konstruktiven Anforderungen an die Dichtheit der in dem Werkzeughaltebereich liegenden Schnittstellen, wie z. B. der Schnittstelle Werkstück-Formwerkzeug, reduzieren. Flüssigkeitsdichte Schnittstellen sind konstruktiv einfacher zu realisieren als z. B. gasdichte Schnittstellen.

20 **[0025]** Vorteilhafterweise kann der gesamte Werkstückhohlraum, vollständig mit Flüssigkeit gefüllt sein. Dadurch befindet sich ein Großteil der Werkstückfläche unter der Flüssigkeit und ist somit vor Verbrennungen geschützt.

25 **[0026]** Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung kann ein verbleibender, flüssigkeitsfreier Werkstückhohlraum wenigstens teilweise mit dem explosiven Gasgemisch gefüllt sein. Dies gewährleistet ein leichtes Befüllen mit dem Gasgemisch.

30 **[0027]** Günstigerweise kann ein verbleibender, flüssigkeitsfreier Hohlraum, welcher beabstandet zu dem eingelegten Werkstück ist, wenigstens teilweise mit dem explosiven Gasgemisch gefüllt sein. Dieser Hohlraum gewährleistet die Aufnahme einer ausreichend großen Gasmenge und somit eine gute Explosion und Ausbreitung der Detonationsfront unabhängig von dem Flüssigkeitsfüllstand des Aufnahmebaus.

35 **[0028]** In einer Variante der Erfindung kann eine Zündvorrichtung außerhalb des Werkstückhohlraums angeordnet sein. Die Zündung des Gasgemisches kann somit unabhängig von dem Flüssigkeitsfüllstand im Innern des Werkstücks erfolgen.

40 **[0029]** Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der folgenden Zeichnung beschrieben:

[0030] Dabei zeigen:

45 **Figur 1** eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Werkzeuganordnung gemäß eines ersten Ausführungsbeispiels der Erfindung,

- Figur 2 eine vergrößerte, perspektivische Schnittansicht durch die erfindungsgemäße Werkzeuganordnung mit eingesetztem Werkstück,
- Figur 3 einen Schnitt durch das erfindungsgemäße Werkzeug mit eingesetztem Werkstück und Flüssigkeitsfüllung,
- Figur 4 einen Schnitt durch die erfindungsgemäße Werkzeuganordnung mit eingesetztem Werkstück und geändertem Flüssigkeitsfüllstand gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung und
- Figur 5 die erfindungsgemäße Werkzeuganordnung aus Figur 4 mit geändertem Flüssigkeitsfüllstand.

[0031] Figur 1 zeigt eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Werkzeuganordnung 1 gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die Werkzeuganordnung 1 weist in diesem Ausführungsbeispiel ein Formwerkzeug 2 und ein Zündaggregat 3 auf.

[0032] Das Formwerkzeug 2 ist mehrteilig ausgebildet. Es besteht aus mehreren Werkzeughälften 4, welche zu dem Formwerkzeug 2 zusammensetzbar sind. In geschlossenem Zustand, das heißt, wenn alle Formwerkzeughälften 4 zusammengesetzt sind, ergibt sich im Innern des Formwerkzeugs 2 eine Werkzeugkavität 14, deren Kontur die spätere Form des fertigen Werkstücks ergibt. Zusätzlich können in der Kontur des Formwerkzeugs 2 auch Schneid- oder Trennkanten 29 sowie Lochmatrizen 30 vorgesehen sein, um das Werkstück während des Explosionsumformens gleichzeitig zu beschneiden, wie in den Figuren 3 bis 5 dargestellt. Die Werkzeugkavität 14 bildet zugleich einen Aufnahme-
raum 15 des Formwerkzeugs 2. Erfindungsgemäß ist der Aufnahme-
raum 15 wenigstens teilweise mit einer Flüssigkeit gefüllt, wie später anhand der Figuren 3 bis 5 erläutert wird.

[0033] Das Formwerkzeug 2 kann auch in einer Presse 5 angeordnet sein, welche das Formwerkzeug 2 geschlossen hält. Die einzelnen Formwerkzeughälften 4 können dann z. B. durch einen oder mehrere Stempel der Presse gegeneinander gepresst werden.

[0034] Das Zündaggregat 3 weist in diesem Ausführungsbeispiel eine Halterung 7 und ein Zündrohr 8 auf. Das Zündrohr 8 läuft an seinem dem Formwerkzeug 2 zugewandten, vorderen Ende 18 konisch zu und ist in der Halterung 7 wenigstens in seiner Längsrichtung 9 verschieblich gelagert. Es ist so zwischen einer Arbeitsstellung 10, in welcher das Zündrohr 8 an einem in dem Formwerkzeug 2 befindlichen Werkstück 12 oder an dem Formwerkzeug 2 anliegt, und einer Parkstellung 11, in welcher das Zündrohr 8 von dem Formwerkzeug 2 beabstandet ist und welche hier durch eine gestrichelte Linie angedeutet ist, bewegbar. In anderen Ausführungsbeispielen der Erfindung kann das Zündrohr 8 jedoch

auch mehrere Freiheitsgrade aufweisen und z. B. auch etwa quer zu seiner Längsrichtung 9 verschieblich sein.

[0035] Figur 2 zeigt eine perspektivische Schnittansicht durch die erfindungsgemäße Werkzeuganordnung 1 mit eingesetztem Werkstück. Die in Figur 2 verwendeten Bezugszeichen bezeichnen dieselben Teile wie in Figur 1, so dass diesbezüglich auf die Beschreibung der Figur 1 verwiesen wird.

[0036] In den Aufnahme-
raum 15 des Formwerkzeugs 2 ist ein Werkstück 12 eingesetzt. In diesem Ausführungsbeispiel ist das Werkstück 12 etwa rohrförmig und weist in seinem Inneren einen vorgeformten Werkstückhohlraum 13 auf. Auch die Kontur des Formwerkzeugs 2, an welche das Werkstück 12 durch Umformen angepasst wird, ist hier etwa rohrartig.

[0037] An seiner dem Zündrohr 8 zugewandten Seite 16 weist das Formwerkzeug 2 eine Öffnung 17 auf, welche mit dem Aufnahme-
raum 15 im Innern des Formwerkzeugs 2 in Verbindung steht und deren Rand korrespondierend zu dem vorderen Ende 18 des Zündrohrs 8 abgeschrägt ist und so eine Anlagefläche 20 bildet.

[0038] Das Zündrohr 8 befindet sich in Figur 2 in seiner Arbeitsstellung 10 und drückt einen Randbereich 19 des Werkstücks 12 gegen das Formwerkzeug 2. Der Randbereich 19 wird dabei verformt und zwischen den beiden korrespondierenden, konischen Anlageflächen 18, 20 des Zündrohrs 8 sowie des Formwerkzeugs 2 festgeklemmt und bildet so einen Werkstückhaltebereich 21. Dadurch ist der Aufnahme-
raum 15 des Werkzeugs 2 zugleich gasdicht verschlossen.

[0039] Das Zündrohr 8 weist in diesem Ausführungsbeispiel ein Ventil 28 auf, über welches der Aufnahme-
raum 15 im Innern des Formwerkzeugs 2 bzw. der Werkstückhohlraum 13 mit Flüssigkeit befüllbar ist. Zur schnelleren Befüllung können alternativ auch mehrere Ventile vorgesehen sein.

[0040] Figur 3 zeigt einen Schnitt durch die erfindungsgemäße Werkzeuganordnung 1 mit eingesetztem Werkstück 12. Die in Figur 3 verwendeten Bezugszeichen bezeichnen dieselben Teile wie in den Figuren 1 und 2, so dass diesbezüglich auf die Beschreibung der Figuren 1 und 2 verwiesen wird.

[0041] Der Aufnahme-
raum 15 des Formwerkzeugs 2 erstreckt sich in diesem Ausführungsbeispiel durch den Werkstückhohlraum 13. Der Aufnahme-
raum 15 bzw. der Werkstückhohlraum 13 sind in Figur 3 zu etwa drei Viertel mit einer Flüssigkeit 26 gefüllt. Als geeignete Flüssigkeit kommen zum Beispiel Wasser, aber auch bestimmte Öle in Betracht. Oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche 22 befindet sich ein explosives Gasgemisch 23. Die Gasmoleküle sind in dem zur Verfügung stehenden, flüssigkeitsfreien Raum 24 verteilt. Je nach Gasart liegen einige Gasmoleküle auch direkt an der Flüssigkeitsoberfläche 22 an.

[0042] In diesem Ausführungsbeispiel ist das explosive Gasgemisch 23 Knallgas. Dieses kann aus einem Wasserstoff (H_2)-Sauerstoff (O_2)-Gemisch oder auch aus einem Wasserstoff (H_2)-Luftgemisch bestehen. In

anderen Ausführungsformen der Erfindung können dem Gasgemisch je nach Anwendungsfall auch gezielt andere Gase wie z. B. Stickstoff beigemischt werden. Das hier verwendete Knallgas ist ein stöchiometrisches Gasgemisch mit einem leichten Wasserstoffüberschuss. Der Wasserstoffanteil kann dabei in einem Bereich von etwa 4 bis 76% liegen. Alternativ könnte jedoch auch ein anderes explosives Gasgemisch Verwendung finden.

[0043] In dem Zündrohr 8 sind ein Anschluss 25 zum Einleiten des explosiven Gasgemisches sowie eine Zündvorrichtung 27 zum Zünden des explosiven Gasgemisches vorgesehen. Alternativ können auch mehrere Gasanschlüsse 25, z. B. für jede Gasart einer, in dem Zündrohr 8 vorgesehen sein. In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung können jedoch auch einer oder mehrere Gasanschlüsse 25 in dem Formwerkzeug 2 vorgesehen sein, wie in Figur 4 gezeigt.

[0044] Figur 4 zeigt einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Werkzeuganordnung 1 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die in Figur 4 verwendeten Bezugszeichen bezeichnen dieselben Teile wie in den Figuren 1 bis 3, so dass diesbezüglich auf die Beschreibung der Figuren 1 bis 3 verwiesen wird.

[0045] In Figur 4 ist der Aufnahmeraum 15 bzw. der Werkstückhohlraum 13 vollständig mit der Flüssigkeit gefüllt. Auch hier befindet sich das explosive Gasgemisch 23 oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche 22. Der Gasanschluss 25 befindet sich in diesem Ausführungsbeispiel unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche 22. Er ist hier in einer der Formwerkzeughälften 4 angeordnet.

[0046] Figur 5 zeigt einen Schnitt durch die erfindungsgemäße Werkzeuganordnung 1 aus Figur 4 mit einem geänderten Flüssigkeitsfüllstand. Die in Figur 5 verwendeten Bezugszeichen bezeichnen dieselben Teile wie in den Figuren 1 bis 4, so dass diesbezüglich auf die Beschreibung der Figuren 1 bis 4 verwiesen wird.

[0047] Der Werkstückhohlraum 13 ist hier vollständig mit Flüssigkeit 26 gefüllt. Auch der Werkstückhaltebereich 21 ist von der Flüssigkeit bedeckt. Das hat den Vorteil, dass die Schnitt- bzw. Kontaktstellen, welche in diesem Bereich liegen z. B. die Schnittstelle zwischen dem Werkstück 12 und dem Formwerkzeug 2 aber auch die Schnittstelle zwischen dem Werkstück 12 und dem Zündrohr 8, flüssigkeitsdicht ausgebildet werden können. Dadurch kann z. B. der konstruktive Aufbau dieser Schnittstellenbereiche vereinfacht oder die Anpresskraft des Zündrohrs 8 verringert werden. Das explosive Gasgemisch 23 befindet sich auch hier oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche 22, nämlich in dem verbleibenden, flüssigkeitsfreien Hohlraum 24. Dieser liegt bei dem hier gezeigten Flüssigkeitsfüllstand vollständig innerhalb des Zündrohrs 8. Das heißt, das explosive Gasgemisch 23 bzw. der Hohlraum 24, in welchem es sich befindet, ist bei einem derart hohen Flüssigkeitsfüllstand von dem Werkstück 12 beabstandet.

[0048] Im Folgenden wird die Funktionsweise der in den Figuren 1 bis 5 beschriebenen erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiele erläutert.

[0049] Zum Einsetzen des Werkstücks 12 in das Formwerkzeug 2 befindet sich das Zündrohr 8 in seiner Parkposition 11. Das Formwerkzeug 2 wird geöffnet, in dem wenigstens eine der Formwerkzeughälften 4 von den restlichen Formwerkzeughälften beabstandet wird. Anschließend wird das Werkstück 12 in den Aufnahmeraum 15 des Formwerkzeugs 2 eingebracht. Danach wird das Formwerkzeug 2 wieder geschlossen, in dem alle Formwerkzeughälften 4 des Formwerkzeugs 2 zusammengefügt werden. Der Randbereich 19 des Werkstücks 12 erstreckt sich dabei in die Öffnung 17 des Formwerkzeugs 2, wie in Figur 2 zu sehen.

[0050] Anschließend wird das Zündrohr 8 entlang seiner Längsrichtung 9 aus der Parkposition 11 in die Arbeitsposition 10 verschoben. Das vordere, konische Ende 18 des Zündrohrs 8 kommt dabei mit dem Randbereich 19 des Werkstücks 12 in Kontakt und verformt diesen zu einem Werkstückhaltebereich 21 bis er an der konischen Anlagefläche 20 des Formwerkzeugs 2 anliegt. Entsprechend den jeweiligen Produktionsanforderungen presst das Zündrohr 8 den Werkstückhaltebereich 21 mit einer vorbestimmten Kraft gegen die Anlagefläche 20. Dies kann zu einer zusätzlichen Verformung des Werkstückhaltebereichs 21 führen, wie in Figur 3 dargestellt. Durch das Einpressen des Werkstückhaltebereichs 21 zwischen dem Zündrohr 8 und dem Formwerkzeug 2 wird der Aufnahmeraum 15 zugleich gasdicht gedichtet.

[0051] Über das Ventil 28 im Zündrohr 8 wird der Aufnahmeraum 15, welcher in den hier gezeigten Ausführungsbeispielen in etwa dem Werkstückhohlraum 13 entspricht, mit einer bestimmten Menge Flüssigkeit 26 zum Beispiel Wasser gefüllt. Die Flüssigkeit 26 sammelt sich in dem Werkstückhohlraum 13 und bildet eine Flüssigkeitsoberfläche 22.

[0052] Über den Gasanschluss 25 in dem Zündrohr 8 wird der verbleibende, flüssigkeitsfreie Hohlraum 24 mit einer bestimmten Menge des explosiven Gasgemisches 23 gefüllt. Das Verhältnis von explosivem Gas zu Flüssigkeit liegt dabei im Bereich von 1:1 bis 1:20. Gas-Flüssigkeitsverhältnisse im Bereich von 1:2 bis 1:15 haben sich als vorteilhaft erwiesen, wobei ein Verhältnis im Bereich von 1:3 bis 1:10 besonders günstig ist. Insbesondere ist ein Gas-Flüssigkeitsverhältnis von 1:7 anzustreben. Der Gasdruck vor dem Explosionsumformen liegt im Bereich von ca. 60 bis 200 bar, vorteilhafterweise im Bereich von 70 bis 120 bar und insbesondere im Bereich von 95 bis 105 bar, oder 110 bis 130 bar.

[0053] Die Flüssigkeitsmenge bzw. der Flüssigkeitsfüllstand lässt sich wie in den Figuren 3 bis 5 gezeigt variieren. Je nach Flüssigkeitsfüllstand verändert sich dabei das Volumen sowie die Lage des verbleibenden, flüssigkeitsfreien Hohlraums 24. Durch den relativ niedrigen Flüssigkeitsfüllstand in Figur 3 erstreckt sich der Hohlraum 24 bzw. das Gasgemisch 23 z. B. von dem Werkstückhohlraum 13 über den Werkstückhaltebereich 21 hinweg bis in das Zündrohr 8 hinein. In Figur 4 z. B. ist der gesamte Aufnahmeraum 15 mit Flüssigkeit 26 ge-

füllt. Das explosive Gasgemisch 23 bzw. der verbleibende, flüssigkeitsfreie Hohlraum 24 erstreckt sich hier lediglich im Werkzeughaltebereich 21 und in das Zündrohr 8 hinein. In Figur 5 dagegen befindet sich der flüssigkeitsfreie Hohlraum 24 nur noch im Zündrohr 8 und ist damit beabstandet zu dem Werkstück 12. Das Volumen des freien Hohlraums 24 kann in einem Bereich von etwa einem halben Liter bis zu zehn Litern liegen. Hohlräume 24 mit einem Volumen von ca. einem halben bis vier Litern haben sich in der Praxis als vorteilhaft erwiesen, wobei ein Hohlraumvolumen von ca. ein bis zwei Litern besonders wirtschaftlich ist.

[0054] Durch Betätigen der Zündvorrichtung 27 wird das explosive Gasgemisch 23, welches sich in dem Hohlraum 24 befindet gezündet. Bei dem in dieser Ausführungsform der Erfindung verwendeten Knallgas wird der vorhandene Sauerstoff bei der Explosion etwa vollständig verbrannt bzw. umgewandelt. Dies soll einem Korrodieren des Werkstücks und des Werkzeugs bzw. der ganzen Anlage entgegenwirken. Als Zündmechanismen kommen hier grundsätzlich die gängigen, z. B. aus dem Stand der Technik bekannten Zündmechanismen in Frage.

[0055] Die entstehende Detonationsfront breitet sich zunächst in dem Gasgemisch 23 bzw. dem Hohlraum 24 aus und trifft dann auf die Phasengrenze, nämlich die Flüssigkeitsoberfläche 22. Dabei werden etwa vier Fünftel der Energie bzw. der Kraft der Detonationsfront an die Flüssigkeit übertragen. Der unmittelbare Kontakt zwischen dem Gasgemisch 23 und der Flüssigkeit 26, ohne zusätzliche Zwischenkomponenten, gewährleistet eine relativ gute Kraftübertragung. Die an die Flüssigkeit 26 abgegebene Druckwelle setzt sich in dieser fort und presst so das Werkstück 12 in die Kavität 14 des Formwerkzeugs 2. Gleichzeitig wird der Werkstückhaltebereich 21 mittels der in dem Formwerkzeug 2 vorgesehenen Trennkante 29 von dem übrigen, umgeformten Werkstück 12 abgetrennt. Der dabei erzielte Umformdruck liegt bei der in diesem Ausführungsbeispiel eingefüllten Gasmenge von etwa einem Liter und bei dem hier herrschenden Ausgangsdruck von ca. 100 bar bei etwa 2000 bis 2500 bar.

[0056] Die Flüssigkeit 26 deckt dabei je nach Flüssigkeitsfüllstand große Stellen des Werkstücks 12 ab und schützt diese vor Verbrennungen. Sind in dem Formwerkzeug 4 Schneid- oder Trennkanten 29 vorgesehen, um das Werkstück 12 während des Umformens gleichzeitig auch zuzuschneiden, wird die Qualität dieser Kanten durch die Druckübertragung mittels Flüssigkeit verbessert. Auch die Kantenqualität von Löchern, welche während des Umformens gestanzt werden können, wird verbessert. Ein weiterer Vorteil der Flüssigkeitsbefüllung ist die Vereinfachung der Schnittstellen in dem Werkstückhaltebereich 21 und/oder zwischen den einzelnen Formwerkzeughälften 4. Diese liegen hier, wie in den Figuren 3 bis 5 gezeigt, unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche 22 und sind daher lediglich flüssigkeitsdicht. Durch die Flüssigkeitsfüllung lässt sich auch die benötigte Gas-

menge im Vergleich zum Explosionsumformen ohne Flüssigkeitsfüllung reduzieren. Um in dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel ein Explosionsumformen des Werkstücks mit einer reinen Gasfüllung zu erreichen, würden etwa drei Liter des explosiven Gasgemisches 23 benötigt. Mit der hier gezeigten Flüssigkeitsfüllung 26 lässt sich die benötigte Gasmenge auf ca. ein Liter reduzieren. Das erzielte Umformergebnis ist dabei etwa gleichwertig und oft sogar qualitativ besser.

[0057] In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel erfolgt die Flüssigkeitsbefüllung über ein Ventil 28 in dem Zündrohr 8, da es sich hier um ein annähernd gerades, rohrförmiges Werkstück 12 handelt. Alternativ kann die Flüssigkeitsbefüllung des Werkstückhohlraums 13 jedoch auch über ein Tauchbad erfolgen. Dies eignet sich insbesondere für Werkstücke, welche durch ihre Form dafür geeignet sind Flüssigkeit aufzunehmen, z. B. für gekrümmte oder wannenartig geformte Werkstücke. Solche Werkstücke können z. B. aus Stangenmaterial vorgeformt und anschließend in ein Flüssigkeitsbad zum Beispiel ein Wasserbad befördert werden. Hier werden sie je nach gewünschter Flüssigkeitsmenge getaucht bevor sie in das Formwerkzeug 2 eingesetzt werden. Ein solches Flüssigkeitsbad kann gleichzeitig z. B. als Produktionspuffer dienen, in welchem eine gewisse Anzahl an vorgeformten und flüssigkeitsgefüllten Werkstücken 12 zwischengelagert werden kann, bevor sie in das Formwerkzeug 2 eingesetzt werden.

[0058] Auch das Befüllen mit dem Gasgemisch 23 muss nicht zwangsläufig über einen oder mehrere Anschlüsse 25 im Zündrohr 8 erfolgen. Das Gasgemisch 23 kann gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung auch unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche eingeleitet werden, z. B. durch einen oder mehrere Gasanschlüsse 25 in dem Formwerkzeug 2, wie in Figur 4 gezeigt. In diesem Fall steigt das unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche eingeleitete Gas 23 durch die Flüssigkeit 26 hindurch und sammelt sich in dem flüssigkeitsfreien Hohlraum 24.

[0059] Die Zündung erfolgt auch hier über die Zündvorrichtung 27. Je nach Taktzeit und gewünschten Umformergebnis kann die Zündung erfolgen, nachdem sich das gesamte Gas 23 in dem Hohlraum 24 gesammelt hat oder bereits wenn sich das Gasgemisch 23 noch wenigstens teilweise in der Flüssigkeit 26 befindet.

[0060] Das Einleiten des Gases 23 durch eine Flüssigkeit 26, wie zum Beispiel Wasser hindurch hat den Vorteil, dass trotz gleicher Gasmenge ein höherer Umformdruck erzielt werden kann. Je nach Werkstück und eingefüllter Gas- bzw. Flüssigkeitsmenge ist so eine Steigerung des Umformdrucks bis zu dem vierfachen Wert möglich.

[0061] Die erfindungsgemäße Werkzeuganordnung und Verfahren wurden hier anhand eines etwa rohrförmigen Werkstücks 12 und eines korrespondierenden Formwerkzeugs 2 beschrieben. Dennoch sind auch andere Werkstückformen und dementsprechend anders geformte Formwerkzeuge möglich. Zum Beispiel können

mit der hier beschriebenen Werkzeuganordnung und Verfahren auch relativ flache oder gebogene Werkstücke umgeformt werden. Auch Werkstücke und Formwerkzeuge, welche abweichend von den hier gezeigten Ausführungsbeispielen mehr als einen Werkzeughaltebereich aufweisen sind möglich.

[0062] Obwohl in der hier beschriebenen Werkzeuganordnung und Verfahren Wasser als Befüll- und Druckübertragungsmedium dient, können hierfür prinzipiell auch andere Fluide in dem erfindungsgemäßen Verfahren Anwendung finden. Denkbar wären hier Flüssigkeiten, welche sich vor allem durch ihren Viskositätsbereich für diesen Zweck eignen, wie z. B. bestimmte Öle.

[0063] In dem oben beschriebenen Verfahren wird der Werkzeughohlraum 13 mit Flüssigkeit gefüllt. Dies eignet sich insbesondere für rohrartige Werkstücke und hat sich in der Praxis als vorteilhaft erwiesen. In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann sich die Flüssigkeit jedoch auch außerhalb des Werkstückhohlraums 13 in dem Aufnahmeraum 15 befinden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Explosionsumformen eines Werkstücks (12) mittels Gasexplosion, bei welchem das Werkstück (12) in einem Aufnahmeraum (15) eines Formwerkzeugs (2) angeordnet wird, wobei die Explosion durch Zünden eines explosiven Gasgemisches (23) in einem Zündrohr (8) ausgelöst wird, um eine Detonationsfront auszubilden, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Werkstückhohlraum (13), dessen Wandung im Querschnitt eine geschlossene Form aufweist, wenigstens teilweise mit Flüssigkeit gefüllt wird und das explosive Gasgemisch (23) vor dem Zünden in direkter Fluidverbindung mit der Oberfläche der Flüssigkeit (22) vorgesehen wird, wobei das Zündrohr (8) und der Werkstückhohlraum (13) zusammen einen gedichteten Weg ausbilden, welcher einen im Wesentlichen konstanten Querschnitt hat.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Werkstück (12) einen Werkstückhaltebereich (21) aufweist und das Zündrohr (8) vor dem Auslösen der Explosion in ein Anliegen mit dem Werkstückhaltebereich (21) gebracht ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Werkstückhohlraum (13) einen Querschnitt hat, und das Zündrohr (8) einen Innenraum mit einem Querschnitt aufweist, welcher im Wesentlichen der Gleiche ist wie der Querschnitt des Werkstückhohlraumes (13).
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Formwerkzeug (2) eine Werkzeugkavität (14) enthält, welche Trennkanten (29) aufweist, und die Explosion das Werkstück (12) veranlasst so gegen die Werkzeug-

kavität gedrückt zu werden, dass der Werkstückhaltebereich (21) von dem Rest des Werkstückes (12) durch ein Eingreifen mit den Trennkanten (29) abgetrennt wird.

5. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Gasgemisch (23) wenigstens teilweise durch die Flüssigkeit (26) hindurch eingeleitet wird.
6. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Oberfläche der Flüssigkeit (26) in dem Zündrohr (8) ist.
7. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei:

das Gasgemisch (23) hauptsächlich eine Mischung aus Wasserstoff und Sauerstoff, vorzugsweise ein im Wesentlichen stöchiometrisches Verhältnis von Wasserstoff und Sauerstoff, und insbesondere ein im Wesentlichen stöchiometrisches Verhältnis von Wasserstoff und Sauerstoff mit einem leichten Überschuss an Wasserstoff ist;

der Druck des Gasgemisches vor der Explosion gewöhnlich in dem Bereich von 60 bis 200 bar, vorzugsweise in dem Bereich von 70 bis 120 bar und insbesondere in dem Bereich von 95 bis 105 bar oder 110 bis 130 bar ist; und das Verhältnis des Gasgemisches (23) zur Flüssigkeit (26) ungefähr 1:1 bis 1:20, vorzugsweise 1:2 bis 1:15 und insbesondere 1:3 bis 1:10 ist.

8. Werkzeuganordnung (1) zum Explosionsumformen eines in einem Formwerkzeug (2) angeordneten Werkstücks (12) mittels eines explosiven Gasgemisches (23), wobei die Werkzeuganordnung (1) einen Aufnahmeraum (15) aufweist, in welchen das Werkstück (12) eingebracht ist, und welcher wenigstens teilweise mit Flüssigkeit (26) gefüllt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Werkstückhohlraum (13), dessen Wandung im Querschnitt eine geschlossene Form aufweist, wenigstens teilweise mit Flüssigkeit gefüllt ist und das explosive Gasgemisch (23) vor dem Zünden in direkter Fluidverbindung mit der Oberfläche der Flüssigkeit (22) angeordnet ist, wobei das Zündrohr (8) und das Werkstück (12) zusammen einen gedichteten Weg ausbilden, welcher einen im Wesentlichen konstanten Querschnitt aufweist.
9. Werkzeuganordnung (1) nach Anspruch 8, wobei das Werkstück (12) einen Werkstückhaltebereich (21) aufweist und das Zündrohr (8) vor dem Auslösen der Explosion in ein Anliegen mit dem Werkstückhaltebereich (21) gebracht ist.

10. Werkzeuganordnung (1) nach Anspruch 9, wobei der Werkstückhohlraum (13) einen Querschnitt hat, und das Zündrohr (8) einen Innenraum mit einem Querschnitt aufweist, welcher im Wesentlichen der Gleiche ist wie der Querschnitt des Werkstückhohlraumes (13).
11. Werkzeuganordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Formwerkzeug (2) eine Werkzeugkavität (14) enthält, welche Trennkanten (29) enthält, die für ein Trennen des Werkstückhaltebereichs (21) von dem Rest des Werkstückes (12) durch ein Eingreifen mit den Trennkanten (29) durch die Explosion positioniert sind.
12. Werkzeuganordnung (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei das Werkstück in wenigstens einem Werkstückhaltebereich (21) mit Flüssigkeit (26) gefüllt ist.
13. Werkzeuganordnung (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei die Oberfläche der Flüssigkeit (26) in dem Zündrohr (8) ist.

Claims

1. Method for the explosive forming of a workpiece (12) by means of gas explosion, in which the workpiece (12) is arranged in an intake area (15) of a moulding tool (2), whereas the explosion is triggered by means of ignition of an explosive gas mixture (23) in an ignition tube (8) to form a detonation front, **characterised in that** a workpiece cavity (13), whose wall has a closed shape in the cross-section, is at least partially filled with liquid and the explosive gas mixture (23) is provided in direct fluidic contact to the surface of the liquid (22) before the ignition, whereas the ignition tube (8) and the workpiece cavity (13) together form a sealed passage, which has a substantially constant cross section.
2. Method according to Claim 1, whereas the workpiece (12) has a workpiece holding area (21) and the ignition tube (8) is brought into contact with the workpiece holding area (21) prior to triggering the explosion.
3. Method according to Claim 2, whereas the workpiece cavity (13) has a cross section, and the ignition tube (8) has an inside space with a cross section, which is substantially equal to the cross section of the workpiece cavity (13).
4. Method according to Claim 3, whereas the moulding tool (2) comprises a mould cavity (14) having separating edges (29), and the explosion causes the

workpiece (12) to be pressed against the mould cavity (14), such that the workpiece holding area (21) is separated from the remaining workpiece (12) by engagement with the separating edges (29).

5. Method according to at least one of the preceding claims, whereas the gas mixture (23) is filled at least in part passing through a liquid (26).
6. Method according to at least one of the preceding claims, whereas the surface of the liquid (26) is within the ignition tube (8).
7. Method according to at least one of the preceding claims, whereas the gas mixture (23) mainly is a mixture of hydrogen and oxygen, preferably a substantially stoichiometric mixture of hydrogen and oxygen, and particularly a substantially stoichiometric mixture of hydrogen and oxygen with a slight hydrogen excess; the pressure of the gas mixture prior to the explosion usually is in the range of 60 to 200 bar, preferably in the range of 70 to 120 bar and particularly in the range from 95 to 105 bar or 110 to 130 bar; and the ratio of the gas mixture (23) to liquid (26) is roughly 1:1 to 1:20, preferably 1:2 to 1:15 and particularly 1:3 to 1:10.

8. Tool arrangement (1) for explosive forming of a workpiece (12) arranged in a moulding tool (2) by means of an explosive gas mixture (23), wherein the tool arrangement (1) has a intake area (15) into which the workpiece (12) is introduced and which is at least partially filled with liquid (26), **characterised in that** a workpiece cavity (13), whose wall has a closed shape in the cross-section, is at least partially filled with liquid and the explosive gas mixture (23) is arranged in direct fluidic contact with surface of the liquid (22) before the ignition, whereas the ignition tube (8) and the workpiece (12) together form a sealed passage, which has a substantially constant cross section.
9. Tool arrangement (1) according to Claim 8, whereas the workpiece (12) has a workpiece holding area (21) and the ignition tube (8) is brought into contact with the workpiece holding area (21) prior to triggering the explosion.
10. Tool arrangement (1) according to Claim 9, whereas the workpiece cavity (13) has a cross section, and the ignition tube (8) has an inside space with a cross section, which is substantially equal to the cross section of the workpiece cavity (13).
11. Tool arrangement (1) according to one of the preceding Claims, whereas the moulding tool (2) comprises a mould cavity (14) having separating edges

(29), which are positioned to separate the workpiece holding area (21) from the remaining workpiece (12) by engagement with the separating edges (29) due to the explosion.

12. Tool arrangement (1) according to one of the Claims 8 to 11, whereas the workpiece (12) is filled with liquid (26) in at least one workpiece holding area (21).
13. Tool arrangement (1) according to one of the Claims 8 to 12, whereas the surface of the liquid (26) is within the ignition tube (8).

Revendications

1. Procédé de formage par explosion, d'une pièce d'oeuvre (12) au moyen d'une explosion de gaz, d'après lequel la pièce d'oeuvre (12) est agencée dans une cavité d'accueil (15) d'un outillage de moulage par formage (2), l'explosion étant déclenchée par l'allumage d'un mélange de gaz explosif (23) dans un tube d'allumage (8), en vue de produire un front de détonation,
caractérisé en ce qu'une cavité de pièce d'oeuvre (13) dont la paroi présente une forme fermée en section transversale, est remplie au moins partiellement d'un liquide, et le mélange de gaz explosif (23) est, avant l'allumage, prévu en liaison fluïdique directe avec la surface du liquide (22), le tube d'allumage (8) et la cavité de pièce d'oeuvre (13) formant ensemble un parcours étanche, qui possède une section transversale sensiblement constante.
2. Procédé selon la revendication 1, d'après lequel la pièce d'oeuvre (12) présente une zone de tenue de pièce (21), et le tube d'allumage (8) est amené en appui contre la zone de tenue de pièce (21) avant le déclenchement de l'explosion.
3. Procédé selon la revendication 2, d'après lequel la cavité de pièce d'oeuvre (13) présente une section transversale, et le tube d'allumage (8) comporte une cavité intérieure avec une section transversale, qui est sensiblement la même que la section transversale de la cavité de pièce d'oeuvre (13).
4. Procédé selon la revendication 3, d'après lequel l'outillage de moulage par formage (2) renferme une cavité d'outillage (14), qui présente des arêtes de sectionnement (29), et l'explosion conduit à presser la pièce d'oeuvre (12) contre la cavité d'outillage de manière telle, que la zone de tenue de pièce (21) soit sectionnée du reste de la pièce d'oeuvre (12), par interaction avec les arêtes de sectionnement (29).
5. Procédé selon l'une au moins des revendications

précédentes, d'après lequel le mélange de gaz (23) est introduit au moins en partie à travers le liquide (26).

6. Procédé selon l'une au moins des revendications précédentes, d'après lequel la surface du liquide (26) se trouve dans le tube d'allumage (8).
7. Procédé selon l'une au moins des revendications précédentes, d'après lequel :

le mélange de gaz (23) est principalement un mélange d'hydrogène et d'oxygène, de préférence une proportion sensiblement stoechiométrique d'hydrogène et d'oxygène, et notamment une proportion sensiblement stoechiométrique d'hydrogène et d'oxygène avec un léger excès d'hydrogène ;

la pression du mélange de gaz avant l'explosion est généralement située dans une plage de 60 à 200 bar, de préférence dans une plage de 70 à 120 bar, et notamment dans une plage de 95 à 105 bar ou de 110 à 130 bar; et

la proportion du mélange de gaz (23) par rapport au liquide (26) est d'environ 1:1 à 1:20, de préférence de 1:2 à 1:15 et notamment de 1:3 à 1:10.

8. Agencement d'outillage (1) pour le formage par explosion d'une pièce d'oeuvre (12) agencée dans un outillage de moulage par formage (2), au moyen d'un mélange de gaz explosif (23), l'agencement d'outillage (1) comprenant une cavité d'accueil (15) dans laquelle est introduite la pièce d'oeuvre (12), et qui est remplie au moins partiellement d'un liquide (26),
caractérisé en ce qu'une cavité de pièce d'oeuvre (13) dont la paroi présente une forme fermée en section transversale, est remplie au moins partiellement d'un liquide, et le mélange de gaz explosif (23) est, avant l'allumage, disposé en liaison fluïdique directe avec la surface du liquide (22), le tube d'allumage (8) et la pièce d'oeuvre (12) formant ensemble un parcours étanche, qui possède une section transversale sensiblement constante.
9. Agencement d'outillage (1) selon la revendication 8, dans lequel la pièce d'oeuvre (12) présente une zone de tenue de pièce (21), et le tube d'allumage (8) est amené en appui contre la zone de tenue de pièce (21) avant le déclenchement de l'explosion.
10. Agencement d'outillage (1) selon la revendication 9, dans lequel la cavité de pièce d'oeuvre (13) présente une section transversale, et le tube d'allumage (8) comporte une cavité intérieure avec une section transversale, qui est sensiblement la même que la section transversale de la cavité de pièce d'oeuvre (13) .

11. Agencement d'outillage (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'outillage de moulage par formage (2) renferme une cavité d'outillage (14), qui présente des arêtes de sectionnement (29) positionnées pour produire un sectionnement de la zone de tenue de pièce (21) du reste de la pièce d'oeuvre (12), par l'explosion, suite à l'interaction avec les arêtes de sectionnement (29). 5
12. Agencement d'outillage (1) selon l'une des revendications 8 à 11, dans lequel la pièce d'oeuvre est remplie de liquide (26) dans au moins une zone de tenue de pièce (21). 10
13. Agencement d'outillage (1) selon l'une des revendications 8 à 12, dans lequel la surface du liquide (26) se trouve dans le tube d'allumage (8). 15

20

25

30

35

40

45

50

55

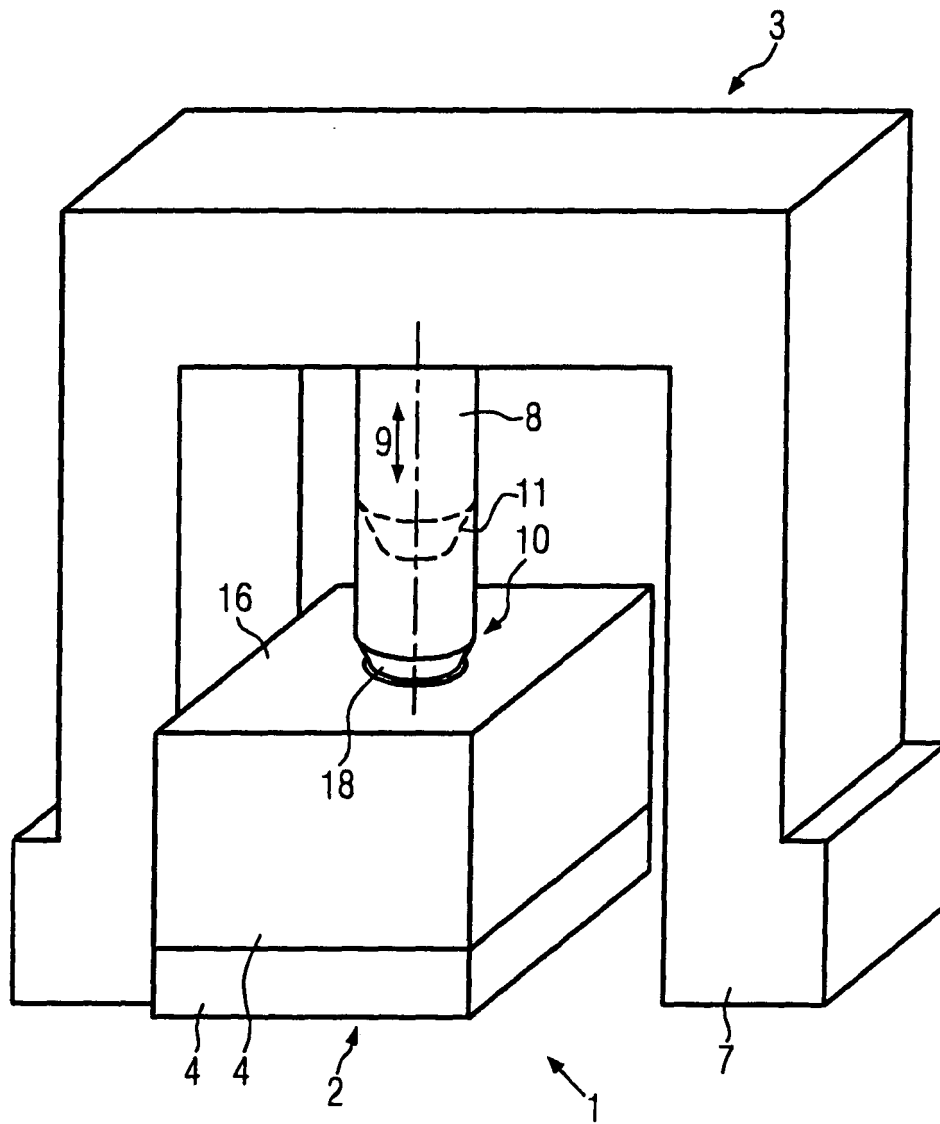


FIG. 1

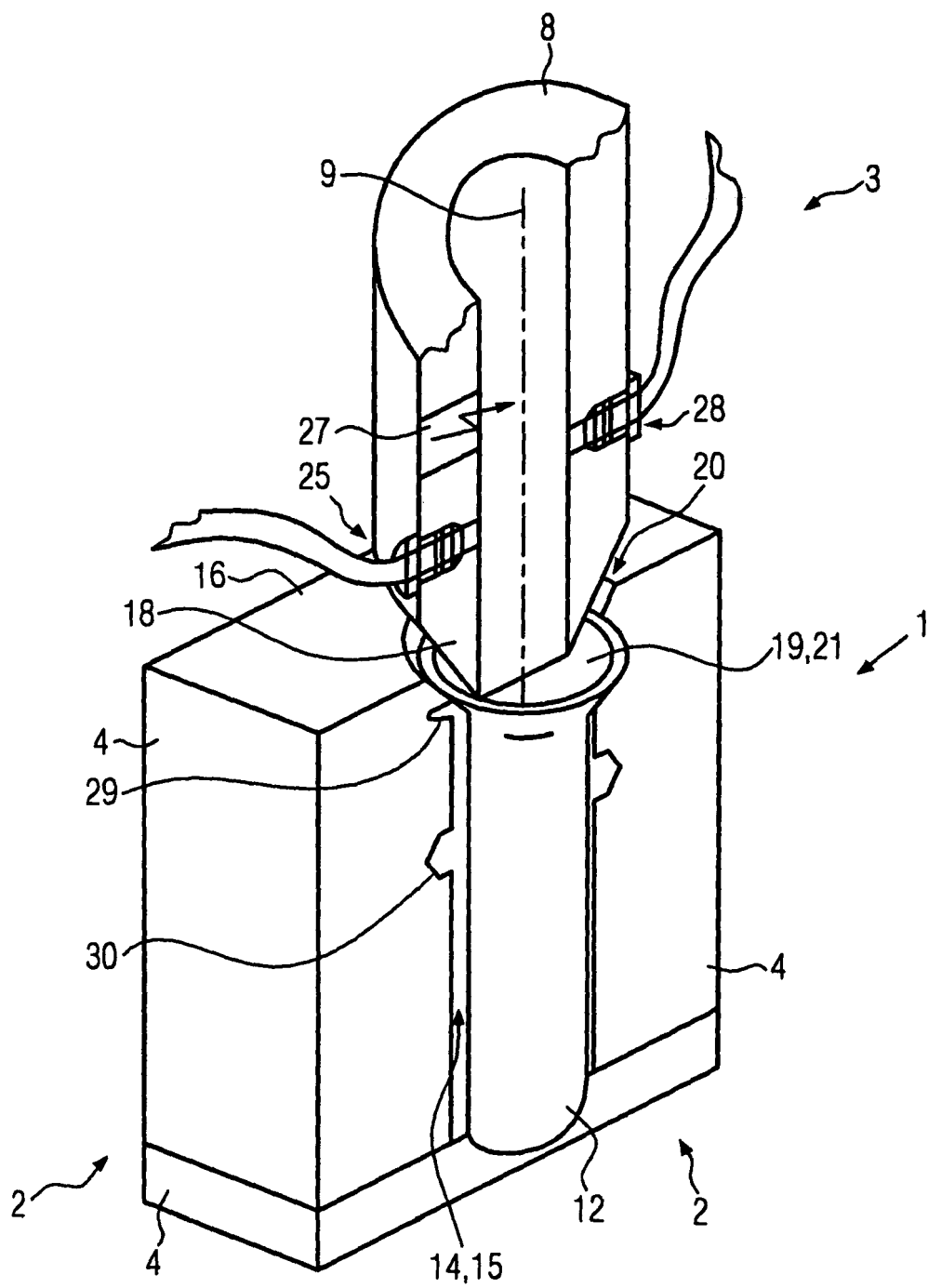


FIG. 2

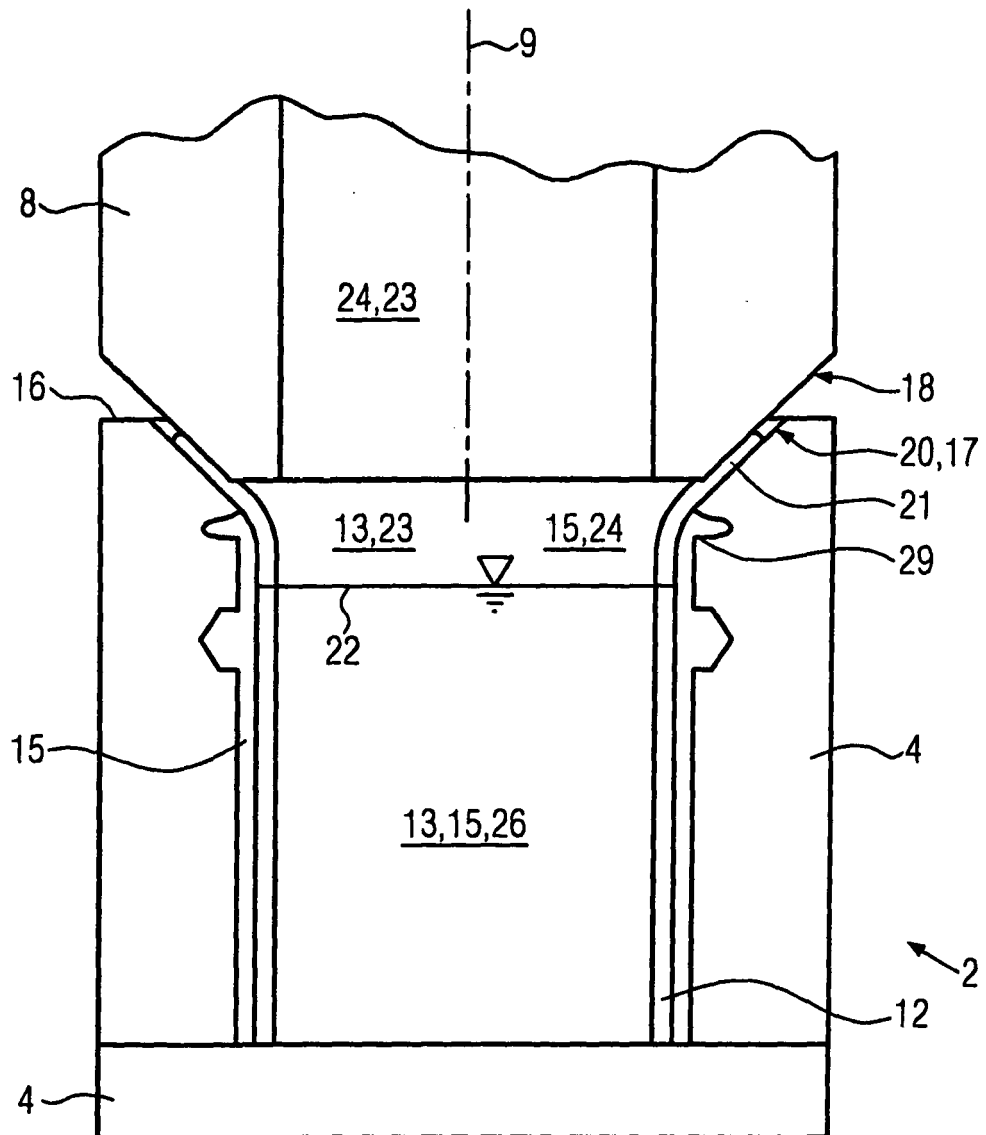


FIG. 3

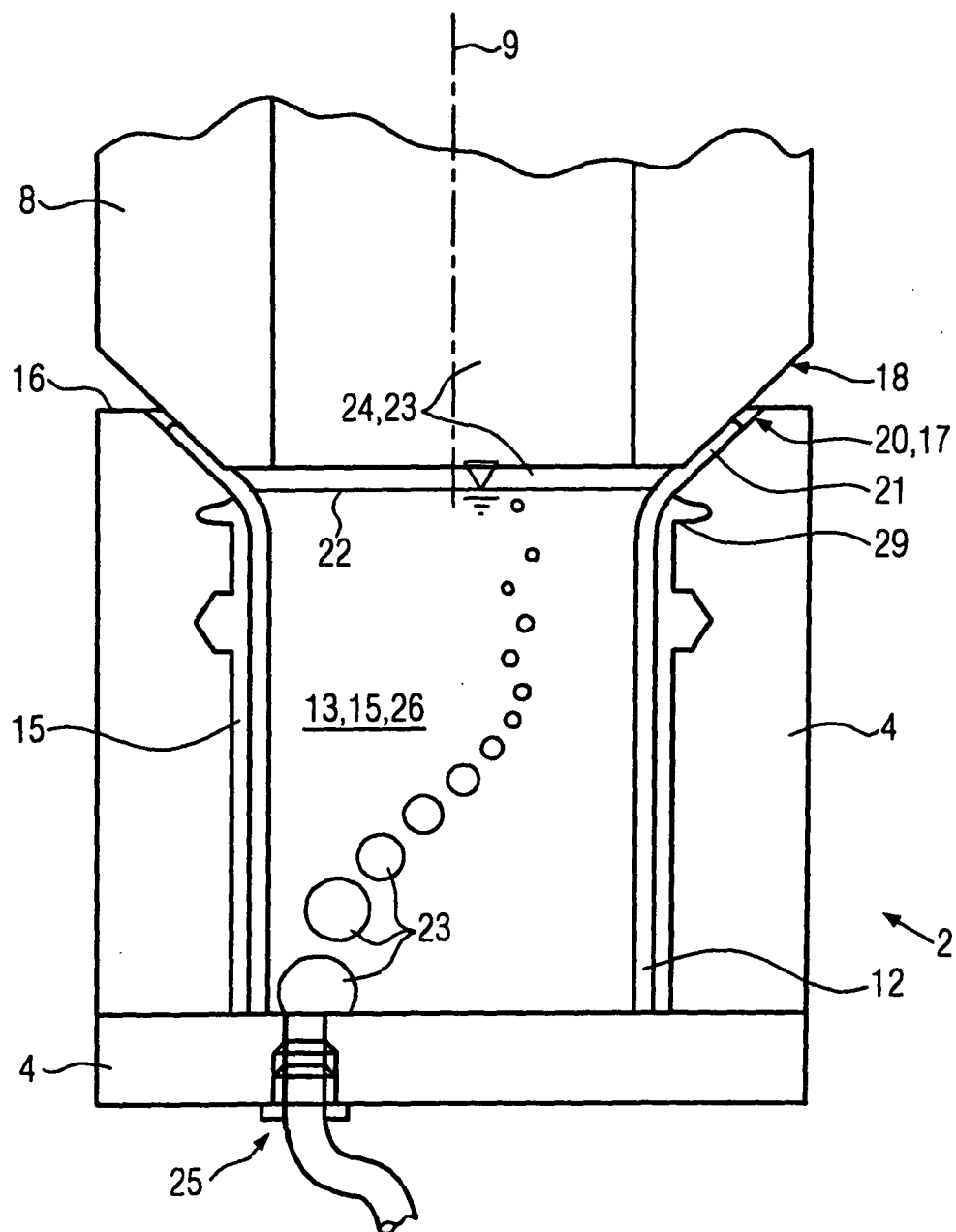


FIG. 4

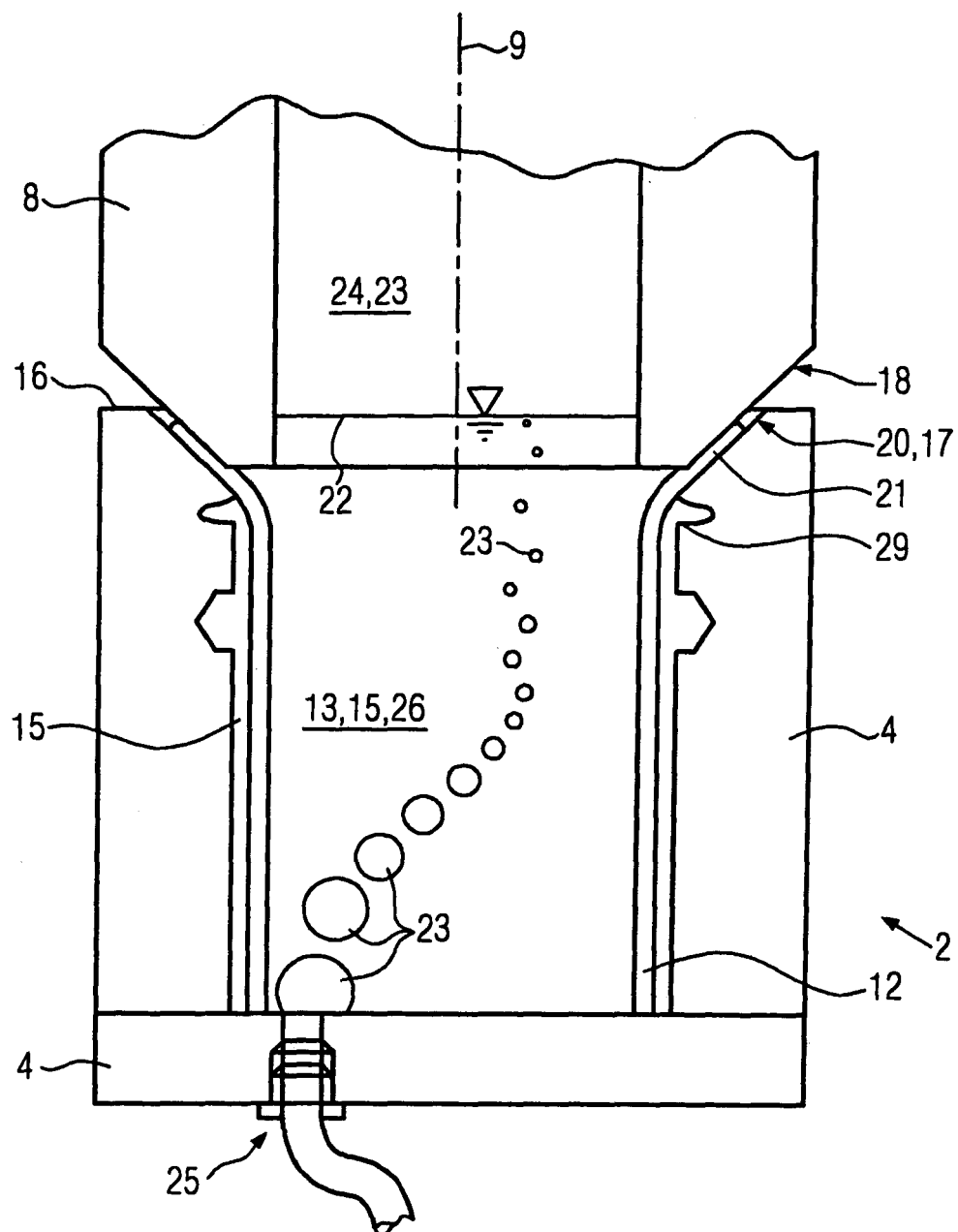


FIG. 5

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

- GB 2047147 A [0002]
- CH 409831 [0003]