



(10) **DE 10 2019 116 968 A1** 2020.12.24

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 116 968.2**

(22) Anmeldetag: **24.06.2019**

(43) Offenlegungstag: **24.12.2020**

(51) Int Cl.: **B21D 28/24 (2006.01)**

(66) Innere Priorität:

**10 2019 116 550.4 18.06.2019**

(71) Anmelder:

**Benteler Automobiltechnik GmbH, 33102  
Paderborn, DE**

(74) Vertreter:

**Bockermann Ksoll Griepenstroh Osterhoff, 44791  
Bochum, DE**

(72) Erfinder:

**Rabe, Frank, 32120 Hiddenhausen, DE; Frost,  
Georg, 32839 Steinheim, DE; Fortmeier, Günter,  
33129 Delbrück, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

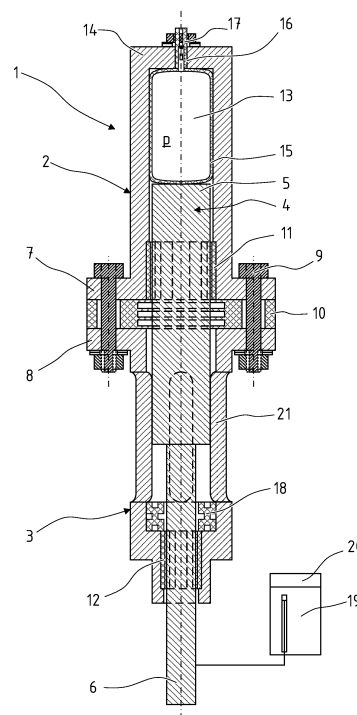
|           |                        |           |
|-----------|------------------------|-----------|
| <b>DE</b> | <b>10 2007 054 533</b> | <b>B3</b> |
| <b>DE</b> | <b>10 2016 125 510</b> | <b>B3</b> |
| <b>DE</b> | <b>10 2008 000 909</b> | <b>A1</b> |
| <b>DE</b> | <b>10 2017 102 835</b> | <b>A1</b> |
| <b>EP</b> | <b>2 995 395</b>       | <b>A1</b> |

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Stoßantrieb für ein linear zu bewegendes Werkzeug, Blechbauteil sowie Verfahren zum Schneiden eines Blechbauteils**

(57) Zusammenfassung: Stoßantrieb für ein linear zu bewegendes Werkzeug mit folgenden Merkmalen: In einem Ständergehäuse 2 ist ein linear beweglicher Läufer 4 angeordnet, der ein inneres Ende 5 aufweist, das in dem Ständergehäuse 2 angeordnet ist, und der ein freies Ende 6 für ein Werkzeug aufweist. In dem Ständergehäuse 2 ist ein gasgefüllter Druckraum 13 angeordnet, wobei in dem Druckraum 13 ein Überdruck  $p$  gegenüber der Umgebung herrscht oder erzeugbar ist, der so bemessen ist, dass der Läufer 4 über den Stellweg auf eine Geschwindigkeit von mindestens 6 m/s beschleunigt wird. In dem Ständergehäuse 2 ist ein erstes Linearlager 11 angeordnet, in dem das innere Ende 5 des Läufers 4 linear geführt ist. An das Ständergehäuse 2 schließt sich ein Führungsgehäuse 3 an, in welchem ein zweites Linearlager 12 in einem axialen Abstand zu dem ersten Linearlager 11 angeordnet ist. Der Läufer 4 ist von einer Rückhaltevorrichtung 20 in einer eingefahrenen Position arretierbar. Der Läufer 4 ist mit einer Rückstellvorrichtung 19 gekoppelt, um den Läufer 4 von einer ausgefahrenen Position in eine Ausgangsposition zu überführen.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Stoßantrieb für ein linear zu bewegendes Werkzeug mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, ein höchstfestes, gehärtetes metallisches Blechbauteil gemäß Patentanspruch 13 sowie Verfahren zum Schneiden eines Blechbauteils gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 14

**[0002]** Das nicht-thermische Stoßen, Stanzen, Lochen, Schneiden oder Fügen von Gegenständen aus einem Feststoff kann dadurch erfolgen, dass ein beweglicher Körper als Masse mit einer großen Geschwindigkeit gegen einen in Bezug auf die Masse ortsfesten oder annähernd ruhenden Gegenstand getrieben wird, sodass die kinetische Energie der bewegten Masse während des quasi inelastischen Stoßvorganges nahezu vollständig auf den getroffenen Gegenstand übergeht.

**[0003]** Üblicherweise beschleunigen die für Stoß-, Umform-, Schneid-, Setz- oder Füge-Werkzeuge genutzten Antriebe eine Masse, beispielsweise einen als Hammer, Schlagbolzen oder als Treibkolben bezeichneten Prallkörper mit einer harten Schlagfläche, die den kinetischen Impuls durch den Prall auf den ebenfalls eine harte Oberfläche aufweisenden Körper des Werkzeuges oder des zu treibenden Gegenstandes überträgt.

**[0004]** Zum Zwecke des Beschleunigens der zu bewegenden Maße sind aus dem Stand der Technik hydraulische, pneumatische, elektro-magnetische, pyrotechnische oder die Wirkung einer Brennkraft nutzende Antriebe bekannt. In der DE 10 2008 0009 09 A1 ist ein Setzgerät beschrieben, das zum Zwecke des Treibens von Befestigungsmitteln in ein Werkstück den auf einen Treibkolben wirkenden Druck des in einer Brennkammer expandierenden Gases nutzt und das mittels des Druckunterschieds zwischen den von dem Treibkolben getrennten Räumen den Treibkolben in die Anfangslage zurück bewegt. Das Rückführen der entspannten Fluide oder der Reaktionsprodukte bzw. Abgase, beispielsweise mittels einer Pumpe, ist aufwendig und erfordert einen doppelt wirkenden Kolben, der zwei abgeschlossene Räume trennt.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für ein linear zu bewegendes Werkzeug einen Stoßantrieb aufzuzeigen, welcher möglichst kompaktbauend für den Einsatz in einer Werkzeugmaschine geeignet ist und der eine große Leistungsfähigkeit und Leistungsdichte für einen sich periodisch wiederholenden Reversierbetrieb aufweist.

**[0006]** Diese Aufgabe ist bei einem Stoßantrieb mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

**[0007]** Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

**[0008]** Ferner soll ein verbessertes Verfahren zum Schneiden eines Blechbauteils aufgezeigt werden.

**[0009]** Der erfindungsgemäße Stoßantrieb basiert auf dem Grundgedanken, dass in einem Ständergehäuse ein linear beweglicher Läufer für den Stoßantrieb angeordnet ist. Der Läufer besitzt ein inneres Ende, das in dem Ständergehäuse angeordnet ist, und ein freies Ende für ein Werkzeug. Dieses Ende ragt aus dem Stoßantrieb bzw. aus dem Ständergehäuse heraus. In dem Ständergehäuse ist ein gasgefüllter Druckraum angeordnet. In den Druckraum herrscht ein Überdruck gegenüber der Umgebung. Zumindest ist der Überdruck gegenüber der Umgebung erzeugbar. Der Druck in dem Druckraum ist so bemessen, dass der Läufer über seinen begrenzten Stellweg durch den aufgebauten Druck eine Geschwindigkeit von mindestens 6 m/s erreicht. Der Läufer bewegt sich ausschließlich innerhalb des Stoßantriebes reversierend hin und her. Hierzu ist in dem Ständergehäuse ein erstes Linearlager angeordnet zum linearen Führen des inneren Endes des Läufers.

**[0010]** An das Ständergehäuse schließt sich ein Führungsgehäuse an, in welchem ein zweites Linearlager im Abstand von dem ersten Linearlager angeordnet ist. Das erste bzw. innere Ende des beweglichen Läufers kann auch als Kolben bezeichnet werden, der dem Druckraum benachbart ist. Das zweite, freie Ende ist gewissermaßen die Kolbenstange oder der Stößel und bildet die Koppelstelle zu einem geeigneten Werkzeug.

**[0011]** Bei der Erfindung ist vorgesehen, dass das erste Linearlager im Ständergehäuse angeordnet ist. Ein zweites Linearlager befindet sich im Abstand von dem ersten Linearlager und zwar an einem Führungsgehäuse, das sich an das Ständergehäuse anschließt. Auf diese Weise sind beide Enden des linear beweglichen Läufers während der Hubbewegung des Stoßantriebes geführt.

**[0012]** Der erfindungsgemäße Stoßantrieb besitzt einen quasi eingebauten pneumatischen Energiespeicher. Die Energie aus diesem Energiespeicher wird auf den Läufer übertragen, wenn der Läufer freigegeben wird. Hierdurch wird der Läufer, der zuvor gegen den Druckraum bewegt und in der von dem Druck beaufschlagten

Lage gehalten wird, aus einer Ruhe- bzw. ersten Endlage in eine zweite Endlage beschleunigt und nimmt währenddessen kinetische Energie aus dem Druckraum auf. Die Impulsstärke des Stoßantriebes ist pneumatisch steuerbar. Der pneumatische Antrieb bzw. der pneumatische Energiespeicher besitzt eine in Bezug auf den Einbauraum große Leistungsfähigkeit und eignet sich zudem sehr gut für den sich periodisch wiederholenden Reversierbetrieb. Eine Voraussetzung für das Reversieren ist das fremdkraftbetätigte Einstellen der von dem Läufer bewegten Massen in den Bereitschaftszustand. Das Beschleunigen der Masse des Läufers erfolgt pneumatisch während des Stoßes.

**[0013]** Aufgrund des eingebauten Energiespeichers ist es erforderlich, dass der Läufer von einer Rückhaltevorrichtung in einer eingefahrenen und von dem Druck beaufschlagten Lage arretierbar ist. Die eingefahrene Lage entspricht der Bereitschaftsposition. In dieser Bereitschaftsposition ist der Druckraum durch den beweglichen Läufer in der Ausdehnung gemindert. Wird die Rückhaltevorrichtung gelöst, schnell der linear bewegliche Läufer vom Gasdruck getrieben in Richtung zum Führungsgehäuse. Wenn der Läufer seine Endlage erreicht hat und nicht weiter in der Richtung zum Führungsgehäuse bewegt werden kann, muss der Läufer für den nächsten Einsatz wieder zurückgeführt werden. Hierfür ist der Läufer an eine Rückstellvorrichtung gekoppelt, um den Läufer von einer ausgefahrenen Position in die Ausgangsposition zu überführen.

**[0014]** Der erfindungsgemäße Stoßantrieb setzt ein knicksteifes, schub- und zugfestes Gehäuse voraus, das vorzugsweise einen zylindrischen Hohlraum für den Druckraum begrenzt. In den Hohlraum kann ein Dichtkörper eingesetzt sein, der das Befüllen des Hohlraums mit einem Gas oder mit einem Gasgemisch ermöglicht und der das Entweichen des Gases oder des Gasgemisches aus dem Hohlraum verhindert. Zur Kraftübertragung ist der Läufer ebenfalls knicksteif.

**[0015]** Der von dem Gasdruck auf eine Geschwindigkeit von mindestens 6 m/s beschleunigte Läufer wird durch den Kontakt mit dem Werkstück gebremst, wobei die kinetische Energie sich in Wärme wandelt. Zusätzlich besitzt das Führungsgehäuse einen Anschlagpuffer, den der Läufer in seiner Endlage berührt. Der Läufer wird nach dem Lösen der Rückhaltevorrichtung in Richtung zu dem Führungsgehäuse beschleunigt und durch den Kontakt mit dem Werkstück und durch den Anschlagpuffer gebremst. Vorzugsweise ist das zweite Linearlager benachbart coaxial zu dem Läufer in der Nähe von dem Anschlagpuffer angeordnet.

**[0016]** Zur Minimierung des Energieverlusts aufgrund von Reibung muss der Läufer in dem Stoßantrieb besonders leichtgängig gelagert sein. Die beiden Linearlager bewirken eine besonders reibungsarme Lagerung des Läufers. Die Linearlager können als Lagerschalen oder als Lagerringe aus einem dauermagnetischen Stoff bestehen, aus einem teilkristallinen Polymer (z.B. Polyoxymethylen (POM), Polyamid (PA) oder Polyphenylensulfid (PPS)). Die besagten Bauteile können auch aus einem mit einem Trockenschmierstoff beschichteten Metall und/oder aus Kohlenstoff bestehen. Zum Schutz gegen ein Überhitzen durch reibungsbedingte Wärme kann das Linearlager durch Wärmeleitung an die umgebenden Gehäusebauteile gekühlt sein. Die Wärme kann auch an den Läufer abgegeben werden oder durch Wärmekonvektionen an einen fluiden Wärmeträger. Insbesondere sind das erste und oder/das zweite Linearlager flüssigkeits- oder gasgekühlt. Eine gewisse Kühlung ergibt sich bereits dadurch, dass ein fluider Wärmeträger eingesetzt wird, der ein Gleit- oder Schmierstoff sein kann. Als Wärmeträger bieten sich eine Flüssigkeit von ausreichend kleiner Oberflächenspannung und Viskosität an oder ein aus einem Gasspeicher expandierendes und das Lager durchspülendes Gas.

**[0017]** Da der Läufer auf einem kurzen Hubweg sehr stark beschleunigt wird und anschließend von der erreichten Geschwindigkeit bereits wieder bis zum Stillstand abgebremst wird, ist es erforderlich, an dem Läufer einen radialen Vorsprung vorzusehen, der mit dem Anschlagpuffer zusammenwirkt. Dieser Vorsprung führt zu einer Verdrängung von der Umgebungsluft. Damit in dem Führungsgehäuse kein schädlicher Staudruck entsteht, weist das Führungsgehäuse mindestens eine Entlüftungsöffnung auf. Die Entlüftungsöffnung erstreckt sich vorzugsweise entlang des Hubweges des Läufers, so dass über die gesamte Länge der Beschleunigungsstrecke kein bremsender Druckanstieg erfolgt. Zudem ist der Läufer mit hinreichendem Spiel in den Linearlagern gelagert.

**[0018]** Die für den Schlag mit einer Geschwindigkeit von wenigstens 6 Meter je Sekunde erforderliche thermodynamische Energie ist vorzugsweise in der Differenz zwischen den von innerhalb des Ständergehäuses und von außerhalb des Ständergehäuses auf die Querschnittsfläche des Läufers wirkenden Fluid-Drücke gespeichert.

**[0019]** Die Rückhaltevorrichtung zum Halten des Läufers in einer Bereitschaftsposition kann einen beweglichen Sperrkörper umfassen, der mit einem Sperrvorsprung des Stößels in Eingriff bringbar ist. Die Rückhaltevorrichtung kann auch eine Kupplung umfassen, die einen magnetischen, pneumatischen, hydraulischen oder

mechanischen Kraftschluss zwischen dem Läufer und dem Gehäuse bewirken kann. Das Lösen des Läufers aus der Bereitschaftsposition erfolgt durch das Auslösen bzw. durch das Entspannen der Rückhaltevorrichtung.

**[0020]** In dem Druckraum ist vorzugsweise ein das Gasvolumen umgebender Dichtkörper angeordnet. Es kann sich hierbei um einen Dichtbalg aus einem Elastomer handeln. Wenn kein Dichtbalg in den Druckraum eingesetzt ist, sind zumindest Dichtmittel erforderlich, um den Druckraum gegenüber dem Spalt zwischen dem Läufer und dem Ständergehäuse abzudichten. Es können Dichtringe oder auch Dichtmembranen zum Einsatz kommen. Hierzu eignen sich Elastomere oder auch metallische Werkstoffe.

**[0021]** Der Druckraum bzw. der pneumatische Energiespeicher kann befüllbar ausgestaltet sein. Über eine Druckgasleitung und gegebenenfalls über ein Rückschlagventil kann der Druckraum über ein außerhalb des Stoßantriebs angeordneten Energiespeicher mit einem Gas oder mit einem Gas-Gemisch gespeist werden. Ergänzend kann der Druckraum bzw. der eingebaute pneumatische Energiespeicher temperiert werden. Durch ein Erwärmen steigen der Druck und die Viskosität von dem Gas. Das Steuern der Temperierung erfolgt vorzugsweise elektrisch. Hierzu kann ein Elektrodenpaar von wenigstens einem außerhalb des Stoßantriebes angeordneten elektrischen Energiespeicher Elektrizität zum Steuern der Temperierung abgeben.

**[0022]** Das fremdkraft-betätigte Einstellen des Läufers bzw. der von dem Läufer zu bewegenden Masse in den Bereitschaftszustand erfolgt bevorzugt mittels eines elektrisch und/oder eines pneumatisch steuerbaren Antriebs, vorzugsweise mittels eines servo-pneumatischen Linear-Antriebs (pneumatisches Kolben-Zylinder-Gerät mit einem Weg-Messwertaufnehmer).

**[0023]** Das Halten und Loslassen des Läufers erfolgt bevorzugt mittels einer elektrisch und/oder einer pneumatisch schaltbaren Axial-Kupplung, beispielsweise mittels einer Elektro-magnetischen Kupplung (Haftmagnet) oder einer Fluiddruck-betätigten Kupplung (Zentrierspanner).

**[0024]** Der Vorteil des erfindungsgemäßen Stoßantriebs sind die in Bezug auf die Stoßenergie kleinen Massen, die eine große Dynamik bzw. eine große Stoßbeschleunigung entwickeln. Die kleinen bewegten Massen führen zu geringen Reaktionskräften auf angrenzende Bauteile und auf die beteiligten Lager. Der erfindungsgemäße Stoßantrieb besitzt eine große Leistungsdichte bei einer gleichzeitig sehr kompakten Gestalt aus zumeist zylinderförmigen Gegenständen und bei einem sehr geringen Raumbedarf. Die Aufnahme eines Werkzeugs, beispielsweise eines Lochstempels, in einem freien Ende des Läufers ist möglich. Der Läufer ist bevorzugt ein Körper mit einer über die axiale Länge kreiszylindrischen Querschnittsfläche. Die axiale Länge des Läufers beträgt mindestens das Zweifache des Außendurchmessers des Läufers.

**[0025]** Die große Energiedichte in dem eingebauten pneumatischen Energiespeicher führt zu einer trapezförmigen Kraft-Weg-Kennlinie. Eine Energiezufuhr während des Stoßbetriebes ist nicht erforderlich, kann gegebenenfalls jedoch den Beschleunigungsvorgang steigern. Der Energiegehalt ist über die Lage des Läufers in dem gasgefüllten Hohlraum (Spann- bzw. Stellweg) und/oder den Gasdruck stufenlos änderbar.

**[0026]** Eine große Energiedichte in dem eingebauten pneumatischen Energiespeicher erspart Leitungs- bzw. Übertragungsverluste, die durch das Zuführen oder das Steigern der Energiedichte aus einem äußeren Energiespeicher entstünden.

**[0027]** Im Stoßbetrieb treten daher nur sehr geringe dynamische Verluste auf bei einem gleichzeitig großen mechanischen Wirkungsgrad.

**[0028]** Weitere Vorteile des pneumatischen Energiespeichers sind die gute Steuer- und Überwachbarkeit des erfindungsgemäßen Stoßantriebs und dessen geringe akustische und thermische Emissionen bzw. dessen geringe Immissionen in Bezug auf dessen Umgebung. Zudem werden die thermisch und chemischen Lasten reduziert. Gegenüber einer Feder oder einem elastischen Körper aus einem Feststoff gibt es keine Veränderung der Kraft-Weg-Kennlinie durch Relaxationsvorgänge (Setzen des Werkstoffs) oder durch ein Entfestigen oder durch eine plastische Formänderung (Fließen).

**[0029]** Der Betriebs- oder Wartungs-Aufwand ist gering. Dadurch ist die Nutzungsdauer eines solchen Stoßantriebes groß. Es kommt keine Pyrotechnik und auch keine Brennkraft zum Einsatz. Es entstehen keine Abgase, die abgeleitet werden müssten. Daher geht von dem Stoßantrieb auch keine Gefahr durch Feuer oder Rauch aus.

**[0030]** Zudem erfordert der erfindungsgemäße Stoßantrieb keine große elektrische Spannung oder Stromstärke. Folglich geht von dem Stoßantrieb auch keine Gefahr durch Elektrizität aus. Die Gefahr des Klemmens bzw. Verschweißens von Läufer und Lager ist gering, da beide Bauteile mit einem hinreichend großen Spiel eingesetzt werden können. Der Gasdruck wird vorzugsweise durch einen entsprechenden Dichtkörper oder sogar durch einen Balg aufrecht erhalten, so dass der Läufer mit einer großen Spieltoleranz innerhalb des Gehäuses eingebaut werden kann.

**[0031]** Der Aufbau des erfindungsgemäßen Stoßantriebs ist mit erprobten Bauteilen und Normalbauteilen möglich. Der erfindungsgemäße Stoßantrieb ist insbesondere in der Industrie- und Automatisierungstechnik als Antrieb für Pressen, Hämmer und für das Betätigen von Umform-Werkzeugen, Schneid-Werkzeugen, Setz-Werkzeugen und Füge-Werkzeugen geeignet.

**[0032]** Zudem weist der erfindungsgemäße Stoßantrieb Vorteile gegenüber Bauformen mit Schraubendruckfedern auf. Zunächst ist die rechteckförmige Energie-Fläche unter der Kraft-Weg-Kennlinie zu nennen. Der Spannweg ist nahezu direkt proportional zur potentiellen Energie. Die von der Rückstelleinrichtung zu überwindende Spannkraft ist nahezu konstant, wobei die von der Rückhaltevorrichtung zu erzeugende Haltekraft der Spannkraft entspricht. Die Spannkraft ist druckabhängig. Beispielweise kann ein Druckbereich von 15 bar bis 150 bar einer Kraft  $F$  von 0,3 kN bis 3 kN entsprechen.

**[0033]** Ein weiterer Vorteil ist die geringe Alterung des Stoßantriebes. Bei entsprechender Gasdichtigkeit kann der Druckraum das unter einem Druck stehende Gas etwa zwei Jahre bis zum Nachfüllen einer Mindestmenge von Gas speichern. Gleitlager und Dichtungen sind für mehr als 1,0 Millionen Stoßzyklen bei  $v \leq 1,5$  m/s ausgelegt. Bei entsprechender Dimensionierung ist davon auszugehen, dass Gleitlager und Dichtungen mindestens 100.000 Stoßzyklen standhalten bei einer Geschwindigkeit von  $v \leq 15$  m/s.

**[0034]** Erprobungen haben gezeigt, dass der sogenannte adiabatische Trennvorgang auf der Grundlage von dem adiabatischen Effekt nicht nur abhängt von der eingebrachten kinetischen Energie oder von der Eindringtiefe des linear bewegten Werkzeugs in das Werkstück, sondern wesentlich getrieben ist von der thermischen Leistung, mit der das Werkstück eine kinetische Energie in die Stoff-spezifische Schmelzwärme wandelt. Die Tiefe, mit der das Werkzeug in das Werkstück eindringt, wird also im Idealfall nicht durch einen Endanschlag begrenzt, sondern soll erfindungsgemäß sich vorzugsweise durch das natürliche Bremsen, das mit einer bestimmten kinetischen Energie und bei Überwindung der Elastizität der Stoßpartner noch mit einer ausreichend großen Geschwindigkeit in das Werkstück eindringen Werkzeugs ergeben. Daher kann zur Realisierung des adiabatischen Trennens der Schneidstempel von einer über den Beschleunigungsweg annähernd konstant großen Kraft getrieben werden. Es ist somit nicht erforderlich, zur Realisierung des adiabatischen Trennvorgangs einem Schneidstempel mit einem hydraulischen, pneumatischen oder magnetischen Impuls zusätzlich zu der annähernd konstanten Kraft zu beschleunigen.

**[0035]** In diesem Zusammenhang beachtenswert ist die Feder-Kennlinie des erfindungsgemäß den Läufer treibenden pneumatischen Energiespeichers, die nicht den Ursprungspunkt des Kraft-Weg-Diagramms beinhaltet. Die von dem Stoßantrieb auf das Werkzeug übertragene Energie entspricht annähernd der Trapez- oder Rechteck-Fläche unter der Kennlinie, und ist somit bei einer gegebenen (maximalen) Stellkraft und einem gegebenen (maximalen) Stellweg größer als bei einer Schrauben-, Teller- oder Blatt-Feder. Zudem kann die zu bewegendes Masse und die innere Reibung des Stoßantriebes kleiner sein als bei einer Stahlfeder, wodurch die Energie mit einer größeren Leistung freigesetzt werden kann. Die kleinere bewegte Masse des erfindungsgemäßen Stoßantriebs schont die Bauteile, die im Gegensatz zu einer soliden Feder weder der stoßbedingten Entfestigung noch der plastischen Formänderung (Stauchung) oder der Relaxation des Federkörpers unterliegen.

**[0036]** Um einen schnellen Druckausgleich zu erreichen, ist der Druckraum des erfindungsgemäßen Stoßantriebs mit einem Gas von einer unter dem Umgebungszustand möglichst kleinen Viskosität zu füllen. Hierfür eignet sich Stickstoff. Eine kleinere Viskosität als Stickstoff besitzen Wasserdampf, Wasserstoff und Kohlendioxid, allerdings ist der Aufwand für das Speichern dieser Gase über eine längere Zeit im gleichen Zustand größer. Im üblichen Druckbereich von 5 MPa bis 15 MPa (50 bar bis 150 bar) liegt das Minimum der Viskosität von Stickstoff bei einer Temperatur von  $T < 250$  K (-23 °C). Bei der Temperatur von 300 K (+27 °C) liegt das Minimum der Viskosität bei einem Druck von etwa 20 MPa (200 bar).

**[0037]** Der erfindungsgemäße Stoßantrieb eignet sich für das lineare Bewegen eines Werkzeugs zum Zwecke des adiabatischen Trennens insbesondere zum sogenannten adiabatischen Lochen. Während das Hochgeschwindigkeit-Scherschneiden eine glatte Scherfläche mit offenen Gefügeverbindungen von einer großen

Oberflächenenergie erzeugt, bewirkt das adiabatische Loch einen rissfreien Schneidrand mit einem infolge des Schmelz- und Erstarrungsvorgangs geänderten Metallgefüge, das unempfindlich ist gegen eine spannungsinduzierte Rissbildung, und gegen Risswachstum aus einer gehärteten Werkstoffumgebung. Die infolge von mechanischen Spannungen oder Gleitwiderständen im Gefüge gehärtete Werkstoffumgebung wird weniger bindungsfähig für Oxidationsstoffe und weniger aufnahmefähig für Diffusionsstoffe aufgrund der in der Erstarrungssicht geschlossenen Gefügebindungen, die eine geringe Oberflächenenergie besitzen, als eine Bruch- oder Scherfläche. Dadurch ist die Anfälligkeit für Korrosion und wasserstoffinduzierte Sprödigkeit gemindert.

**[0038]** Damit der Stoßantrieb eine möglichst große Beschleunigung des Läufers erreicht, füllt der vorzugsweise zylindrische Läufer die Bohrungen bzw. den Hohlraum im Ständergehäuse nahezu vollständig aus und schließt das unter Druck stehende Gaspolster ein. Bedingt durch die geringere Massendichte bewegt sich das Gaspolster weniger träge als eine viskose Flüssigkeit oder als ein elastischer Festkörper mit einem gleichen Rauminhalt, erfordert jedoch einen ausreichend dichten Behälter.

**[0039]** Zur Minderung des Strömungswiderstandes ist der in der Bohrung des Ständergehäuses tauchende Bereich des Läufers vorzugsweise mit einem glatten Material und einem gleichbleibenden Durchmesser gestaltet. Das in das Ständergehäuse eingesetzte Linearlager dient als reibungsarmer Abstandhalter zwischen dem druckfesten Ständergehäuse und der Mantelfläche des Läufers. Das Abdichten des Druckraumes gegenüber der Umgebung erfolgt vorzugsweise durch einen ebenfalls sehr reibungsarmen Dichtkörper, der vorzugsweise schwimmend zwischen den Gehäuseteilen, d. h. zwischen dem Ständergehäuse und dem Führunggehäuse gelagert ist. Der Dichtkörper geleitet über den Mantel des Läufers.

**[0040]** Das zweite Linearlager dient zur Positionierung des freien Läuferendes und hat daher bevorzugt weniger Spiel zu dem Läufer als das erste Linearlager.

**[0041]** Zur Minderung der bewegten Massen und zur Steigerung der Prallfläche ist ein Absatz an dem Läufer gestaltet. Dieser Absatz wird entlang der Entlüftungsöffnungen bewegt. Durch diese Öffnungen lässt sich der Läufer auch von außen betätigen um den Läufer in die Bereitschaftslage zu bewegen, d. h. um den Energiespeicher zu spannen bzw. zu laden.

**[0042]** Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Lochen höchstfester, gehärteter Blechbauteile. Die höchstfesten Blechbauteile können durch Kaltumformen von gehärteten Stahllegierungen oder durch Warmumformen bzw. Presshärten härtpbarer Stahllegierungen hergestellt sein.

**[0043]** Der trapezförmige Kraft-Weg-Verlauf der Gasdruckfeder-Antriebs sorgt dafür, dass die Geschwindigkeit und Wärmeerzeugung noch während des Eindringens und Schneidens höher bleibt als beim „konventionellen“ adiabaten Schneiden.

**[0044]** Das Verfahren eignet sich insbesondere für härtbare Stahlwerkstoffe zum Warmformen mit folgender chemischer Analyse (alle Angaben in Gew.-%) Rest Fe und erschmelzungsbedingte Verunreinigungen und mit  $R_m > 1300$  MPa:

|             |      |                 |
|-------------|------|-----------------|
| Kohlenstoff | (C)  | 0,19 bis 0,25   |
| Silizium    | (Si) | 0,15 bis 0,30   |
| Mangan      | (Mn) | 1.10 bis 1.40   |
| Phosphor    | (P)  | 0 bis 0.025     |
| Schwefel    | (S)  | 0 bis 0,015     |
| Chrom       | (Cr) | 0 bis 0,35      |
| Molybdän    | (Mo) | 0 bis 0,35      |
| Titan       | (Ti) | 0,020 bis 0,050 |
| Bor         | (B)  | 0,002 bis 0,005 |
| Aluminium   | (Al) | 0,02 bis 0,06.  |

**[0045]** Folgender Stahlwerkstoff zum Warmformen erreicht  $R_m > 1800$  MPa und eignet sich ebenfalls für das erfindungsgemäße Verfahren, wobei auch hier alle Angaben in Gew.-% sind (Rest: Fe und erschmelzungsbedingte Verunreinigungen).

|                 |  |            |  |           |  |             |
|-----------------|--|------------|--|-----------|--|-------------|
| C (Kohlenstoff) |  | 0,3-0,4    |  | bevorzugt |  | 0,32-0,38   |
| Si (Silizium)   |  | 0,15-1     |  | bevorzugt |  | 0,2-0,5     |
| Mn (Mangan)     |  | 0,5-2      |  | bevorzugt |  | 0,8-1,5     |
| P (Phosphor)    |  | max. 0,05  |  | bevorzugt |  | max. 0,02   |
| S (Schwefel)    |  | max 0,01   |  | bevorzugt |  | max. 0,005  |
| N (Stickstoff)  |  | max 0,01   |  | bevorzugt |  | max 0,005   |
| Cr (Chrom)      |  | 0,05-1     |  | bevorzugt |  | 0,1-0,5     |
| Ni (Nickel)     |  | max. 0,3   |  | bevorzugt |  | max 0,1     |
| Cu (Kupfer)     |  | max. 0,1   |  | bevorzugt |  | max. 0,05   |
| Mo (Molybdän)   |  | max. 0,5   |  | bevorzugt |  | max. 0,3    |
| Al (Aluminium)  |  | max. 0,1   |  | bevorzugt |  | max. 0,06   |
| Nb (Niob)       |  | 0,02-0,1   |  | bevorzugt |  | 0,02-0,06   |
| V (Vanadium)    |  | max. 0,06  |  | bevorzugt |  | max. 0,05   |
| Ti (Titan)      |  | max 0,1    |  | bevorzugt |  | max. 0,01   |
| B (Bor)         |  | 0,001-0,01 |  | bevorzugt |  | 0,001-0,005 |

**[0046]** Für das Kaltumformen eignen sich handelsübliches Stahlband aus höchstfesten Stahl, auch als UHSS bezeichnet. Dazu gehören folgende Legierungsgruppen: hochmanganhaltiger austenitischer Twinning induced plasticity (TWIP)-Stahl, Dualphasenstahl (zum Beispiel DP1000), Komplexphasenstahl (zum Beispiel CP 980 oder CP1180) und martensitischer Stahl. Die kaltgeformten und erfindungsgemäß beschnittenen Blechbauteile weisen eine Zugfestigkeit von mindestens 800 MPa, bevorzugt mindestens 980 MPa, insbesondere mindestens 1180 MPa auf.

**[0047]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand von den in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** Einen erfindungsgemäßen Stoßantrieb in einer ersten Ausführungsform im Längsschnitt;

**Fig. 2** Eine Ansicht auf den erfindungsgemäßen Stoßantrieb der **Fig. 1** in Blickrichtung auf seine Oberseite;

**Fig. 3** Einen weiteren Längsschnitt durch eine weitere Ausführungsform eines Stoßantriebes;

**Fig. 4** Ein Schlibbild durch ein gehärtetes Blechbauteil mit der oben genannten chemischen Zusammensetzung im Randbereich einer Öffnung nach dem adiabatischen Trennen;

**Fig. 5** Einen oberen Eckbereich des Schlibbildes der **Fig. 4** und

**Fig. 6** einen unteren Eckbereich des Schlibbildes der **Fig. 4**

**[0048]** Die **Fig. 1** zeigt einen Stoßantrieb **1** mit einem Ständergehäuse **2**, das sich in der Bildebene oben befindet. Das Ständergehäuse **2** ist an ein Führungsgehäuse **3** gefügt, das die untere Hälfte des Gehäuses bildet. Das Ständergehäuse **2** ist aufgrund des Innendrucks und der Knicksteifigkeit dickwandig gestaltet. Es hat einen zylindrischen, lang gestreckten Querschnitt mit einer zentralen Bohrung, in der sich ein linear beweglicher Läufer **4** befindet. Der Läufer **4** besitzt ein inneres Ende **5**, das sich in dem oberen Ständergehäuse **2** befindet. Sein freies unteres Ende **6** ragt unten aus dem Führungsgehäuse **3** heraus. Es ist zu einer nicht näher dargestellten Kupplung mit einem Werkzeug ausgebildet, insbesondere mit einem Lochwerkzeug.

**[0049]** Sowohl das Ständergehäuse **2** als auch das Führungsgehäuse **3** sind an ihren einander zugewandten Enden mit umlaufenden Flanschen **7**, **8** gestaltet. Die gegenüberliegenden Flansche **7**, **8** sind über Schraubbolzen **9** miteinander befestigt. Die **Fig. 2** zeigt, dass vier Schraubbolzen **9** über den Umfang der Flansche **7**, **8** symmetrisch zur Längsschnitt-Ebene angeordnet sind. Zudem zeigt **Fig. 2** den zylindrischen Querschnitt des Ständergehäuses **2**.

**[0050]** Die Außendurchmesser der beiden Gehäuse, d. h. des Ständergehäuses **2** und des Führungsgehäuses **3** sind identisch. Zwischen den beiden Flanschen **7** und **8** befindet sich ein Dichtkörper **10**. Der Dichtkörper **10** umschließt den Läufer **4** außenseitig. Der Läufer **4** durchsetzt daher den Dichtkörper **10**. Der Dichtkörper

**10** ist ringförmig konfiguriert. Er besitzt mehrere ringförmige Kammern, die von Dichtlippen getrennt sind, die zum Läufer **4** weisen.

**[0051]** Angrenzend an den Dichtkörper **10** ist in dem Ständergehäuse **2** ein erstes Linearlager **11** angeordnet, das den Läufer **4** umfangseitig umgibt.

**[0052]** Am unteren Ende des Führungsgehäuses **3** befindet sich ein zweites Linearlager **12**, das das schlankere, stößelartige untere Ende **6** des Läufers **4** umgibt. Der Durchmesser des zweiten Linearlagers **12** ist kleiner als der Durchmesser des ersten Linearlagers **11**.

**[0053]** Innerhalb des Ständergehäuses **2** befindet sich ein zylindrischer Druckraum **13**. Der Druckraum **13** grenzt einerseits an einen Boden **14** am oberen Ende des Ständergehäuses **2**. Andererseits ist der Druckraum **13** durch das innere Ende **5** des Läufers **4** begrenzt. In dem Druckraum **13** befindet sich ein Gasvolumen, das gegenüber der umgebenden Atmosphäre unter einem Überdruck  $p$  steht. Das Gas ist insbesondere Stickstoff oder es enthält Stickstoff. In den Druckraum **13** ist ein balgförmiger Dichtkörper **15** aus einem elastomeren Material angeordnet. Durch das Bewegen des Läufers **4** nach unten, wird der balgförmige Dichtkörper **15** durch den Überdruck  $p$  expandiert. Der balgförmige Dichtkörper **15** ist über einen Kanal **16** im Boden **14** mit Druck beaufschlagbar. Hierzu befindet sich angrenzend an den Boden **14** ein Ventil **17**, das ein ungewolltes Entweichen des Druckgases verhindert. Über das Ventil **17** kann der Druck innerhalb des Druckraumes **13** eingestellt werden. Der Läufer **4** ist in einer eingefahrenen Position gehalten. Wird der Läufer **4** ausgefahren, bewegt sich der Läufer **4** in der Bildebene nach unten und zwar unter dem Einfluss des Gasdruckes in dem Druckraum **13**. Der Läufer **4** kann bis zu einem Anschlagpuffer **18** bewegt werden, der an dem unteren Ende des Führungsgehäuses **3** im Inneren des Führungsgehäuses angeordnet ist. Der Anschlagpuffer **18** umgibt den schlanken, schaftartigen Bereich des Läufers **4** ringförmig. Möglich ist auch ein zusätzlicher oder ausschließlicher Anschlag innerhalb des Ständergehäuses. Die Flansche **7**, **8** und die Verschraubung **9** sind nicht zwingend nötig.

**[0054]** Der Anschlagpuffer **18** aus einem elastomeren Material ist gleichzeitig ein Endanschlag. Aus dieser Position heraus muss der Läufer **4** für die nächste Betätigung wieder zurückgeführt werden. Dies erfolgt mittels einer schematisch dargestellten Rückstellvorrichtung **19**, die in diesem Fall an das untere Ende **6** des Läufers **4** gekoppelt ist. Die Rückstellvorrichtung **19** bewegt den Läufer **4** in Richtung zum Druckraum **13**, so dass der Läufer **4** vorgespannt wird. In seiner oberen Endposition, so wie es in der **Fig. 1** dargestellt ist, greift eine Rückhaltevorrichtung **20** ein, die den Läufer **4** in dieser eingefahrenen Position arretiert. Durch das Lösen der Rückhaltevorrichtung wird der Läufer **4** freigegeben, so dass der Stoßantrieb **1** eine Stoßkraft auf das Werkstück ausübt.

**[0055]** Bei der Abwärtsbewegung wird Luft aus dem Inneren des Führungsgehäuses **3** gedrängt. Damit hier kein Überdruck aufgebaut wird, weist das Führungsgehäuse **3** mehrere umfangseitig angeordnete Entlüftungsöffnungen **21** auf. Bei diesem Ausführungsbeispiel erstrecken sich insgesamt vier dieser Öffnungen schlitzförmig in Längsrichtung des Führungsgehäuses **3**. Sie sind gleichmäßig über den Umfang des Führungsgehäuses **3** symmetrisch zur Längsschnitt-Ebene angeordnet.

**[0056]** Das Ausführungsbeispiel der **Fig. 3** unterscheidet sich von demjenigen der **Fig. 1** lediglich dadurch, dass kein balgförmiger Dichtkörper **15** im Druckraum **13** vorhanden ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel kommt nur der dem mittleren Bereich angeordnete Dichtkörper **10** zum Einsatz. Aufgrund der im Übrigen identischen Merkmale zu dem Ausführungsbeispiel der **Fig. 1** wird Bezug genommen auf die dortige Beschreibung bezüglich der Funktionsweise.

**[0057]** Die **Fig. 4** zeigt ein Schlibfbild durch ein warmgeformtes Blechbauteil **22** mit einer Zugfestigkeit  $R_m > 1300$  MPa und mit einer Öffnung, die von einem von einem Stoßantrieb linear bewegten Werkzeug **23** in Form eines Schneidstempels hergestellt ist. Die Öffnung ist durch Hochgeschwindigkeitsstanzen in Stoßrichtung **P1** mit einer Prallgeschwindigkeit von mindestens 6 m/s hergestellt. Die nachfolgenden Figuren zeigen in nochmals 10-facher Vergrößerung einen oberen Eckbereich **24** der besagten Öffnung und einen unteren Eckbereich **25**.

**[0058]** Die beiden Schlibfbilder zeigen anhand der helleren Randzonen, dass das Blechbauteil **22** beidseitig mit einer Beschichtung versehen ist (AlSi). Im Übrigen ist das Gefüge des Blechbauteils **22** gemäß dem Schlibfbild in **Fig. 5** überwiegend martensitisch. Die Schnittfläche **26** in der Bildebene rechts ist glatt. Es ist ein Martensit-Fließband **27** zu erkennen. Innerhalb des Martensit-Fließbandes **27** ist die umgeformte Martensitstruktur zu erkennen. Die Martensitnadeln sind entsprechen der Schneidrichtung des Schneidstempels bogenförmig gekrümmt. Das Martensit-Fließband **27** ist von einer glatten Schicht **28** bedeckt. Die Dicke dieser glatten Schicht



**28** nimmt zum unteren Eckbereich **25** zu. Diese glatte Schicht besitzt ein austenitisches und/oder ferritisches Gefüge. Die glatte Schicht **28** besitzt eine geringere Dicke als das Martensit-Fließband **27**. Die Dicke der glatten Schicht **28** liegt in einem Bereich von 0,1 bis 5 µm und die der Martensit-Fließschicht **27** in einem Bereich von 10 bis 100 µm.

**[0059]** Ein ähnliches Schliffbild mit analog ausgebildeter Schnittfläche ergibt sich beispielsweise auch an kaltgeformten Blechbauteile hergestellt aus einer martensitischen Stahllegierung mit einer Zugfestigkeit von mindestens 1000 MPa.

#### Bezugszeichenliste

- 1** Stoßantrieb
- 2** Ständergehäuse
- 3** Führungsgehäuse
- 4** Läufer
- 5** inneres Ende von **4**
- 6** freies Ende von **4**
- 7** Flansch von **2**
- 8** Flansch von **3**
- 9** Schraubbolzen
- 10** Dichtkörper
- 11** erstes Linearlager
- 12** zweite Linearlager
- 13** Druckraum
- 14** Boden
- 15** Dichtkörper
- 16** Kanal in **14**
- 17** Ventil
- 18** Anschlagpuffer
- 19** Rückstellvorrichtung
- 20** Rückhaltevorrichtung
- 21** Entlüftungsöffnung in **3**
- 22** Blechbauteil
- 23** Werkzeug
- 24** oberer Eckbereich
- 25** unterer Eckbereich
- 26** Schnittfläche
- 27** Martensit-Fließband
- 28** glatte Schicht
- p** Überdruck in **13**
- P1** Stoßrichtung

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102008000909 A1 [0004]

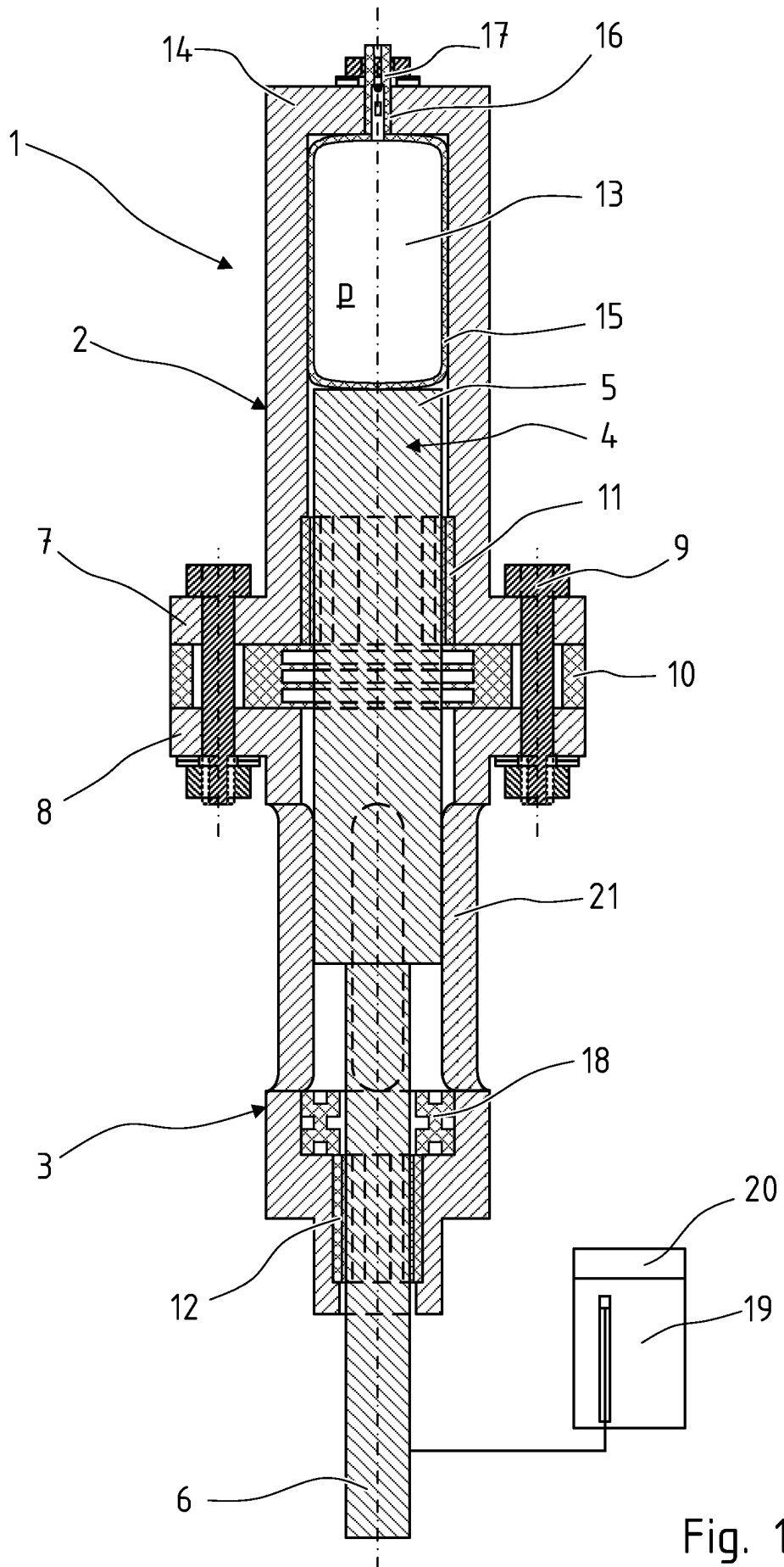
### Patentansprüche

1. Stoßantrieb (1) für ein linear zu bewegendes Werkzeug (23) mit folgenden Merkmalen:
  - a) in einem Ständergehäuse (2) ist ein linear beweglicher Läufer (4) angeordnet, der ein inneres Ende (5) aufweist, das in dem Ständergehäuse (2) angeordnet ist, und der ein freies Ende (6) für das Koppeln an ein Werkzeug (23) aufweist;
  - b) in dem Ständergehäuse (2) ist ein gasgefüllter Druckraum (13) angeordnet, wobei in dem Druckraum (13) ein Überdruck (p) gegenüber der Umgebung herrscht oder erzeugbar ist, der so bemessen ist, dass der Läufer (4) über einen Stellweg auf eine Prallgeschwindigkeit von mindestens 6 m/s beschleunigt;
  - c) in dem Ständergehäuse (2) ist ein erstes Linearlager (11) angeordnet, in dem das innere Ende (5) des Läufers (4) linear geführt ist;
  - d) an das Ständergehäuse (2) schließt sich ein Führungsgehäuse (3) an, in welchem ein zweites Linearlager (12) in einem axialen Abstand zu dem ersten Linearlager (11) angeordnet ist, in dem das freie Ende (6) linear geführt ist;
2. Stoßantrieb (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Läufer (4) in seiner Endlage einen Anschlagpuffer (18) berührt, der im Führungsgehäuse (3) angeordnet ist.
3. Stoßantrieb (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zweite Linearlager (11) benachbart coaxial zu dem Läufer in der Nähe von dem Anschlagpuffer (18) angeordnet ist.
4. Stoßantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste und/oder das zweite Linearlager (11, 12) flüssigkeits- oder gasgekühlt sind, wobei die zur Kühlung verwendete Flüssigkeit oder das verwendete Gas das Linearlager (11, 12) durchspült.
5. Stoßantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Führungsgehäuse (3) mindestens eine Entlüftungsöffnung (21) aufweist.
6. Stoßantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Läufer (4) mittels einer Rückhaltevorrichtung (20) in einer eingefahrenen Position arretierbar ist und der Läufer (4) mit einer Rückstellvorrichtung (19) gekoppelt ist, um den Läufer (4) von einer ausgefahrenen Position in eine Ausgangsposition zu überführen.
7. Stoßantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rückhaltevorrichtung (20) wenigstens einen beweglich gelagerten Sperrkörper umfasst.
8. Stoßantrieb (1) nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rückhaltevorrichtung (20) zum Zurückhalten des Läufers (4) eine Kupplung aufweist, die mittels einer magnetischen, pneumatischen, hydraulischen oder mechanischen Kraft betätigbar ist.
9. Stoßantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Druckraum (13) ein das Gasvolumen umgebender Dichtkörper (15) angeordnet ist.
10. Stoßantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druckraum (13) temperierbar ist, um den thermischen Zustand des Gases zu beeinflussen.
11. Stoßantrieb (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Temperieren von dem Druckraum (4) elektrisch steuerbar ist.
12. Stoßantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein freies Ende (6) von einem linear beweglichen Läufer (4) gekoppelt ist an ein Werkzeug zum Erzeugen einer Öffnung in ein metallisches Blechbauteil mit einer Zugfestigkeit  $R_m > 0800$  Megapascal.
13. Höchstfestes gehärtetes metallisches Blechbauteil (22) mit einer Zugfestigkeit  $R_m > 800$  Megapascal und mit einer von einem Stoßantrieb (1) linear bewegten Werkzeug (23) erzeugten Öffnung, welche durch Hochgeschwindigkeitsstanzen mit einer Prallgeschwindigkeit von mindestens 6 m/s hergestellt ist, wobei die Schnittfläche (26) der Öffnung eine glatte Schicht (28) von zumeist Austenit oder Ferrit in einer Dicke von wenigstens 0,1  $\mu\text{m}$  und/oder von einem zumeist martensitischen Fließband (27) in einer Dicke von wenigstens 10 bis 100  $\mu\text{m}$  aufweist.

14. Verfahren zum Schneiden eines Blechbauteils (22) mit einer Zugfestigkeit  $R_m$  von mehr als ( $>$ ) 800 MPa aus härtbaren Manganborstahl, insbesondere mit den gegenständlichen Merkmalen aus Patentanspruch 1 und mit einem Schneidstempel, wobei der Schneidstempel mit einer Aufprallgeschwindigkeit von mindestens 6 m/s auf das Blechbauteil (22) auftrifft, wobei der Schneidstempel durch das Blechbauteil selbst vollständig abgebremst wird und die Aufprallenergie vollständig in Wärme umgewandelt wird, so dass eine Schnittfläche (26) eine glatte Schicht (28) aus Austenit und/oder Ferrit mit einer Dicke von 0,1 - 5 $\mu$ m und optional eine Schicht (27) aus Martensit mit einer Dicke von 10 - 100 $\mu$ m aufweist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



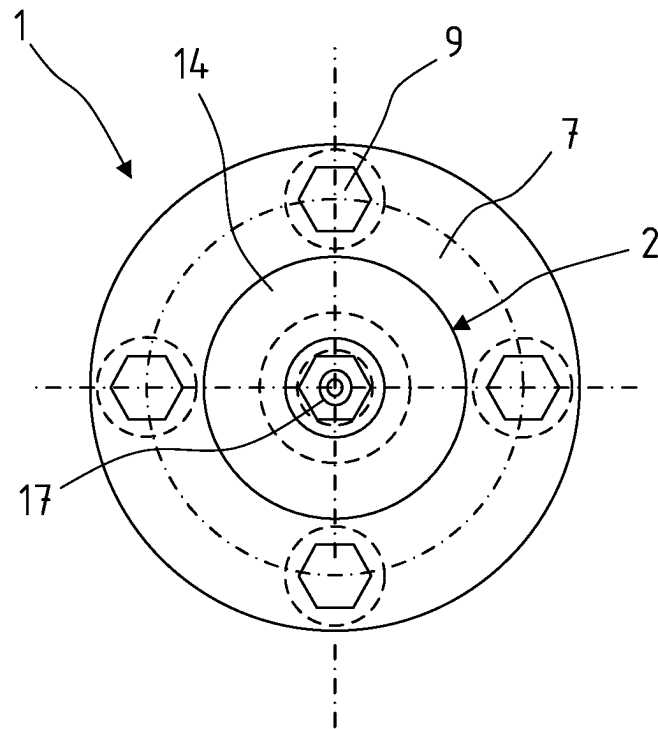
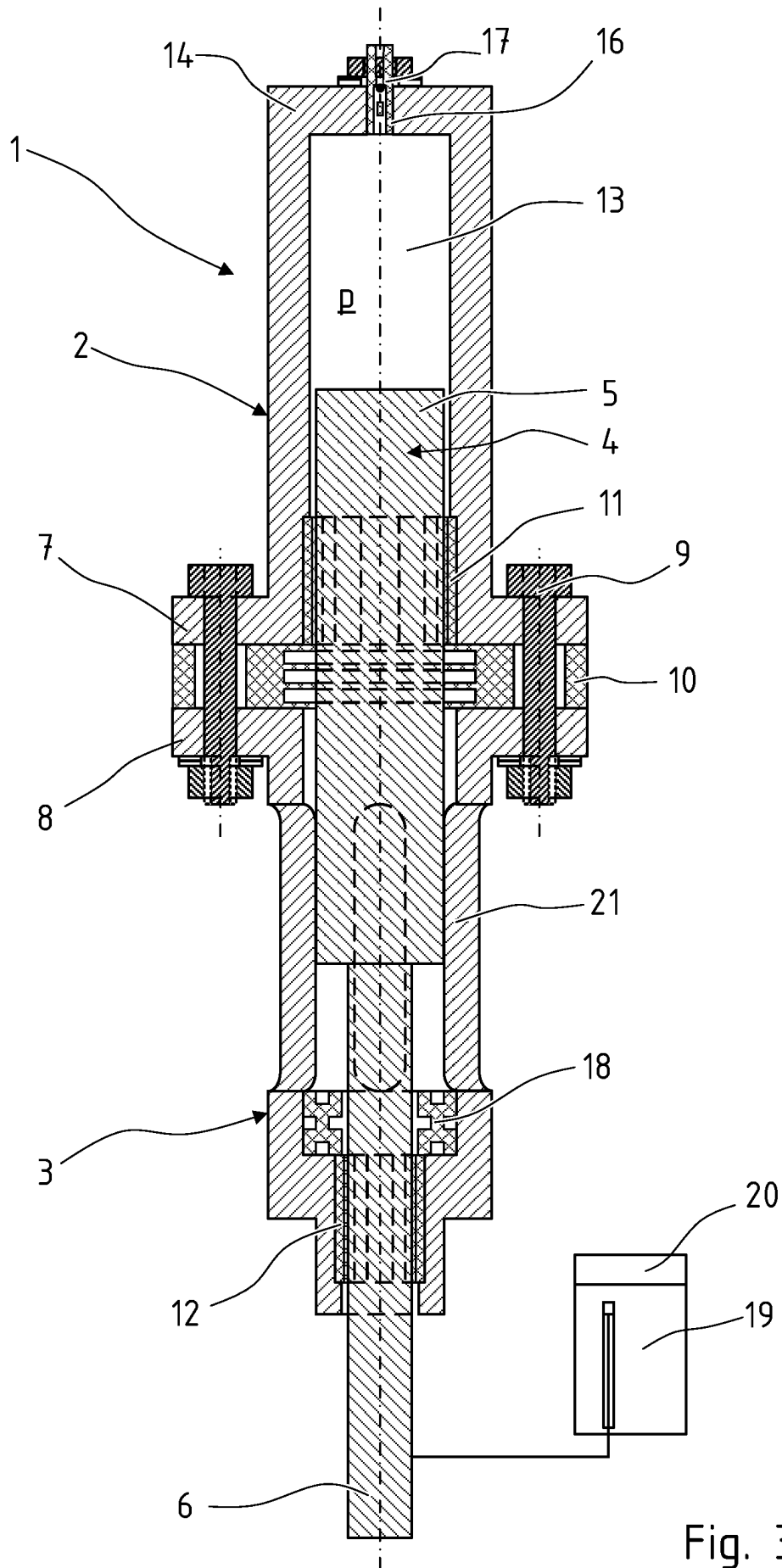


Fig. 2



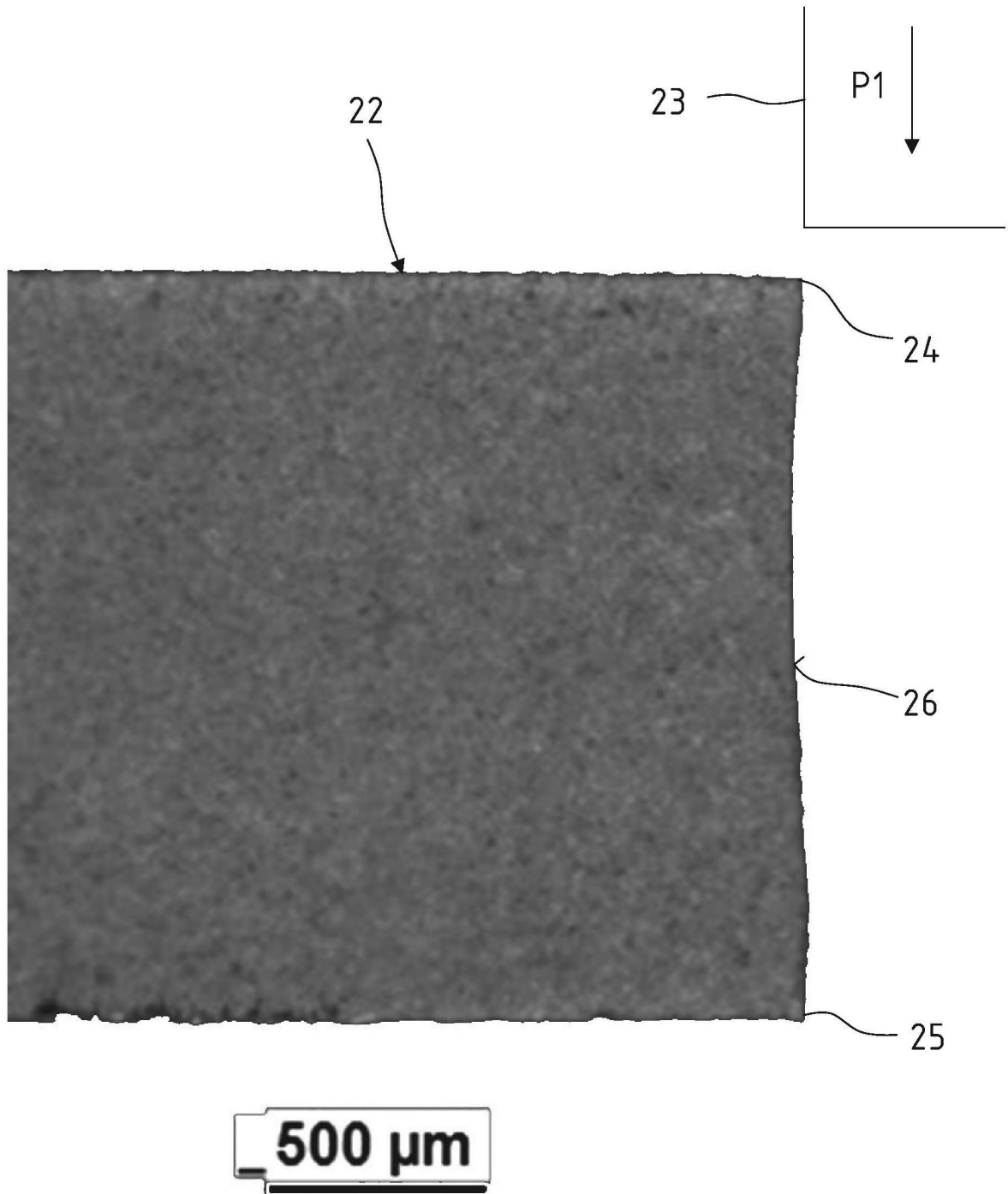


Fig. 4



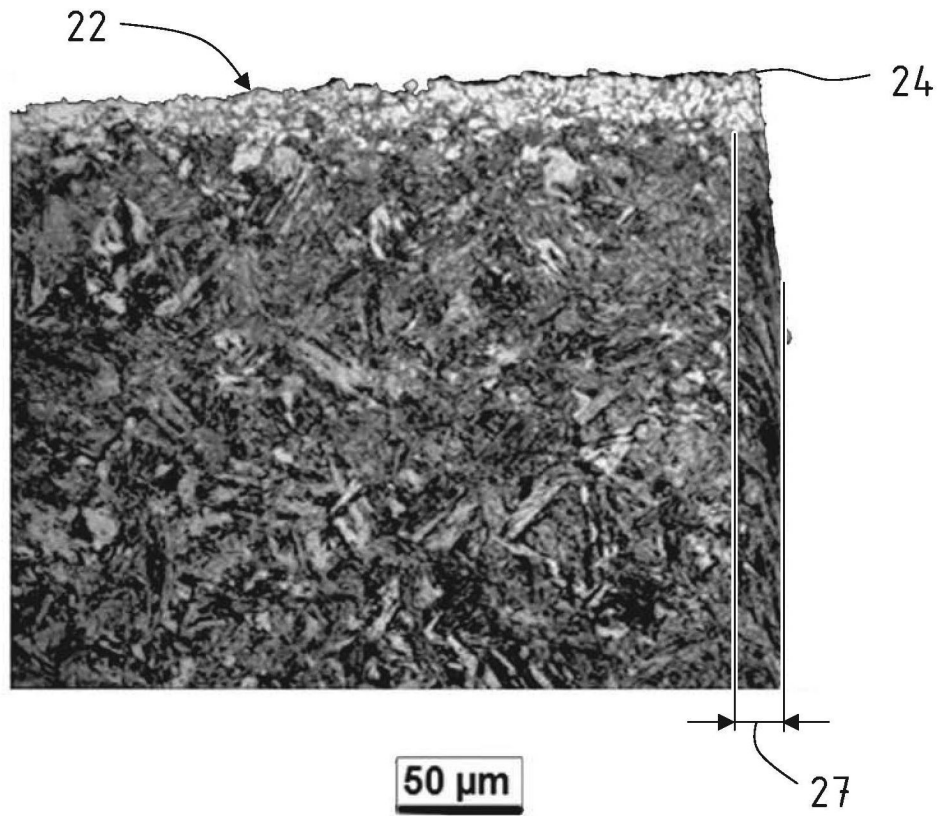


Fig. 5

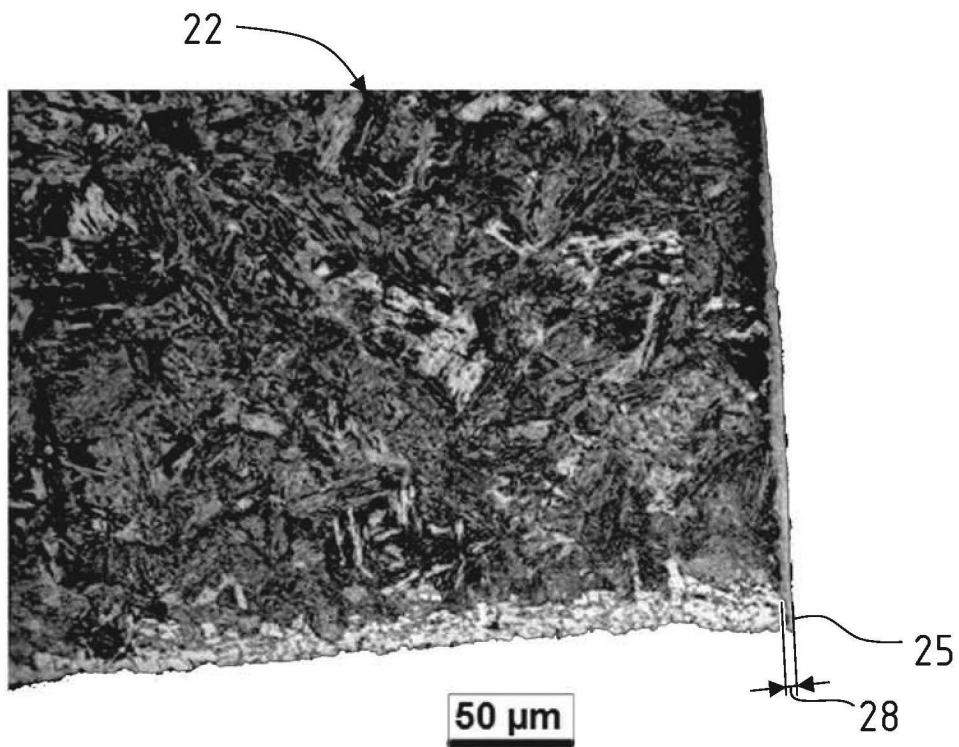


Fig. 6