

(19)



(11)

EP 3 436 215 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
25.10.2023 Patentblatt 2023/43

(21) Anmeldenummer: **17714708.9**

(22) Anmeldetag: **29.03.2017**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B24B 33/02^(2006.01) B24B 33/08^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**B24B 33/025; B24B 33/087; B24B 33/088;
B24B 49/04**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2017/057458

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2017/167829 (05.10.2017 Gazette 2017/40)

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG ROTATIONSSYMMETRISCHER, NICHT ZYLINDRISCHER BOHRUNGEN MIT EINEM HONWERKZEUG**

METHOD FOR PRODUCING ROTATIONALLY SYMMETRICAL, NON-CYLINDRICAL BORES WITH A HONING TOOL

PROCÉDÉ DE PRODUCTION D'ALÉSAGES SYMÉTRIQUES EN ROTATION NON CYLINDRIQUES À L'AIDE D'UN OUTIL DE RODAGE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **29.03.2016 DE 102016105717**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
06.02.2019 Patentblatt 2019/06

(73) Patentinhaber: **Gehring Technologies GmbH + Co.
KG
73760 Ostfildern (DE)**

(72) Erfinder:
• **LITTY, Klaus
71394 Kernen (DE)**
• **WAGNER, Andreas
73066 Uhingen (DE)**

- **WAIBLINGER, Manuel
70182 Stuttgart (DE)**
- **WIENS, Andreas
74343 Sachsenheim (DE)**
- **SCHAMNE, Niko
73760 Ostfildern (DE)**
- **PETRASCHEK, Markus
73760 Ostfildern (DE)**

(74) Vertreter: **DREISS Patentanwälte PartG mbB
Friedrichstraße 6
70174 Stuttgart (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 1 321 229 WO-A1-2014/146919
DE-A1-102011 076 213 US-A- 4 945 685
US-A1- 2005 130 560**

EP 3 436 215 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 zur Konifizierung einer zylindrischen Bohrung mit einem Honwerkzeug.

[0002] Die Hersteller von Kraftfahrzeugen stehen vor der Daueraufgabe, den Kraftstoffverbrauch ihrer mit Hubkolbenmotoren ausgestatteten Fahrzeugflotte kontinuierlich zu reduzieren. Bei Hubkolbenmotoren hat die Reibung zwischen den Kolben bzw. den Kolbenringen einerseits und der Zylinderbohrung mit bis zu 35 % einen großen Anteil an den internen Reibungsverlusten. Daher bietet die Verringerung der Reibung im Bereich der Zylinderbohrung ein erhebliches Potential zur Reduzierung des Kraftfahrstoffverbrauchs.

[0003] Ein Ansatz zur Verringerung der Reibung zwischen Kolben und Zylinderbohrung ist das von der Anmelderin entwickelte Formhonen, das ausführlich in der EP 2 170 556 B1 beschrieben wird. Bei diesem Verfahren werden durch Verspannungen bei der Montage und/oder thermische Ausdehnungen der Zylinderbohrung verursachte Abweichungen von der Geometrie eines Zylinders egalisiert indem beim Formhonen komplementäre Erhebungen oder Vertiefungen ausgebildet werden. Dieses Verfahren ist sehr effektiv und wird bei der Herstellung verschiedener Hubkolbenmotoren erfolgreich eingesetzt.

[0004] Aus der DE 10 2013 204 714 A1 ist ein Honverfahren bekannt mit dessen Hilfe die Zylinderbohrung einer Brennkraftmaschine eine Flaschenform erhält. Als Flaschenform wird dabei eine Form bezeichnet, bei der die Zylinderbohrung zwei zylindrische Abschnitte aufweist, die einen unterschiedlichen Durchmesser aufweisen. Der Abschnitt mit dem kleineren Durchmesser ist im Bereich des Zylinderkopfes vorgesehen, während der Abschnitt mit dem größeren Durchmesser im Bereich der Kurbelwelle vorgesehen ist. Zwischen diesen Bereichen ist ein kegelförmiger Übergangsbereich ausgebildet, der etwa 5 % bis 20% der Bohrungslänge einnimmt.

[0005] Aus der US 4 945 685 ist ein Verfahren zum Honen einer zylindrischen Bohrung bekannt, bei dem während der Honbearbeitung der Durchmesser der in Bearbeitung befindlichen Bohrung am oberen Umkehrpunkt ZU und am unteren Umkehrpunkt ZL der Honspindel sowie in der Mitte ZL zwischen diesen Umkehrpunkten misst. Anschließend werden der Durchmesser DM in der Mitte zwischen den Umkehrpunkten mit den Durchmessern DU und DL in den Umkehrpunkten verglichen. In Abhängigkeit der Differenzen DM - DU sowie DM - DL werden der obere Umkehrpunkt ZU und der untere Umkehrpunkt ZL der Honspindel verändert und so die Zylindrizität der Bohrung verbessert.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Honverfahren bereitzustellen, welches die kostengünstige und reproduzierbare Herstellung von Zylinderbohrungen erlaubt, bei der die Reibung zwischen den Kolbenringen und besonders zwischen dem Kolbenhemd und der Zylinderbohrung minimiert und in Folge dessen

das Emissionsverhalten und der Kraftstoffverbrauch der mit solchen Zylindern ausgestatteten Brennkraftmaschine optimiert ist.

[0007] Das Verfahren soll es ermöglichen, verschiedenste vom Anwender vorgegebene Geometrien der Zylinderbohrung genau und prozesssicher in der Serienfertigung umsetzen. Dabei können die vom Anwender vorgegebenen Geometrien zum Beispiel ein Kegelstumpf, eine Flaschenform oder eine durch ein Polynom n-ter Ordnung vorgebbare Mantellinie der "Zylinderbohrung" einer Brennkraftmaschine sein.

[0008] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Konifizierung einer zylindrischen Bohrung bzw. von Teilen einer zylindrischen Bohrung nach Anspruch 1.

[0009] Bei dem Verfahren gemäß dem Anspruch 1 wird ein Honwerkzeug eingesetzt, welches Messeinrichtungen aufweist, die es ermöglichen, während der Bearbeitung den über die Länge der Zylinderbohrung variierenden Durchmesser D (y) der Zylinderbohrung zu erfassen. Als Messeinrichtungen sind Luftmessdüsen geeignet. In der Regel haben die Honleisten eine Länge, die kleiner ist als ein Drittel der Länge der zu bearbeitenden Bohrung. Je geringer die Honleistenlänge ist, umso kurzweiliger kann der Soll-Formverlauf sein, da mit zunehmender Leistenlänge die Wellenlängen der Soll-Form, welche kleiner sind als die Honleistenlänge, mechanisch herausgefiltert werden. Die Messeinrichtungen werden in der Regel zwischen den Honleisten angeordnet, so dass dort wo der Materialabtrag stattfindet auch der Bohrungsdurchmesser erfasst wird.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren weist einen geschlossenen Regelkreis auf, der im Ergebnis dazu führt, dass die über die Länge der zu bearbeitenden Bohrung verschiedenen Durchmesser D(y), während der Bearbeitung durch eine Permanentmessung (= permanentes Erfassen) erfasst werden und entsprechend den gemessenen Ist-Werten des Durchmessers der Hub des Honwerkzeugs schrittweise reduziert wird, so dass nur noch die Bereiche der Bohrung bearbeitet werden, bei denen der Ist-Durchmesser der Bohrung noch kleiner ist als der Solldurchmesser. Im dem oder den Bereichen der Bohrung in denen der Ist-Durchmesser der Bohrung gleich dem dort vorgegebenen Soll-Durchmesser ist, findet keine weitere Bearbeitung der Bohrung statt. "Permanentmessung" bedeutet, dass während der Honbearbeitung fortlaufend sowie mit hoher zeitlicher und örtlicher Auflösung der Durchmesser der Bohrung erfasst wird. Dadurch steht schon während der Honbearbeitung in Echtzeit die aktuelle Form der in Bearbeitung befindlichen Bohrung zur Regelung des Honprozesses zur Verfügung.

[0011] Aufgrund der Permanentmessung erfolgt ein kontinuierlicher Vergleich zwischen Ist-Form und Soll-Form und eine permanente Hubverlagerung um kleinste Wegänderungen, so dass dadurch ein kontinuierlicher, stufenloser Formverlauf entsteht. Die kleinstmöglichen Beträge der Hubverlagerung sind im Wesentlichen nur

durch die Auflösung des Wegmesssystems vorgegeben.

[0012] Durch die erfindungsgemäße Regelung des Durchmessers $D(y)$ der Bohrung lassen sich verschiedenste nicht zylindrische Mantellinien einfach, prozesssicher und mit höchster Wiederholgenauigkeit herstellen. Ein Grund für die hohe erzielbare Genauigkeit ist, dass Effekte, wie z.B. der Verschleiß der Schneidbeläge der Honleisten oder Änderungen in der Anpresskraft und dergleichen, keinen Einfluss auf das Ergebnis der erfindungsgemäßen Honbearbeitung haben, weil der erfindungsgemäße Regelkreis diese Einflussgrößen eliminiert. Stellgröße des erfindungsgemäßen Regelkreises ist der Hub $OP - UP$ des Honwerkzeugs. Der Hub des Honwerkzeugs wird von einem Oberen Umkehrpunkt OP und einem Unteren Umkehrpunkt UP begrenzt.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die Schritte gemäß Anspruch 1. Genauer erläutert werden diese Schritte im Zusammenhang mit den Figuren 2ff.

[0014] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass - ausgehend von einem Hub H_n - der Hub des Honwerkzeugs auf einen Hub H_{n+1} reduziert wird, wenn der Ist-Durchmesser der Bohrung an mindestens einem Umkehrpunkt OP_n, UP_n des Honwerkzeugs gleich dem Soll-Durchmesser in einem dieser Umkehrpunkte ist und dass die Honleisten des Honwerkzeugs, nachdem der Hub H_n auf H_{n+1} reduziert wurde, die Stelle oder den Bereich der Bohrung in dem früheren Umkehrpunkten OP_n, UP_n nicht mehr bearbeitet. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass nur noch der oder die Bereiche der Bohrung weiterbearbeitet werden, bei denen der Ist-Durchmesser $D_{IST}(y)$ noch kleiner als der dort gewünschte Soll-Durchmesser $D_{SOLL}(y)$ ist.

[0015] Die Reduktion des Hubs kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Eine steuerungstechnisch sehr einfach realisierbare Alternative sieht vor, dass der Hub H_n immer um einen vorgegebenen Betrag ΔH reduziert wird, um zu einem reduzierten Hub H_{n+1} zu gelangen. Der Betrag von ΔH wird üblicherweise in Abhängigkeit der Gesamtlänge der zu honenden Bohrung gewählt. Auch kann die gewünschte Mantellinie einen Einfluss auf den Betrag von ΔH haben.

[0016] Der Hub H_{n+1} wird weiter reduziert, wenn an einem weiteren Umkehrpunkt OP_{n+1}, UP_{n+1} der Ist-Durchmesser $D_{IST(n+1)}$ des zuletzt gehonten Bohrungsabschnitts gleich dem Solldurchmesser D_{SOLL} UP_{n+1} der Bohrung an diesem Umkehrpunkt OP_{n+1}, UP_{n+1} ist.

[0017] Alternativ zu dieser Reduktion des Hubs um einen konstanten Betrag ist es auch möglich, dass immer dann, wenn der Hub reduziert werden soll, ausgehend vom aktuellen Ist-Durchmesser der Bohrung bzw. der Honleisten ein Durchmesserbetrag ΔX zu dem aktuellen Ist-Durchmesser hinzuaddiert wird und die Schnittstelle der Mantellinie der gewünschten Bohrung mit diesem Durchmesser $D_{IST} + \Delta X$ gebildet wird. Diese Schnittstelle bildet dann den neuen Umkehrpunkt OP, UP des Honwerkzeugs.

[0018] Diese Alternative wird nachfolgend im Zusammenhang mit den Figuren (siehe die Figur 4) noch de-

tailliert erläutert.

[0019] Zu Beginn der erfindungsgemäßen Honbearbeitung wird in der Regel die Bohrung über die gesamte Länge bearbeitet, so dass das erfindungsgemäße Verfahren von einer zylindrischen Bohrung ausgeht.

[0020] Die gewünschte Soll-Form oder Mantellinie der zu bearbeitenden Bohrung kann als mathematische Funktion, z.B. als Polynom n-ter-Ordnung als Funktion der Y-Achse (Längsachse der Bohrung) angegeben werden. Alternativ ist es auch möglich, die Durchmesser in einer Wertetabelle anzugeben. In diese Wertetabelle werden die zu verschiedenen Stellen der Bohrung entlang der Y-Achse die zugehörigen Durchmesser eingetragen. Zwischenwerte zwischen diesen Stützstellen können durch Interpolation (linear oder progressiv) gebildet werden.

[0021] Um ein möglichst gleichmäßiges Honbild zu erzielen, kann es vorteilhaft sein, mit abnehmendem Hub die Drehzahl der Honspindel zu erhöhen. Dann bleiben die Schnittbedingungen und Abtragsleistung für die Honleisten in erster Näherung unverändert. Ebenso ist es möglich statt der Drehzahl den Anpressdruck mit dem die Honleisten gegen die Bohrung gepresst werden zu steigern, um einen unveränderten Abtrag zu erhalten.

Auch eine Kombination beider Maßnahmen ist möglich. **[0022]** Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind der nachfolgenden Zeichnung, deren Beschreibung und den Patentansprüchen entnehmbar.

Zeichnungen

[0023] Es zeigen:

Figur 1a und 1b: Schematische Darstellungen einer ursprünglich zylindrischen Bohrung, die mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens konifiziert wurde, **Figur 2:** ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens, **Figuren 3 und 4:** zwei Alternativen der Hubreduktion, **Figur 5:** eine ähnliche Darstellung wie in Figur 2 und die **Figuren 6a bis d:** eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0024] In der Figur 1a ist eine Zylinderbohrung mit einem Durchmesser $D(y)$, der in Richtung der Längsachse der Bohrung (Y-Achse) zunimmt, schematisch dargestellt. Am oberen Ende hat die Bohrung 1 einen Durchmesser D_0 . Der Durchmesser D_0 entspricht dem Durchmesser der Bohrung nach dem Vorhonen, wenn die Bohrung noch zylindrisch ist. Nach dem Vorhonen hat die Bohrung über die gesamte Länge L den Durchmesser D_0 .

[0025] Ziel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, eine Bohrung herzustellen, die überwiegend konisch ist.

Im dargestellten Beispiel der Figur 1 ist nach der Durchführung des erfindungsgemäßen Honens die Bohrung über die gesamte Länge L konisch. Die Mantellinie der konisch gehonten Bohrung ist der Figur 1 mit 1 bezeichnet. Prinzipiell gilt für alle Figuren, dass gleiche Bezugszeichen für die gleichen Bauteile beziehungsweise Vorgänge verwendet werden und nur jeweils die Unterschiede erläutert werden.

[0026] Es hat sich überraschenderweise herausgestellt, dass mit dem erfindungsgemäßen Verfahren in kürzester Zeit konifizierte oder andere nicht-zylindrische Bohrungen prozesssicher und mit hoher Genauigkeit hergestellt werden können. Dabei können verschiedenste Mantellinien vorgegeben werden.

[0027] In Figur 1b sind exemplarisch verschiedene Bohrungsformen bzw. Mantellinien dargestellt, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren herstellbar sind.

[0028] Bei den Ausführungsbeispielen mit den Nummern 1 bis 4 befindet sich der größte Durchmesser D_{Max} am unteren Ende der Bohrung. Das Beispiel mit der Nummer 5 soll verdeutlichen, dass auch rotationssymmetrische Bohrungen herstellbar sind, deren größter Durchmesser weder am oberen noch am unteren Ende der Bohrung liegt. Der größte Durchmesser D_{MAX} liegt bei diesem Ausführungsbeispiel zwischen dem oberen und dem unteren Ende der Bohrung.

[0029] In der Figur 2 ist in vier Schritten (a, b, c und d) die erfindungsgemäße Herstellung einer nicht-zylindrischen rotationssymmetrischen Bohrung illustriert.

[0030] Die Mantellinie der Bohrung ist mit dem Bezugszeichen 1 versehen. Bei einer nicht-zylindrischen Bohrung ist der Soll-Durchmesser D_{SOLL} eine Funktion der Längsachse Y ($D_{\text{SOLL}} = f(y)$).

[0031] Bei dem in der Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel hat die Bohrung an ihrem oberen Ende einen zylindrischen Abschnitt und an ihrem unteren Ende einen weiteren zylindrischen Abschnitt c. Der Durchmesser im Bereich des oberen Abschnitts b ist kleiner als der Durchmesser D_{SOLL} im unteren Abschnitt c.

[0032] Ausgangsbasis des erfindungsgemäßen Verfahrens ist ein Zylinderblock bei dem die Bohrung so vorbearbeitet wurde, dass sie eine zylindrische Form mit dem Durchmesser $D_{\text{Ist},0}$ hat. In diesem Zustand beginnt die Bearbeitung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren, indem ein Honwerkzeug mit Honleisten (nicht dargestellt) in die Bohrung mit dem Durchmesser $D_{\text{Ist},0}$ eingesetzt wird. Die Bohrung wird über die gesamte Länge der Bohrung gehont. Die Umkehrpunkte des Honwerkzeugs bzw. dessen Honleisten werden mit OP_1 und UP_1 bezeichnet (siehe die Figur 2 a).

[0033] Durch die Honbearbeitung vergrößert sich der Durchmesser D_{IST} der Bohrung gleichmäßig über deren gesamte Länge ausgehend von $D_{\text{Ist},0}$ bis die nach wie vor zylindrische Bohrung den Durchmesser $D_{\text{Ist},1}$ hat.

[0034] Aus der Figur 2b wird deutlich, dass der Durchmesser $D_{\text{Ist},1}$ der Bohrung in diesem Zustand gleich dem Soll-Durchmesser $D_{\text{SOLL},1}$ im Bereich b ist. Der Ist-Durchmesser der Bohrung wird erfindungsgemäß bevorzugt

während der Hon-Bearbeitung erfasst und mit dem Soll-Durchmesser D_{SOLL} im Bereich b der Bohrung verglichen.

[0035] Sobald der Durchmesser der Bohrung D_{Ist} gleich dem Soll-Durchmesser $D_{\text{SOLL},1}$ im Bereich b ist, sieht das erfindungsgemäße Verfahren vor, den Hub des Honwerkzeugs so zu reduzieren, dass der Bereich b nicht mehr weiter bearbeitet wird.

[0036] Diese geschieht dadurch, dass bei diesem Ausführungsbeispiel der obere Umkehrpunkt OP (siehe Figur 2c) in Richtung des Unteren Umkehrpunkts UP verlagert wird, so dass der "neue" Obere Umkehrpunkt OP_2 unterhalb des Bereichs b liegt. Unterhalb des Bereichs b ist der Soll-Durchmesser $D_{\text{SOLL},2}$ größer als der Soll-Durchmesser $D_{\text{SOLL},1}$ im Bereich b. Daher muss in dem Bereich unterhalb von b noch weiter gehont werden, um die gewünschte flaschenförmige oder flaschenhalsförmige Mantellinie 1 zu erreichen.

[0037] Während der Honbearbeitung mit den Umkehrpunkten OP_2 und UP (siehe Figur 2c) gilt für den Teil der Bohrung, der noch bearbeitet wird, ein neuer Sollwert $D_{\text{SOLL},2}$. Mit dem Sollwert $D_{\text{SOLL},2}$ wird der Ist-Wert des bearbeitenden Bereichs der Bohrung während der Bearbeitung verglichen. Sobald der Ist-Wert D_{Ist} gleich dem Soll-Wert $D_{\text{SOLL},2}$ ist, wird der Hub weiter reduziert bzw. die Bearbeitung beendet, wenn die gewünschte Mantellinie 1 hergestellt wurde.

[0038] Sobald der Ist-Durchmesser D_{Ist} der Bohrung in dem Bereich zwischen OP_2 und UP gleich dem Soll-Durchmesser am oberen Umkehrpunkt OP_2 ist, wird der Hub weiter reduziert (nicht dargestellt in der Figur 2c).

[0039] In der Figur 2d sind drei verschiedene Soll-Durchmesser $D_{\text{SOLL},1}$, $D_{\text{SOLL},2}$ und $D_{\text{SOLL},3}$ dargestellt, aus denen die gewünschte Mantellinie 1 zusammengesetzt wird. Aus dieser Darstellung wird deutlich, dass die Mantellinie 1 durch mehrere zylindrische Abschnitte mit den Durchmessern D_1 , D_2 und D_3 angenähert wird. Die Darstellungen in den Figuren 2a bis d sind stark übertrieben.

[0040] Die Unterschiede zwischen den Durchmessern $D_{\text{SOLL},1}$, $D_{\text{SOLL},2}$ und $D_{\text{SOLL},3}$ und den zugehörigen Ist-Durchmessern D_1 , D_2 und D_3 betragen nur wenige tausendstel Millimeter. Aufgrund der Permanentmessung erfolgt auch eine permanente Hubverlagerung um kleinste Wegänderungen, so dass dadurch ein kontinuierlicher, stufenloser Formverlauf entsteht. Die jeweilige Wegänderung ist lediglich begrenzt durch die Auflösung des Weggebers für die Hubbewegung, welche jedoch wesentlich kleiner ist, als die lokale Steigung des gewünschten Formverlaufs. Beim anschließenden Glätthonen, das über die gesamte Länge der Bohrung erfolgt, wird die zuvor erarbeitete Form auf das gewünschte finale Rauheitsprofil bearbeitet. Die in Figur 2c und 2d dargestellten "Stufen" sind stark übertrieben gezeichnet und dienen lediglich dem besseren Verständnis der Regelung. Aufgrund der pneumatischen Permanentmessung erfolgt eine permanente Hubverlagerung, wodurch kontinuierliche lokale Formänderungen bestehen.

[0041] Anhand der Figur 3 wird eine erste erfindungsgemäße Variante der Reduktion des Hubs veranschau-

licht. Diese Variante wird als "Vorgabe konstantes DeltaH zur Ermittlung von DeltaX" bezeichnet.

[0042] Sehr schematisch ist das Honwerkzeug bzw. sind die zu dem Honwerkzeug gehörenden Honleisten 5 einmal im oberen Umkehrpunkt OP und einmal im unteren Umkehrpunkt UP dargestellt. Der Hub der Honleisten entspricht dem Abstand OP1 und UP, wenn die Bohrung über ihre gesamte Länge gehont wird.

[0043] Eine Luftmessdüse, die zu dem Honwerkzeug gehört, ist in den Figuren 3 und 4 mit dem Bezugszeichen 7 versehen worden. Die Messdüsen 7 sind nur im oberen Umkehrpunkt des Honwerkzeugs dargestellt. Weil die Messdüsen in das Honwerkzeug integriert sind, führen sie die gleichen Bewegungen wie die Honleisten 5 aus. Wenn der Ist-Durchmesser D_{IST} der Bohrung den Durchmesser $D_{SOLL,1}$ erreicht hat, dann wird der Hub H1 (=OP1- UP) um einen Betrag DeltaH reduziert. Der Betrag DeltaH ist vom Bediener der Honmaschine als Parameter in die Steuerung eingegbar.

[0044] Weil die Bohrung im Bereich b, dort wo der Umkehrpunkt OP1 liegt, bereits den gewünschten Soll-Durchmesser $D_{SOLL(1)}$ aufweist, wird der obere Umkehrpunkt OP2 nach unten in Richtung des unteren Umkehrpunkts UP verlegt. Der neue Umkehrpunkt OP2 ergibt sich dadurch, dass der bisherige obere Umkehrpunkt OP1 um den Betrag DeltaH in Richtung des Unteren Umkehrpunkts UP verschoben wird.

[0045] Zu dem neuen oberen Umkehrpunkt OP2 gehört ein zweiter Soll-Durchmesser $D_{SOLL,2}$. Der zweite Soll-Durchmesser $D_{SOLL,2}$ ist gleich dem Soll-Durchmesser der Bohrung im Umkehrpunkt OP2. Ausgehend von dem Durchmesser $D_{SOLL(1)}$ lässt sich der neue Durchmesser $D_{SOLL,2}$ im Umkehrpunkt OP 2 auch durch die Formel $D_{SOLL,2} = D_{SOLL,1} + \Delta X$ ermitteln.

[0046] Der Betrag von DeltaX ist nicht konstant, sondern hängt von der Steigung der Mantellinie in dem oberen Umkehrpunkt OP1 und dem neuen oberen Umkehrpunkt OP2 ab. Weil die Mantellinie der Bohrung in der Maschinensteuerung - zum Beispiel als Polynom oder als Wertetabelle - hinterlegt ist, lässt sich zu jedem Umkehrpunkt OP, UP der zugehörige Soll-Durchmesser im Umkehrpunkt ermitteln.

[0047] Im rechten Teil der Figur 3 sind die Hübe des Honwerkzeugs über der Zeit t aufgetragen. Es wird deutlich, dass in dem ersten Bearbeitungsabschnitt ein großer Hub $H_1 = OP1$ und UP erfolgt. In dem zweiten Arbeitsschritt ist der Hub H_2 deutlich kleiner. ($H = OP2-UP$).

[0048] In der Figur 4 wird die Variante "Vorgabe konstantes DeltaX zur Ermittlung von DeltaH" dargestellt und nachfolgend erläutert. Bei dieser Variante wird, ausgehend von einem Durchmesser D_{IST} bzw. $D_{SOLL,1}$, ein konstantes DeltaX zu dem Soll-Durchmesser $D_{SOLL,1}$ hinzugeaddiert. Der neue Obere Umkehrpunkt OP2 wird aus der Schnittstelle zwischen der Mantellinie 1 und dem neuen Soll-Durchmesser $D_{SOLL,2} = D_{SOLL,1} + \Delta X$ ermittelt. Bei dieser Variante wird der Hub zwischen OP1 und OP2 bzw. zwischen OP_n und OP_{n+1} nicht um einen konstanten Betrag reduziert. Die Reduktion des Hubs ist mehr oder

weniger groß, je nachdem, wie stark sich die Mantellinie im Bereich zwischen dem aktuellen oberen Umkehrpunkt OP_n und dem neuen oberen Umkehrpunkt OP_{n+1} ändert.

[0049] Es ist offensichtlich, dass die Reduktion des Hubs nicht nur im Bereich des oberen Umkehrpunkts OP vorgenommen werden kann, sondern auch im Bereich des unteren Umkehrpunkts UP erfolgen kann.

[0050] Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist ein solches Ausführungsbeispiel nicht dargestellt. Es sei noch auf die Figur 1b Nr. 5 verwiesen. Dort ist eine Mantellinie dargestellt, die es erforderlich macht, dass sowohl der obere Umkehrpunkt OP als auch der untere Umkehrpunkt UP verlagert werden, um die gewünschte Soll-Form zu erreichen.

[0051] Die Figuren 5 a bis d und die Figuren 2 a bis d weisen viele Übereinstimmungen auf. Anhand der Figuren 2 a bis d soll das Prinzip erläutert werden; in den Figuren 5a bis d wird der erfindungsgemäße Algorithmus mit den zugehörigen Bezeichnungen mehr in den Vordergrund gerückt.

[0052] Die schraffierten Flächen 9₁, 9₂ und 9₃ sollen veranschaulichen, wo noch Material abgetragen werden muss, um die gewünschte Mantellinie 1 zu erreichen.

[0053] Alle Figuren sind schematische Darstellungen und sind nicht maßstäblich.

[0054] Bei den bislang beschriebenen Verfahrensvarianten wurde angenommen, dass die Wandung der zu bearbeitenden (Zylinder-)Bohrung so dick ist, dass die während der Honbearbeitung von den Honleisten in radialer Richtung auf die Wandung wirkenden Kräfte keine oder nur sehr geringe Verformungen der Wandung bewirken. Die Radialkraft (Anpresskraft) mit der die Honleisten gegen die Zylinderbohrung gepresst werden, werden von der Zustelleinrichtung bzw. der Steuerung der Honmaschine verursacht.

[0055] Dieses Prinzip funktioniert bei quasi starren Werkstückstrukturen oder Werkstücken deren Wandstärke konstant ist. Diese Voraussetzungen sind in der Praxis bei modernen Zylinderkurbelgehäusen nicht immer gegeben, sodass aufgrund von lokal unterschiedlichen Wandstärken und/oder hohen Zustellkräften während der Bearbeitung durch die Bearbeitungskräfte lokale elastische Verformungen auftreten und dabei der Werkstoff der Zerspanung in radialer Richtung ausweicht (radiale Aufweitung). Weil die Aufweitung elastisch ist, "federt" die Wandung wieder zurück, sobald die Honbearbeitung abgeschlossen ist. Dadurch weicht die erreichte Ist-Form im entspannten Zustand lokal stark von der Soll-Form ab. Dieser Sachverhalt ist in den Figuren 6a und b veranschaulicht. In der Figur 6a ist nur die "halbe" Zylinderbohrung dargestellt. Ihre Mittelachse ist als strichpunktierte Linie 30 dargestellt. Die Länge der Zylinderbohrung besteht bei diesem Beispiel aus einem dickwandigen Abschnitt 32 und einem dünnwandigen Abschnitt 34. Die gewünschte Soll-Form ist mit 36 bezeichnet.

[0056] Wenn nun während der Honbearbeitung die

Bohrung in dem dünnwandigen Abschnitt 34 radial aufgeweitet wird und die gewünschte Soll-Form entsprechend der Linie 36 nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wird, dann federt die Bohrung nach dem Ende der Honbearbeitung radial zurück und es ergibt sich eine Ist-Form gemäß der Linie 38 in der Figur 6b.

[0057] Aus dem Vergleich der Linien 36 und 38 wird deutlich, dass die Ist-Form und die Soll-Form in dem dünnwandigen Abschnitt 34 deutlich voneinander abweichen.

[0058] Eine erfindungsgemäße Lösung für dieses Problem besteht darin, dass die Soll-Form 36 mindestens lokal zu einer korrigierten Soll-Form wird.

[0059] Die korrigierte Soll-Form ist die Form, welche die Zylinderbohrung während der Honbearbeitung annehmen muss, damit sie nach dem Ende der Honbearbeitung und ohne radiale Aufweitung die gewünschte Soll-Form 36 hat.

[0060] Die korrigierte Soll-Form erhält man indem zu der Soll-Form 36 (vor allem im Bereich des dünnwandigen Abschnitts 34) die radiale Aufweitung hinzuaddiert. Die korrigierte Soll-Form hat in der Figur 6c das Bezugszeichen 42

[0061] Wenn nun die Zylinderbohrung mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens oder auf andere Weise in die korrigierte Soll-Form 42 gebracht wird, dann sind die Abweichungen zwischen Ist-Form 38 und Soll-Form 36 der Zylinderbohrung nach dem Ende der Honbearbeitung minimal. Dieser Sachverhalt ist in der Figur 6d dargestellt.

[0062] In anderen Worten: Die korrigierte Soll-Form 42 gleicht diese lokal unterschiedlichen radialen Verformungen durch zusätzlichen lokalen Werkstoffabtrag aus. Dadurch ist es möglich über die gesamte Länge der Zylinderbohrung den Durchmesser der nicht zylindrischen rotationssymmetrischen Zylinderbohrung innerhalb eines sehr engen Toleranzfeldes zwischen den Linien 44 zu halten.

[0063] Die korrigierte Soll-Form 42 kann empirisch oder rechnerisch ermittelt werden. Bei einer empirischen Ermittlung kann anhand der jeweils erreichten Ergebnisse, ausgehend von der Soll-Form iterativ zur korrigierten Soll-Form verändert werden, indem an einer Mehrzahl von Stützpunkten die Soll-Form in kleinen Schritten (zum Beispiel im Bereich von einem oder mehreren Mikrometern) korrigiert werden, bis die Ist-Form (siehe 38 in Fig. 6c) im entspannten Zustand der Zylinderbohrung der Soll-Form (siehe 36 in Fig. 6c) entspricht.

[0064] Bei einer rechnerischen Ermittlung kann anhand der Kraft mit der die Honleisten gegen die Zylinderwand gepresst werden, die radiale Aufweitung (A_r) der Zylinderbohrung in dem dünnwandigen Bereich 34 zumindest überschlägig ermittelt werden und diese Aufweitung zu der Soll-Form 36 addiert werden. Es können die jeweils erreichten Ergebnisse, ausgehend von der Soll-Form iterativ zur korrigierten Soll-Form verändert werden, indem an einer Mehrzahl von Stützpunkten die Soll-Form in kleinen Schritten (zum Beispiel im Bereich von

einem oder mehreren Mikrometern) korrigiert wird, bis die Ist-Form (siehe 38 in Fig. 6c) im entspannten Zustand der Zylinderbohrung der Soll-Form (siehe 36 in Fig. 6c) entspricht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer rotationssymmetrischen nicht-zylindrischen Bohrung mit einem Honwerkzeug umfassend die Schritte:

Honen der Bohrung mit einem Hub (H) des Honwerkzeugs, wobei der Hub (H) von einem Oberen Umkehrpunkt (OP) und einem Unteren Umkehrpunkt (UP) begrenzt wird ($H = OP - UP$), **gekennzeichnet durch**

Permanentes Erfassen des über die Länge der zu bearbeitenden Bohrung verschiedenen Ist-Durchmessers (D_{IST}) der Bohrung während der Honbearbeitung in einem Bereich zwischen den Umkehrpunkten (OP_n , UP_n) der Honleisten des Honwerkzeugs,

Permanentes Vergleichen des Ist-Durchmessers (D_{IST}) der Bohrung mit den vorgegebenen Soll-Durchmessern D_{SOLL} (OP_n , UP_n) in mindestens einem der Umkehrpunkte (OP_n , UP_n) und Permanentes Beschränken des Hubs (H) auf den oder die Bereiche (L - b) der Bohrung in denen der Ist-Durchmesser (D_{IST}) kleiner als der Soll-Durchmesser (D_{SOLL} (L-b)) ist;

wobei der Hub (H) des Honwerkzeugs entsprechend den gemessenen Ist-Werten des Durchmessers (D_{IST}) der Bohrung schrittweise reduziert wird, so dass nur noch die Bereiche (L-b) der Bohrung bearbeitet werden, bei denen der gemessene Ist-Durchmesser (D_{IST}) der Bohrung noch kleiner ist als der Solldurchmesser (D_{SOLL}).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hub (H_n) auf einen Hub (H_{n+1}) reduziert wird, wenn der Ist-Durchmesser ($D_{IST, n}$) an mindestens einem Umkehrpunkt (OP_n , UP_n) gleich dem Soll-Durchmesser ($D_{SOLL, n}$ (OP_n , UP_n)) ist, und dass die Honleisten des Honwerkzeugs mit dem reduzierten Hub (H_{n+1}) die Stelle oder den Bereich ((OP_n , UP_n)) nicht mehr bearbeiten.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der reduzierte Hub (H_{n+1}) gleich dem Hub (H_n) abzüglich eines vorgegebenen Betrags (ΔH) ist ($H_{n+1} = H_n - \Delta H$).
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hub (H_{n+1}) weiter reduziert wird, wenn an einem Umkehrpunkt (OP_{n+1} , UP_{n+1}) des Honwerkzeugs der Ist-Durchmesser (D_{IST}) des zu

letzt gehonten Bohrungsabschnitts gleich dem Soll-Durchmesser ($D_{SOLL} (OP_{n+1}, UP_{n+1})$) der Bohrung an einem der Umkehrpunkte (OP_{n+1}, UP_{n+1}) ist.

5. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein neuer Umkehrpunkt $OP_{(n+2)}$ dadurch bestimmt wird, dass ausgehend vom aktuellen Ist-Durchmesser (D_{IST}) ein neuer Soll-Durchmesser ($D_{SOLL, n+2}$) durch Addition eines Durchmesser-Inkrement (ΔD) zu dem aktuellen Soll-Durchmesser ($D_{SOLL, n}$) bestimmt wird ($D_{SOLL, n+2} = \Delta D + D_{SOLL, n+1}$), und dass der mindestens eine neue Umkehrpunkt $OP_{(n+2)}$ dort liegt, wo ein Soll-Durchmesser ($D_{SOLL} (y)$) gleich dem Soll-Durchmesser ($D_{SOLL} (n+2)$) ist. 5
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hub (H_{n+2}) des Honwerkzeugs weiter reduziert wird, wenn an einem Umkehrpunkt (OP_{n+2}) des Honwerkzeugs der Ist-Durchmesser ($D_{IST} (OP_{(n+2)})$) gleich dem Soll-Durchmesser ($D_{SOLL} (OP_{(n+2)})$) der Bohrung an diesem Umkehrpunkt ($OP_{(n+2)}$) ist. 10
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu Beginn die Bohrung über ihre gesamte Länge (L) gehont wird. 15
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine korrigierte Soll-Form (42) der nicht-zylindrischen Bohrung die radiale Aufweitung (A_r) der Zylinderbohrung während der Honbearbeitung berücksichtigt. 20
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die korrigierte Soll-Form (42) der Überlagerung einer Soll-Form (36) der nicht-zylindrischen Bohrung ohne radiale Aufweitung und der während der Honbearbeitung auftretenden elastischen radialen Aufweitung (A_r) entspricht. 25
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Soll-Form (36, 42) der nicht-zylindrischen Bohrung als Funktion einer Längsachse (Y-Achse) der Bohrung, insbesondere als Polynom n-ter Ordnung, vorgegeben wird. 30
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Soll-Form (36, 42) der nicht-zylindrischen Bohrung in einer Wertetabelle vorgegeben ist. 35
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen den Stützstellen der Wer- 40

tabelle die Soll-Form (36, 42) der nicht-zylindrischen Bohrung durch Interpolation bestimmt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit abnehmenden Hub (H) die Drehzahl der Honspindel erhöht wird. 45
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit abnehmenden Hub (H) der Honleistenanpressdruck erhöht wird. 50

15 Claims

1. Method for producing a rotationally symmetrical non-cylindrical bore using a honing tool, comprising the steps of:

honing the bore with a stroke (H) of the honing tool, wherein the stroke (H) is limited by a top dead center (OP) and a bottom dead center (UP) ($H = OP - UP$), **characterized by** permanently detecting the actual diameter (D_{ACTUAL}) of the bore which varies across the length of the bore to be machined during the honing operation in a region between the dead centers (OP_n, UP_n) of the honing stones of the honing tool, permanently comparing the actual diameter (D_{ACTUAL}) of the bore with the specified target diameters $D_{TARGET} (OP_n, UP_n)$ in at least one of the dead centers (OP_n, UP_n) and permanently limiting the stroke (H) to the region(s) ($L - b$) of the bore in which the actual diameter (D_{ACTUAL}) is smaller than the target diameter ($D_{Target} (L-b)$); wherein the stroke (H) of the honing tool is reduced in stages corresponding to the measured actual values of the diameter (D_{ACTUAL}) of the bore such that it is still only the regions ($L-b$) of the bore that are machined in which the measured actual diameter (D_{ACTUAL}) of the bore is still smaller than the target diameter (D_{Target}).

2. Method according to claim 1, **characterized in that** the stroke (H_n) is reduced to a stroke (H_{n+1}) if the actual diameter ($D_{ACTUAL, n}$) at at least one dead center (OP_n, UP_n) is equal to the target diameter ($D_{TARGET, n} (OP_n, UP_n)$), **and in that** the honing stones of the honing tool having the reduced stroke (H_{n+1}) no longer machine the location or region ((OP_n, UP_n)). 50
3. Method according to claim 2, **characterized in that** the reduced stroke (H_{n+1}) is equal to the stroke (H_n) minus a specified amount (ΔH) ($H_{n+1} = H_n - \Delta H$). 55

taH).

4. Method according to claim 3, **characterized in that** the stroke (H_{n+1}) is further reduced if, at a dead center (OP_{n+1} , UP_{n+1}) of the honing tool, the actual diameter (D_{ACTUAL}) of the bore portion that was last honed is equal to the target diameter (D_{TARGET}) (OP_{n+1} , UP_{n+1}) of the bore at one of the dead centers (OP_{n+1} , UP_{n+1}).
5. Method according to claim 2, **characterized in that** at least one new dead center $OP_{(n+2)}$ is determined **in that**, starting from the current actual diameter (D_{ACTUAL}), a new target diameter ($D_{TARGET, n+2}$) is determined by a diameter increment (DeltaD) being added to the current target diameter ($D_{TARGET, n}$) ($D_{TARGET, n+2} = \text{DeltaD} + D_{TARGET, n+1}$), **and in that** the at least one new dead center $OP_{(n+2)}$ is located where a target diameter ($D_{TARGET}(y)$) is equal to the target diameter ($D_{TARGET}(n+2)$).
6. Method according to claim 5, **characterized in that** the stroke (H_{n+2}) of the honing tool is further reduced if the actual diameter ($D_{ACTUAL}(OP_{(n+2)})$) at a dead center ($OP_{(n+2)}$) of the honing tool is equal to the target diameter ($D_{TARGET}(OP_{(n+2)})$) of the bore at this dead center ($OP_{(n+2)}$).
7. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the bore is initially honed along its entire length (L).
8. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** a corrected target shape (42) of the non-cylindrical bore takes into account the radial widening (A_r) of the cylinder bore during the honing operation.
9. Method according to claim 8, **characterized in that** the corrected target shape (42) of the superposition of a target shape (36) corresponds to the non-cylindrical bore without radial widening and to the resilient radial widening occurring during the honing operation (A_r).
10. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** a target shape (36, 42) of the non-cylindrical bore is specified as a function of a longitudinal axis (Y axis) of the bore, in particular as an nth order polynomial.
11. Method according to any of claims 1 to 9, **characterized in that** the target shape (36, 42) of the non-cylindrical bore is specified in a value table.
12. Method according to claim 11, **characterized in that** the target shape (36, 42) of the non-cylindrical bore is determined by interpolation between the support

points of the value table.

13. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the rotational speed of the honing spindle is increased as the stroke (H) decreases.
14. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the honing stone contact pressure is increased as the stroke (H) decreases.

Revendications

1. Procédé pour produire un trou non cylindrique à symétrie de rotation avec un outil de rodage comprenant les étapes de :

rodage du trou avec une course (H) de l'outil de rodage, dans lequel la course (H) est limitée par un point de rebroussement haut (OP) et un point de rebroussement bas (UP) ($H = OP - UP$), **caractérisé par**

la détection permanente du diamètre réel (D_{IST}) du trou différent sur toute la longueur du trou à usiner pendant l'usinage par rodage dans une zone entre les points de rebroussement (OP_n , UP_n) des baguettes de rodage de l'outil de rodage,

la comparaison permanente du diamètre réel (D_{IST}) du trou aux diamètres théoriques D_{SOLL} (OP_n , UP_n) prédéfinis dans au moins un des points de rebroussement (OP_n , UP_n) et

la limitation permanente de la course (H) à la ou aux zones (L - b) du trou dans lesquelles le diamètre réel (D_{IST}) est inférieur au diamètre théorique ($D_{SOLL}(L-b)$) ;

dans lequel la course (H) de l'outil de rodage est réduite progressivement de manière correspondante aux valeurs réelles mesurées du diamètre (D_{IST}) du trou, de sorte que seules les zones (L - b) du trou, pour lesquelles le diamètre réel (D_{IST}) mesuré du trou est encore inférieur au diamètre théorique (D_{SOLL}), sont usinées.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la course (H_n) est réduite à une course (H_{n+1}), lorsque le diamètre réel ($D_{IST, n}$) sur au moins un point de rebroussement (OP_n , UP_n) est identique au diamètre théorique ($D_{SOLL, n}$) (OP_n , UP_n), et que les baguettes de rodage de l'outil de rodage avec la course (H_{n+1}) réduite n'usinent plus l'emplacement ou la zone ((OP_n , UP_n)).
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** la course réduite (H_{n+1}) est identique à la course (H_n) moins une valeur (DeltaH) prédéfinie ($H_{n+1} = H_n - \text{DeltaH}$).

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la course (H_{n+1}) est davantage réduite, lorsque sur un point de rebroussement (OP_{n+1} , UP_{n+1}) de l'outil de rodage le diamètre réel (D_{IST}) de la partie de trou rodée en dernier est identique au diamètre théorique (D_{SOLL} (OP_{n+1} , UP_{n+1})) du trou sur un des points de rebroussement (OP_{n+1} , UP_{n+1}). 5
5. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'**au moins un nouveau point de rebroussement $OP_{(n+2)}$ est déterminé du fait qu'à partir du diamètre réel (D_{IST}) actuel un nouveau diamètre théorique ($D_{SOLL, n+2}$) est déterminé ($D_{SOLL, n+2} = \Delta D + D_{SOLL, n+1}$) par addition d'un incrément de diamètre (ΔD) au diamètre théorique actuel ($D_{SOLL, n}$), et que le au moins un nouveau point de rebroussement $OP_{(n+2)}$ se situe à l'endroit où un diamètre théorique (D_{SOLL} (y)) est identique au diamètre théorique (D_{SOLL} ($n+2$)). 10 15 20
6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** la course (H_{n+2}) de l'outil de rodage est davantage réduite, lorsque sur un point de rebroussement (OP_{n+2}) de l'outil de rodage le diamètre réel (D_{IST} (OP_{n+2})) est identique au diamètre théorique (D_{SOLL} (OP_{n+2})) du trou sur ce point de rebroussement (OP_{n+2}). 25
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**au début le trou est rodé sur toute sa longueur (L). 30
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une forme théorique (42) corrigée du trou non cylindrique prend en compte l'élargissement radial (A_r) du trou cylindrique pendant l'usinage par rodage. 35
9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** la forme théorique (42) corrigée correspond à la superposition d'une forme théorique (36) du trou non cylindrique sans élargissement radial et de l'élargissement radial (A_r) élastique se produisant pendant l'usinage par rodage. 40 45
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une forme théorique (36, 42) du trou non cylindrique est prédéfinie en fonction d'un axe longitudinal (axe Y) du trou, en particulier en tant que polynôme de nième ordre. 50
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** la forme théorique (36, 42) du trou non cylindrique est prédéfinie dans un tableau de valeurs. 55
12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce qu'**entre les points de référence du tableau de valeurs la forme théorique (36, 42) du trou non cylindrique est déterminée par interpolation.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**à mesure que la course (H) diminue la vitesse de rotation de la broche de rodage est augmentée.
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**à mesure que la course (H) diminue la pression d'application de baguette de rodage est augmentée.

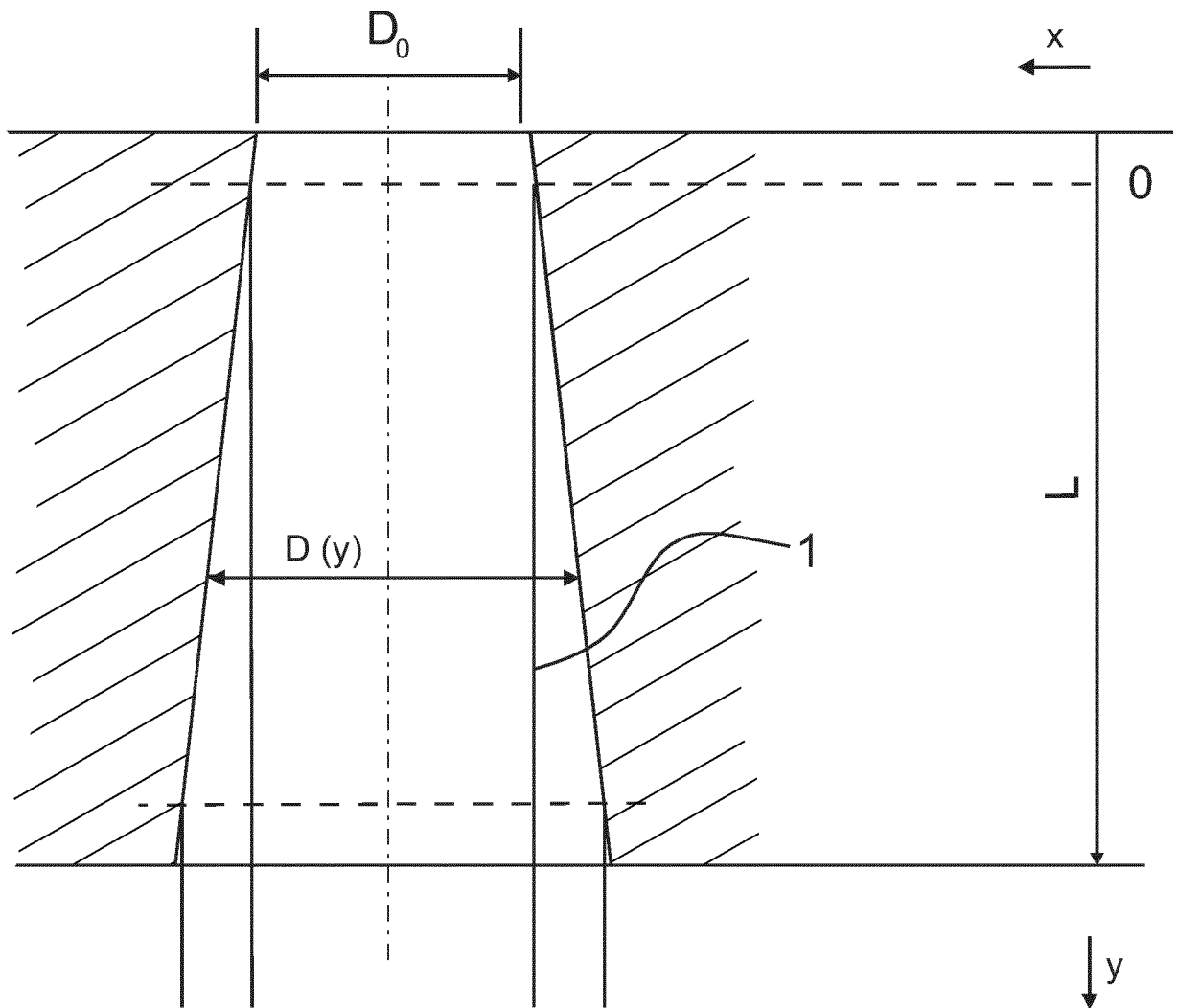


Fig. 1a

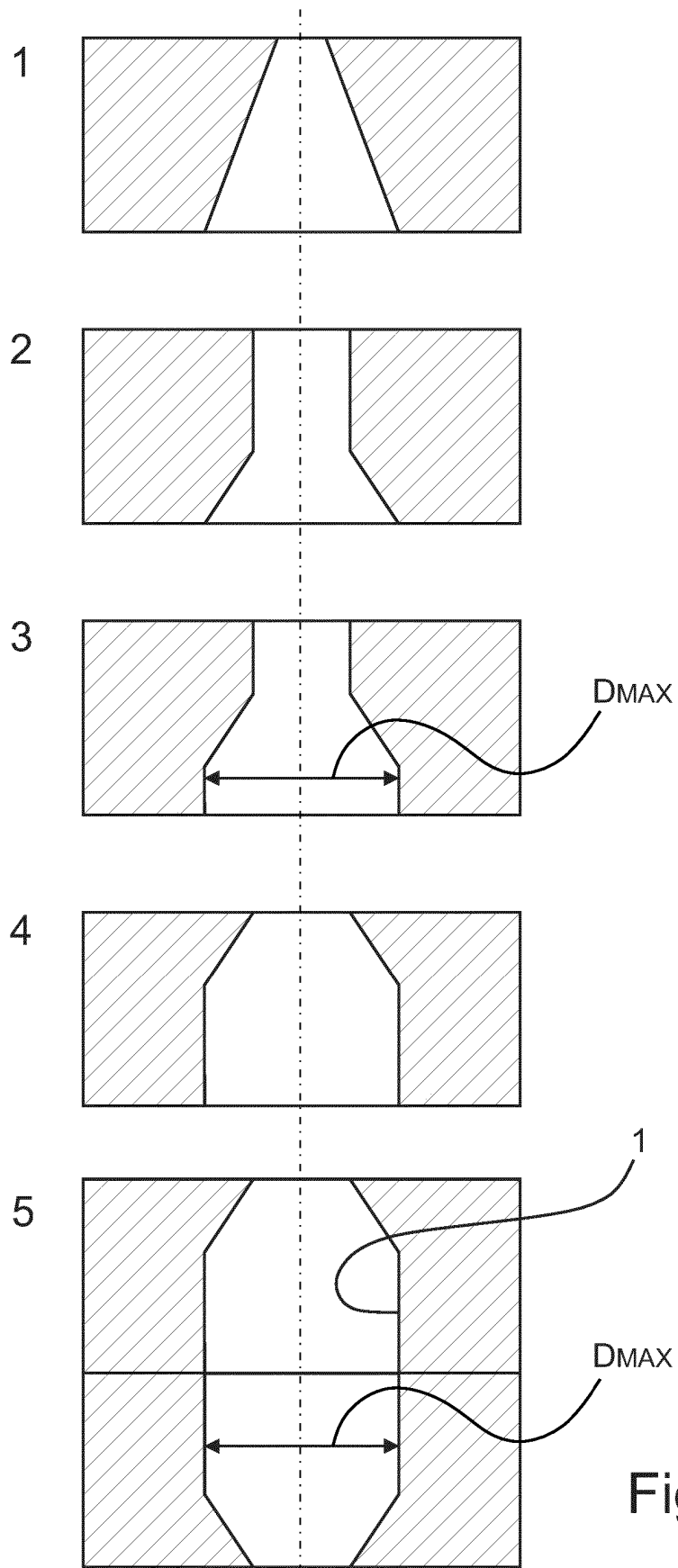


Fig. 1b

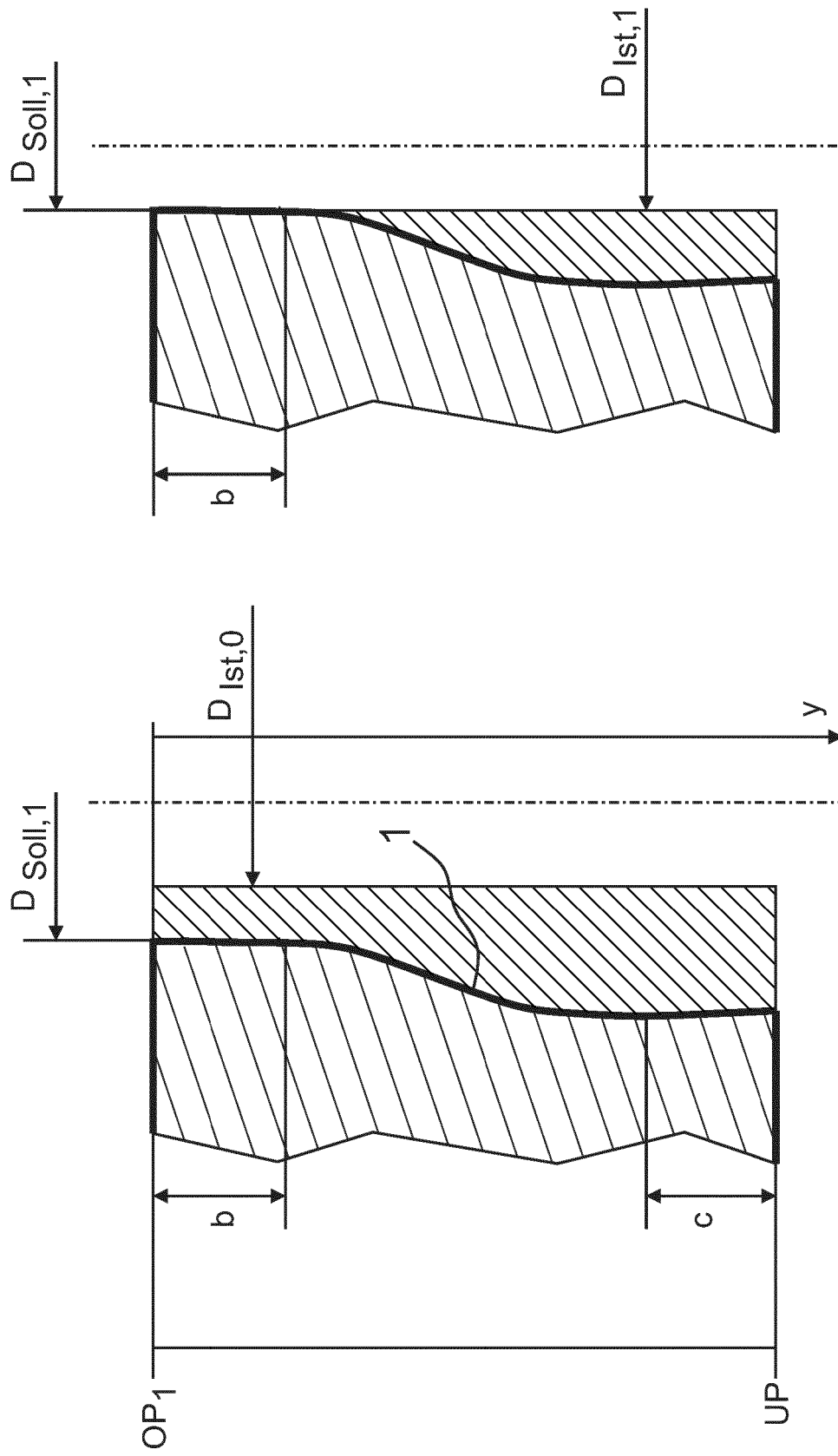


Fig. 2a

Fig. 2b

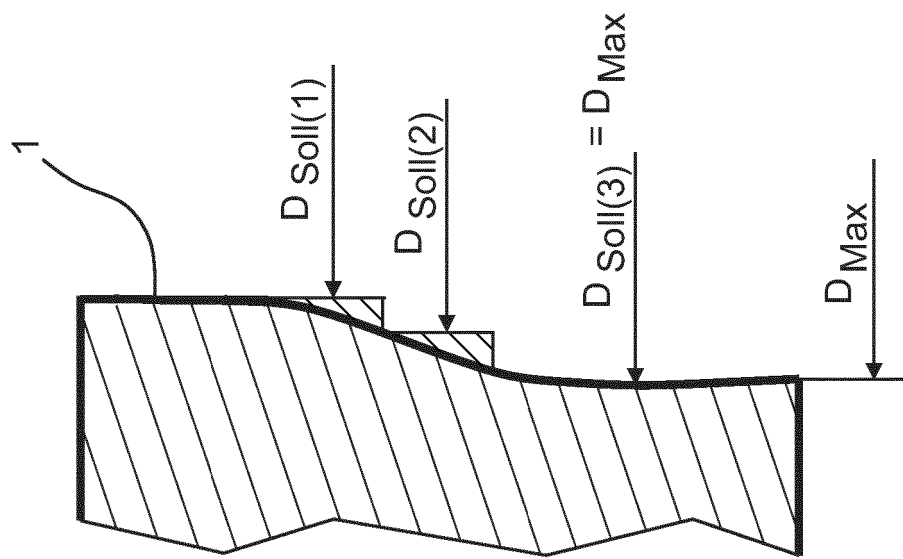


Fig. 2d

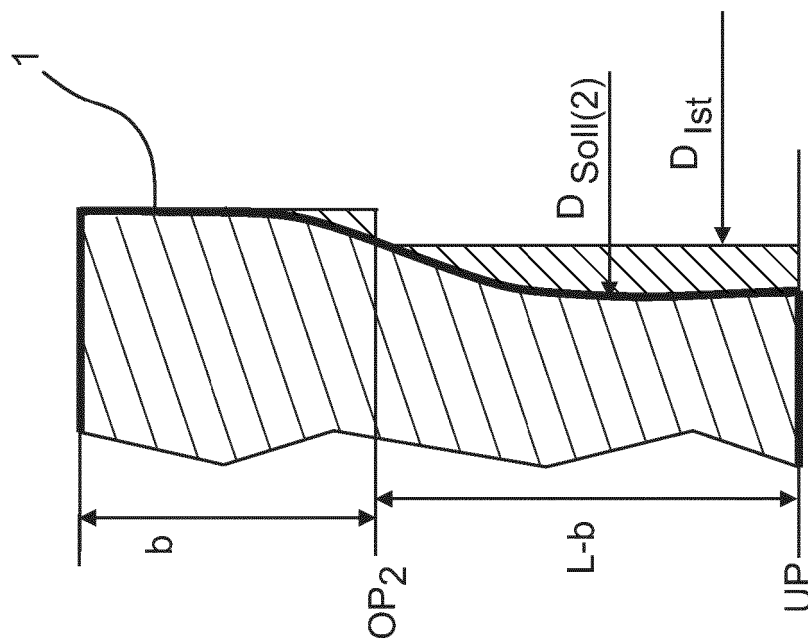


Fig. 2c

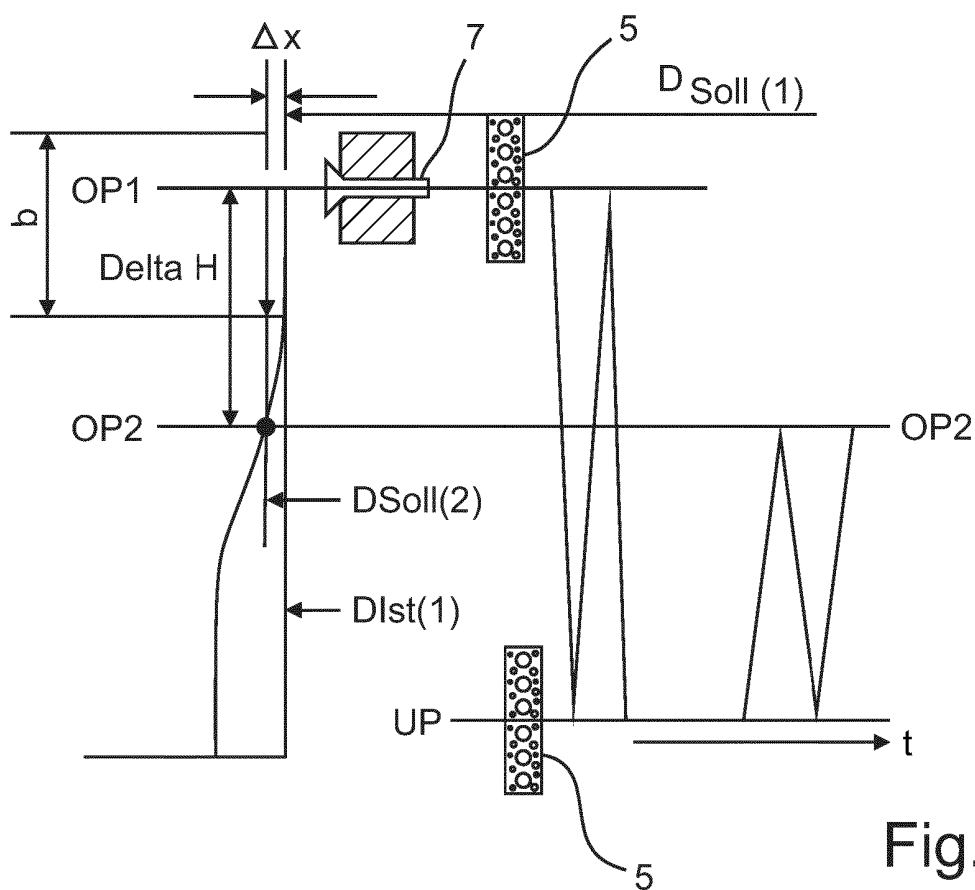


Fig. 3

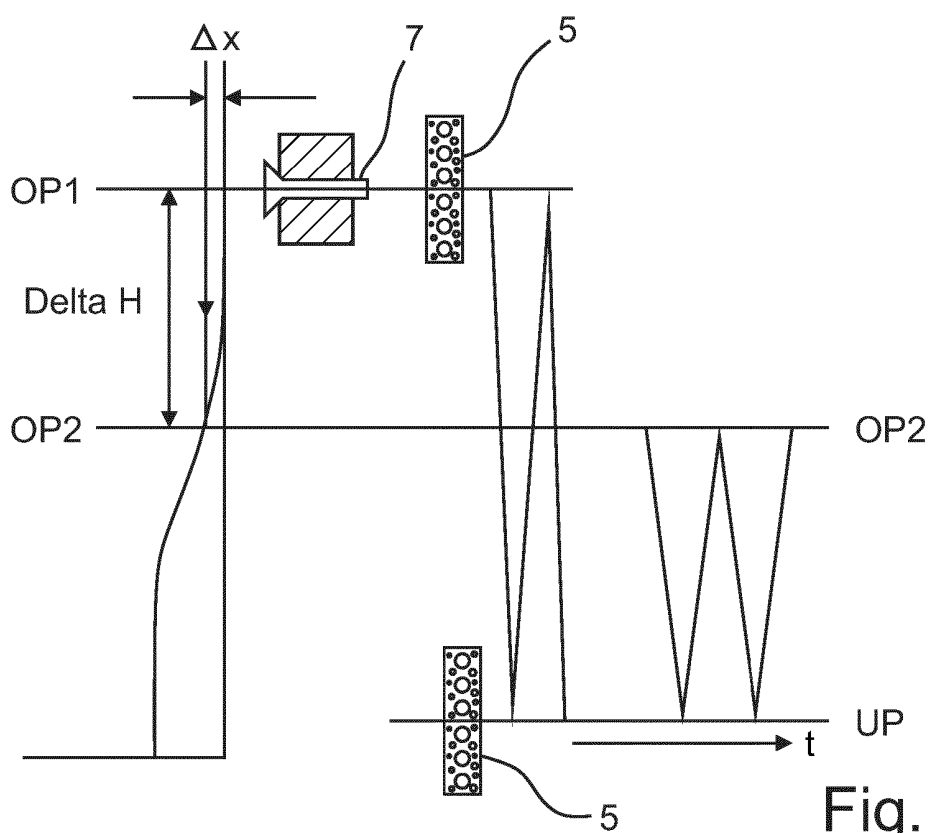


Fig. 4

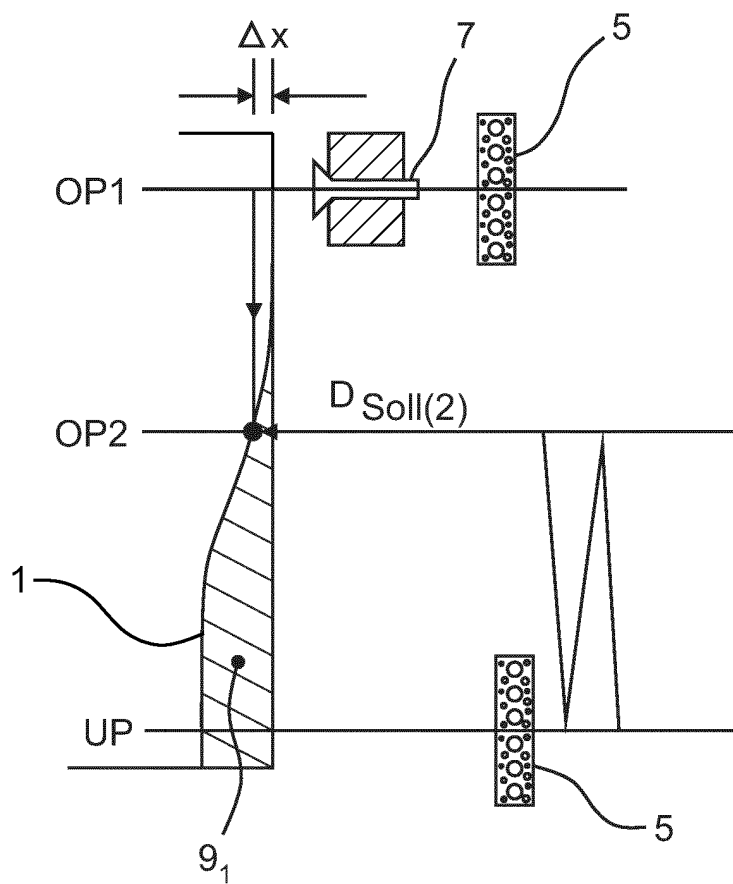


Fig. 5a

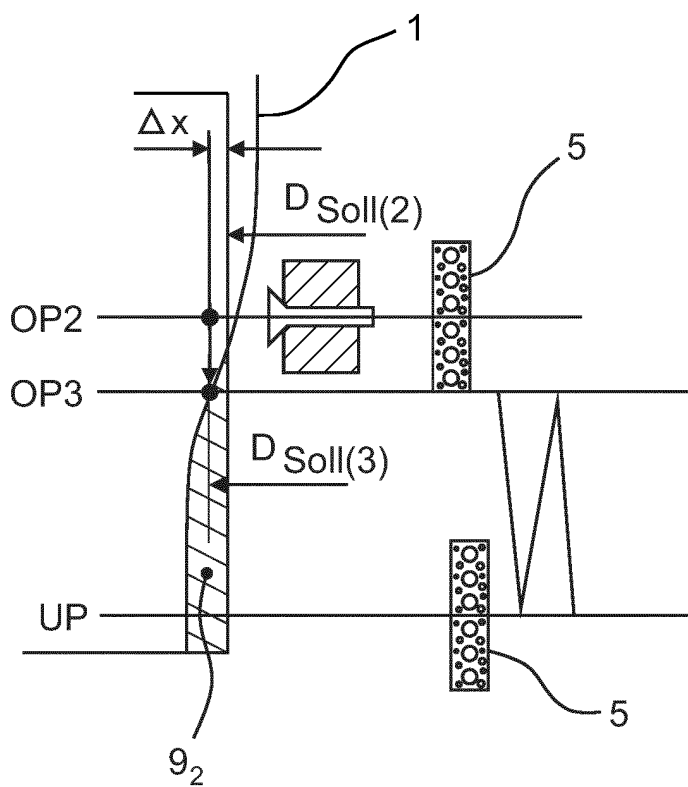


Fig. 5b

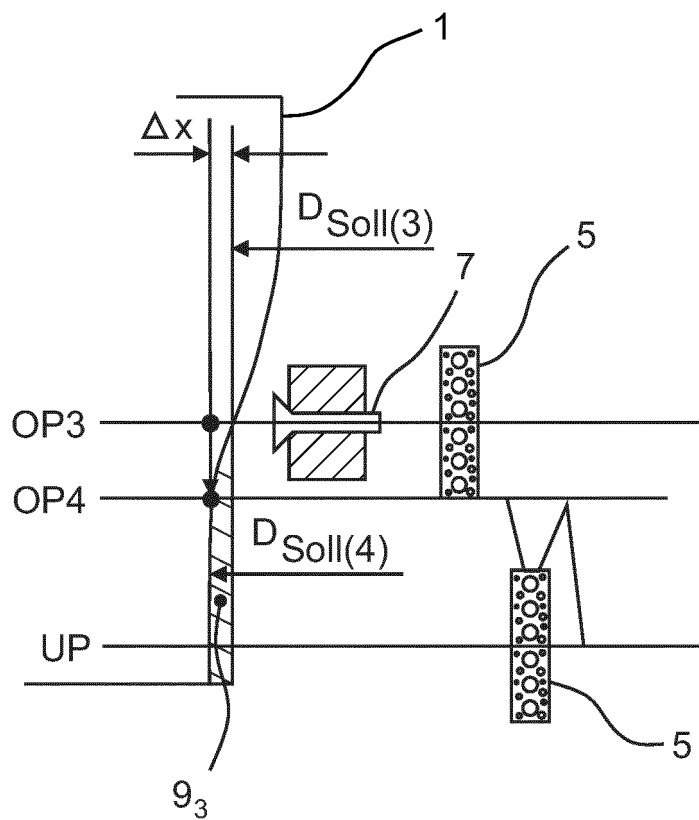


Fig. 5c

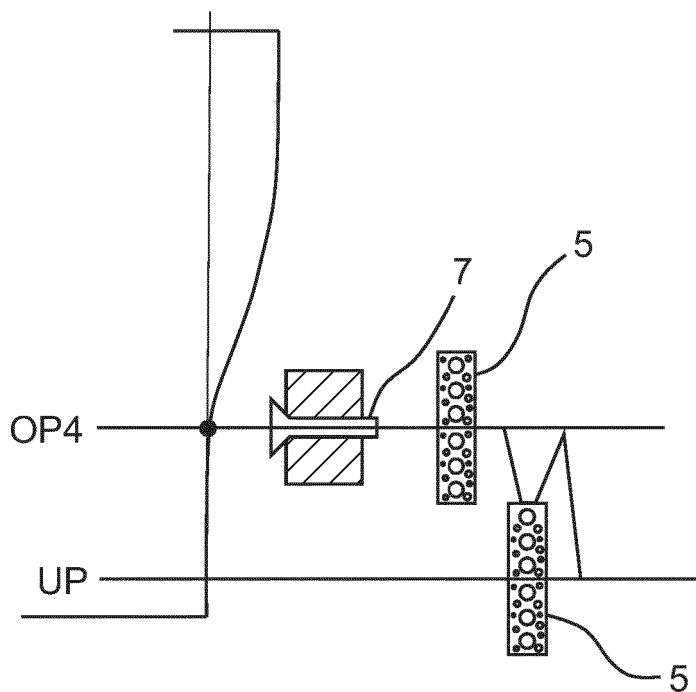


Fig. 5d

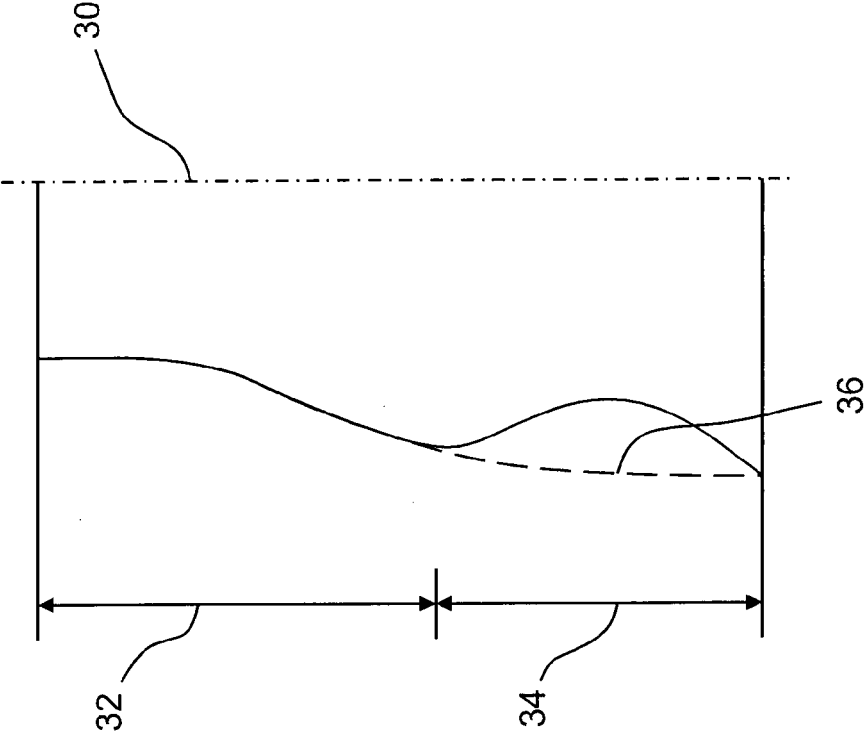


Fig. 6a

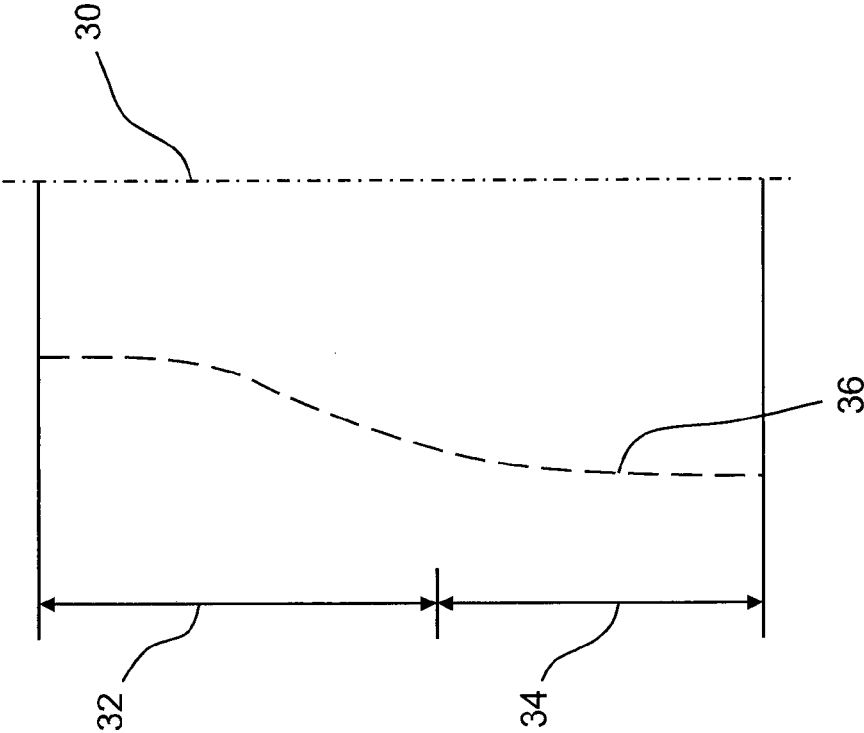


Fig. 6b

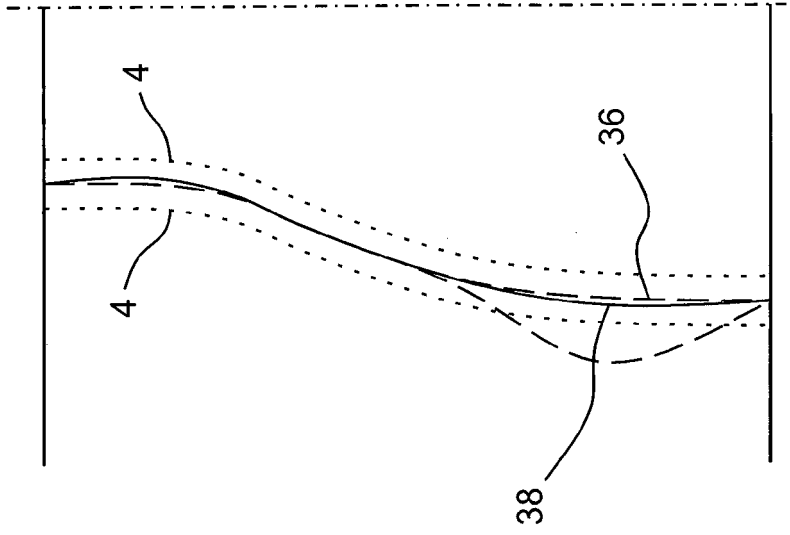


Fig. 6d

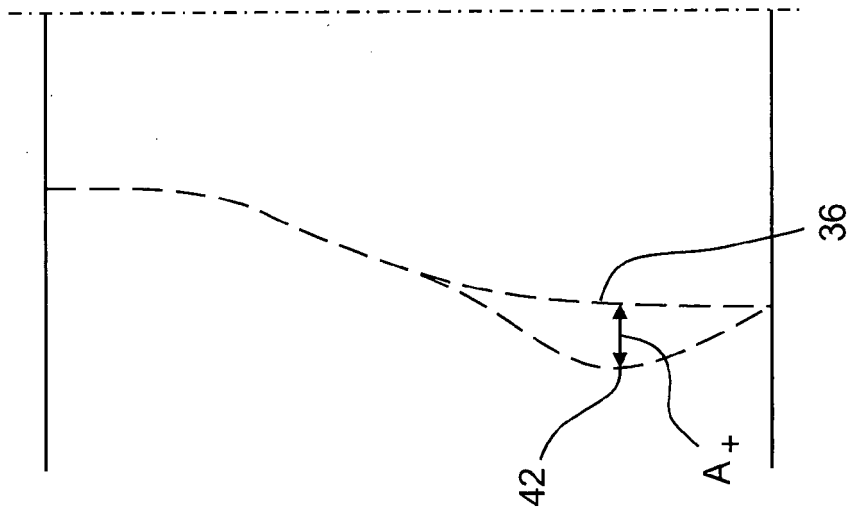


Fig. 6c

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2170556 B1 [0003]
- DE 102013204714 A1 [0004]
- US 4945685 A [0005]