

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges  
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum  
5. Oktober 2017 (05.10.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2017/167829 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
*B24B 33/02* (2006.01) *B24B 33/08* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/057458
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
29. März 2017 (29.03.2017)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2016 105 717.7 29. März 2016 (29.03.2016) DE
- (71) Anmelder: **GEHRING TECHNOLOGIES GMBH**  
[DE/DE]; Gehringstrasse 28, 73760 Ostfildern (DE).
- (72) Erfinder: **LITTY, Klaus**; Sonnhalde 49, 71394 Kernen (DE). **WAGNER, Andreas**; Limburgweg 14, 73770 Denkendorf (DE). **WAIBLINGER, Manuel**; Stützenburgstrasse 19/2, 70182 Stuttgart (DE). **WIENS, Andreas**; Falkenstrasse 3, 74343 Sachsenheim (DE). **SCHAMNE, Niko**; Nellinger Strasse 6, 73760 Ostfildern (DE). **PETRASCHEK, Markus**; Narzissenweg 38, 73760 Ostfildern (DE).
- (74) Anwalt: **DREISS PATENTANWÄLTE PARTG MBB**; Friedrichstraße 6, (Postfach 10 37 62, 70032 Stuttgart), 70174 Stuttgart (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING ROTATIONALLY SYMMETRICAL, NON-CYLINDRICAL BORES WITH A HONING TOOL, AND HONING MACHINE WHICH IS DESIGNED AND EQUIPPED FOR MAKING A CYLINDRICAL BORE INTO A CONICAL BORE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG ROTATIONSSYMMETRISCHER, NICHT ZYLINDRISCHER BOHRUNGEN MIT EINEM HONWERKZEUG UND HONMASCHINE, DIE ZUR KONIFIZIERUNG EINER ZYLINDRISCHEN BOHRUNG AUSGEBILDET UND EINGERICHTET IST

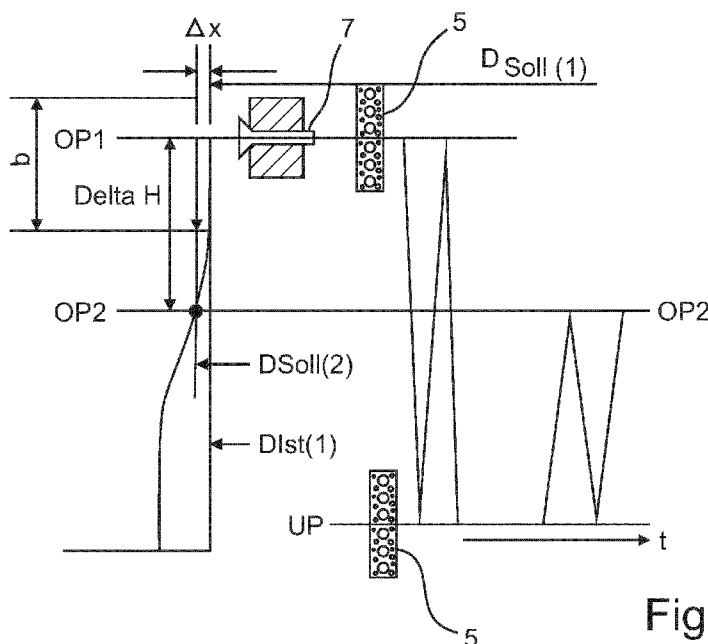


Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to a method for honing conical bores.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Honen konischer Bohrungen vorgeschlagen.

WO 2017/167829 A1

**Veröffentlicht:**

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

**Titel:** Verfahren zur Herstellung rotationssymmetrischer, nicht zylindrischer Bohrungen mit einem Honwerkzeug und Honmaschine, die zur Konifizierung einer zylindrischen Bohrung ausgebildet und eingerichtet ist

### **Beschreibung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Konifizierung einer zylindrischen Bohrung mit einem Honwerkzeug sowie eine Prozesskette zur formgebenden Bearbeitung von zylindrischen Bohrungen.

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 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.

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.

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 Pleuellwelle vorgesehen ist. Zwischen diesen Bereichen ist ein kegelstumpfförmiger Übergangsbereich ausgebildet, der etwa 5 % bis 20% der Bohrungslänge einnimmt.

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. Außerdem liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine dazu ausgebildete und eingerichtete Honmaschine bereitzustellen.

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.

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

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 kurzwelliger kann der Sollformverlauf sein, da mit zunehmender Leistenlänge die Wellenlängen der Sollform, 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.

Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die Schritte:

Honen der Bohrung mit einem Hub ( $H = OP_n - UP_n$ ; mit  $n = 1$  bis  $m$ ),

Erfassen des Ist-Durchmessers ( $D_{IST}$ ) der Bohrung während der Honbearbeitung in einem Bereich zwischen den Umkehrpunkten ( $OP_n$ ,  $UP_n$ ) der Honleisten des Honwerkzeugs,

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

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.

Das erfindungsgemäße Verfahren weist einen geschlossenen Regelkreis auf, der im Ergebnis dazu führt, dass die über die Länge der zu bearbeitenden Bohrung verschiedenen Durchmesser ( $y$ ), 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. In 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.

Aufgrund der Permanentmessung erfolgt eine 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.

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, haben 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.

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

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 Umkehrpunkte  $OP_n$ ,  $UP_n$  nicht mehr bearbeitet wird. 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.

Die Reduktion des Hubs kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Eine steuerungstechnisch sehr einfach relaisierbare

Alternative sieht vor, dass der Hub  $H_n$  immer um einen vorgegebenen Betrag  $\Delta H$  reduziert wird, um zu einem reduzierten Hub  $H_{n+1}$  zu gelangen. Der Betrag von  $\Delta H$  wird üblicherweise in Abhängigkeit der Gesamtlänge der zu honenden Bohrung gewählt. Auch kann die gewünschte Mantellinie einen Einfluss auf den Betrag von  $\Delta H$  haben.

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  $D_{Sol}$   $UP_{n+1}$  der Bohrung an diesem Umkehrpunkt  $OP_{n+1}, UP_{n+1}$  ist.

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  $\Delta X$  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.

Diese Alternative wird nachfolgend im Zusammenhang mit den Figuren (siehe die Figur 4) noch detailliert erläutert.

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.

Die gewünschte Soll-Kontur 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 eintragen. Zwischenwerte zwischen diesen Stützstellen können durch Interpolation (linear oder progressiv) gebildet werden.

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.

Die gleichen Vorteile werden durch die Anwendung der erfindungsgemäßen Honmaschine erzielt.

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind der nachfolgenden Zeichnung, deren Beschreibung und den Patentansprüchen entnehmbar. Alle in der Zeichnung,

deren Beschreibung und den Patentansprüchen genannten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein.

Zeichnungen

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

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  $D_0$ .

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.

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.

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

Bei den Ausführungsbeispielen mit den Nummer 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.

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

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

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  $D_{\text{SOLL}}$  im unteren Abschnitt c.

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).

Durch die Honbearbeitung vergrößert sich der Durchmesser  $D_{\text{IST}}$  der Bohrung gleichmäßig über deren gesamte Länge ausgehend von

$D_{Ist,0}$  bis die nach wie vor zylindrische Bohrung den Durchmesser  $D_{Ist,1}$  hat.

Aus der Figur 2b wird deutlich, dass der Durchmesser  $D_{Ist,1}$  der Bohrung in diesem Zustand gleich dem Soll-Durchmesser  $D_{Soll,1}$  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.

Sobald der Durchmesser der Bohrung  $D_{Ist}$  gleich dem Soll-Durchmesser  $D_{Soll,1}$  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.

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  $D_{Soll,2}$  größer als der Soll-Durchmesser  $D_{Soll,1}$  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.

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  $D_{Soll,2}$ . Mit dem Sollwert

$D_{\text{Soll}, 2}$  wird der Ist-Wert des bearbeitenden Bereichs der Bohrung während der Bearbeitung verglichen. Sobald der Ist-Wert  $D_{\text{Ist}}$  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.

Sobald der Ist-Durchmesser  $D_{\text{Ist}}$  der Bohrung in dem Bereich zwischen  $\text{OP}_2$  und UP gleich dem Soll-Durchmesser am oberen Umkehrpunkt OP2 ist, wird der Hub weiter reduziert (nicht dargestellt in der Figur 2c).

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.

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.

Anhand der Figur 3 wird eine erste erfindungsgemäße Variante der Reduktion des Hubs veranschaulicht. Diese Variante wird als "Vorgabe konstantes  $\Delta H$  zur Ermittlung von  $\Delta X$ " bezeichnet.

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.

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  $H_1$  (=OP1- UP) um einen Betrag  $\Delta H$  reduziert.

Der Betrag  $\Delta H$  ist vom Bediener der Honmaschine als Parameter in die Steuerung eingebbar.

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  $\Delta H$  in Richtung des unteren Umkehrpunkts UP verschoben wird.

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.

Der Betrag von  $\Delta X$  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.

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. ( $H = OP2-UP$ ).

In der Figur 4 wird die Variante "Vorgabe konstantes  $\Delta X$  zur Ermittlung von  $\Delta H$ " dargestellt und nachfolgend erläutert. Bei dieser Variante wird, ausgehend von einem Durchmesser  $D_{Ist}$  bzw.  $D_{Soll,1}$ , ein konstantes  $\Delta X$  zu dem Soll-Durchmesser  $D_{Soll,1}$  hinzuaddiert. 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.

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.

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-Kontur zu erreichen.

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.

Die schraffierten Flächen  $9_1$ ,  $9_2$  und  $9_3$  sollen veranschaulichen, wo noch Material abgetragen werden muss, um die gewünschte Mantellinie 1 zu erreichen.

Alle Figuren sind schematische Darstellungen und sind nicht maßstäblich.

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, ihre werden von der Zustelleinrichtung bzw. der Steuerung der Honmaschine der verursacht.

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 Sollform 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.

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.

Aus dem Vergleich der Linien 36 und 38 wird deutlich, dass die

Ist-Form und die Sollform in dem dünnwandigen Abschnitt 34 deutlich voneinander abweichen.

Eine erfindungsgemäße Lösung für dieses Problem besteht darin, dass die Sollform mindestens lokal zu einer korrigierten Sollform 40 wird.

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

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

Wenn nun die Zylinderbohrung mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens oder auf andere Weise in die korrigierte Sollform 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.

In anderen Worten: Die korrigierte Sollform 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.

Die korrigierte Sollform 42 kann empirisch oder rechnerisch ermittelt werden. Bei einer empirischen Ermittlung kann anhand der jeweils erreichten Ergebnisse, ausgehend von der Sollform iterativ zur korrigierten Sollform verändert werden, indem an einer Mehrzahl von Stützpunkten die Sollform 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.

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 Sollform 36 addiert werden.

Es können die jeweils erreichten Ergebnisse, ausgehend von der Sollform iterativ zur korrigierten Sollform verändert werden, indem an einer Mehrzahl von Stützpunkten die Sollform 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:  
  
Honens der Bohrung mit einem Hub ( $H = OP_n - UP_n$ ; mit  $n = 1$  bis  $m$ ),  
  
Permanentes Erfassen des 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.
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 ( $\Delta H$ ) 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 zuletzt 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-Inkrementes ( $\Delta D$ ) 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.
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.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zu Beginn die Bohrung über ihre gesamte Länge (L) gehont wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Soll-Kontur (D (Y), 42) der nicht-zylindrischen Bohrung die radiale Aufweitung (Ar) der Zylinderbohrung während der Honbearbeitung berücksichtigt.
9. Verfahren Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Kontur eine korrigierte Soll-Kontur (42 ) ist.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Soll-Kontur (D (Y)) der nicht-zylindrischen Bohrung als Funktion einer Längsachse (Y-Achse) der Bohrung, insbesondere als Polynom n-ter Ordnung, vorgegeben wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Kontur (D (Y)) der nicht-zylindrischen Bohrung in einer Wertetabelle vorgegeben ist.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die zwischen den Stützstellen der Wertetabelle die Soll-Kontur (D (Y)) der nicht-zylindrischen Bohrung durch Interpolation bestimmt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit abnehmenden Hub die Drehzahl der Honspindel erhöht wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit abnehmenden Hub H der Honleistenanpressdruck erhöht wird.
15. Honmaschine, die zur Konifizierung einer nicht-zylindrischen Bohrung mit einem Honwerkzeug ausgebildet und eingerichtet ist, wobei die Konifizierung folgende Schritte umfasst:

Honen der Bohrung mit einem Hub ( $H = OP_n - UP_n$ ; mit  $n = 1$  bis  $m$ ),

Erfassen des Ist-Durchmessers ( $D_{IST}$ ) der Bohrung während der Honbearbeitung in einem Bereich zwischen den Umkehrpunkten ( $OP_n, UP_n$ ) der Honleisten des Honwerkzeugs.

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

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.
16. Honmaschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Honmaschine derart ausgebildet und eingerichtet ist, 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.

17. Honmaschine nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Honmaschine derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass der reduzierte Hub ( $H_{n+1}$ ) gleich dem Hub ( $H_n$ ) abzüglich eines vorgegebenen Betrags ( $\Delta H$ ) ist ( $H_{n+1} = H_n - \Delta H$ ).
18. Honmaschine nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Honmaschine derart ausgebildet und eingerichtet ist, 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 zuletzt 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.
19. Honmaschine nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Honmaschine derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass mindesten 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 ( $\Delta D$ ) zu dem aktuellen Soll-Durchmesser ( $D_{SOLL, n}$ ) bestimmt wird ( $D_{SOLL, n+2} = \Delta D + D_{SOLL, n+1}$ ), und dass der mindesten eine neue Umkehrpunkt  $OP_{(n+2)}$  dort liegt, wo ein Soll-

Durchmesser ( $D_{\text{SOLL}}(y)$ ) gleich dem Soll-Durchmesser ( $D_{\text{SOLL}}(n+2)$ ) ist.

20. Honmaschine nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Honmaschine derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass der Hub ( $H_{n+2}$ ) des Honwerkzeugs weiter reduziert wird, wenn an einem Umkehrpunkt ( $OP_{n+2}$ ) des Honwerkzeugs der Ist-Durchmesser ( $D_{\text{IST}}(OP_{n+2})$ ) gleich dem Soll-Durchmesser ( $D_{\text{SOLL}}(OP_{n+2})$ ) der Bohrung an diesem Umkehrpunkt ( $OP_{n+2}$ ) ist.
21. Honmaschine nach einem der Ansprüche 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Honmaschine derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass zu Beginn die Bohrung über ihre gesamte Länge ( $L$ ) gehont wird.
22. Honmaschine nach einem der Ansprüche 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Honmaschine derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass eine Soll-Kontur ( $D(Y)$ ) der nicht-zylindrischen Bohrung als Funktion einer Längsachse ( $Y$ -Achse) der Bohrung, insbesondere als Polynom  $n$ -ter Ordnung, vorgegeben wird.
23. Honmaschine nach einem der Ansprüche 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Honmaschine derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass die Soll-Kontur ( $D(Y)$ ) die radiale Aufweitung ( $A_r$ ) der Bohrung während der Honbearbeitung berücksichtigt wird.

24. Honmaschine nach einem der Ansprüche 15 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Honmaschine derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass die Soll-Kontur ( $D(Y)$ ) der nicht-zylindrischen Bohrung in einer Wertetabelle vorgegeben ist.
25. Honmaschine nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Honmaschine derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass zwischen den Stützstellen der Wertetabelle die Soll-Kontur ( $D(Y)$ ) der nicht-zylindrischen Bohrung durch Interpolation bestimmt wird.
26. Honmaschine nach einem der Ansprüche 15 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Honmaschine derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass mit abnehmenden Hub ( $H$ ) die Drehzahl der Honspindel und/oder der Honleistenanpressdruck erhöht wird.
27. Werkstück mit einer konifizierte Bohrung, dadurch gekennzeichnet, dass die Konifizierung der Bohrung mit einem Honwerkzeug durchgeführt wurde, das Honleisten (5) umfasst deren Länge kleiner als  $1/3$  der Länge ( $L$ ) der zu bearbeitenden Bohrung ist, und der Vorgang des Konifizierens der Bohrung folgende Schritte umfasst:
- Honen der Bohrung mit einem Hub ( $H = OP_n - UP_n$ ; mit  $n = 1$  bis  $m$ ),
- Erfassen des Ist-Durchmessers ( $D_{IST}$ ) der Bohrung während der Honbearbeitung in einem Bereich zwischen den

Umkehrpunkten (OPn , UPn) der Honleisten des Honwerkzeugs.

Vergleichen des Ist-Durchmessers ( $D_{IST}$ ) der Bohrung mit den vorgegebenen Soll-Durchmessern  $D_{SOLL}$  (OPn, UPn) in mindestens einem der Umkehrpunkte (OPn, UPn) und

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.

28. Werkstück mit einer konifizierten Bohrung, dadurch gekennzeichnet, dass beim Konifizieren der Bohrung der Hub ( $H_n$ ) auf einen Hub ( $H_{n+1}$ ) reduziert wird, wenn der Ist-Durchmesser ( $D_{IST, n}$ ) an mindestens einem Umkehrpunkt (OPn, UPn) gleich dem Soll-Durchmesser ( $D_{SOLL, n}$  (OPn, UPn)) ist, und dass die Honleisten des Honwerkzeugs mit dem reduzierten Hub ( $H_{n+1}$ ) die Stelle oder den Bereich ((OPn, UPn)) nicht mehr bearbeiten.
29. Werkstück mit einer konifizierten Bohrung nach Anspruch 27 oder 28, dadurch gekennzeichnet, dass der reduzierte Hub ( $H_{n+1}$ ) gleich dem Hub ( $H_n$ ) abzüglich eines vorgegebenen Betrags ( $\Delta H$ ) ist ( $H_{n+1} = H_n - \Delta H$ ).
30. Werkstück mit einer konifizierten Bohrung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass der Hub ( $H_{n+1}$ ) weiter reduziert wird, wenn an einem Umkehrpunkt (OP<sub>n+1</sub>, UP<sub>n+1</sub>) des Honwerkzeugs der Ist-Durchmesser ( $D_{IST}$ ) des zuletzt gehonten Bohrungsabschnitts gleich dem Soll-Durchmesser

( $D_{\text{SOLL}}(\text{OP}_{n+1}, \text{UP}_{n+1})$ ) der Bohrung an einem der Umkehrpunkte ( $\text{OP}_{n+1}, \text{UP}_{n+1}$ ) ist.

31. Werkstück mit einer konifizierten Bohrung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein neuer Umkehrpunkt  $\text{OP}_{(n+2)}$  dadurch bestimmt wird, dass ausgehend vom (aktuellen) Ist-Durchmesser ( $D_{\text{IST}}$ ) ein neuer Soll-Durchmesser ( $D_{\text{SOLL}, n+2}$ ) durch Addition eines Durchmesser-Inkrement ( $\Delta D$ ) zu dem aktuellen Soll-Durchmesser ( $D_{\text{SOLL}, n}$ ) bestimmt wird ( $D_{\text{SOLL}, n+2} = \Delta D + D_{\text{SOLL}, n+1}$ ), und dass der mindestens eine neue Umkehrpunkt  $\text{OP}_{(n+2)}$  dort liegt, wo ein Soll-Durchmesser ( $D_{\text{SOLL}}(y)$ ) gleich dem Soll-Durchmesser ( $D_{\text{SOLL}}(n+2)$ ) ist.
32. Werkstück mit einer konifizierten Bohrung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass der Hub ( $H_{n+2}$ ) des Honwerkzeugs weiter reduziert wird, wenn an einem Umkehrpunkt ( $\text{OP}_{n+2}$ ) des Honwerkzeugs der Ist-Durchmesser ( $D_{\text{IST}}(\text{OP}_{(n+2)})$ ) gleich dem Soll-Durchmesser ( $D_{\text{SOLL}}(\text{OP}_{(n+2)})$ ) der Bohrung an diesem Umkehrpunkt ( $\text{OP}_{(n+2)}$ ) ist.
33. Werkstück mit einer konifizierten Bohrung nach einem der Ansprüche 27 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass zu Beginn die Bohrung über ihre gesamte Länge ( $L$ ) gehont wird.
34. Werkstück mit einer konifizierten Bohrung nach einem der Ansprüche 27 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass eine Soll-Kontur ( $D(Y)$ ) der nicht-zylindrischen Bohrung als

Funktion einer Längsachse (Y-Achse) der Bohrung, insbesondere als Polynom n-ter Ordnung, vorgegeben wird.

35. Werkstück mit einer konifizierte Bohrung nach einem der Ansprüche 27 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Kontur ( $D(Y)$ ) der nicht-zylindrischen Bohrung in einer Wertetabelle vorgegeben ist.
36. Werkstück mit einer konifizierte Bohrung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass die zwischen den Stützstellen der Wertetabelle die Soll-Kontur ( $D(Y)$ ) der nicht-zylindrischen Bohrung durch Interpolation bestimmt wird.
37. Werkstück mit einer konifizierte Bohrung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass mit abnehmenden Hub ( $H$ ) die Drehzahl der Honspindel und/oder der Honleistenanpressdruck erhöht wird.

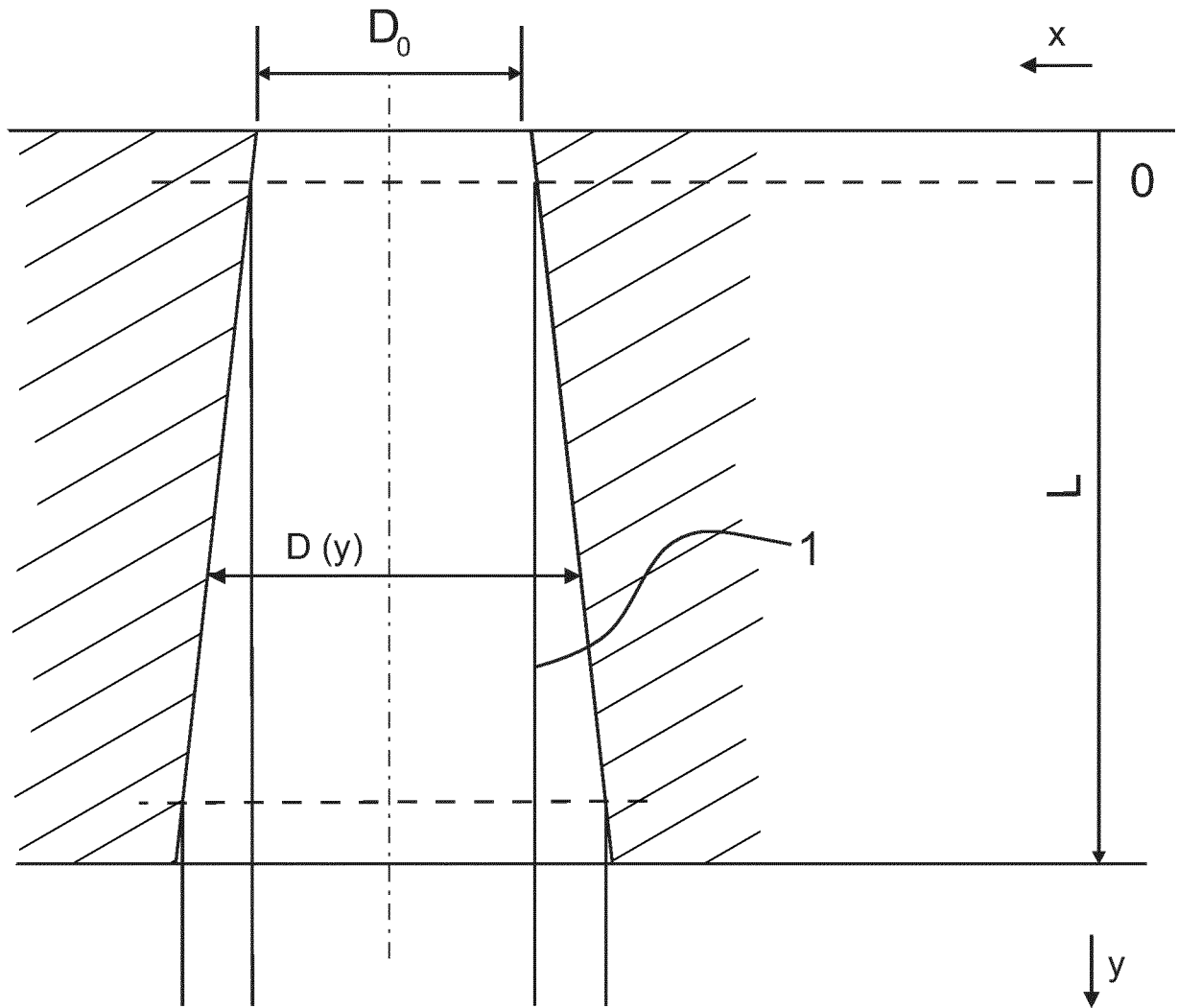


Fig. 1a

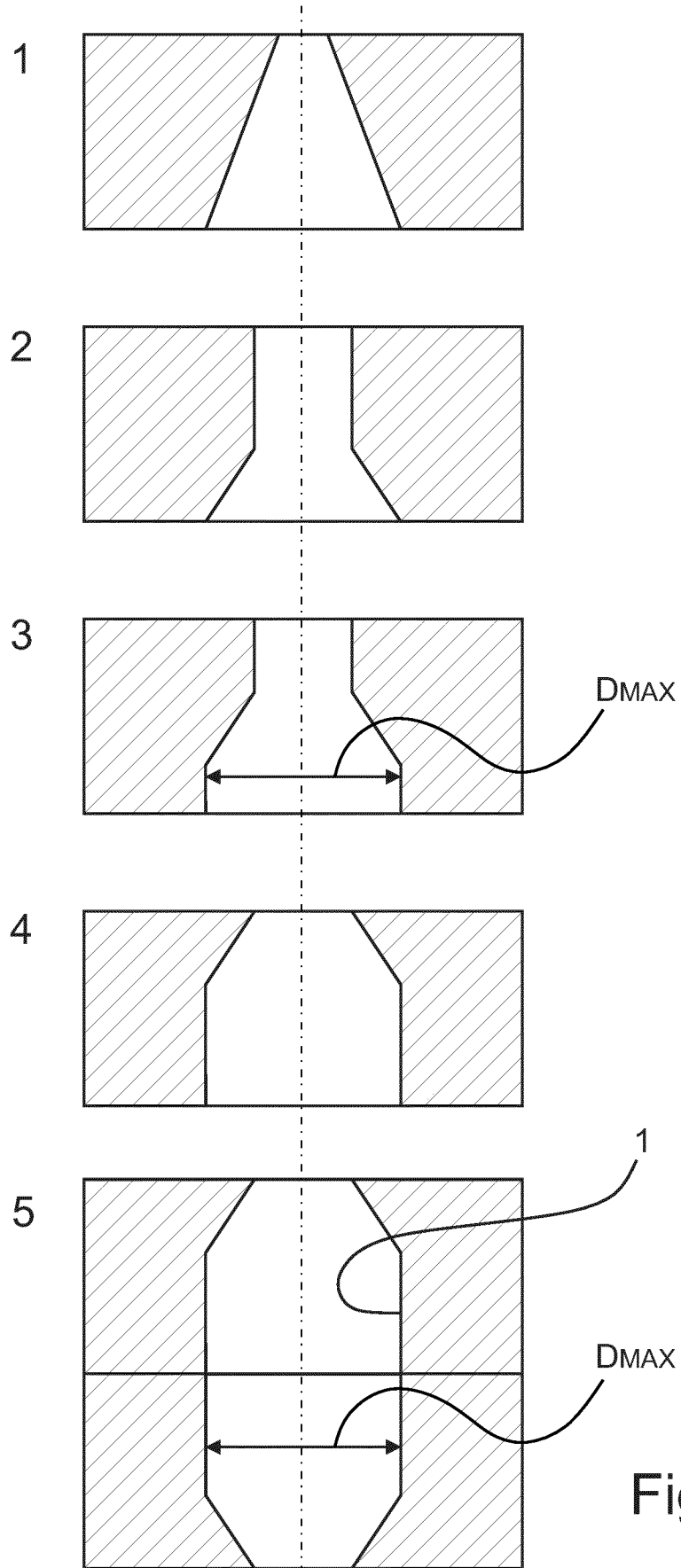


Fig. 1b

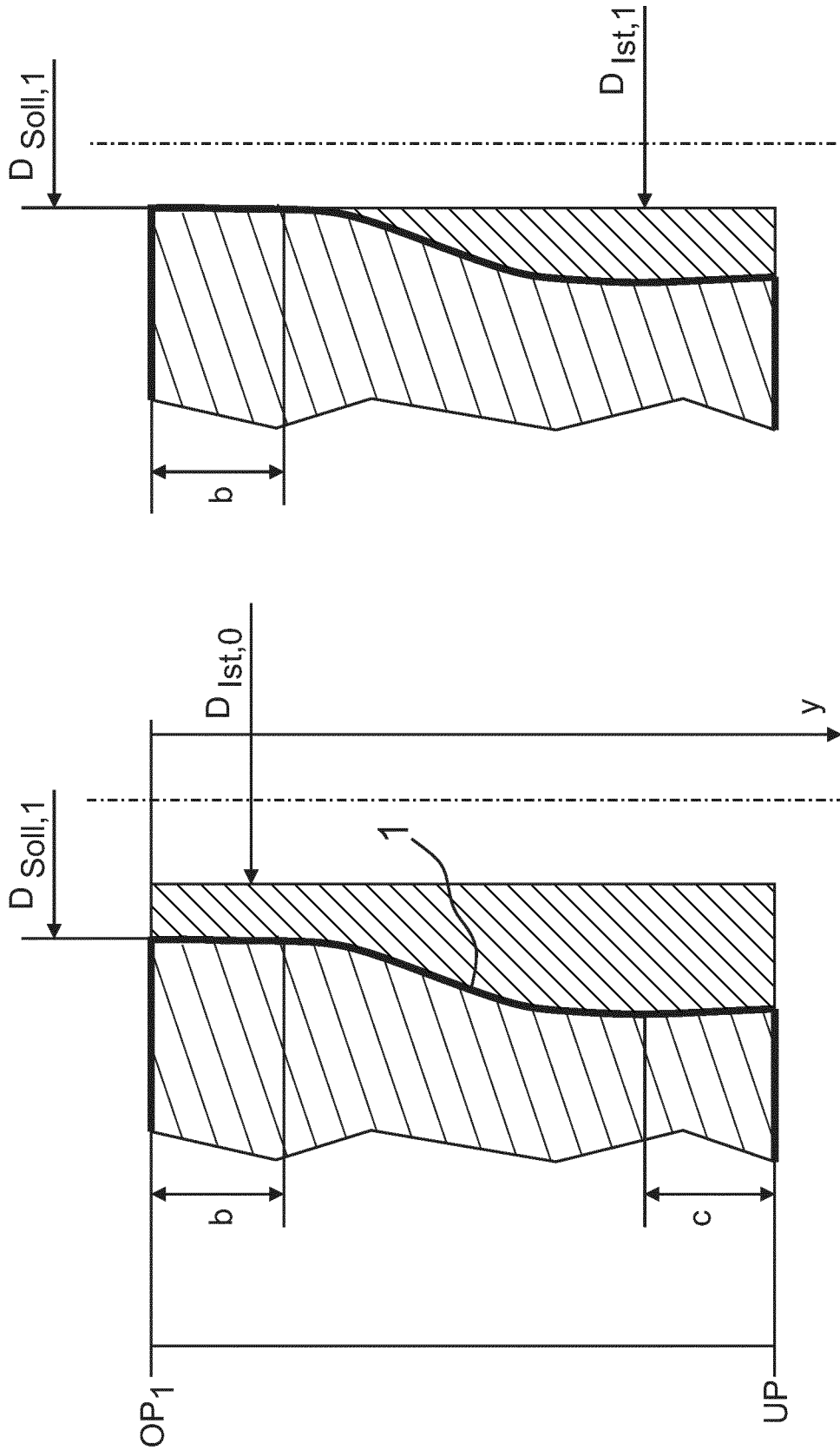


Fig. 2b

Fig. 2a

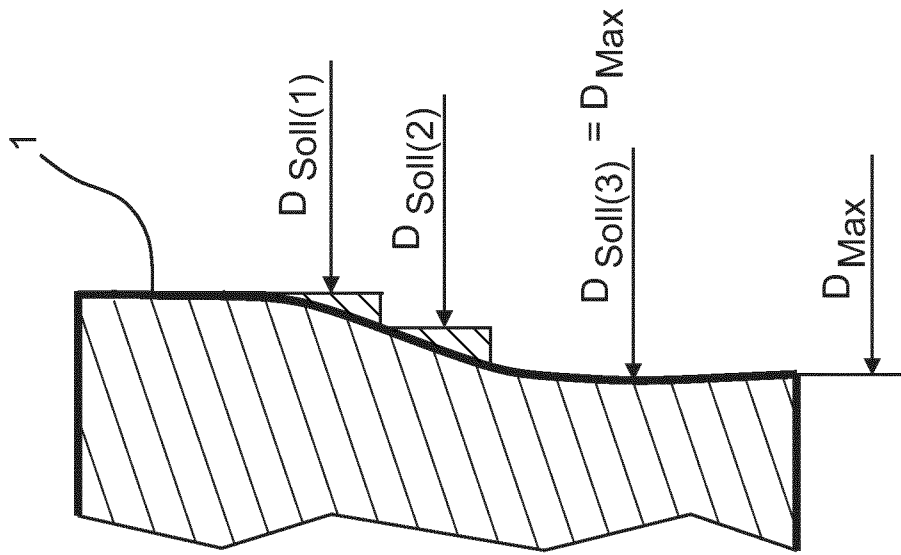


Fig. 2d

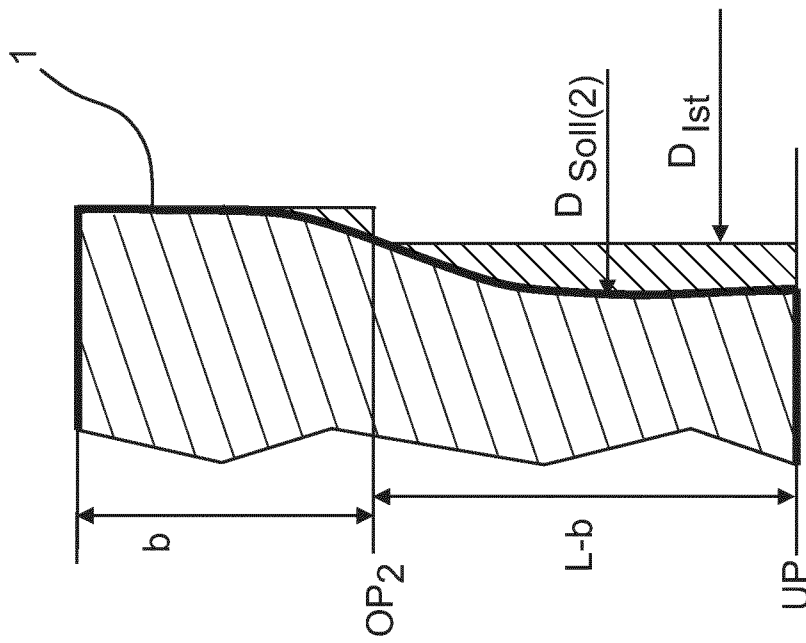


Fig. 2c

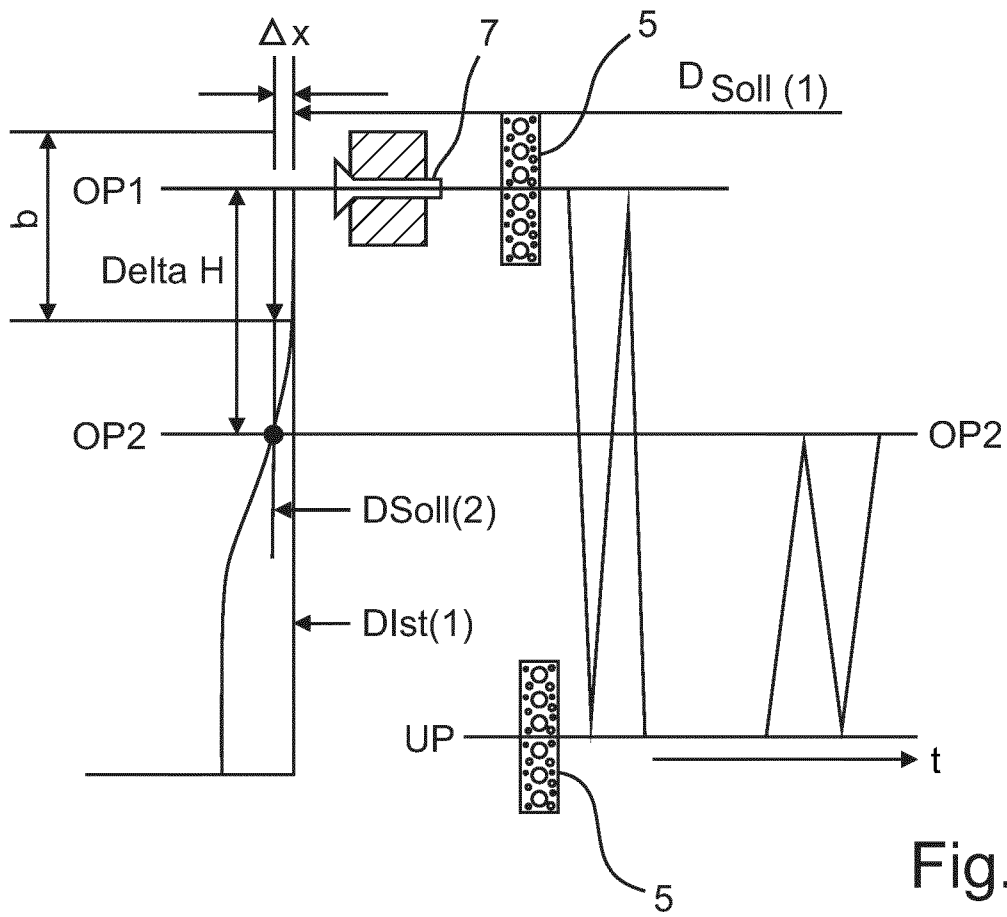


Fig. 3

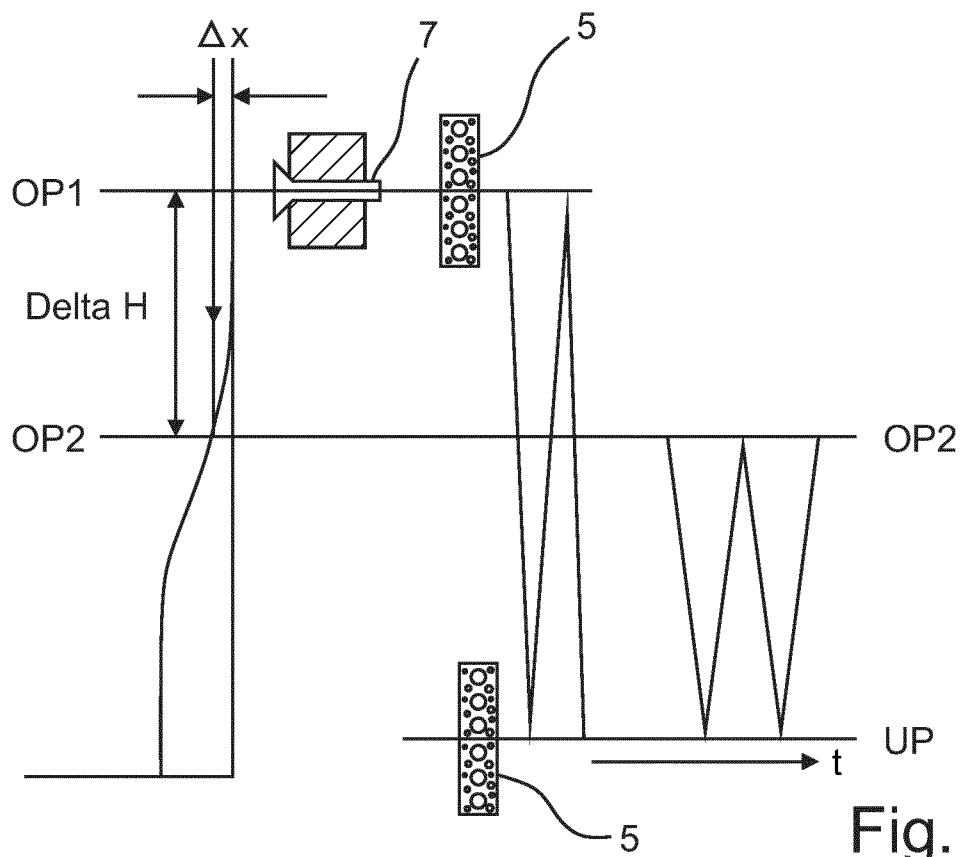


Fig. 4

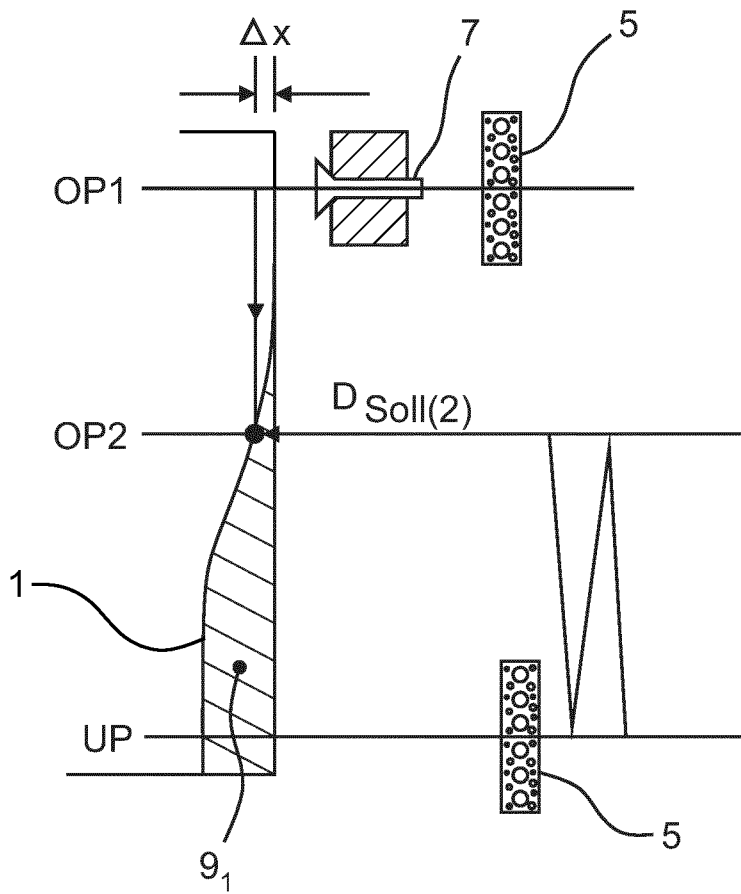


Fig. 5a

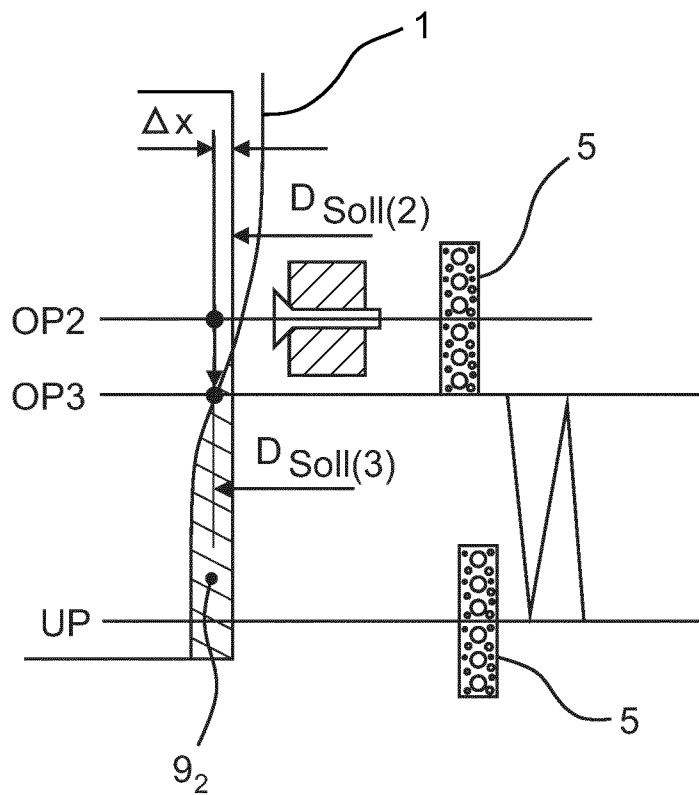
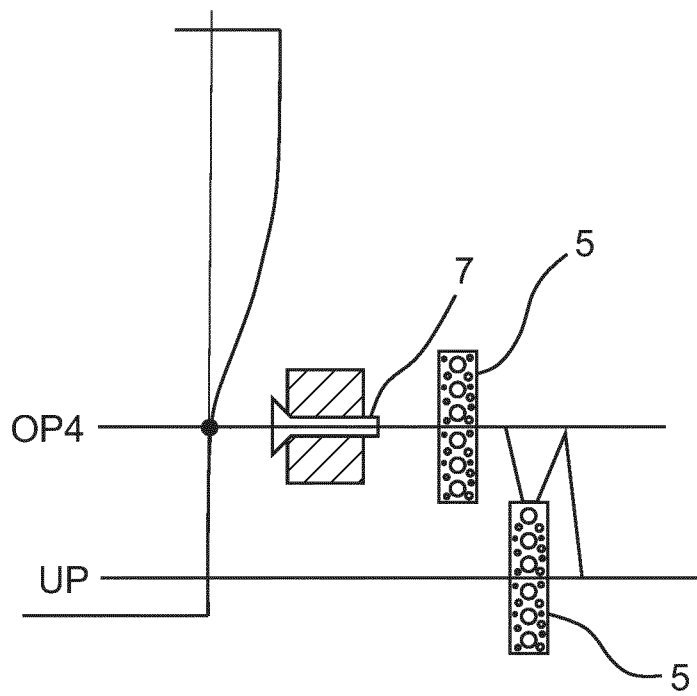
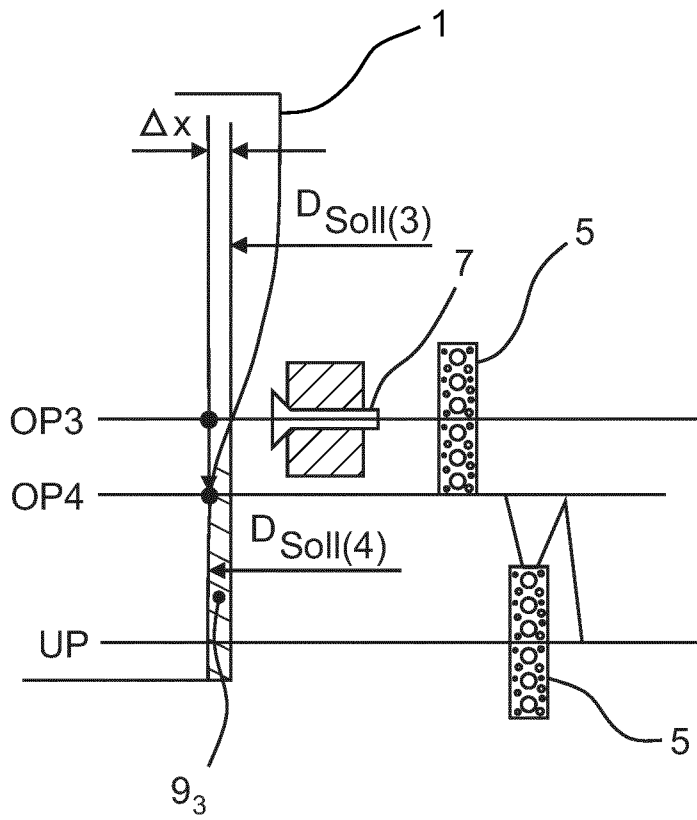


Fig. 5b



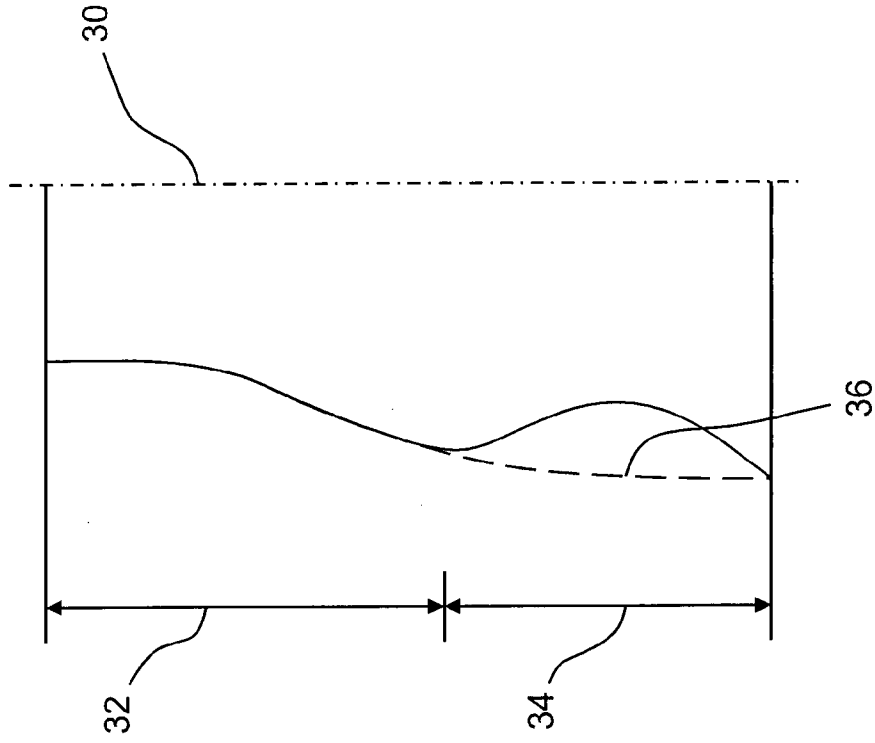


Fig. 6b

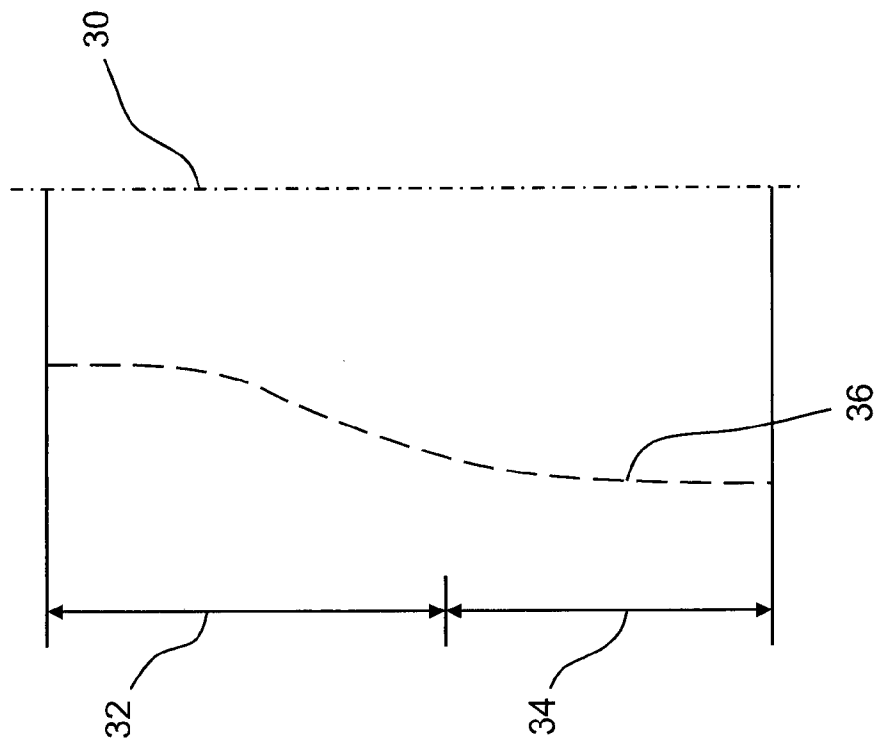


Fig. 6a

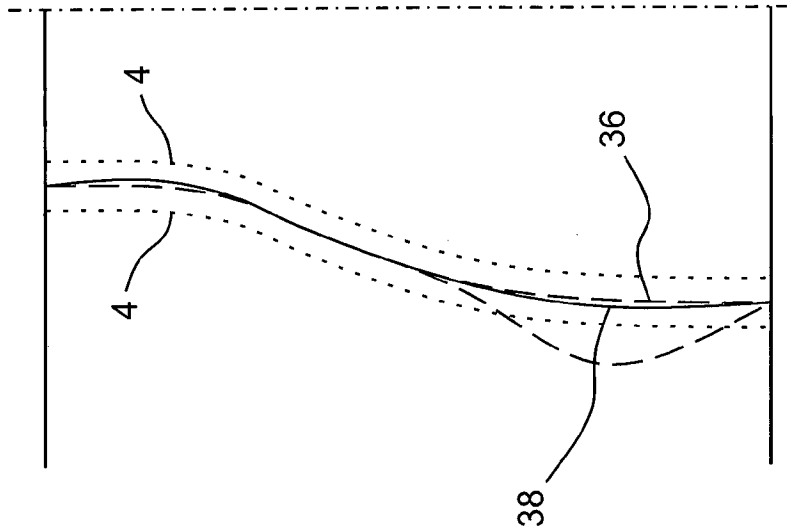


Fig. 6d

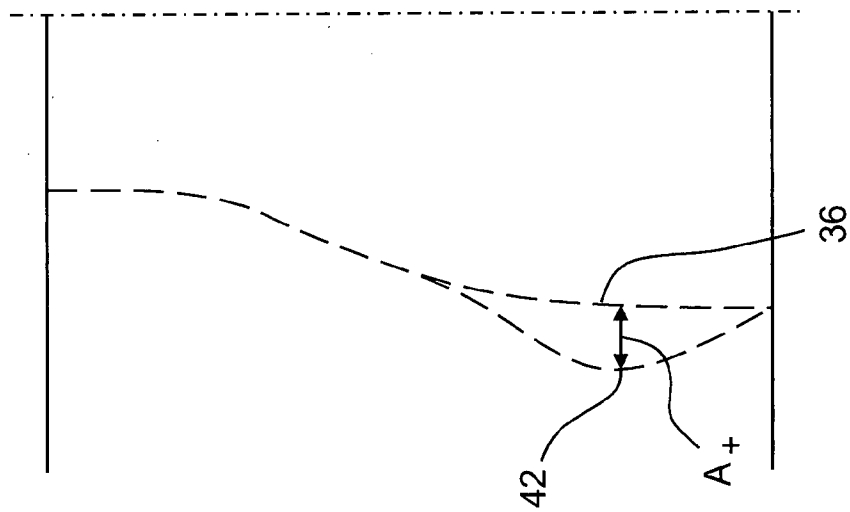


Fig. 6c

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2017/057458
---

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. B24B33/02      B24B33/08 ADD.				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>				
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B24B				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data				
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
X	US 4 945 685 A (KAJITANI YOSHIMI [JP] ET AL) 7 August 1990 (1990-08-07) column 2, lines 26-36, 44-54, 62, 64; figures 5-9 column 3, lines 5-13 column 5, lines 39-41, 46-47 column 10, lines 12-33 column 11, lines 31-34 column 14, lines 29-33	1-37		
X	WO 2014/146919 A1 (ELGAN DIAMANTWERKZEUGE GMBH & CO KG [DE]) 25 September 2014 (2014-09-25) figure 6 page 7, lines 12-16	1-37		
----- -/--				
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.				
* Special categories of cited documents : <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;">                     "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance                      "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date                      "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)                      "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means                      "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed                 </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;">                     "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention                      "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone                      "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art                      "&amp;" document member of the same patent family                 </td> </tr> </table>			"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report			
6 June 2017	14/06/2017			
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Herrero Ramos, J			

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/057458

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2005/130560 A1 (KLINK ULRICH [DE] ET AL) 16 June 2005 (2005-06-16) abstract; figures 5,6 -----	1-37
A	DE 10 2011 076213 A1 (GEHRING TECHNOLOGIES GMBH [DE]) 15 March 2012 (2012-03-15) abstract; figure 3 -----	1-37
A	EP 1 321 229 A1 (GEHRING GMBH & CO MASCHF [DE]) 25 June 2003 (2003-06-25) paragraph [0014] -----	1-37

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/057458
---

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4945685	A	07-08-1990	JP 2696853 B2 14-01-1998 JP S6478755 A 24-03-1989 US 4945685 A 07-08-1990
-----			
WO 2014146919	A1	25-09-2014	CN 105246649 A 13-01-2016 DE 102013204714 A1 02-10-2014 DE 202014010306 U1 06-03-2015 EP 2976184 A1 27-01-2016 JP 6092461 B2 08-03-2017 JP 2016516595 A 09-06-2016 KR 20150132548 A 25-11-2015 US 2016303702 A1 20-10-2016 WO 2014146919 A1 25-09-2014
-----			
US 2005130560	A1	16-06-2005	BR PI0401498 A 23-08-2005 CN 1626312 A 15-06-2005 DE 10358150 A1 21-07-2005 US 2005130560 A1 16-06-2005
-----			
DE 102011076213	A1	15-03-2012	NONE
-----			
EP 1321229	A1	25-06-2003	EP 1321229 A1 25-06-2003 JP 2003200340 A 15-07-2003 US 2003120374 A1 26-06-2003
-----			

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/057458

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. B24B33/02 B24B33/08  
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 B24B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 945 685 A (KAJITANI YOSHIMI [JP] ET AL) 7. August 1990 (1990-08-07) Spalte 2, Zeilen 26-36, 44-54, 62, 64; Abbildungen 5-9 Spalte 3, Zeilen 5-13 Spalte 5, Zeilen 39-41, 46-47 Spalte 10, Zeilen 12-33 Spalte 11, Zeilen 31-34 Spalte 14, Zeilen 29-33	1-37
X	WO 2014/146919 A1 (ELGAN DIAMANTWERKZEUGE GMBH & CO KG [DE]) 25. September 2014 (2014-09-25) Abbildung 6 Seite 7, Zeilen 12-16	1-37



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. Juni 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/06/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Herrero Ramos, J

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/057458

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2005/130560 A1 (KLINK ULRICH [DE] ET AL) 16. Juni 2005 (2005-06-16) Zusammenfassung; Abbildungen 5,6 -----	1-37
A	DE 10 2011 076213 A1 (GEHRING TECHNOLOGIES GMBH [DE]) 15. März 2012 (2012-03-15) Zusammenfassung; Abbildung 3 -----	1-37
A	EP 1 321 229 A1 (GEHRING GMBH & CO MASCHF [DE]) 25. Juni 2003 (2003-06-25) Absatz [0014] -----	1-37

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/057458

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4945685	A	07-08-1990	JP 2696853 B2	14-01-1998
			JP S6478755 A	24-03-1989
			US 4945685 A	07-08-1990
-----				
WO 2014146919	A1	25-09-2014	CN 105246649 A	13-01-2016
			DE 102013204714 A1	02-10-2014
			DE 202014010306 U1	06-03-2015
			EP 2976184 A1	27-01-2016
			JP 6092461 B2	08-03-2017
			JP 2016516595 A	09-06-2016
			KR 20150132548 A	25-11-2015
			US 2016303702 A1	20-10-2016
			WO 2014146919 A1	25-09-2014
-----				
US 2005130560	A1	16-06-2005	BR PI0401498 A	23-08-2005
			CN 1626312 A	15-06-2005
			DE 10358150 A1	21-07-2005
			US 2005130560 A1	16-06-2005
-----				
DE 102011076213	A1	15-03-2012	KEINE	
-----				
EP 1321229	A1	25-06-2003	EP 1321229 A1	25-06-2003
			JP 2003200340 A	15-07-2003
			US 2003120374 A1	26-06-2003
-----				