



(10) **DE 10 2011 113 756 B4** 2020.12.31

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 113 756.8**
(22) Anmeldetag: **18.09.2011**
(43) Offenlegungstag: **21.03.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **31.12.2020**

(51) Int Cl.: **B23P 9/00 (2006.01)**
B24B 5/42 (2006.01)
B24B 39/00 (2006.01)
B23C 3/04 (2006.01)
B23C 3/08 (2006.01)
B23B 5/18 (2006.01)
B23D 37/14 (2006.01)
B23P 13/00 (2006.01)
B23K 26/36 (2014.01)
B23H 5/06 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
MAG IAS GmbH, 73033 Göppingen, DE

(74) Vertreter:
**Weickmann & Weickmann Patent- und
Rechtsanwälte PartmbB, 81679 München, DE**

(72) Erfinder:
**Schreiber, Leo, Dr., 73529 Schwäbisch Gmünd,
DE; Weber, Matthias, 73033 Göppingen, DE**

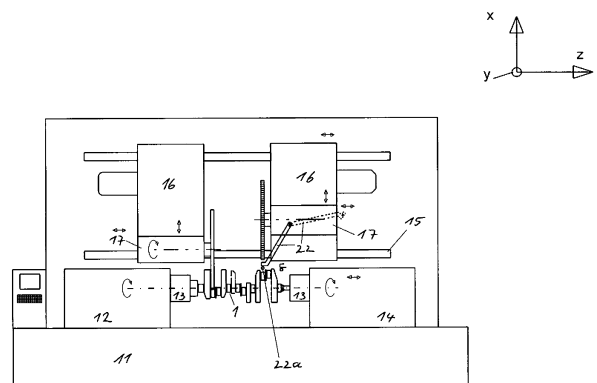
(56) Ermittelter Stand der Technik:

| | | |
|----|-----------------|----|
| DE | 44 46 475 | A1 |
| DE | 197 14 677 | A1 |
| DE | 10 2004 022 360 | A1 |
| DE | 10 2006 014 972 | A1 |
| DE | 10 2006 034 673 | A1 |
| DE | 10 2006 046 765 | A1 |
| DE | 10 2009 008 650 | A1 |
| DE | 22 08 593 | B |
| EP | 2 338 625 | A1 |
| WO | 2007/ 009 481 | A1 |

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Fertigbearbeitung von Werkstücken**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur verwendungsfähigen Fertigbearbeitung von Werkstücken (1') mit rotationssymmetrischen, zentrisch liegenden, Umfangsflächen und angrenzenden Seitenflächen, wobei nach einer spanenden groben Bearbeitung die Fein-Bearbeitung der Umfangsflächen wie folgt abläuft:

- erster Fein-Bearbeitungs-Schritt mittels bestimmter Schneide (7, 7'),
- unmittelbar gefolgt von
- zweiter Fein-Bearbeitungs-Schritt, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Fein-Bearbeitungsschritt erfolgt mittels
- einer zeitgesteuerten, die Oberfläche der Bearbeitungsstelle strukturierenden Fein-Stufe des Maßformfinishens oder
- elektrochemischem Ätzen (ECM).



Beschreibung

Anwendungsgebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bearbeiten von rotationssymmetrischen und gegebenenfalls nicht rotationssymmetrischen Teilen, insbesondere von Kurbelwellen, in der Serienproduktion, insbesondere der Lagerflächen (sowohl der Hublager als auch der Mittellager) von Kurbelwellen bis zum verwendungsfähigen Zustand, also dem Zustand, in dem ohne weitere Materialabnahme an den Lagerflächen zum Beispiel die Kurbelwelle im Motor eingebaut werden kann. Dabei sind unter Lagerflächen sowohl die Mantelflächen, also die Lagerbreite, zu verstehen, als auch die so genannten Spiegelflächen, also die an die Lagerbreite angrenzenden Stirnflächen, die beispielsweise der axialen Lagerung dienen.

II. Technischer Hintergrund

[0002] Kurbelwellen, insbesondere die Kurbelwellen für Pkw-Motoren mit hohen Zylinderzahlen, sind als während der Bearbeitung instabile und damit schwer bearbeitbare Werkstücke bekannt. Die Beurteilung der Maßhaltigkeit einer fertigen Kurbelwelle erfolgt primär - neben der axialen Lagerbreite - durch die Beurteilung folgender Parameter:

- Durchmesserabweichung = maximale Abweichung vom vorgegebenen Soll-Durchmesser des Lagerzapfens,
- Rundheit = makroskopische Abweichung von der kreisrunden Sollkontur des Lagerzapfens, angegeben durch den Abstand des äußeren und inneren Hüllkreises,
- Rundlauf = Durchmesserabweichung bei sich drehendem Werkstück, also z. B. die Abweichung von der Soll-Lagekontur, die eine Mittellagerstelle während der Drehung der Kurbelwelle vollzieht aufgrund einerseits der nicht idealen Rundheit dieses Mittellagerzapfens und andererseits des außer Mitte liegenden End-Zapfens der Kurbelwelle, die dabei nur an ihren Enden aufgelegt oder gespannt ist,
- Rauheit in Form der gemittelten Einzelrautiefe R_z = die mikroskopische Rauheit der Oberfläche der Lagerstelle, repräsentierender, rechnerisch ermittelter Wert,
- Traganteil = der tragende Flächenanteil der mikroskopisch betrachteten Oberflächenstruktur, der zu einer aufgedrückten Gegenfläche in Kontakt gerät,

und zusätzlich bei den Hublagerstellen:

- Hubabweichung = maßliche, prozentuale Abweichung des Ist-Hubes (Abstand der Ist-Mitte des Hublagerzapfens von der Ist-Mitte der Mittellager), vom Sollhub und

- Winkelabweichung = in Grad oder als auf den Hub bezogenes Längenmass in Umfangsrichtung angegebene Abweichung der Ist-Winkellage des Hublagerzapfens von seiner Soll-Winkellage relativ zur Mittellagerachse und bezüglich der Winkelstellung zu den übrigen Hublagerzapfen, wobei die Einhaltung der gewünschten Toleranzen bei diesen Parametern sowohl durch die zur Verfügung stehenden Bearbeitungsverfahren als auch die Instabilität des Werkstückes und die Bearbeitungskräfte begrenzt wird. Auch die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens spielt in der Praxis eine große Rolle, vor allem für die Serienfertigung, in der Taktzeit und damit Herstellkosten eine entscheidende Rolle spielen, während bei Bearbeitungen im Einzelversuch oder für Prototypen diesen Beschränkungen nicht unterliegen. Klassisch wurde der Materialabtrag von den Lagerstellen der urgeformten, also gegossenen oder geschmiedeten Kurbelwelle, in drei Material abnehmenden Bearbeitungsschritten nacheinander durchgeführt:

1. Schritt, Grob-Maß-Bearbeitung:

Spanende Bearbeitung mit bestimmter Schneide; dabei wurden die Verfahren Drehen, Drehräumen, Dreh-Drehräumen, Innenrundfräsen und Außenrundfräsen, Stirnfräsen, insbesondere als Hochgeschwindigkeitsfräsen, bzw.

Kombinationen dieser Verfahren eingesetzt. Das abzutragende Materialaufmass bewegte sich im 1/10-mm-Bereich.

2. Schritt, Fein-Maß-Bearbeitung:

Nass-Schleifen mittels eines harten, massiven Schleifwerkzeuges, beispielsweise einer Schleifscheibe, welche meist mit ihrer Rotationsachse parallel zur Rotationsachse der zu bearbeitenden Kurbelwelle rotiert; das abzutragende Materialaufmass bewegte sich im Zehntel-Millimeterbereich.

Bei schwierig zu bearbeitenden, insbesondere langen und damit sehr instabilen Kurbelwellen, erfolgte die Schleifbearbeitung auch mehrstufig, z. B. zweistufig durch Vor- und Fertigschleifen.

3. Schritt, Primär Oberflächen-Strukturierung:

Finishen durch in der Regel ein stillstehendes Schleifmittel (Schleifband oder Schleifstein), welches an den Außenumfang der rotierenden Lagerstelle angedrückt wird; das abgetragene Materialaufmass bewegt sich z. Z. im Hundertstelmillimeter- oder gar μm -Bereich.

[0003] Dabei ist die Bearbeitung noch nach dem Material der Kurbelwelle (Stahl oder Guss) zu unterscheiden, wobei insbesondere Stahlkurbelwellen, die bevorzugt für hoch belastete Einsatzfälle verwendet werden, nach der spanenden Bearbeitung des ersten Schrittes an den Oberflächen der Lagerstellen gehärtet werden. Dies bedingt einen erneuten Verzug der Kurbelwelle, welcher durch das Schleifen und Finishen kompensiert werden musste. Das Härten von Gusskurbelwellen wird z. Z. bereits vielfach weggelassen und kann durch Verwendung eines Gusswerkstoffes größerer Härte, z. B. GGG 60 oder 70 oder mehr und verbesserten Festigkeitswerten, vollständig vermieden werden.

[0004] Um die Kosten bei der Kurbelwellenbearbeitung zu senken, wird angestrebt, die Bearbeitung der Lagerstellen von drei auf zwei unterschiedliche Bearbeitungsstufen zu reduzieren.

[0005] Das Weglassen des ersten Bearbeitungsschrittes, indem das Urformen, in der Regel das Schmieden, so maßgenau durchgeführt wird, dass anschließend nur noch eine Feinbearbeitung benötigt wird, hat in der Praxis zumindest für die Serienfertigung bisher nicht zum Erfolg geführt. Zumindest würde dies jedoch dazu führen, dass insbesondere der durch das Schleifen zu bewältigende Materialabtrag größer als beim dreistufigen Verfahren sein muss. Beim Materialabtrag mittels Nass-Schleifen ist jedoch nachteilig, dass

- wegen des zuzugebenden Kühl-Schmiermittels der anfallende Schleifschlamm problematisch und extrem teuer in der Entsorgung ist,
- wegen des im Kühlschmiermittel enthaltenen Öles, z. B. beim CBN-Schleifen, immer eine latente Verpuffungsgefahr besteht,
- beim Schleifen die Menge des verwendeten Kühl-Schmiermittels wesentlich größer ist als bei spanenden Bearbeitungsverfahren, da das Kühl-Schmiermittel zusätzlich benutzt wird, um durch Aufstrahlen unter hohem Druck den Schleifstaub wieder aus der Oberfläche der Schleifscheibe zu entfernen,
- dennoch die Gefahr einer Überhitzung des Werkstückes sehr groß ist
- auch die auf das Werkstück einwirkenden Bearbeitungsdrücke höher sind als beim spanenden Bearbeiten, und
- eine mikroskopische Oberflächenstruktur erzeugt wird, bei der die durch das Schleifkorn aufgerissenen Korngrenzen durch die nachfolgenden Schleifkörner mit abgetragenem Werkstückmaterial wieder zu geschmiert werden, also eine

Oberflächenstruktur mit relativ wenigen schroffen Spitzen, sondern mit zum Teil schuppenartig überlappenden, mehr oder weniger ebenen, abgebogenen Spitzen entsteht.

[0006] Deshalb wurde in der Vergangenheit versucht, die Feinbearbeitung, bei teilweise gehärteten Werkstücken, also insbesondere die Bearbeitung nach dem Härten, vom Aufwand - also den Investitionskosten als auch den Bearbeitungszeiten und ähnlichem - zu minimieren.

[0007] Insbesondere wurde dabei versucht, das Nassschleifen zu eliminieren, und von der spanenden Bearbeitung direkt an beispielsweise das Finishen zu übergeben, wie es etwa die DE 197 146 677 A1 vorschlägt unter Vorgabe bestimmter Übergabebedingungen hinsichtlich der einzelnen Maß-Parameter.

[0008] Auch die EP 2 338 625 A1 schlägt eine spezielle Feinbearbeitung mittels bestimmter Schneide vor, die den Schritt des Nassschleifens ersetzen soll, jedoch wird bei Bedarf anschließend ein Finishen vorgesehen, welches nicht nur Form und Oberfläche, sondern auch die Maßhaltigkeit im geringen Rahmen verbessern soll. Dabei erfolgt das Maßformfinishen bis eine gewünschte Rauheit erzielt worden ist.

[0009] Ferner sind Verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken, wie Kurbelwellen, aus der DE 44 46 475 A1 und der DE 2 208 593 B sowie zur Feinbearbeitung dieser aus der DE 10 2004 022 360 A1 und der WO 2007/009481 A1 bekannt, wobei in der letztgenannten WO-Schrift eine Feinbearbeitung erfolgt bis eine maximale Rundheitsabweichung erzielt worden ist.

[0010] Zudem ist die Möglichkeit einer Nachbearbeitung von in das Werkstück eingebrachten Bohrungen zur Ölversorgung mittels elektrochemischer Bearbeitung aus der DE 10 2006 046 765 A1 bekannt.

[0011] Die bisherigen Optimierungsversuche berücksichtigen jedoch nicht ausreichend die Möglichkeiten und insbesondere Kombinationsmöglichkeiten der neueren Bearbeitungsverfahren mit bestimmter als auch mit unbestimmter Schneide sowie ohne Schneide, die inzwischen auch immer in Varianten für die Hartbearbeitung, also die Bearbeitung der gehärteten Werkstückflächen, existieren und damit auch nach den Härten am Werkstück eingesetzt werden können:

- Beim Drehfräsen, also dem Fräsen an einem rotierenden Werkstück, werden vor allem beim Außenfräsen, also einem Fräsen mit einem scheibenförmigen, am Umfang verzahnten, Fräser, fein-ausrichtbare Schneidplättchen verwendet, indem diese auf Keil-Systemen des Grundkörpers des Fräasers angeordnet sind, die so ge-

nau einstellbar sind, dass auch bei 60 bis 100 Schneidplättchen auf einem Fräser eine sehr gute Rundheit und Durchmesser Genauigkeit am Werkstück erreicht werden kann.

- Bei einem Orthogonal-Fräser wird inzwischen durch Verwendung von zwei bis acht Schneiden auf der Stirnfläche eine akzeptable Abtragleistung erreicht, ohne die Oberflächenqualität allzu sehr negativ zu beeinflussen, da die Schneiden nicht nur sehr gut zueinander justiert werden können, sondern da zusätzlich - was auch bei einem Außen-Fräser anwendbar ist - die Schneiden aus Feinstkorn-Hartmetall mit einer sehr geringen Körnung bestehen, wodurch auch das Aufreißen der Korngrenzen verringert wird. Vor allem aber wird hierdurch die bisherige Unvereinbarkeit von Härte und Elastizität der Schneide gleichzeitig teilweise überwunden.

- Beim Längsdrehen der Lagerstellen war bisher das Problem, dass für das Ausdrehen des linken und des rechten Eck-Bereiches unterschiedlich geköpfte Drehmeißel benötigt würden, und deshalb im Übergangsbereich dieser beiden Bearbeitungsstellen regelmäßig ein nicht vermeidbarer Absatz von 10 bis 30 µm Höhe vorhanden war, der durch Finishen allein nicht effizient beseitigt werden kann, denn wegen der relativ ungenauen, selbstführenden Lagerung des Finish-Werkzeuges muss für das Beseitigen eines solchen Absatzes ein mehrfach größerer Materialabtrag durchgeführt werden, was einen sehr hohen Zeitaufwand beim Finishen erfordert.

[0012] Durch einen in X-Richtung zustellbaren, in Y-Richtung vorschiebbaren und zusätzlich um die B-Achse drehbaren (Singlepointdrehen) Drehmeißel kann eine Lagerstelle jedoch mit einem einzigen Drehmeißel und damit ohne Absatz drehend bearbeitet werden.

- Das Tangential-Drehen mit einer schräg zur Rotationsachse des Werkstückes stehenden und tangential oder bogenförmig entlang bewegten Schneide ist inzwischen wirtschaftlich auch in der Serie anwendbar, nicht nur bei Mittellagern sondern auch bei Pleuellagern. Wenn dabei nicht die Drall-Freiheit der erzeugten Oberfläche im Vordergrund steht, wird bei guter Effizienz eine hohe Maß- und Oberflächenqualität erzielt.

- Beim Trockenschleifen unter Verzicht auf ein flüssiges Kühl- und Schmiermittel kann - selbst wenn eine Kühlung und Reinigung des Werkzeuges mittels Druckluft erfolgt - nach wie vor nur ein äußerst geringer Material-Abtrag, insbesondere von ca. 10 - 30 µm, erreicht werden.

- Beim Finishen wird in aller Regel das mehrstufige, so genannte Maßformfinishen angewandt, bei dem nur im ersten Schritt, bei dem mit

grober Körnung gearbeitet wird, ein nennenswerter Materialabtrag bis etwa 30 µm, erzielt wird und nach Vermessung abgebrochen beziehungsweise fortgesetzt wird.

[0013] Der zweite und dritte Schritt des Finishens mit der kleineren Körnung ergibt Materialabträge im Bereich von 5 µm, erfolgt zeitgesteuert, und dient der Oberflächenstrukturierung.

- Ferner gibt es inzwischen das elektrochemische Ätzen von Oberflächen, welches der Strukturierung von Oberflächen, also insbesondere dem Abtragen der Spitzen der mikroskopischen Oberflächenstruktur, dienen soll.

[0014] Bekanntermaßen kommt es bei der Strukturierung nicht nur darauf an, die Spitzen zu beseitigen, sondern auch die Täler offen zu halten und als Öl-Reservoir zu belassen. Sofern dies mit den bekannten Verfahren wie dem Finishen nicht ausreichend erzielbar ist, müssen diese aktiv eingebracht werden, unter anderem durch Beschuss mittels Laser-Strahlen.

[0015] Natürlich sind gleichlaufend die Genauigkeitsanforderungen von Kundenseite ebenfalls gewachsen, die heute in der Regel bei 5 µm hinsichtlich der Rundheit, Qualitätsstufe 6 hinsichtlich der Durchmesser Genauigkeit, also bei einer Pkw Kurbelwelle etwa 16 µm und hinsichtlich des Rundlaufes zwischen 0,05 und 0,1 mm liegen.

III. Darstellung der Erfindung

a) Technische Aufgabe

Es ist daher die Aufgabe gemäß der Erfindung, die Feinbearbeitung der gattungsgemäßen Werkstücke, insbesondere nach dem Härten, bis zur Einsatzfähigkeit zu verringern, insbesondere die Zahl der Arbeitsschritte.

b) Lösung der Aufgabe

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 1 und 18 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0016] Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist das Bearbeiten der gattungsgemäßen Werkstücke und insbesondere deren Lagerstellen, nach der spannenden Grobbearbeitung, die Genauigkeiten von Zehntel Millimetern erreicht und dem eventuell nachfolgenden Härten, welches einen zusätzlichen Verzug bedingt.

[0017] Die im Folgenden angesprochenen Bearbeitungsschritte betreffen in der Regel ein- und dieselbe Bearbeitungsstelle.

[0018] Erfindungsgemäß wird davon ausgegangen, dass danach ein erster Feinbearbeitungsschritt not-

wendig ist, der der Erzielung der Maßhaltigkeit dient und ein zweiter Feinbearbeitungsschritt, der der Erzielung der entsprechenden Oberflächenqualität dient.

[0019] Der erste Feinbearbeitungsschritt ist eine Zerspanung mittels einer bestimmten Schneide. Hierfür stehen entweder das Drehfräsen - mittels eines Außenfräasers, der während der Bearbeitung parallel zum Werkstück rotiert, oder einem Orthogonalfräser, dessen Rotationsachse senkrecht oder windschief zur Drehachse des Werkstückes rotiert - oder das Drehen, speziell in der Form des Singlepointdrehens, zur Verfügung, die allesamt in der Lage sind, im Extremfall auf Toleranzen bis herab auf ca. 10 µm zu bearbeiten, was bei der erfindungsgemäßen Prozesskette jedoch nicht vollständig ausgereizt werden soll.

[0020] Für den zweiten Feinbearbeitungsschritt stehen Materialabnahmen mittels unbestimmter Schneide, wie etwa das Fein-Trockenschleifen oder das Finishen, also insbesondere die Feinstufen des Maßformfinishens, zur Verfügung oder auch das elektrochemische Ätzen mit oder ohne pulsierender Beaufschlagung der Elektroden.

[0021] Im Idealfall besteht die Prozesskette also aus nur erstem und zweitem Feinbearbeitungsschritt.

[0022] Nur falls notwendig, wird dazwischen ein Feinzwischen Schritt durchgeführt. Hierfür stehen das Trockenschleifen zur Verfügung, mit dem nur sehr viel geringere Materialstärken abgenommen werden können als mit dem Nassschleifen, beispielsweise maximal 150 µm oder das Tangentialdrehen, also ein Verfahren mit bestimmter Schneide, oder die Grobstufe des Maßformfinishens. Auch das Singlepointdrehen ist hier eine Möglichkeit, falls dies nicht bereits bei dem ersten Feinbearbeitungsschritt gewählt wurde.

[0023] Von den Kundenanforderungen hängt es dann im Wesentlichen davon ab, ob nach dem zweiten Feinbearbeitungsschritt ein Feinabschlussschritt zur Strukturierung der Oberfläche notwendig ist.

[0024] Dies könnte vor allem der Einbringung von Kavitäten als Ölreservoir in der Oberfläche für das Werkstück für die Verbesserung der Schmierung und damit Begleiteigenschaften auf längere Zeit dienen.

[0025] Hier kommt vor allem ein gezielter Laserbeschuss zum Erzielen solcher Kavitäten in Frage oder wiederum das elektrochemische Ätzen, falls dieses nicht bereits als Bearbeitungsverfahren beim zweiten Feinbearbeitungsschritt gewählt wurde.

[0026] Denn in diesem Fall werden die entsprechenden Erhebungen zum Einbrennen der Kavitäten im

Werkstück bereits in der Elektrode für das elektrochemische Ätzen mit eingearbeitet und in einem Arbeitsschritt diese Kavitäten eingebracht und die Spitzen der mikroskopischen Oberflächenstruktur gekappt.

[0027] Auf diese Weise wird gegenüber der konventionellen Prozesskette und trotz der erhöhten Anforderungen der Kunden eine Verkürzung der Prozesskette vorgenommen mit den Vorteilen, dass vor allem das Nassschleifen vermieden wird und darüber hinaus - je nach konkreter Kombination - mehrere Bearbeitungsschritte in der gleichen Maschine und Aufspannung durchgeführt werden können.

[0028] So können die Bearbeitungsverfahren des ersten und zweiten Feinbearbeitungsschrittes - mit Ausnahme des elektrochemischen Ätzens - gemeinsam in einer Maschine implementiert und damit das Werkstück in einer Aufspannung bearbeitet werden.

[0029] Selbst ein zusätzlicher Feinzwischen Schritt kann dort untergebracht werden, unabhängig von der konkreten Wahl des Bearbeitungsverfahrens für diesen Feinzwischen Schritt.

[0030] Selbst eine Lasereinheit zum Beschuss der Werkstückoberfläche kann zusätzlich in einer solchen vom Grundsatz her als Drehmaschine, also für eine während der Bearbeitung antreibbare und hinsichtlich der Drehlage definierte und bekannte (C-Achse) Maschine, eingesetzt werden.

[0031] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird vorzugsweise jedoch vorgeschlagen, den zweiten Feinbearbeitungsschritt unmittelbar auf den ersten Feinbearbeitungsschritt folgen zu lassen und als zweiten Feinbearbeitungsschritt entweder das Finishen oder das elektrochemische Ätzen auszuwählen.

[0032] Dabei werden Materialabnahmen beim zweiten Feinbearbeitungsschritt von lediglich maximal 10 µm durchgeführt. Das Finishen wird erfindungsgemäß zeitgesteuert durchgeführt, also mit einer definierten Einwirkzeit, ohne das erzielte Ergebnis zu messen. Ferner kann auch das elektrochemische Ätzen zeitgesteuert durchgeführt werden.

[0033] Dabei wird im ersten Feinbearbeitungsschritt die Bearbeitung der Hauptlager vorzugsweise mittels des Singlepointdrehens durchgeführt. Die Bearbeitung der Hublager dagegen vorzugsweise mittels Drehfräsen, insbesondere mittels einer Orthogonalfräasers.

[0034] Bei diesem ersten Feinbearbeitungsschritt werden jedoch keineswegs die maximal möglichen Genauigkeiten dieser Verfahren angestrebt, sondern es wird beim Drehfräsen bei der Rundheit bis auf eine Genauigkeit von 15 µm und beim Durchmesser bis auf eine Genauigkeit von 20 µm bearbeitet, beim Sin-

gelpointdrehen dagegen bei der Rundheit bis auf eine Genauigkeit von 10 µm und ebenso beim Durchmesser bis auf eine Genauigkeit von 10 µm.

[0035] Vorzugsweise wird dies erreicht bei Schnittgeschwindigkeiten von 250 bis 400 m pro Minute. Falls der Materialabtrag, der im zweiten Feinbearbeitungsschritt erzielt werden muss, dort nicht mehr wirtschaftlich erreichbar ist, wird der angegebene Feinzwischen-schritt durchgeführt.

[0036] Falls im zweiten Feinbearbeitungsschritt das elektrochemische Ätzen gewählt wird, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, auf der dafür benutzten Elektrode unmittelbar Erhebungen auf der Wirkfläche anzuordnen, die dann Kavitäten in der Oberfläche des Werkstückes in definierter Verteilung und mit definierter Tiefe herstellen.

[0037] Falls jedoch ein Finishen in der zweiten Feinbearbeitungsstufe gewählt wird, können Kavitäten gezielt und in definierter Anzahl, Größe und Verteilung auch mittels Laserbeschuss hergestellt werden, da auch die Lasereinheit sehr gut in ein und derselben Maschine integrierbar ist.

[0038] Um die Genauigkeit im ersten Feinbearbeitungsschritt weiter zu verbessern, werden Werkzeuge verwendet, bei denen die Schneiden mittels Teilsystemen einer Feinausrichtung gegenüber dem Werkzeuggrundkörper unterzogen werden können, um dadurch Genauigkeiten im Bereich von 10 µm und auch darunter noch zu erzielen.

[0039] Zusätzlich wird - bei Verwendung eines Orthogonalfräasers - ein Fräser mit zwei bis acht Schneiden, insbesondere vier bis sechs Schneiden, an der Stirnfläche verwendet, die aber vorzugsweise leicht ungleichmäßig über dem Umfang verteilt sind, um keine Eigenfrequenz mit Aufschwingen zu bewirken.

[0040] Zusätzlich wird der Orthogonalfräser im Eingriff an der zu bearbeitenden Mantelfläche - meist beginnend am Außenumfang der Stirnfläche des Orthogonalfräasers - in Y-Richtung gegenüber der Drehachse des Werkstückes während des Eingriffes verfahren und zwar um mindestens 40%, besser mindestens 50%, insbesondere aber maximal 60% des Durchmessers des Orthogonalfräasers, sodass dadurch das Problem der im Zentrum des Orthogonalfräasers abnehmenden oder mangels Schneiden erst gar nicht vorhandenen Schneidleistung und Schneidrichtung dadurch gelöst wird, dass durch diesen stetig durchgeführten Achsversatz alle Längenbereiche der Lagerstelle ausreichend genau bearbeitet werden.

[0041] Zu diesem Zweck dreht sich das Werkstück während der Durchführung dieses Achsversatzes des Orthogonalfräasers mindestens fünfmal, besser

mindestens 10-mal oder noch besser mindestens 20-mal mal.

[0042] Die Drehzahl Orthogonalfräasers sollte dabei mindestens das 80-fache, besser 100-fache oder besser 130-fache der Drehzahl des Werkstückes betragen.

[0043] Bei einem Außenfräser dagegen sollte der Durchmesser des Fräasers mindestens das 40-fache, besser das 45-fache, des Hubes der zu bearbeitenden Kurbelwelle betragen.

[0044] Bei der Bearbeitung von gehärteten Oberflächen bestehen die Schneiden der Zerspanungswerkzeuge mit bestimmter Schneide in der Regel aus CBM oder Hartmetall, sind dann jedoch vorzugsweise aus einer Körnung hergestellt und dadurch trotz ausreichender Härte relativ elastisch.

[0045] Falls im zweiten Feinbearbeitungsschritt das elektrochemische Ätzen gewählt wird, wird damit eine Materialabnahme von maximal 30 µm, besser nur 20 µm, durchgeführt, aber eine Abnahme von mindestens 5 µm, da erst dadurch eine ausreichende Glättung der mikroskopischen Oberflächenstruktur auf einem Tragarmteil von mindestens 50% erreicht wird, was bei dem zweiten Feinbearbeitungsschritt das generelle Ziel ist.

[0046] Eine Weiterbeschleunigung des Herstellprozesses kann dadurch erreicht werden, dass der zweite Feinbearbeitungsschritt, insbesondere das elektrochemische Ätzen, nur derjenige Umfangsbereich des Hublagers, also des Pleuellagers, an der Kurbelwelle bearbeitet wird, der bei der Zündung mit dem Druck des Pleuels beaufschlagt wird, was immer der gleiche Umfangsbereich ist.

[0047] Insbesondere wird im zweiten Feinbearbeitungsschritt der entsprechende halbe Umfang des Pleuellagers bearbeitet.

[0048] Auf diese Art und Weise können beim ersten Feinbearbeitungsschritt sowohl Hublager als auch Pleuellager in der gleichen Aufspannung bearbeitet werden und insbesondere in der gleichen Aufspannung wie die vorangehende Grobbearbeitung, was vor allem dann von Interesse ist, wenn dazwischen das Härten nicht stattfindet oder ein Induktivhärten ebenfalls in der gleichen Maschine und in der gleichen Aufspannung durchgeführt wird.

[0049] Vor allem in dem zweiten Feinbearbeitungsschritt - im ersten kann dies natürlich ebenso erfolgen - wird die Kurbelwelle mittels einer Lünette abgestützt und zwar an einem Lager unmittelbar neben dem zu bearbeitenden Lager.

[0050] Dadurch ergeben sich auf den abgestützten Lagerumfängen Abdrücke der Lünette, die zwar maßlich und hinsichtlich der Oberflächenqualität nicht relevant sind, aber aus optischen Gründen nachbearbeitet werden sollen, indem in einem letzten Feinbearbeitungsschritt diese Abdrücke entfernt werden, was dadurch möglich wird, dass dabei die Abstützung durch die benachbarte Lünette immer auf der Seite der Fortschrittsrichtung dieses letzten Feinbearbeitungsschrittes liegt.

[0051] Beim ersten Feinbearbeitungsschritt werden Flansch und Zapfen vorzugsweise bearbeitet, während die Kurbelwelle zumindest in radialer Richtung an den zu der jeweiligen Bearbeitungsstelle benachbarten Hauptlager abgestützt wird, insbesondere mittels einer Lünette, oder auch an diesen benachbarten Lagerstellen direkt mittels eines Backenfutters gehalten wird.

Ausführungsbeispiele

[0052] Ausführungsformen gemäß der Erfindung sind im Folgenden beispielhaft näher beschrieben. Es zeigen:
Es zeigen:

Fig. 1a, b: eine übliche Kurbelwelle in Seitenansicht und eine vergrößerte einzelne Lagerstelle,

Fig. 2a, b: eine Drehmaschine mit oberhalb als auch unterhalb der Drehachse liegenden Supporten,

Fig. 3: eine Drehfräsmaschine mit nur oberhalb der Drehachse liegenden Supporten,

Fig. 4a,b: verschiedene Bearbeitungssituationen an einem symbolhaften Werkstück,

Fig. 5: Maßabweichungen im Querschnitt einer Lagerstelle und

Fig. 6: mikroskopische Oberflächenstrukturen an einer Werkstückoberfläche.

[0053] **Fig. 1a** zeigt in der Seitenansicht eine typische Kurbelwelle **1** für einen Vierzylinder-Verbrennungsmotor, also mit vier exzentrischen Hub- oder Pleuellagern PL1 bis PL4 und daneben angeordneten insgesamt fünf Hauptlagern HL1 bis HL5, die auf der späteren Rotationsachse der Kurbelwelle angeordnet sind, auf der in der Darstellung der **Fig. 1** die Kurbelwelle **1** auch als Drehachse **2** in einer nicht näher dargestellten Drehmaschine aufgespannt ist, und zwar durch radiales Spannen mittels Spannbacken **6** an dem Flansch **4** am einen Ende und dem Zapfen **3** am anderen Ende der Kurbelwelle **1**.

[0054] Erfindungsgemäß geht es vor allem um das Bearbeiten der Mantelflächen der Lagerstellen, also der Hauptlager sowie der Pleuellager, einschließlich

der daran angrenzenden Seitenflächen, der so genannten Spiegelflächen.

[0055] Oberhalb und unterhalb der Kurbelwelle **1** sind beispielhaft Bearbeitungswerkzeuge dargestellt, oben von links nach rechts:

- zum Einen ein Fingerfräser **5**, dessen Rotationsachse **5'** lotrecht zur Drehachse **2**, die bei Drehmaschinen üblicherweise als Z-Achse im Raumkoordinatensystem definiert wird, steht.

- auf der Stirnfläche des Fingerfräasers sind ein oder mehrere, vorzugsweise **2** bis **8**, Schneiden **7** angeordnet, die sich bis auf die Umfangsfläche des Fingerfräasers **5** erstrecken, so dass durch Kontaktieren des rotierenden Fingerfräasers **5** an einer Mantelfläche einer rotierenden Lagerstelle die Lagerstelle spanend bearbeitet werden kann.

- daneben ist ein Scheibenfräser **8** angeordnet, dessen Rotationsachse **8'** parallel zur Z-Achse liegt, und auf dessen Umfang eine große Zahl von Schneiden **7'** angeordnet sind, die sich entlang der gesamten Breite der Umfangsfläche und radial über den äußeren Randbereich des scheibenförmigen Grundkörpers des Scheibenfräasers **8** erstrecken.

[0056] Wegen der großen Anzahl von meist ca. 80 Schneiden bzw. Schneidplättchen **23**, die an einem Scheibenfräser **8** mit beispielsweise 700 mm Durchmesser justiert werden müssen, ist die exakte Justierung in radialer und axialer Richtung übereinstimmend für alle Schneidplättchen hier mit einem großen Zeitaufwand verbunden.

- Rechts daneben ist eine ebenfalls um eine in Z-Richtung liegende Rotationsachse **9'** drehende Schleifscheibe **9** dargestellt, die in ihrem Mantelbereich und den angrenzenden Stirnflächenbereichen mit Schleifkörnern, in der Regel Hartmetall, Keramik oder CBN besetzt ist und meist - wie der Scheibenfräser **8** ebenfalls - eine in Z-Richtung gemessene axiale Erstreckung besitzt, die der Breite der jeweiligen Lagerstelle entspricht.

[0057] Unterhalb der Kurbelwelle ist ein Drehwerkzeug **10** in der Ausführungsform als Singlepoint-Drehwerkzeug dargestellt, welches nicht exakt in X-Richtung, sondern leicht schräg hierzu in Richtung Lagerstelle ragt und diese Kontaktieren kann, um auch eine der Ecken der Lagerstelle ausdrehen zu können.

[0058] Damit mit ein- und demselben Drehwerkzeug **10** beide Ecken einschließlich der dazwischen liegenden Mantelflächen ohne abzusetzen und damit ohne einen Absatz zu erzeugen, gedreht werden können, ist dieses Drehwerkzeug **10** - wie in **Fig. 1b** vergrößert

ßert dargestellt - um die B-Achse schwenkbar zusätzlich zu seiner Verfahrbarekeit in X-Richtung und natürlich ausreichend schlank, um in die Lagerstelle einfahren zu können.

[0059] Es versteht sich von selbst, dass bei Bearbeiten eines der Pleuellager PL1 bis PL4 an der um die Hauptlagerachse drehenden Kurbelwelle diese im Eingriff befindlichen Werkzeuge zusätzlich eine Nachführbewegung in X-Richtung durchführen müssen, und beim Fingerfräser **7** sowie beim Schneidwerkzeug **10** hierfür zusätzlich eine Nachführbewegung in Y-Richtung notwendig ist, um dem umlaufenden Pleuellager folgen zu können.

[0060] Fig. 2a und b zeigen in Frontansicht und Z-Richtung betrachtet beispielhaft eine Drehmaschine, wie sie zur Bearbeitung solcher Werkstücke wie Kurbelwellen mit den erfindungsgemäßen Verfahren benutzt werden kann:

Wie Fig. 2b zeigt, ist vor der senkrechten Frontfläche des Maschinenbettes **11** in dessen oberem Bereich ein Spindelstock **12** angeordnet, der ein drehend antreibbares Spannfutter **13** mit Spanbacken **6** trägt. Dem Spindelstock **12** gegenüberliegend ist ein Gegen-Spindelstock **14** angeordnet, der ebenfalls ein Spannfutter **13** trägt, so dass ein Werkstück, beispielsweise eine Kurbelwelle **1**, mit seinen beiden Enden auf der Drehachse **2**, die in Z-Richtung verläuft, in jeweils einem der Spannfutter **13** aufgenommen und drehend angetrieben werden kann.

[0061] Auf der Frontseite des Bettes **11** unterhalb der Drehachse sowie auf der ebenen Oberseite des Bettes **11** sind jeweils in Z-Richtung verlaufende, paarweise Längsführungen **15** angeordnet, auf denen Werkzeugeinheiten verfahrbar sind, in diesem Fall eine Werkzeugeinheit auf dem unteren und zwei auf den oberen Längsführungen **15**:

Jede Werkzeugeinheit besteht aus einem entlang der Längsführungen **15** verfahrbaren Z-Schlitten **16** und einem darauf laufenden, in X-Richtung verfahrbaren X-Schlitten **17**, auf dem das Werkzeug oder die Werkzeugeinheit montiert ist:

[0062] Bei der Einheit unterhalb der Drehachse **2** ist dies ein üblicher Werkzeugrevolver **18** mit darin eingesetztem Drehwerkzeug **10** in der Bauform eines Sternrevolvers und mit einer Schwenkachse, die in Z-Richtung verläuft.

[0063] Bei der linken oberen Einheit handelt es sich um ein einzelnes Drehwerkzeug **10** in Singlepoint-Ausführung, also schwenkbar um die B-Achse, das sich etwa in X-Richtung erstreckt und auch in X-Richtung verfahrbar ist auch in Abstimmung mit der Schwenkbewegung.

[0064] Bei der rechten oberen Einheit handelt es sich um Finish-Werkzeug **19**, das eine Umfangsfläche am Werkstück glätten kann.

[0065] In Fig. 2b ist dieses Finish-Werkzeug **19** in Z-Richtung betrachtet dargestellt. Dort ist ersichtlich, dass dieses Werkzeug ein Finish-Formteil **20** umfasst mit einer Kavität entsprechend der konvexen Umfangsfläche des Werkstückes, an die es angelegt werden soll, z. B. in Form eines Halbkreises, und ein Finish-Band **21**, welches über die Kontaktfläche des Formteiles **20** geführt ist und mit seinen Enden auf je einer Vorratsrolle aufgewickelt ist.

[0066] Auch ein Singlepoint-Drehwerkzeug ist in dieser Ansicht daneben in Fig. 2B nochmals vergrößert dargestellt.

[0067] Die Fig. 3 zeigt dagegen eine Drehfräsmaschine, bei der wiederum eine Kurbelwelle **1** als Werkstück zwischen zwei gegeneinander gerichteten Spannfuttern **13** von Spindelstock und Gegen-Spindelstock **14** gehalten und drehend um die Drehachse **2** antreibbar ist, die hier ebenso wie bei der Drehmaschine der Fig. 2 als C-Achse ausgebildet ist.

[0068] In diesem Fall befinden sich nur oberhalb der Drehachse **2** am Maschinenbett **11** Längsführungen **15**, auf denen zwei Werkzeugeinheiten mit Z-Schlitten **16** und darauf laufendem X-Schlitten **17** vorhanden sind.

[0069] In diesem Fall trägt der rechte X-Schlitten **17** jedoch einen Scheibenfräser **8**, der parallel zur Drehachse rotiert, wie in Fig. 1 angedeutet, und der linke Z-Schlitten **17** eine Schleifscheibe **9**, die ebenfalls um eine Achse parallel zur Z-Achse rotiert.

[0070] Zusätzlich ist am rechten X-Schlitten **17** noch eine Messeinheit **22** vorhanden, die durch Verschwenken aktiviert und deaktiviert werden kann, um ohne Ausspannen oder Umspannen des Werkstückes Messungen an einer Umfangsfläche hinsichtlich Durchmesser, Rundheit usw. durchführen zu können, indem ein in X-Richtung anzunähernder Messtaster die Umfangsfläche kontaktiert. Ein Schneidplättchen **23** des Scheibenfräasers **8** kann sich in radialer Richtung auf zwei gegeneinander laufenden Keilen abstützen, von denen mindestens einer in Umfangsrichtung verstellbar ist, wodurch das Schneidplättchen **23** in radialer Richtung sehr genau eingestellt werden kann. Eine analoge Verstellvorrichtung ist auch für die axiale Richtung vorhanden.

[0071] Die Fig. 4a zeigt - nicht am Beispiel einer Kurbelwelle, sondern an einem zylindrischen Werkstück - die Bearbeitung eines Teils der Umfangsfläche, was ebenso gut die Umfangsfläche eines Hublagers oder Pleuellagers sein könnte, mittels Tangentialdrehen:

Dabei wird eine windschief zur Drehachse des rotierenden Werkstückes stehende - gerade oder ballige - Schneide in tangentialer Bewegungsrichtung **24** kontaktierend an der Umfangsfläche des Werkstückes entlang bewegt, bei einer geraden Schneide in einer tangentialen, geraden Richtung und bei einer balligen Schneide in einer tangentialen, bogenförmigen Richtung um eine Schwenkachse, die parallel zur Drehachse **2** verläuft.

[0072] Damit können nur sehr geringe Übermaße abgenommen werden, das Bearbeitungsergebnis ist jedoch hochgenau und hat eine sehr gute Oberfläche.

[0073] In **Fig. 4c** ist das elektrochemische Ätzen dargestellt.

[0074] Dabei wird eine ECM-Elektrode **25**, deren Kontaktfläche vorzugsweise der Kontur des zu bearbeitenden Umfangs des Werkstückes angepasst ist und eine entsprechende Kavität aufweist, gegen das Werkstück angenähert, wobei zwischen dem Werkstück einerseits und der Elektrode **25** andererseits ein elektrischer Strom bzw. eine elektrische Spannung angelegt wird und zusätzlich eine Salzlösung oder Säure zwischen beiden eingebracht wird.

[0075] Bei entsprechender Wahl dieser Parameter werden oberflächennahe Bereiche, insbesondere die Spitzen der mikroskopischen Oberflächenstruktur des Werkstückes, dadurch abgeätzt und in der Salzlösung abtransportiert. Zur Verbesserung kann die Elektrode **25** pulsierend radial oder auch axial bewegt werden, um den Abtransport mittels der Salzlösung oder Säure zu optimieren.

[0076] Prinzipiell kann dabei das Werkstück um die Drehachse **2** gedreht werden.

[0077] Wenn jedoch wie im dargestellten Fall auf der Kontaktfläche der Elektrode **25** eine Vielzahl von mikroskopisch kleinen Erhebungen **26** vorhanden sind, die entsprechende mikroskopische Kavitäten in der Oberfläche des Werkstückes erzeugen sollen, die später als Ölreservat dienen, muss dann natürlich das Werkstück stillstehend bearbeitet werden.

[0078] Ansonsten können solche mikroskopisch feinen Kavitäten - in der Regel nur mit einer Tiefe von wenigen μm - auch durch Laserbeschuss hergestellt werden.

[0079] Dabei zeigt **Fig. 6** unterschiedliche mikroskopische Oberflächenstrukturen, wie sie durch unterschiedliche spanende Bearbeitungsverfahren mit bestimmter Schneide typisch sind:

Beim Längsdrehen ergibt sich ein typisches, ziemlich regelmäßiges Sägezahn-Profil, dessen Rauigkeit R_z im Bereich von 10 - 20 μm liegt.

[0080] Die Oberflächenstruktur nach dem Tangentialdrehen ist prinzipiell ähnlich, jedoch mit einem viel geringeren Abstand zwischen Spitzen und Tälern mit einem R_z von ca. 5 μm . Für das Außen-Rundfräsen ist es dagegen typisch, dass die Oberflächenstruktur danach Bereiche aufweist, die mikroskopisch gesehen auf unterschiedlich hohem Niveau liegen können, entsprechend dem Einschlag der einzelnen Fräsmesser nacheinander am Werkstück und den dadurch gebildeten, wenn auch sehr feinen, Facetten am Werkstück.

[0081] Im unteren Bereich der **Fig. 6** ist vergrößert eine mikroskopische Struktur dargestellt, und der angestrebte 50%-ige Traganteil nach Abtragung der mikroskopischen Spitzen, der für Lagerstellen in etwa angestrebt wird.

[0082] Dabei wird auch klar, dass mit zunehmendem Abtrag der Spitzen und zunehmendem Traganteil - egal ob mittels Finishen oder Feinschleifen - die durch das Werkzeug zu bearbeitende Fläche immer größer und dadurch der Abtrag in radialer Richtung immer langsamer wird.

[0083] **Fig. 5** zeigt - betrachtet in Richtung der Z-Achse - einen Schnitt durch eine Lagerstelle, z. B. einer Kurbelwelle, deren Soll-Kontur eine exakt runde Kontur ist. In der Praxis ist es jedoch eine - übertrieben dargestellt - unrunde Kontur, zumindest wie sie nach der spanenden Bearbeitung mit bestimmter Schneide entsteht.

[0084] Dabei wird zum Ermitteln der Rundheit ein innerer und äußerer Hüllkreis an die Ist-Kontur angelegt, und der Abstand dieser beiden Hüllkreise gibt die Rundheit an.

[0085] Darüber hinaus kann auch das Ist-Zentrum der entsprechenden Lagerstelle nicht exakt mit dem Soll-Zentrum übereinstimmen, was insbesondere bei Pleuel-Lagerzapfen der Fall ist, und die Rundlauf-Genauigkeit negativ beeinflusst.

[0086] Angegeben ist ferner die Soll-Kontur nach dem Finishen, also die Endkontur, die dementsprechend radial innerhalb der Soll-Kontur nach dem Ende des Zerspanens mit bestimmter Schneide liegt.

Bezugszeichenliste

| | |
|-----------|--------------|
| 1 | Kurbelwelle |
| 1' | Werkstück |
| 2 | Drehachse |
| 3 | Zapfen |
| 4 | Flansch |
| 5 | Fingerfräser |

| | |
|-------|-------------------------------|
| 5' | Rotationsachse |
| 6 | Spannbacke |
| 7, 7' | Schneide |
| 8 | Scheibenfräser |
| 8' | Rotationsachse |
| 9 | Schleifscheibe |
| 9' | Rotationsachse |
| 10 | Drehwerkzeug |
| 11 | Maschinenbett |
| 12 | Spindelstock |
| 13 | Spannfutter |
| 14 | Gegen-Spindelstock |
| 15 | Längsführung |
| 16 | Z-Schlitten |
| 17 | X-Schlitten |
| 18 | Werkzeug-Revolver |
| 19 | Finish-Werkzeug |
| 20 | Finish-Formteil |
| 21 | Finish-Band |
| 22 | Messeinheit |
| 22a | Messtaster |
| 23 | Schneidplättchen |
| 24 | tangentiale Bewegungsrichtung |
| 25 | ECM-Elektrode |
| 26 | Erhebung |
| 27 | Tangential-Drehwerkzeug |

Patentansprüche

1. Verfahren zur verwendungsfähigen Fertigbearbeitung von Werkstücken (1') mit rotationssymmetrischen, zentrisch liegenden, Umfangsflächen und angrenzenden Seitenflächen, wobei nach einer spanenden groben Bearbeitung die Fein-Bearbeitung der Umfangsflächen wie folgt abläuft:

- erster Fein-Bearbeitungs-Schritt mittels bestimmter Schneide (7, 7'),
- unmittelbar gefolgt von
- zweiter Fein-Bearbeitungs-Schritt, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Fein-Bearbeitungs-schritt erfolgt mittels
- einer zeitgesteuerten, die Oberfläche der Bearbeitungsstelle strukturierenden Fein-Stufe des Maßformfinishens oder
- elektrochemischem Ätzen (ECM).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren zur verwendungsfähigen

gen Fertigbearbeitung von Kurbelwellen (1) vorgesehen ist und nach einer spanenden groben Bearbeitung und nachfolgendem eventuellen partiellen Härten, insbesondere der Umfangsflächen, die Fein-Bearbeitung erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem zweiten Fein-Bearbeitungs-Schritt ein Fein-Abschluss-Schritt mittels Laser-Beschuss erfolgt, falls der zweite Fein-Bearbeitungs-Schritt die Fein-Stufe des Maßformfinishens war.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass im ersten Fein-Bearbeitungs-Schritt

- die Hauptlager (HL) mittels Singlepointdrehen und
- die Hublager beziehungsweise Pleuel-Lager (PL) mittels Drehfräsen insbesondere in Form des Umfangsfräsens bearbeitet werden, und

- beim Drehfräsen insbesondere Schnitt-Geschwindigkeiten von 250 bis 400 m/min benutzt werden und/oder bei der Rundheit bis auf eine Genauigkeit von 15 µm und beim Durchmesser bis auf eine Genauigkeit von 20 µm bearbeitet wird, wenn ein Finishen oder ECM folgt,

- beim Singlepointdrehen insbesondere Schnitt-Geschwindigkeiten von 250 bis 400 m/min benutzt werden und/oder bei der Rundheit bis auf eine Genauigkeit von 10 µm und beim Durchmesser bis auf eine Genauigkeit von 10 µm bearbeitet wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass falls der zweite Fein-Bearbeitungs-Schritt das elektrochemische Ätzen (ECM) war, die Elektrode (25) in definierter Verteilung Erhebungen auf ihrer Wirkfläche mit einer Höhe von maximal 10 µm, besser maximal 6 µm, aufweist zum Einbringen von Kavitäten in der Werkstück-Oberfläche.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Fall eines mehrstufigen Finishens ein Laser-Beschuss vor der letzten Stufe des Finishens erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Orthogonalfräsen ein Fräser mit 2 bis 8 Schneiden, insbesondere mit 4 bis 6 Schneiden, die vorzugsweise ungleichmäßig über den Umfang verteilt sind, verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Fräsen Werkzeuge (1') mit Schneiden (7, 7') verwendet werden, die mittels Keilsystemen eine Fein-Ausrichtung gegenüber dem Werkzeug-Grundkörper erlauben.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Orthogonalfräsen der im Eingriff befindliche Fräser in Y-Richtung um mindestens 40%, besser mindestens 50%, insbesondere aber maximal 60% seines Durchmessers verfahren wird, und in dieser Zeit das Werkstück mindestens 5, besser mindestens 10, besser mindestens 20 Umdrehungen vollzieht.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Orthogonalfräsen die Drehzahl des Orthogonal-Fräasers mindestens das 80-fache, besser mindestens das Hundertfache, besser mindestens das 130-fache der Drehzahl des Werkstückes (1') beträgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Außenfräsen der Durchmesser des Fräasers mindestens das 40-fache, besser das 45-fache, des Hubes der zu bearbeitenden Kurbelwelle 1 beträgt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim elektrochemischen Ätzen (ECM) eine Materialabnahme von maximal 30 µm, besser nur 20 µm, besser nur 10 µm, aber insbesondere mindestens 5 µm erfolgt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim elektrochemischen Ätzen (ECM) nur derjenige Umfangsbereich des Pleuel-Lagers (PL) bearbeitet wird, der bei der Zündung mit dem Druck des Pleuels beaufschlagt wird, insbesondere der entsprechende halbe Umfang.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass im ersten Fein-Bearbeitungs-Schritt Hublager und Pleuellager (PL) in der gleichen Aufspannung bearbeitet werden und insbesondere in der gleichen Aufspannung wie die vorangehende Grob-Bearbeitung.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass im zweiten Fein-Bearbeitungs-Schritt die Kurbelwelle (1) jeweils mittels insbesondere einer Lünette an einem bereits im zweiten Schritt fein bearbeiteten, unmittelbar neben dem zu bearbeitenden Lager liegenden, Hauptlager (HL) abgestützt wird, und insbesondere in einem letzten Fein-Bearbeitungs-Schritt die dabei sich auf den bearbeiteten Lagern ergebenden Lünetten-Abdrücke beseitigt werden, wobei die Abstützung immer auf der Seite der Fortschrittsrichtung bei diesem letzten Schritt liegt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass im ersten Fein-Bearbeitungs-Schritt Flansch (4) und Zapfen (3) bearbeitet werden, während die Kurbelwelle (1) radial

an dem zur Bearbeitungsstelle benachbarten Hauptlager (HL) gehalten wird, insbesondere mittels einer Lünette.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Feinbearbeitungsschritt mittels bestimmter Schneide (7, 7') sowie das Finishen und/oder der Laserbeschuss und/oder Trockenschleifen und/oder Tangentialdrehen und/oder Single-Point-Drehen in der gleichen Maschine und in der gleichen Aufspannung des Werkstückes (1) durchgeführt werden.

18. Drehmaschine zur verwendungsfähigen Fertigbearbeitung von Werkstücken (1') mit rotationssymmetrischen, zentrisch Umfangsflächen und angrenzenden Seitenflächen mit

- einem Maschinenbett (11),
- einem Spindelstock (12), insbesondere mit Spannfutter (13),
- einem Gegen-Spindelstock (14) mit Spannfutter (13),
- einer gesteuerten C-Achse,
- mindestens einer Lünette,
- einer Fräseinheit mit einem Scheibenfräser (8) oder mit einem Orthogonalfräser, wobei der Orthogonalfräser zusätzlich zur X-Achse eine Y-Achse oder Verschwenkung um die C-Achse aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehmaschine eine Finish-Einheit für eine zeitgesteuerte, die Oberfläche der Bearbeitungsstelle strukturierende Fein-Stufe des Maßformfinishens aufweist.

19. Drehmaschine nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die Drehmaschine eine Lasereinheit zum Beschießen der Umfangsflächen des Werkstückes (1) aufweist, und/oder
- einer aktivierbaren und deaktivierbaren Messvorrichtung,

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

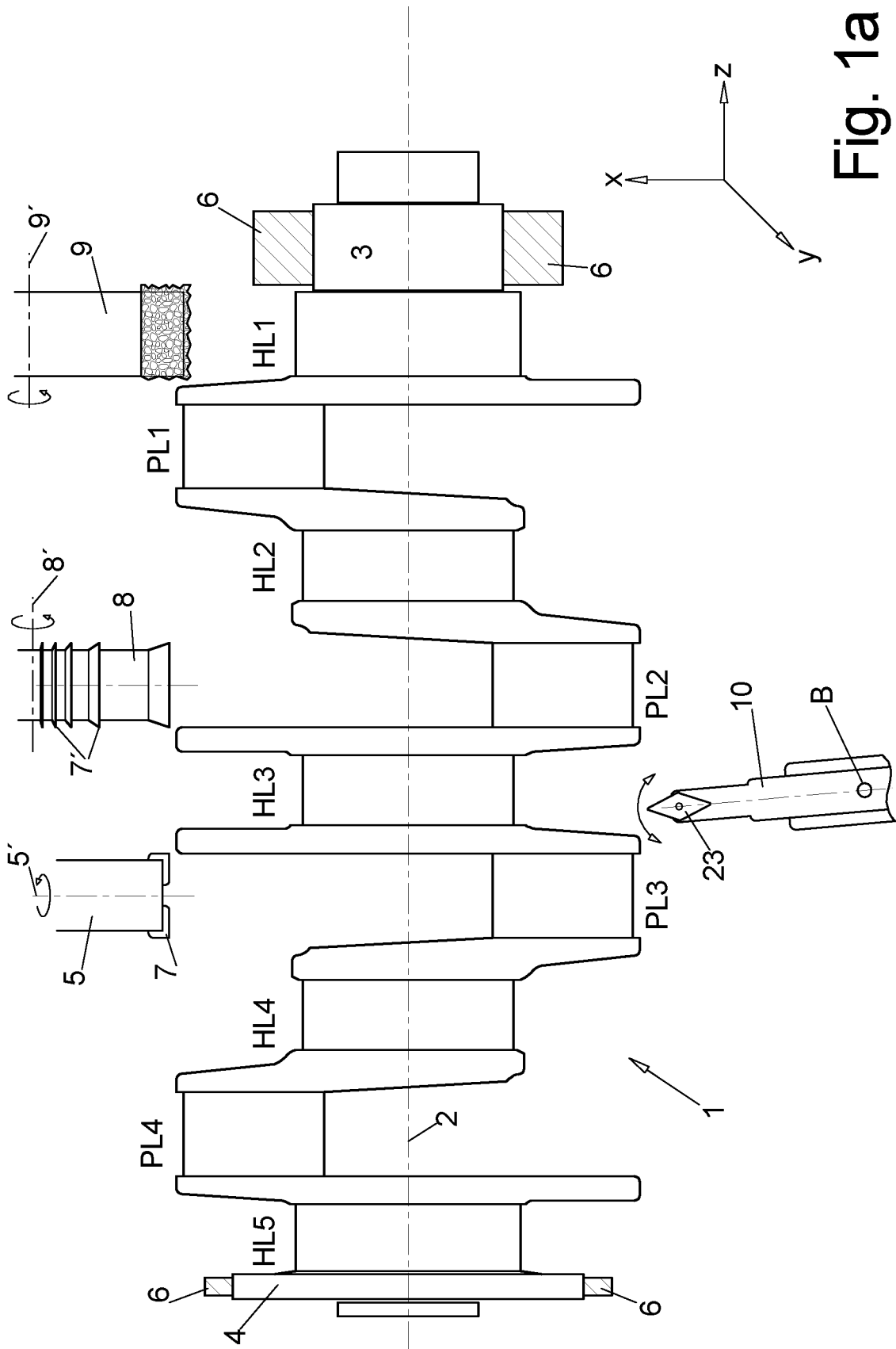


Fig. 1a

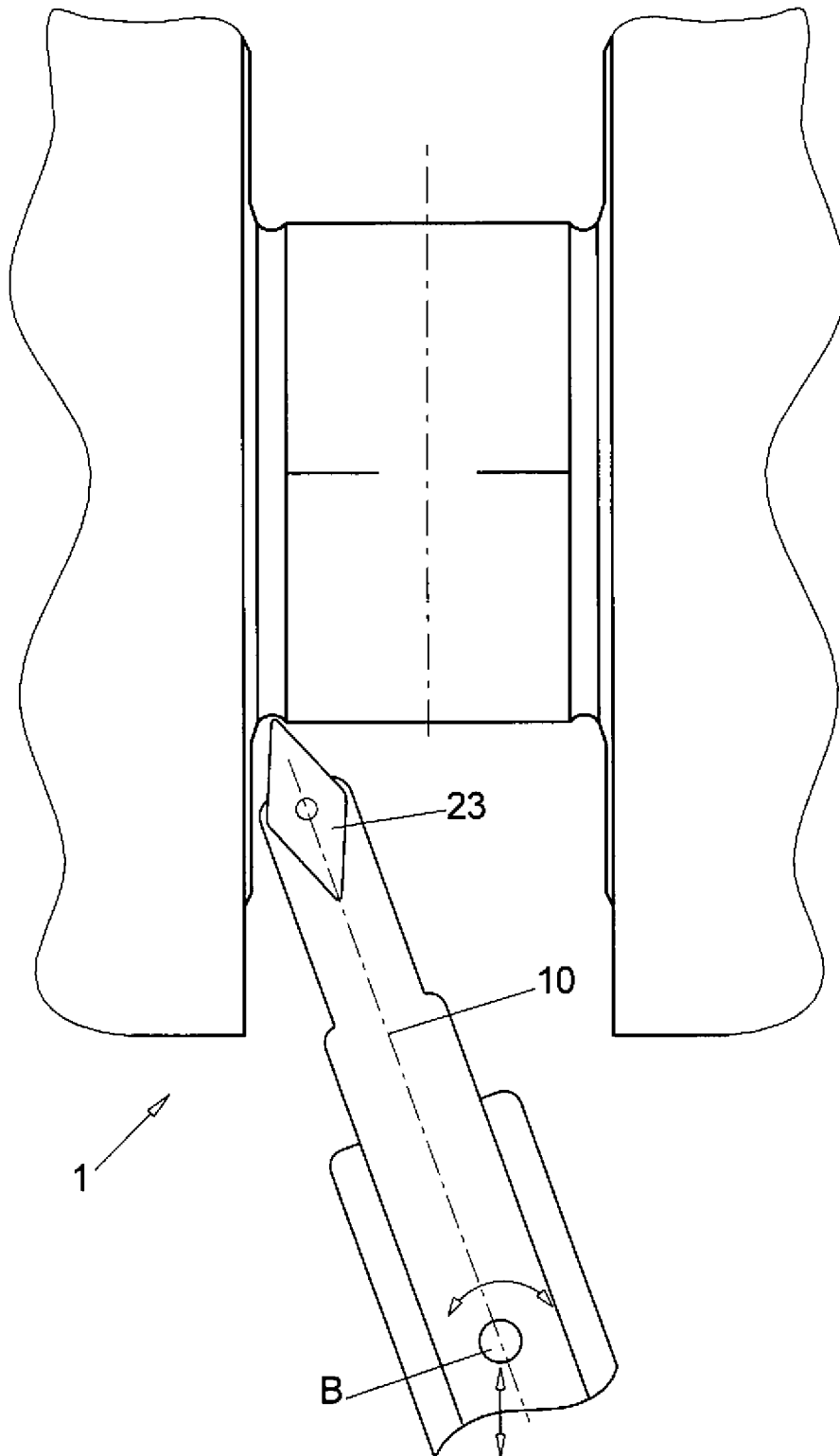


Fig. 1b

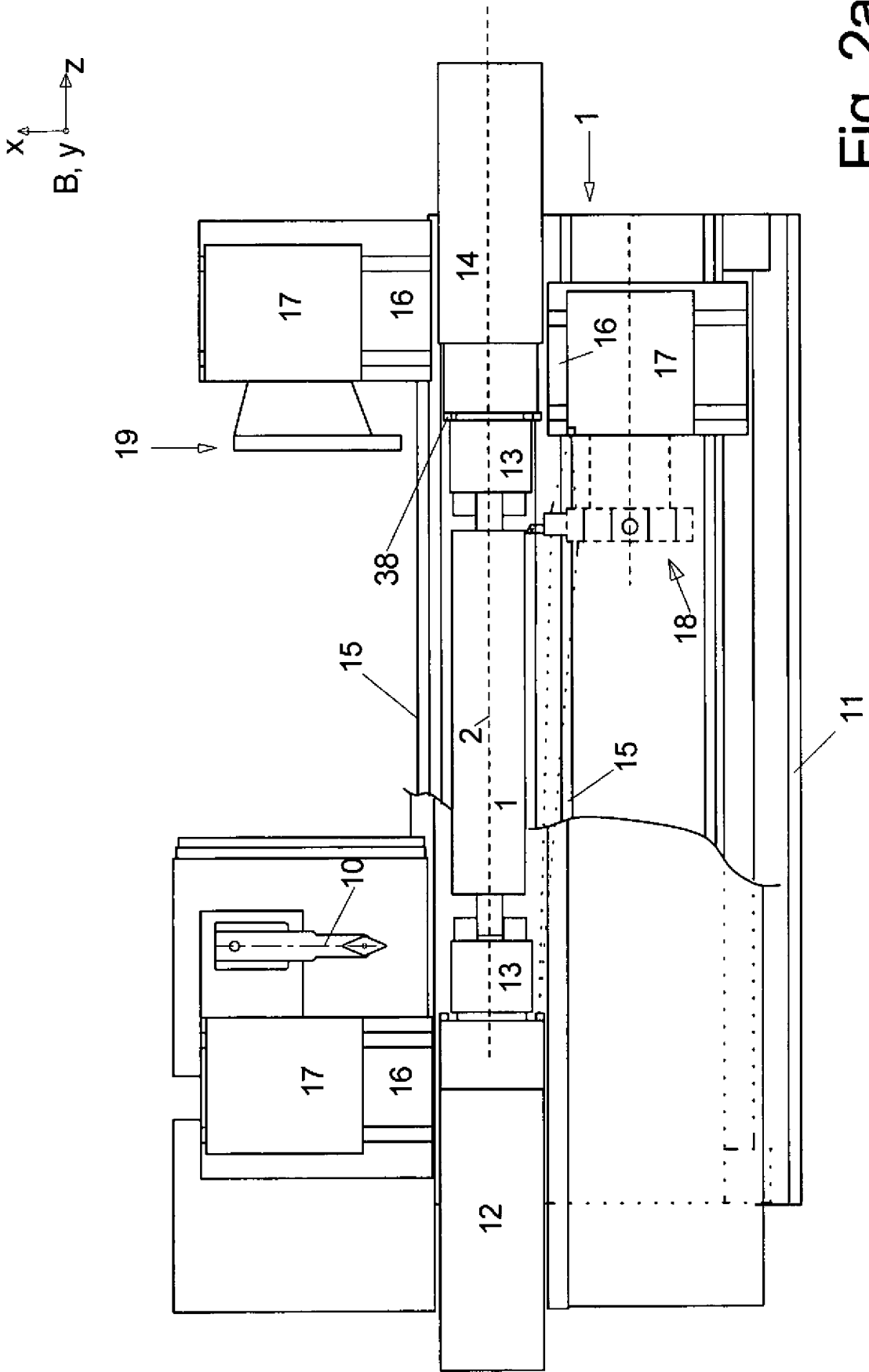


Fig. 2a

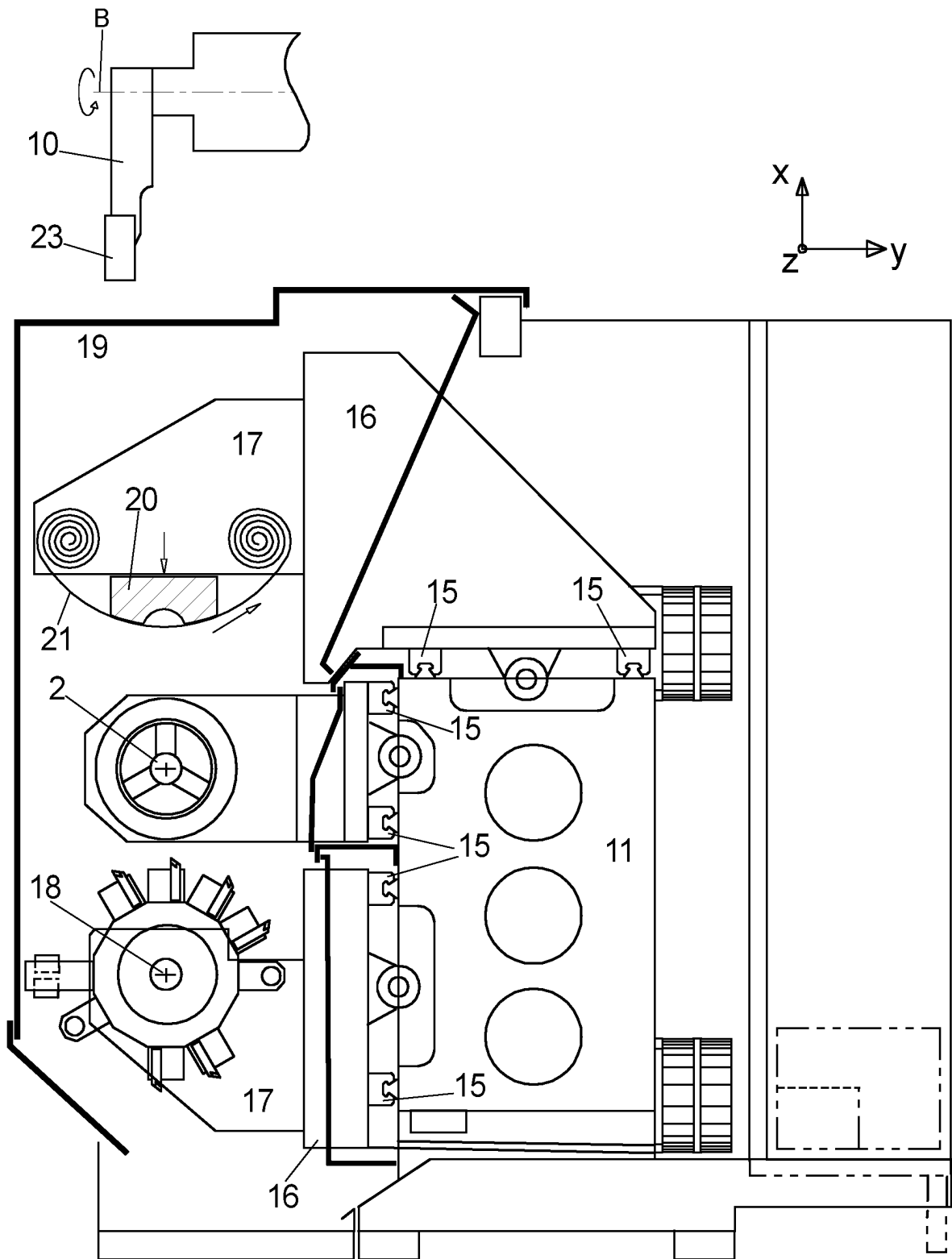


Fig. 2b

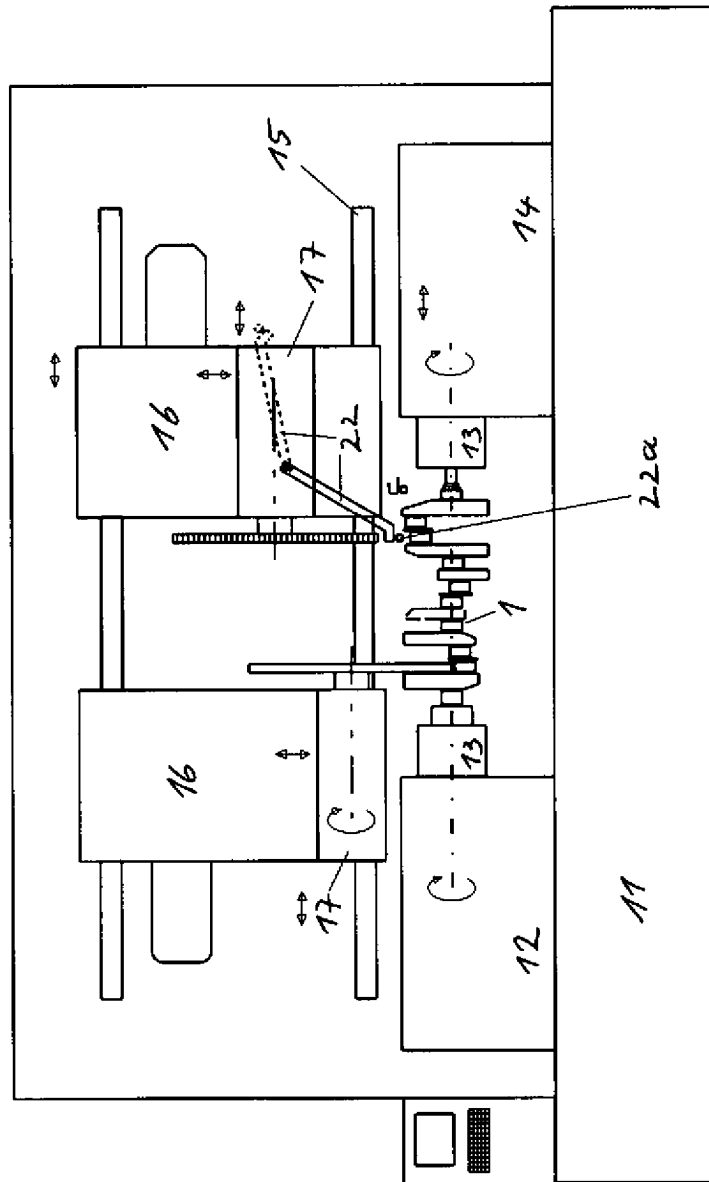
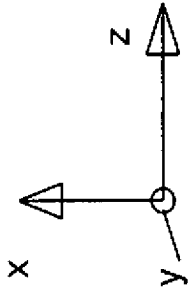


Fig. 3

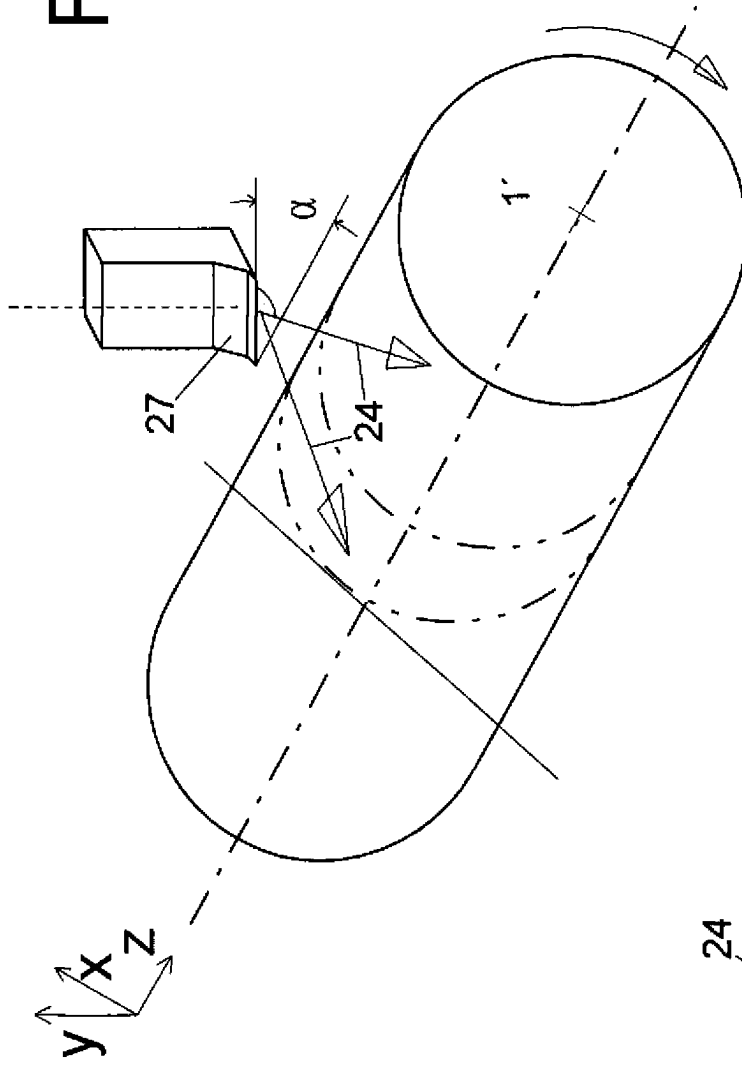


Fig. 4a

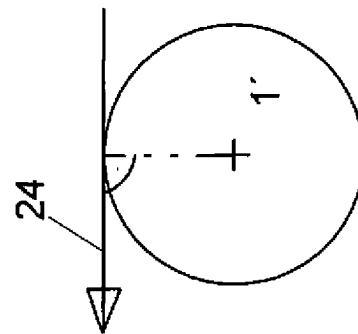


Fig. 4b

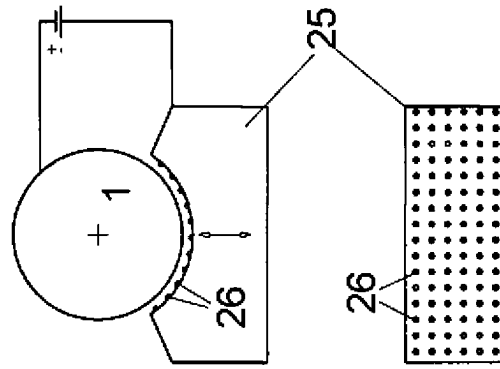


Fig. 4c

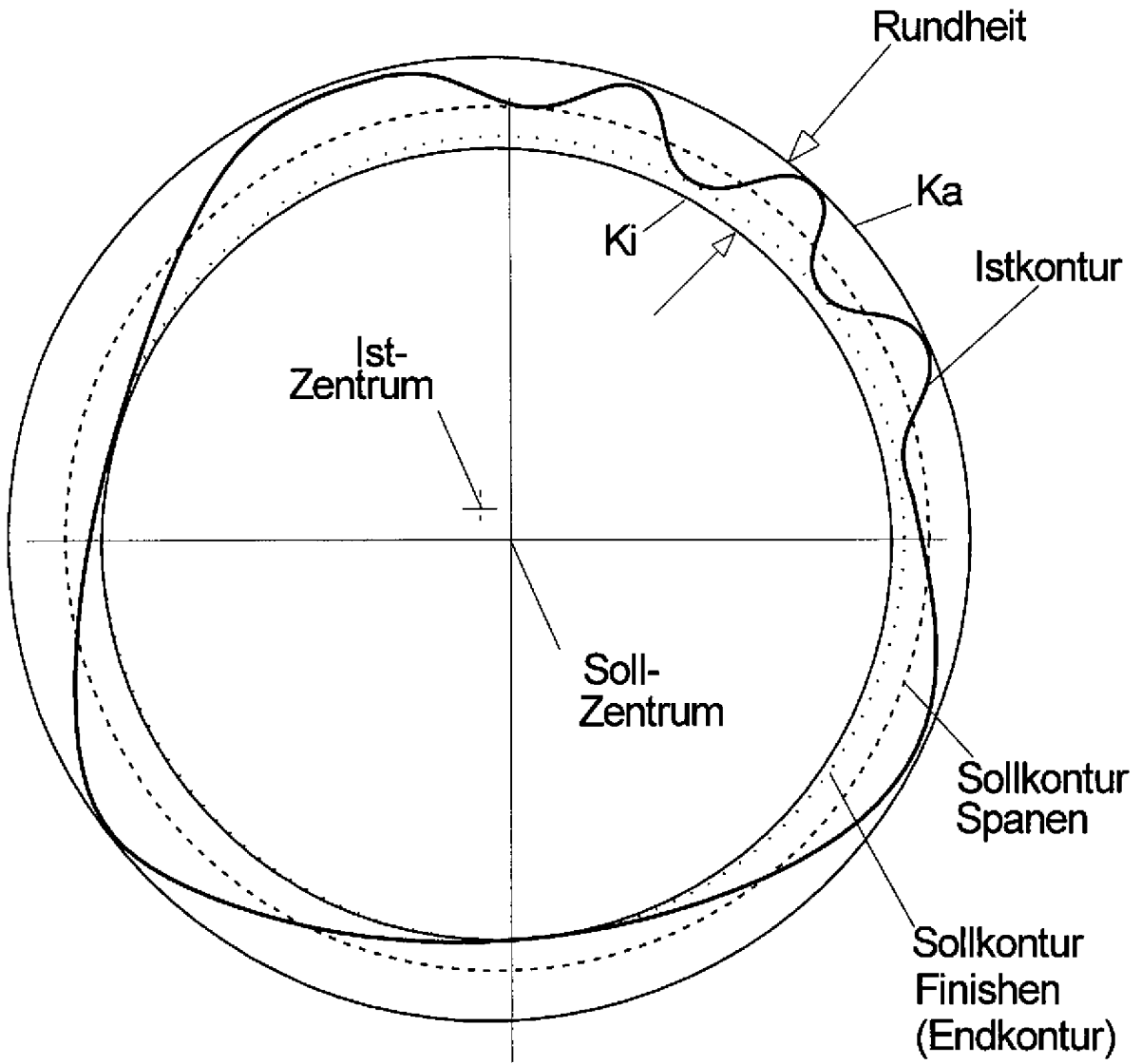


Fig. 5

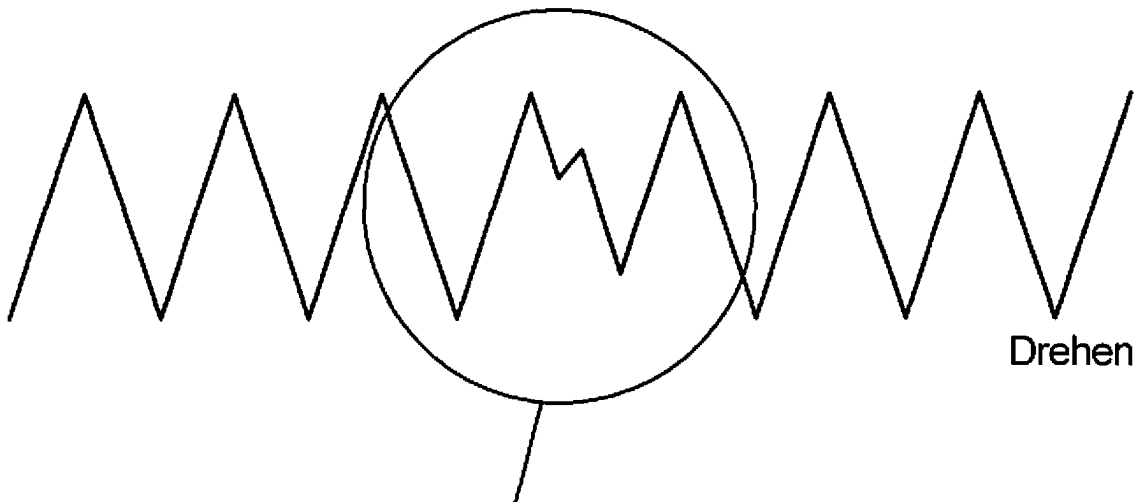


Fig. 6