



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 037 791 A1** 2009.02.12

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 037 791.8**

(22) Anmeldetag: **10.08.2007**

(43) Offenlegungstag: **12.02.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B23B 1/00** (2006.01)

**B23P 23/02** (2006.01)

**B24B 1/00** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Felsomat GmbH & Co. KG, 75203  
 Königsbach-Stein, DE**

(74) Vertreter:

**Kohler Schmid Möbus Patentanwälte, 70565  
 Stuttgart**

(72) Erfinder:

**Jäger, Helmut Friedrich, 75203 Königsbach-Stein,  
 DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

**DE 198 40 738 C2**

**DE 195 46 863 A1**

**DE 20 40 957 A**

**EP 16 69 148 A1**

**DE 299 18 517 U1**

**Firmenprospekt: Studer Schandt GmbH,**

**"STRATOS Schl**

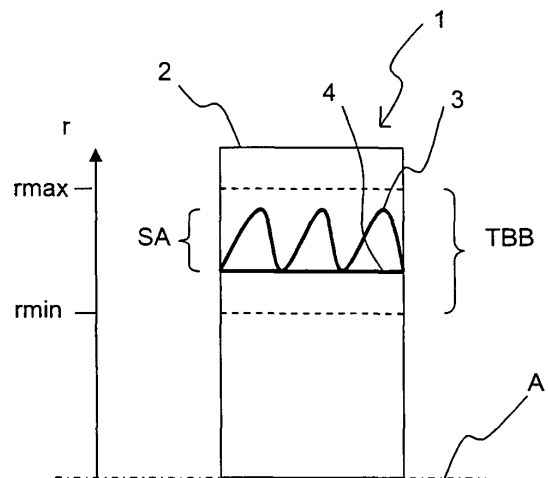
**eifen, Hartdrehen und mehr", Stuttgart, 10/2002;**

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

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Kombiniertes Präzisionshartdrehen und Trockenschleifen**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Fertigung einer rotationssymmetrischen Fläche an einem Werkstück (1), wobei zur Fertigung der rotationssymmetrischen Fläche am Werkstück (1) zunächst durch Hartdrehen eine Halbfertig-Fläche (3) erzeugt wird und danach durch Schleifen aus der Halbfertig-Fläche (3) die fertige rotationssymmetrische Fläche (4) erzeugt wird und wobei das Verfahren so geführt wird, dass die fertige rotationssymmetrische Fläche (4) vorgegebene Maße, vorgegebene Form- und Lagetoleranzen sowie vorgegebene Oberflächentoleranzen einhält, ist dadurch gekennzeichnet, dass das Hartdrehen als trockenes Hartdrehen ausgeführt wird, wobei die durch das Hartdrehen erzeugte Halbfertig-Fläche (3) bereits die vorgegebenen Maße sowie die vorgegebenen Form- und Lagetoleranzen einhält, und dass das nachfolgende Schleifen als trockenes Schlichtschleifen ausgeführt wird. Durch das erfindungsgemäße Verfahren können rotationssymmetrische Flächen an einem Werkstück mit weniger Kosten hergestellt werden.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Fertigung einer rotationssymmetrischen Fläche an einem Werkstück, wobei zur Fertigung der rotationssymmetrische Fläche am Werkstück zunächst durch Hartdrehen eine Halbfertig-Fläche erzeugt wird und danach durch Schleifen aus der Halbfertig-Fläche die fertige rotationssymmetrische Fläche erzeugt wird, und wobei das Verfahren so geführt wird, dass die fertige rotationssymmetrische Fläche vorgegebene Maße, vorgegebene Form- und Lagetoleranzen sowie vorgegebene Oberflächentoleranzen einhält.

**[0002]** Eine derartige Verfahren wird beispielsweise mit „STRATOS“-Maschinen betrieben, die im Firmenprospekt „STRATOS Schleifen, Hartdrehen und mehr“, Studer Schaudt GmbH, Stuttgart, 10/2002, beschrieben sind.

**[0003]** Im Maschinenbau werden in vielfältiger Weise Werkstücke mit rotationssymmetrischen Flächen benötigt, etwa in Lagern und Getrieben. Rotationssymmetrische Flächen treten beispielsweise auf als Planflächen, Konusflächen und Bohrungen, etwa an Getrieberädern.

**[0004]** Werkstücke, und damit auch die rotationssymmetrischen Flächen an Werkstücken, müssen für eine vorgesehene Verwendung, etwa den Einbau in einer Maschine, vorgegebenen Maßen und Toleranzen genügen; diese sind in der Regel in einer Konstruktionszeichnung verzeichnet. Hält ein Werkstück die vorgegebenen Toleranzen nicht ein, so ist es für die vorgesehene Verwendung unbrauchbar und muss nachbearbeitet oder verworfen werden. Für rotationssymmetrische Flächen an einem Werkstück werden typischerweise Maße, Form- und Lagetoleranzen und Oberflächentoleranzen vorgegeben.

**[0005]** Rotationssymmetrische Flächen werden im Stand der Technik, beispielsweise mit einer oben erwähnten STRATOS-Maschine, durch eine Kombination von Hartdrehen und nassem Schleifen gefertigt. Dabei erfolgt durch das Hartdrehen zunächst eine grobe Vorbearbeitung des Werkstücks, wobei noch ein erhebliches Aufmass (meist um 1/10 mm) verbleibt. Die nach dem Hartdrehen vorliegende Halbfertig-Fläche hält weder die vorgegebenen Maße einschließlich der Form- und Lagetoleranzen, noch die vorgegebenen Oberflächentoleranzen ein. Erst durch das nachfolgende Nassschleifen wird die Einhaltung der vorgegebenen Maße und Toleranzen bei der fertigen rotationssymmetrischen Fläche erreicht.

**[0006]** Nachteilig bei diesem Verfahren sind die hohen Kosten bei der nassen Schleifbearbeitung, insbesondere durch den Verbrauch an Kühlschmierstoff und durch den Verschleiß an der Schleifschneide.

**Aufgabe der Erfindung**

**[0007]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren vorzustellen, mit dem rotationssymmetrische Flächen an einem Werkstück mit weniger Kosten hergestellt werden können.

**Kurze Beschreibung der Erfindung**

**[0008]** Diese Aufgabe wird auf überraschend einfache, aber wirkungsvolle Art gelöst durch ein Verfahren der eingangs genannten Art, das dadurch gekennzeichnet ist, dass das Hartdrehen als trockenes Hartdrehen ausgeführt wird, wobei die durch das Hartdrehen erzeugte Halbfertig-Fläche bereits die vorgegebenen Maße sowie die vorgegebenen Form- und Lagetoleranzen einhält, und dass das nachfolgende Schleifen als trockenes Schlichtschleifen ausgeführt wird.

**[0009]** Im Rahmen der Erfindung erfolgt der allergrößte Teil des Materialabtrags am Werkstück schon beim Hartdrehen, und der Materialabtrag beim Schleifen wird auf ein Minimum reduziert. Dies wird dadurch möglich, dass das Hartdrehen mit einer so großen Präzision (Präzisionshartdrehen) geführt wird, dass die vorgegebenen Maße einschließlich zumindest der Form- und Lagetoleranzen der zu fertigenden rotationssymmetrischen Fläche bereits an der Halbfertig-Fläche eingehalten werden. Dazu wird eine Drehmaschine mit hoher Maschinensteifigkeit, kurzem Kraftfluss und geringen Eigenschwingungen eingesetzt; ein temperaturisolierter Spänetrichter sowie ein Monoblock-Maschinenbett und ein kompletter Maschinenfahrständer in Mineralguss können ebenfalls zur Einhaltung der erforderlichen Fertigungsgenauigkeit beitragen. Beim anschließenden Schleifen braucht das Werkstück nur noch so weit nachbearbeitet werden, dass auch alle vorgegebenen Oberflächentoleranzen eingehalten werden, wozu ein sehr geringer Materialabtrag genügt, meist mit weniger als 5 µm Schleifabtrag (d. h. Zustellweg der Schleifschneide ab Kontakt der Schleifschneide zur Materialoberfläche des Werkstücks). Die vorgegebenen Oberflächentoleranzen geben in der Regel maximal zulässige Oberflächenrauigkeiten und maximal zulässige Oberflächenwelligkeiten sowie einen Typ von Oberflächenstruktur (gerichtet/ungerichtet, evtl. mit maximalem Ausrichtungsgrad) vor.

**[0010]** In aller Regel dient das Schlichtschleifen im Rahmen der Erfindung nur der Einstellung einer gewünschten Oberflächenstruktur (nämlich einer ungerichteten Oberflächenstruktur, wie sie für das Schleifen typisch ist) und/oder dem Reduzieren der Oberflächenwelligkeit. Beim herkömmlichen Hartdrehen entsteht eine gerichtete Oberflächenstruktur, welche Rillen ausbilden kann. Für viele Anwendungen sind solche Rillen am Werkstück unerwünscht, da sie beispielsweise zum Ausfördern von Schmieröl führen

können. Durch Hartdrehen mit einer geometrisch bestimmten Schneide kann auch eine periodische Oberflächenwelligkeit entstehen. Die periodische Oberflächenwelligkeit ist ebenfalls für viele Anwendungen unerwünscht, da sie zu Werkstückvibrationen führen kann. Falls beim Hartdrehen des Werkstücks Randzonenbeschädigungen (etwa Neuhärtungs- und Anlasszonen an der Werkstückoberfläche) aufgetreten sind, können diese ebenfalls durch das Schlichtschleifen entfernt werden.

**[0011]** Aufgrund des geringen Materialabtrags beim dem Hartdrehen nachfolgenden Schlichtschleifen kann auf den Einsatz eines Kühlschmiermittels beim Schleifen verzichtet werden. Die beim Schlichtschleifen entstehende Prozesswärme ist vernachlässigbar bzw. kann auch durch das Werkstück selbst und die umgebende Luft abgeführt werden; Materialschäden in Form von Neuhärtungs- oder Anlasszonen werden durch das Schlichtschleifen nicht eingebracht. Ein übliches Zeitspanvolumen beim Schlichtschleifen im Rahmen der Erfindung beträgt dabei 0,05 bis 0,2 mm<sup>3</sup>/(mm·s), bevorzugt 0,1 mm<sup>3</sup>/(mm·s). Ebenfalls ist die Standzeit der Schleifschneide erhöht, da beim Schleifen je Werkstück weniger Material abgetragen zu werden braucht.

**[0012]** Bei herkömmlichem (grobem) Hartdrehen und Nassschleifen entfallen ca. 14–17% der Fertigungskosten eines Werkstücks auf den Gebrauch von Kühlschmierstoffen und deren Wartung sowie Entsorgung; diese Kosten können durch die Erfindung eingespart werden. Durch den Verzicht auf flüssiges Kühlmittel wird auch der Flächenbedarf der Werkstückbearbeitung verringert (insbesondere keine Kühlmittelaufbereitungs- oder Filteranlage), die Umwelt wird entlastet (Keine Kühlschmierstoffentsorgung nötig) und eine Gesundheitsgefährdung der Fertigungsmitarbeiter wird vermieden (mögliche Hauterkrankungen durch Kontakt mit Kühlschmierstoffen).

**[0013]** Im Rahmen der Erfindung findet zwischen (Präzisions-)Hartdrehen und Schlichtschleifen kein weiterer Materialabtrag durch andere Bearbeitungsverfahren statt.

Bevorzugte Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens

**[0014]** Bei einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die für die fertige rotationssymmetrische Fläche vorgegebenen Oberflächentoleranzen eine vorgegebene Oberflächenrauigkeit, eine vorgegebene Oberflächenwelligkeit und eine vorgegebene Oberflächenstruktur umfassen, und dass erst durch das Schlichtschleifen die vorgegebene Oberflächenrauigkeit, die vorgegebene Oberflächenwelligkeit und die vorgegebene Oberflächenstruktur der fertigen rotations-

symmetrischen Fläche hergestellt werden. Bei dieser Variante beschränken sich die Präzisionsanforderungen an das Hartdrehen auf die Einhaltung der vorgegebenen Maße sowie der Form- und Lagetoleranzen, was die Verfahrensführung vereinfacht und den apparativen Aufwand verringert.

**[0015]** Eine alternative, ebenfalls bevorzugten Verfahrensvariante ist dadurch gekennzeichnet, dass die für die fertige rotationssymmetrische Fläche vorgegebenen Oberflächentoleranzen eine vorgegebene Oberflächenrauigkeit, eine vorgegebene Oberflächenwelligkeit und eine vorgegebene Oberflächenstruktur umfassen, dass die durch das Hartdrehen erzeugte Halbfertig-Fläche auch bereits die vorgegebene Oberflächenrauigkeit einhält, und dass durch das nachfolgende Schlichtschleifen die vorgegebene Oberflächenwelligkeit und die vorgegebene Oberflächenstruktur der fertigen rotationssymmetrischen Fläche hergestellt werden. Bei dieser Variante ist der Aufwand (und Materialabtrag) beim trockenen Schlichtschleifen minimiert, so dass dieses Verfahren besonders schnell und verschleißarm für die Schleifschneide ist.

**[0016]** Bei einer vorteilhaften Verfahrensvariante erfolgen das Hartdrehen und das Schlichtschleifen auf derselben Drehmaschine und in derselben Aufspannung des Werkstücks. Dadurch kann Umrüstzeit eingespart werden; die Bearbeitung des Werkstücks ist besonders schnell.

**[0017]** Bevorzugt ist weiterhin eine Verfahrensvariante, bei der für den Schleifabtrag SA des Schlichtschleifens gilt:  $SA \leq 10 \mu\text{m}$ , bevorzugt  $SA \leq 5 \mu\text{m}$ , und besonders bevorzugt  $SA \leq 2 \mu\text{m}$ . Ein Schleifabtrag in dieser Größenordnung reicht im erfindungsgemäßen Verfahren aus, um rotationssymmetrische Flächen an Werkstücken mit üblichen Genauigkeitsanforderungen (Toleranzbändern) zu fertigen.

**[0018]** Bevorzugt ist auch eine Verfahrensvariante, bei der für die Rauhtiefe  $R_z$  der Halbfertig-Fläche gilt:  $R_z \leq 5 \mu\text{m}$ . Wird das Hartdrehen so genau geführt, dass die Rauhtiefe danach schon so gering ist wie in dieser Variante angegeben, so ist regelmäßig die Einhaltung der gesamten Oberflächentoleranzen bei sehr geringem Materialabtrag im Schlichtschleifen möglich.

**[0019]** Besonders bevorzugt ist dabei eine Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem für den Schleifabtrag SA des Schlichtschleifens und die Rauhtiefe  $R_z$  der Halbfertig-Fläche gilt:  $SA \leq R_z$ . Mit anderen Worten beschränkt sich in dieser Variante der Materialabtrag beim Schlichtschleifen auf das Abtragen von Spitzen im Oberflächenprofil. Dies ist bei besonders geringem Verschleiß für die Schleifschneide möglich; Vollmaterial wird nicht abgetragen. Der Traganteil der Oberfläche kann somit gesteigert

werden.

**[0020]** Vorteilhaft ist weiterhin eine Verfahrensvariante, bei der durch das Schlichtschleifen Randzonenbeschädigungen von der Halbfertig-Fläche abgetragen werden. Randzonenbeschädigungen (etwa Neuhärtungs- und Anlasszonen), die beim Hartdrehen entstanden sind (etwa durch lokale Werkstückwärmung), reichen in der Regel nur geringfügig ins Material hinein (ca. 1–2 µm) und können somit im Rahmen des Schlichtschleifens beseitigt werden; durch Abtrag der Randzonenbeschädigung können die Oberflächeneigenschaften (insbesondere die Härte und Abriebfestigkeit) vereinheitlicht und verbessert werden.

**[0021]** Ganz besonders bevorzugt ist eine Verfahrensvariante, bei der das Hartdrehen mit einer geometrisch bestimmten Schneide, insbesondere einer CBN-Schneide, erfolgt. CBN-Schneiden (CBN = kubisches Bornitrid) sind in der Praxis als verschleißarm bewährt und wegen ihrer großen Härte für die Bearbeitung vieler Materialien geeignet.

**[0022]** Eine bevorzugte Weiterentwicklung dieses Verfahrens sieht vor, dass durch das Schlichtschleifen eine periodisch auftretende Welligkeit der Halbfertig-Fläche verkürzt und vermindert wird. Häufig wird nach dem Hartdrehen mit einer geometrisch bestimmten Schneide eine Oberflächenwelligkeit registriert, die über der zulässigen (vorgegebenen) Toleranz liegt. Durch das Schlichtschleifen kann diese leicht beseitigt werden.

**[0023]** Bevorzugt ist es weiterhin, wenn das Schlichtschleifen mit einer geometrisch unbestimmten Schneide, insbesondere einer CBN-Schneide oder einer PKD-Schneide, erfolgt. Die Schleifpartikel von geometrisch unbestimmten Schleifschneiden sorgen für eine oftmals erwünschte ungerichtete Oberflächenstruktur. Die geometrisch unbestimmte Schneide kann insbesondere ausgebildet sein als Schleifscheibe, Schleifdorn, oder Kombischleifscheibe mit geradem und konischem Abschnitt. Die Materialien CBN und PKD (PKD = polykristalliner Diamant) haben sich in der Praxis als verschleißarm bewährt und können wegen der großen Härte für die Bearbeitung vieler Werkstückmaterialien eingesetzt werden.

**[0024]** Besonders bevorzugt ist eine Verfahrensvariante, bei der das Schlichtschleifen als Einstech-Schlichtschleifen nur durch Anlegen einer Schleifschneide an die Halbfertig-Fläche erfolgt. Dieses Vorgehen ermöglicht eine besonders hohe Fertigungsgenauigkeit beim Schlichtschleifen. Die Schleifschneide (der Schleifkörper) wird dabei im Wesentlichen senkrecht zur lokalen Oberfläche des Werkstücks bewegt (zugestellt), und insbesondere nicht parallel zur lokalen Oberfläche vorgeschoben.

Für die Fertigung größerer Flächen wird die Schleifschneide gegebenenfalls mehrfach angesetzt. Als Alternative zu dieser Variante kann jedoch auch eine Bewegung der Schleifschneide parallel zur lokalen Oberfläche (meist in der axialen z-Richtung) im eingestochenen Zustand erfolgen.

**[0025]** Bei einer vorteilhaften Weiterentwicklung dieser Verfahrensvariante ist die Schleifschneide mittels piezoelektrischen Elementen geführt. Durch die piezoelektrischen Elemente ist der zeitliche Kräfteverlauf beim Schlichtschleifen präzise einstellbar; die Steuerung kann als kraftgeführtes Schleifen erfolgen.

**[0026]** Bei einer anderen vorteilhaften Weiterentwicklung der obigen Verfahrensvariante ist die Schleifschneide an einem elastisch nachgiebigen Element ausgebildet. Über das elastisch nachgiebige Element bzw. dessen Positionierung relativ zum Werkstück kann eine Kontrolle der Schneidkraft erfolgen. Die erwartete Biegung des elastisch nachgiebigen Elements wird dabei in Gestaltung und Ausrichtung der Schleifschneide einbezogen, um die zu fertigende Geometrie des Werkstücks präzise wahren zu können.

**[0027]** Bevorzugt ist weiterhin eine Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei der die Form- und Lagetoleranzen jeweils ein Toleranzband mit einer Breite TBB aufweisen, wobei gilt:  $TBB \leq 20 \mu\text{m}$ , bevorzugt  $TBB \leq 10 \mu\text{m}$ , und besonders bevorzugt  $TBB \leq 2 \mu\text{m}$ . Man beachte, dass die Halbfertig-Fläche bereits die Form- und Lagetoleranzen einhält. Der Schleifabtrag SA im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dann erfindungsgemäß betragsmäßig kleiner als die Breite des Toleranzbandes TBB im selben lokalen Bereich des Werkstücks, ansonsten würden durch den Schleifabtrag SA die vorgegebenen Form- und Lagetoleranzen (zu denen auch absolute Ober- und Untergrenzen gehören, etwa für einen Radius) wieder verlassen.

**[0028]** Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante umfassen die Form- und Lagetoleranzen Toleranzen bezüglich Rundheit und/oder Zylindrizität und/oder Konizität. Mit diesen Angaben lassen sich die meisten rotationssymmetrischen Flächen ausreichend gut beschreiben.

**[0029]** Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter ausgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Zeichnung und detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0030]** Die Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigt:

**[0031]** [Fig. 1](#) eine schematische Ansicht eines Werkstücks, an dem mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine rotationssymmetrische Fläche gefertigt wird;

**[0032]** [Fig. 2a](#) das Ergebnis einer Profilmessung bei einer rotationssymmetrischen Fläche nach einem erfindungsgemäßen Hartdrehen;

**[0033]** [Fig. 2b](#) das Ergebnis einer Profilmessung bei einer rotationssymmetrischen Fläche nach einem erfindungsgemäßen Trockenschleifen;

**[0034]** [Fig. 3](#) eine schematische Querschnittsansicht einer Kombischleifscheibe zur Verwendung im Rahmen der Erfindung;

**[0035]** [Fig. 4](#) eine schematische Ansicht einer Schleifscheibe an einem elastisch nachgiebigem Element.

**[0036]** Die [Fig. 1](#) illustriert in stark schematisierter Querschnittsdarstellung den Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Fertigung einer rotationssymmetrischen Fläche an einem Werkstück **1**. Die zu fertigende rotationssymmetrische Fläche ist eine radial äußere Fläche des bezüglich einer Achse A rotationssymmetrischen, scheibenförmigen Werkstücks **1**. Man beachte die radiale Richtung r. In [Fig. 1](#) ist zur Vereinfachung nur eine Hälfte des Werkstücks gezeigt.

**[0037]** Für die zu fertigende rotationssymmetrische Fläche besteht eine Maßvorgabe einschließlich einer Form- und Lagetoleranz-Vorgabe, was sich insbesondere in einem einzuhaltenden Bereich des Radius der zu fertigenden Fläche zwischen den absoluten Radiuswerten  $r_{min}$  und  $r_{max}$  über die dargestellte axiale Länge manifestiert, vgl. auch die gestrichelten Linien. Der Abstand zwischen  $r_{min}$  und  $r_{max}$  stellt eine Toleranzbandbreite TBB bezüglich des Radius der zu fertigenden Fläche dar.

**[0038]** Das Werkstück **1** beginnt das Verfahren als Rohteil mit einer radial äußeren Roh-Fläche **2**. Im ersten erfindungsgemäßen Verfahrensschritt erfolgt ein trockenes Präzisions-Hartdrehen. Am Ende dieses Hartdrehens weist das Werkstück **1** die Halbfertig-Fläche **3** auf. Erfindungsgemäß hält die Halbfertigfläche **3** schon die Maßvorgabe einschließlich vorgegebener Form- und Lagetoleranzen ein: Der Radius der Halbfertig-Fläche liegt überall zwischen  $r_{min}$  und  $r_{max}$ .

**[0039]** Allerdings weist die Halbfertig-Fläche **3** noch eine unerwünschte periodische Welligkeit entlang der axialen Richtung A auf (Man beachte, dass die Gestalt der Oberfläche in [Fig. 1](#) übertrieben dargestellt ist). Gemäß den Vorgaben zu den einzuhaltenden Oberflächentoleranzen muss diese Welligkeit noch beseitigt werden.

**[0040]** An das Hartdrehen schließt sich nun ein trockenes Schlichtschleifen an. Bei diesem Schlichtschleifen erfolgt noch ein minimaler Materialabtrag, entsprechend dem Schleifabtrag SA. Der Schleifabtrag SA wird gemessen vom ersten Kontakt einer Schleifschneide bis zum Ende der Zustellung der Schleifschneide zum Werkstück. Der erste Kontakt der Schleifschneide mit der halbfertigen Fläche **3** kann beispielsweise akustisch bestimmt werden.

**[0041]** Beim Schlichtschleifen in [Fig. 1](#) wird nur die Oberflächenwelligkeit der Halbfertigfläche **3** abgetragen. Nach dem Ende des Schlichtschleifens liegt am Werkstück **1** die fertige rotationssymmetrische Fläche **4** vor.

**[0042]** Die fertige rotationssymmetrische Fläche **4** hält nicht nur die vorgegebenen Maße einschließlich der vorgegebenen Form- und Lagetoleranzen (hier repräsentiert durch den Bereich zwischen  $r_{min}$  und  $r_{max}$  des Radius) ein, sondern ist auch frei von Oberflächenwelligkeit, so dass auch die vorgegebenen Oberflächentoleranzen für das fertige Werkstück **1** eingehalten werden. Da die vorgegebenen Maße einschließlich Form- und Lagetoleranzen bereits vor dem Schlichtschleifen eingehalten wurden, konnte der Schleifabtrag SA sehr gering gehalten werden. Tatsächlich muss sogar im erfindungsgemäßen Verfahren der Schleifabtrag SA gering gehalten werden: ein großer Schleifabtrag SA nach dem „Hartdrehen auf Maß“ würde wieder zum Verlassen der vorgegebenen Maße und/oder zum Verlassen der Toleranzbandbreite der vorgegebenen Form- und Lagetoleranzen nach unten führen; das Werkstück würde unweigerlich und unwiederbringlich zu klein werden.

**[0043]** [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) illustrieren die erfindungsgemäße Einstellung der Oberflächenstruktur an einer rotationssymmetrischen Fläche (Außenmantelfläche) eines kreiszylindrischen Werkstücks.

**[0044]** Das Werkstück wurde zunächst erfindungsgemäß mit einem Präzisionshartdrehen bearbeitet. Die nach dem Hartdrehen vorliegende Fläche weist das Oberflächenprofil gemäß dem Diagramm von [Fig. 2a](#) auf (Rechtswertachse: axiale Position gemessen über 4,80 mm, Hochwertachse: radiale Position). Es sind regelmäßig beabstandete Spitzen und Täler erkennbar. Die Rauhtiefe (Intervallbreite Spitze zu Tal) beträgt ca. 1,5  $\mu\text{m}$ . Es liegt eine gerichtete Oberflächenstruktur vor.

**[0045]** Nach dem Trockenschleifen weist das Werkstück das in [Fig. 2b](#) dargestellte Oberflächenprofil auf (die Bemaßungen von [Fig. 2b](#) und [Fig. 2a](#) sind gleich). Bis auf wenige einzelne Spitzen und Täler ist die Rauhtiefe nach dem Trockenschleifen vergleichbar mit der Rauhtiefe nach dem Präzisionsharddrehen, jedoch besteht keine Regelmäßigkeit mehr im Wechsel zwischen Spitzen und Tälern. Dies ist eine Folge der unregelmäßigen, gekörnten Oberfläche der Schleifschneide. Es liegt eine ungerichtete Oberflächenstruktur (stochastische Oberfläche) vor.

**[0046]** Durch das Präzisionsharddrehen können die Maße einer rotationssymmetrischen Fläche mitsamt Form- und Lagetoleranzen genauso exakt eingestellt werden wie mit Schleifen. Die Einstellung der Oberflächentoleranzen (insbesondere bezüglich Welligkeit und Struktur) jedoch bleibt erfindungsgemäß dem Schlichtschleifen überlassen. Ein Schleifabtrag SA, der ungefähr der Rauhtiefe  $R_z$  nach dem Harddrehen entspricht, erzeugt bereits eine völlig neue Oberflächenstruktur.

**[0047]** Die [Fig. 3](#) zeigt schematisch ein stiftartiges Schleifwerkzeug, welches im Rahmen der Erfindung eingesetzt werden kann. Das Schleifwerkzeug weist einen Aufnahmestift **31** auf, mit dem das Schleifwerkzeug in einer Werkzeugspindel bzw. dessen Spannfutter gehalten und rotiert werden kann. Am unteren Ende des Schleifwerkzeugs befinden sich zwei Schleifschneiden-Abschnitte. Der obere, zylindermantelartige Abschnitt **32** ist für Bohrungsschleifen ausgebildet, und der untere, kegelmantelartige Abschnitt ist für Konusschleifen ausgebildet. Beide Schleifschneiden-Abschnitte **32**, **33** sind mit CBN-Schleifpartikel (Körnern) mit einer Partikelgröße von ca. 0,5–1  $\mu\text{m}$  besetzt. Beide Schleifschneidenabschnitte **32**, **33** stellen geometrisch unbestimmte Schneiden dar.

**[0048]** [Fig. 4](#) zeigt stark schematisiert die erfindungsgemäße Bearbeitung eines Werkstücks **1** mit einer geometrisch unbestimmten Schleifschneide **41**. Das Werkstück **1** weist eine zu bearbeitende, rotationssymmetrische Halbfertigfläche **3** auf und ist drehbar um die Achse A in einer Werkstückspindel (nicht dargestellt) gelagert.

**[0049]** Die Schleifschneide **41** ist an einem elastisch nachgiebigen Element **42** befestigt; das elastisch nachgiebige Element **42** ist hier eine Welle, die die Schleifschneide **41** mit einem Spannfutter **43** verbindet. Durch das Spannfutter **43** kann die Schleifschneide **41** in Rotation **44** versetzt werden. Das Spannfutter **43** ist weiterhin in zwei Richtungen horizontal (x) und vertikal (z) verfahrbar. Im kräftefreien Zustand wäre das Element **42** gerade.

**[0050]** Im gezeigten Zustand ist das elastisch nachgiebige Element **42** jedoch leicht durchgebogen, wo-

durch eine elastische Kraft aufgebracht wird, die die Schleifschneide **41** an das Werkstück **1** presst. Durch die x-Position des Spannfutters **43** kann (bei bekanntem E-Modul des Elements **42**) der Anpressdruck der Schleifschneide **41** eingestellt werden. Erfindungsgemäß werden dabei die Geometrie von Schleifschneide **41** und Element **42** sowie die elastischen Eigenschaften des elastisch nachgiebigen Elements **42** (d. h. die Geometrie bei Durchbiegung unter Last) berücksichtigt, um eine präzise Bearbeitung des Werkstücks **1** bzw. der zu fertigenden rotationssymmetrischen Fläche zu gewährleisten. Man beachte, dass die Durchbiegung des elastischen Elements **42** stark übertrieben in [Fig. 4](#) dargestellt ist.

**[0051]** Während die Schleifschneide **41** mit dem Werkstück **1** in Kontakt ist, wird diese bevorzugt nur in x-Richtung (d. h. im Wesentlichen senkrecht zur zu bearbeitenden Werkstückoberfläche **3**) zugestellt. Um die Halbfertig-Fläche **3** über ihre gesamte Erstreckung zu bearbeiten, wird die Schleifschneide **41** bevorzugt nur im vom Werkstück **1** abgehobenen Zustand in z-Richtung (d. h. im Wesentlichen parallel zur Oberfläche **3**) verfahren. Dies verbessert die Kontrolle über den Schleifvorgang, und insbesondere die Kontrolle über den lokalen Schleifabtrag.

**[0052]** Zusammenfassend beschreibt die Erfindung ein Verfahren zur Fertigung einer rotationssymmetrischen Fläche an einem Werkstück, wobei das Werkstück zunächst mittels Harddrehen auf die Endmaße abgedreht wird (entsprechend den Toleranzvorgaben für Form und Lage), und in einem anschließenden Trockenschleifen nur noch eine Oberflächenbehandlung vorgenommen wird, die die Maße des Werkstücks nicht mehr merklich verändert. Der Schleifabtrag bleibt unter der Breite des Toleranzbandes für die Maße. Dadurch kann auf Kühlschmierstoffe beim Schleifen verzichtet werden, was die Fertigungskosten senkt sowie die Umwelt und die Gesundheit von Mitarbeitern schont.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- „STRATOS Schleifen, Hartdrehen und mehr“, Studer Schaudt GmbH, Stuttgart, 10/2002 [\[0002\]](#)

## Patentansprüche

SA ≤ 2 µm.

1. Verfahren zur Fertigung einer rotationssymmetrischen Fläche an einem Werkstück (1), wobei zur Fertigung der rotationssymmetrischen Fläche am Werkstück (1) zunächst durch Hartdrehen eine Halbfertig-Fläche (3) erzeugt wird und danach durch Schleifen aus der Halbfertig-Fläche (3) die fertige rotationssymmetrische Fläche (4) erzeugt wird, und wobei das Verfahren so geführt wird, dass die fertige rotationssymmetrische Fläche (4) vorgegebene Maße, vorgegebene Form- und Lagetoleranzen sowie vorgegebene Oberflächentoleranzen einhält, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Hartdrehen als trockenes Hartdrehen ausgeführt wird, wobei die durch das Hartdrehen erzeugte Halbfertig-Fläche (3) bereits die vorgegebenen Maße sowie die vorgegebenen Form- und Lagetoleranzen einhält, und dass das nachfolgende Schleifen als trockenes Schlichtschleifen ausgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die für die fertige rotationssymmetrische Fläche (4) vorgegebenen Oberflächentoleranzen eine vorgegebene Oberflächenrauigkeit, eine vorgegebene Oberflächenwelligkeit und eine vorgegebene Oberflächenstruktur umfassen, und dass erst durch das Schlichtschleifen die vorgegebene Oberflächenrauigkeit, die vorgegebene Oberflächenwelligkeit und die vorgegebene Oberflächenstruktur der fertigen rotationssymmetrischen Fläche hergestellt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die für die fertige rotationssymmetrische Fläche (4) vorgegebenen Oberflächentoleranzen eine vorgegebene Oberflächenrauigkeit, eine vorgegebene Oberflächenwelligkeit und eine vorgegebene Oberflächenstruktur umfassen, dass die durch das Hartdrehen erzeugte Halbfertig-Fläche (3) auch bereits die vorgegebene Oberflächenrauigkeit einhält, und dass durch das nachfolgende Schlichtschleifen die vorgegebene Oberflächenwelligkeit und die vorgegebene Oberflächenstruktur der fertigen rotationssymmetrischen Fläche hergestellt werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Hartdrehen und das Schlichtschleifen auf derselben Drehmaschine und in derselben Aufspannung des Werkstücks (1) erfolgen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für den Schleifabtrag SA des Schlichtschleifens gilt: SA ≤ 10 µm, bevorzugt SA ≤ 5 µm, und besonders bevorzugt

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Rauhtiefe  $R_z$  der Halbfertig-Fläche gilt:  $R_z \leq 5 \mu\text{m}$ .

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für den Schleifabtrag SA des Schlichtschleifens und die Rauhtiefe  $R_z$  der Halbfertig-Fläche gilt: SA ≤  $R_z$ .

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch das Schlichtschleifen Randzonenbeschädigungen von der Halbfertig-Fläche (3) abgetragen werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Hartdrehen mit einer geometrisch bestimmten Schneide, insbesondere einer CBN-Schneide, erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass durch das Schlichtschleifen eine periodisch auftretende Welligkeit der Halbfertig-Fläche (3) verkürzt und vermindert wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Schlichtschleifen mit einer geometrisch unbestimmten Schneide (41), insbesondere einer CBN-Schneide oder einer PKD-Schneide, erfolgt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Schlichtschleifen als Einstech-Schlichtschleifen nur durch Anlegen einer Schleifschneide (41) an die Halbfertig-Fläche (3) erfolgt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Schleifschneide (41) mittels piezoelektrischen Elementen geführt ist.

14. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Schleifschneide (41) an einem elastisch nachgiebigen Element (42) ausgebildet ist.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Form- und Lagetoleranzen jeweils ein Toleranzband mit einer Breite TBB aufweisen, wobei gilt: TBB ≤ 20 µm, bevorzugt TBB ≤ 10 µm, und besonders bevorzugt TBB ≤ 2 µm.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Form- und Lagetoleranzen umfassen Toleranzen bezüglich – Rundheit – und/oder Zylindrizität

– und/oder Konizität.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

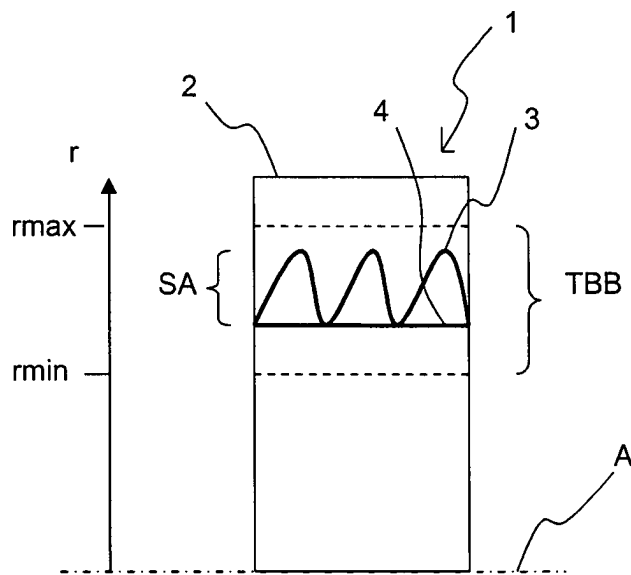


Fig. 1

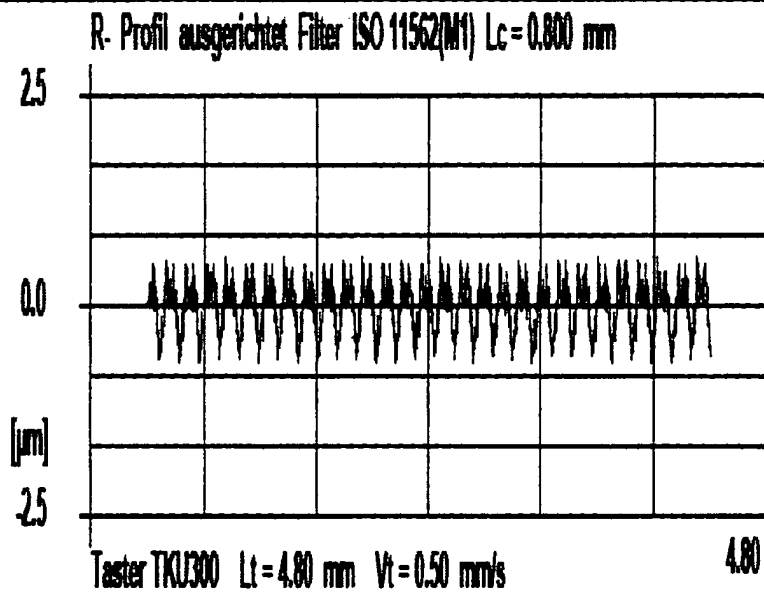


Fig. 2a

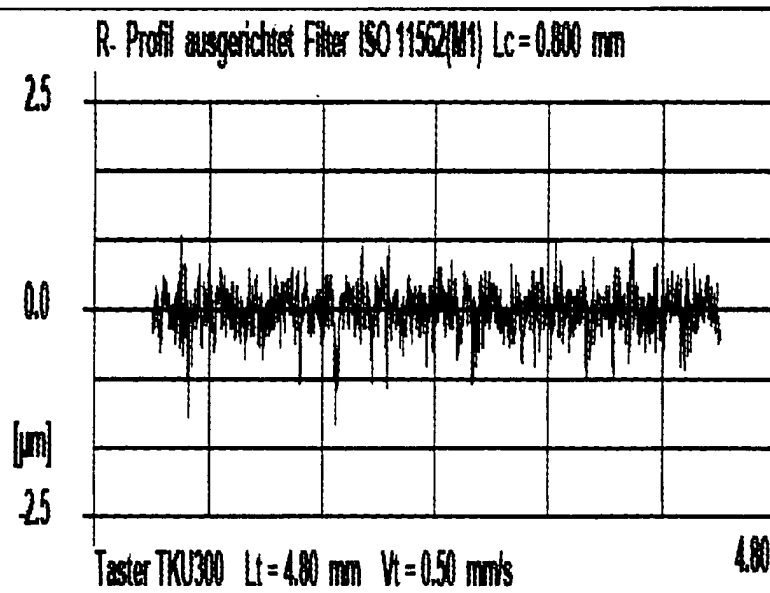


Fig. 2b

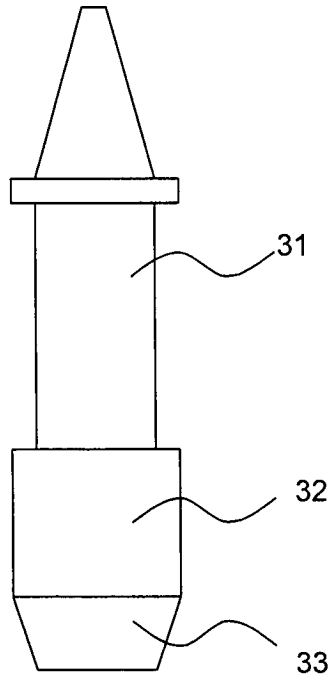


Fig. 3

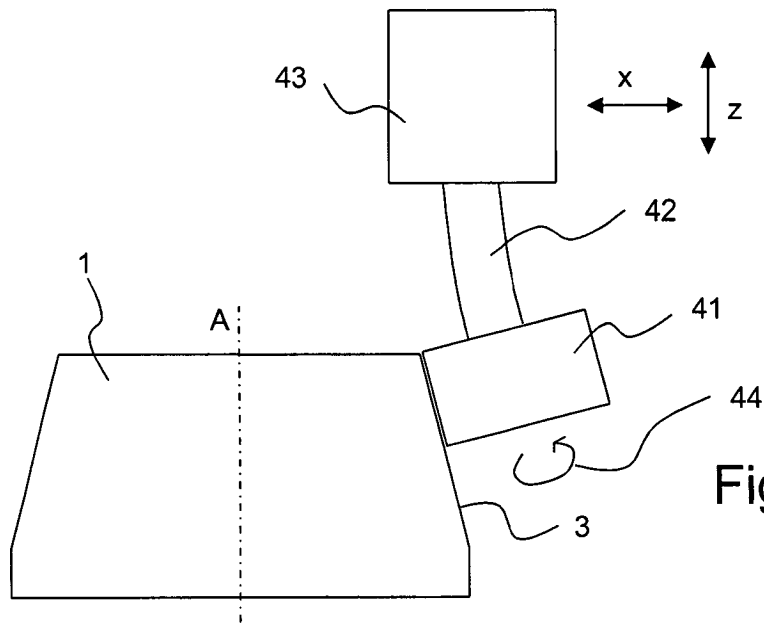


Fig. 4