

(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
14. Januar 2016 (14.01.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/005133 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/08 (2014.01) B23K 26/364 (2014.01)
B23K 26/362 (2014.01) B23K 26/0622 (2014.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/062898

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Juni 2015 (10.06.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 109 613.4 9. Juli 2014 (09.07.2014) DE

(71) Anmelder: EWAG AG [CH/CH]; Industriestraße 4, CH-4554 Etziken (CH).

(72) Erfinder: **PLÜSS, Christoph**; Wangelenrain 35, CH-3400 Burgdorf (CH). **FREI, Bruno**; Mühlestrasse 23, CH-3634 Thierachern (CH). **DOLD, Claus**; Möhrlistraße 103, CH-8006 Zürich (CH). **WARHANEK, Maximilian**; Leonhardstrasse 13, CH-8001 Zürich (CH). **WALTER, Christian**; Grubenstrasse 4, CH-8200 Schaffhausen (CH).

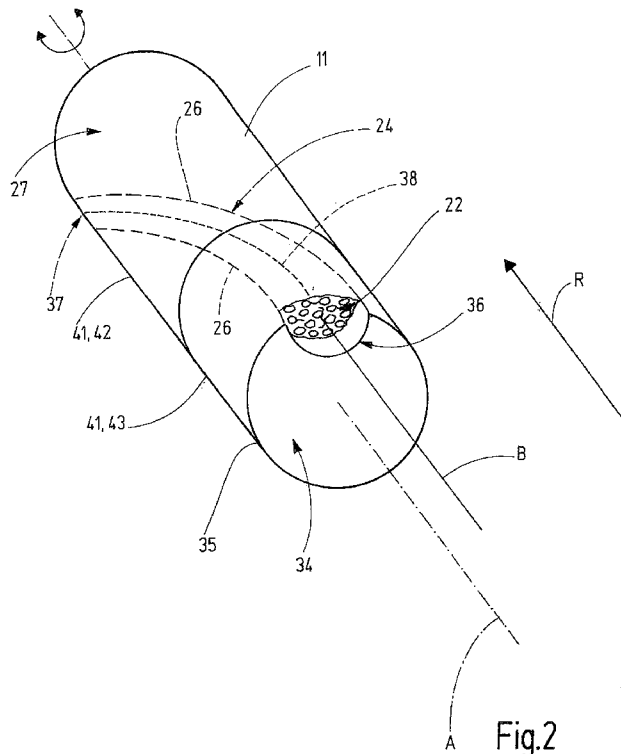
(74) Anwalt: **RÜGER, BARTHELT & ABEL**; Webergasse 3, 73728 Esslingen (DE).

(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, 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, KN, KP, KR, 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.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A WORKPIECE SURFACE ON A BAR-SHAPED WORKPIECE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER WERKSTÜCKFLÄCHE AN EINEM STABFÖRMIGEN WERKSTÜCK



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a workpiece surface (23) or a groove inner surface (25) on a bar-shaped, in particular cylindrical, workpiece (11). A rotary tool (40) is intended to be produced from the workpiece (11). The material removal to produce the workpiece surface (23) is brought about with the aid of laser beam pulses (B) which are directed via a deflecting device (14) onto impingement points (31) within a pulse area (22) with a predetermined outer contour (K) and onto the workpiece (11). Positioning between the workpiece (11) and the deflecting device (14) is obtained here via a plurality of machine axis drives (18) in such a way that the pulse area (22) is oriented substantially at right angles to the emission direction (R) of the laser beam pulses and at right angles to the portion of the workpiece surface (23) which has already been produced and adjoins the pulse area (22). During material removal, the pulse area (22) is moved via the at least one machine axis drive (18) along a predetermined movement path (38) while maintaining the orientation relative to the workpiece (11).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/005133 A1



(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).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Werkstückfläche (23) bzw. einer Nutinnenfläche (25) an einem stabförmigen, insbesondere zylindrischen Werkstück (11). Aus dem Werkstück (11) soll ein Rotationswerkzeug (40) hergestellt werden. Der Materialabtrag zur Herstellung der Werkstückfläche (23) erfolgt mit Hilfe von Laserstrahlimpulsen (B), die über eine Ablenkeinrichtung (14) auf Auftreffstellen (31) innerhalb einer Pulsfläche (22) mit einer vorgegebenen Außenkontur (K) auf das Werkstück (11) gerichtet werden. Über mehrere Maschinenachsantriebe (18) erfolgt dabei eine Positionierung zwischen dem Werkstück (11) und der Ablenkeinrichtung (14) derart, dass die Pulsfläche (22) im Wesentlichen rechtwinklig zur Abstrahlrichtung (R) der Laserstrahlimpulse und rechtwinklig zu dem Abschnitt der Werkzeugfläche (23) ausgerichtet ist, der bereits hergestellt wurde und an die Pulsfläche (22) angrenzt. Während des Materialabtrags wird über den wenigstens einen Maschinenachsantrieb (18) die Pulsfläche (22) entlang einer vorgegebenen Bewegungsbahn (38) unter Beibehaltung der Ausrichtung relativ zum Werkstück (11) bewegt.

Verfahren zur Herstellung einer Werkstückfläche an einem stabförmigen Werkstück

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Werkstückfläche unter Verwendung einer Bearbeitungsmaschine mit einem Laser, der Laserstrahlimpulse erzeugt. Die Bearbeitungsmaschine weist außerdem einen Laserkopf auf, der die Laserstrahlimpulse des Lasers auf das Werkstück richtet. Über eine Maschinenantriebseinrichtung mit wenigstens einem Maschinenachs Antrieb werden das Werkstück und der Laserkopf in wenigstens einem translatorischen und/oder rotatorischen Freiheitsgrad über den jeweils zugeordneten Maschinenachs Antrieb relativ zueinander ausgerichtet und bewegt.

Ein derartiges Bearbeitungsverfahren ist beispielsweise aus DE 2010 011 508 A1 bekannt. Dort wird bei der Bearbeitung des Werkstücks ein Rotationswerkzeug hergestellt. Die Laserstrahlimpulse des Lasers werden mit Hilfe einer Ablenkeinrichtung bzw. eines Laserscanners des Laserkopfes auf eine Pulsfläche gerichtet und innerhalb dieser Pulsfläche entlang einer vorgegebenen Pulsbahn auf Auftreffstellen gerichtet. Die Pulsfläche wird durch die Maschinenantriebseinrichtung entlang der Oberfläche des Werkstücks bewegt. Diese Relativbewegung zwischen der Pulsfläche und dem zylindrischen Werkstück erfolgt parallel zur bearbeiteten Oberfläche des Werkstücks, beispielsweise in Axialrichtung, und dabei wird Schicht für Schicht Material abgetragen. Dadurch lässt sich schichtweise die Tiefe des Materialab-

trags vergrößern, beispielsweise um eine Nut herzustellen. Die Pulsfläche bewegt sich mehrmals vom Nutanfang zum Nutende und wieder zurück zum Nutanfang, wobei diese Bewegung solange wiederholt wird, bis die Nut fertiggestellt ist.

Ein ähnliches Verfahren ist auch aus DE 10 2010 011508 A1 bekannt. Auch dort wird zur Herstellung einer Kontur an einem Werkstück, insbesondere einer Schneidkante oder einer Freifläche, eine Pulsfläche mit einer Vielzahl von Auftreffstellen für Laserstrahlimpulse definiert, die anschließend über die Maschinenachsantriebe entlang der Werkstückoberfläche bewegt wird, um einen schichtweisen Materialabtrag zu erzeugen und schließlich eine Fläche am Werkstück freizulegen.

Aus DE 10 2011 116 974 A1 ist ein Verfahren zur Laserbearbeitung eines Werkstücks bzw. Werkzeugs bekannt, an dem Schneidplatten angebracht sind, die beim Betrieb des Werkzeugs um dessen Längsachse rotierend bewegt werden. Die Schneidplatten sollen mit einer Fase versehen werden. Hierfür wird ein Laserstrahl rechtwinkelig zu der Längsachse ausgerichtet. Das Werkstück wird anschließend durch eine Drehung bewegt, so dass die Schneidplatten auf einer Kreisbahn gedreht werden, zu der der Laserstrahl tangential verläuft. Dabei sollen die mehreren angebrachten Schneidplatten am Werkstück nacheinander sozusagen in den Fokuspunkt des Lasers hineingedreht werden, wodurch aufeinanderfolgend ein Materialabtrag an den Schneidplatten erfolgt. Zu diesem Materialabtrag kann eine Bewegung in Axialrichtung überlagert werden, so dass die Fase entlang der axial verlaufenden Kante der Schneidplatte erzeugt werden kann.

EP 0 870 578 A1 beschreibt ein abrasives Werkzeug und

ein Verfahren zu dessen Herstellung. Dieses Werkzeug enthält abrasive Körner, beispielsweise aus Diamant oder anderen abrasiven, harten Materialien. In die flache Außenseite dieser abrasiven Körner 11 werden mit Hilfe eines Lasers Löcher oder Nuten hergestellt, um scharfe Ecken und Kanten zu bilden.

Das Erzeugen von Werkzeugflächen, beispielsweise Nutinnenflächen, an einem stabförmigen Werkstück mit Hilfe eines gepulsten Lasers ist schwierig. Mit Hilfe der oben beschriebenen Verfahren, bei denen eine Pulsfläche quer zur Abstrahlrichtung der Laserstrahlimpulse über die Werkstückoberfläche bewegt wird, lassen sich hohe Abtragsraten erreichen. Allerdings weisen die hergestellten Werkstückflächen, auf die die Laserstrahlimpulse auftreffen, in einigen Fällen keine ausreichend geringe Rauheit auf. Bei anderen bekannten Verfahren ist zwar die Oberflächenqualität zufriedenstellend, es werden allerdings nur kleine Abtragsraten erreicht, so dass sich diese Verfahren nur für das Entfernen von kleinen Materialvolumina eignen.

Es wird deshalb nach Verfahren gesucht, die zum einen das Herstellen einer Werkstückfläche, beispielsweise einer Nutinnenfläche, ermöglichen, die an allen Flächenabschnitten eine sehr geringe Rauheit aufweist, die ohne Nachbearbeitung der beim Materialabtrag hergestellten Werkstückfläche auskommt und außerdem hohe Materialabtragsraten ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist zur Bearbeitung ei-

nes stabförmigen Werkstücks eingerichtet. Das unbearbeitete Werkstück hat eine insgesamt zylindrische Form, wobei verschiedene Axialabschnitte unterschiedliche Querschnitte aufweisen können. Das unbearbeitete Werkstück ist insbesondere rotationssymmetrisch zu seiner Längsachse. Erst durch die Bearbeitung gemäß des erfindungsgemäßen Verfahrens, entsteht eine nicht rotationssymmetrische Form. Es kann sich nach der Bearbeitung eine zur Längsachse punktsymmetrische Querschnittsfläche ergeben. Unter zylindrischen Werkstücken sind nicht nur kreiszylindrische Werkstücke, sondern auch andere Zylinderformen zu verstehen, die eine beliebige gekrümmte und/oder eckige Querschnittskontur aufweisen.

Zur Bearbeitung des Werkstücks wird eine Bearbeitungsmaschine mit einem Laser verwendet. Der Laser erzeugt Laserstrahlimpulse, die an einen Laserkopf weitergeleitet werden. Der Laserkopf hat eine Ablenkeinrichtung, beispielsweise einen Laserscanner, und dient dazu, die Laserstrahlimpulse in eine vorgegebene Richtung abzugeben. Eine Steuereinheit steuert den Laserkopf bzw. den Laserscanner derart, dass die Laserstrahlimpulse auf Auftreffstellen innerhalb einer Pulsfläche gerichtet sind. Die Außenkontur sowie die Positionen der Auftreffstellen innerhalb der Pulsfläche werden programmiert oder können von einem Bediener aus einer vorhandenen vorprogrammierten Bibliothek ausgewählt werden. Die Laserstrahlimpulse werden dabei in einer vorgegebenen Sequenz auf die Auftreffstellen innerhalb der Pulsfläche gerichtet. Dabei kann jede Auftreffstelle innerhalb einer Sequenz einmal oder auch mehrmals nacheinander ausgewählt werden. Ist die vorgegebene Sequenz abgeschlossen, beginnt diese Sequenz von neuem oder es wird eine andere vorgegebene Sequenz ausgeführt, beispielsweise

wenn sich die Außenkontur der Pulsfläche während der Bearbeitung ändert.

Die Laserstrahlimpulse haben vorzugsweise eine Impulsdauer von kleiner als 12 ps.

Die Bearbeitungsmaschine weist außerdem eine Maschinenantriebseinrichtung mit wenigstens einem Maschinenachs Antrieb auf. Jeder Maschinenachs Antrieb ist dazu eingerichtet, den Laserkopf und eine Spanneinrichtung für das Werkstück relativ zueinander in einem Freiheitsgrad zu bewegen. Vorzugsweise sind mehrere Maschinenachs Antriebe vorhanden, so dass die Relativbewegung zwischen dem Werkstück und dem Laserkopf in mehreren Freiheitsgraden erfolgen kann. Die Freiheitsgrade können translatorisch oder rotatorisch sein. Insgesamt sind somit bis zu sechs Freiheitsgrade möglich, von denen bis zu drei Freiheitsgrade jeweils rotatorisch oder translatorisch sein können.

Während somit der Laserkopf bzw. der Laserscanner jeweils den Laser auf die Auftreffstellen innerhalb der vorgegebenen Pulsfläche richtet, erfolgt gleichzeitig eine Positionierung und/oder Ausrichtung und/oder Bewegung der Spanneinrichtung mit dem Werkstück durch die Maschinenantriebseinrichtung relativ zum Laserkopf bzw. zum Fokusbereich, in dem der Laserkopf die Pulsfläche erzeugt.

Bei dem Verfahren wird das Werkstück in eine Ausgangsposition relativ zum Laserkopf gebracht. Die Ausgangsposition hängt davon ab, was für eine Werkstückfläche am Werkstück hergestellt werden soll. Dabei kann die Längsachse des Werkstücks parallel oder unter einem Neigungswinkel von insbesondere kleiner als 90° gegenüber der Abstrahlrichtung

der Laserstrahlimpulse ausgerichtet sein. Als Abstrahlrichtung der Laserstrahlimpulse ist in dieser Anmeldung eine Richtung ausgehend vom Laserkopf parallel zu dessen optischer Achse zu verstehen. Die Laserstrahlimpulse verlaufen im Wesentlichen parallel zu dieser optischen Achse, können jedoch abhängig vom Abstand der Pulsfläche zum Laserkopf und der Größe der Pulsfläche rechtwinklig zur optischen Achse gesehen auch schräg ausgerichtet sein, wobei diese Winkel gegenüber der optischen Achse weniger als 10° und vorzugsweise weniger als 5° betragen.

Vor, während oder unmittelbar nach dem Positionieren des Werkstücks in der Ausgangsposition wird die Pulsfläche für die Bearbeitung vorgegeben oder ausgewählt, wobei sich die Pulsfläche im Laufe der Bearbeitung ändern kann. Zu der Pulsfläche gehört das Vorgeben bzw. Auswählen der Außenkontur sowie der innerhalb der Pulsfläche angeordnete Auftreffstellen und/oder der Sequenz bzw. Reihenfolge, in der ein Laserstrahlimpuls auf die Auftreffstellen gerichtet wird.

Wenn die Pulsfläche für die Bearbeitung vorgegeben oder ausgewählt wurde und sich das Werkstück in der Ausgangsposition befindet, werden die Laserstrahlimpulse über den Laser erzeugt und durch eine entsprechende Steuerung des Laserkopfes in der vorgegebenen Weise auf die Auftreffstellen der Pulsfläche abgegeben. Dabei befindet sich die Pulsfläche an der Stelle des Werkstücks, an der der aktuelle Materialabtrag erfolgen soll. Das Material wird durch Laserablation entfernt.

Dabei ist es entscheidend, dass während des Materialabtrags die Laserstrahlimpulse ausschließlich tangential zu

einer durch die Bearbeitung herzustellenden Werkstückfläche ausgerichtet sind. Unter „tangential“ ist hier zu verstehen, dass die tatsächliche Ausbreitungsrichtung eines Laserstrahlimpulses maximal um den Divergenzwinkel im Fernfeld und vorzugsweise maximal um den halben Divergenzwinkel im Fernfeld von der Tangente abweicht, die an der aktuellen Materialabtragsstelle an die hergestellte bzw. herzustellende Werkstückfläche angelegt ist. Der Divergenzwinkel ist der Öffnungswinkel des Laserstrahls bzw. Laserstrahlimpulses zwischen der Fokusebene an der Pulsfläche und einer Fokussieroptik des Laserkopfes.

Mit anderen Worten wird die Werkstückfläche, beispielsweise eine Nutinnenfläche, dadurch erzeugt, dass das Material entlang der herzustellenden Werkstückfläche innerhalb der Außenkontur der Pulsfläche entfernt wird. Die Pulsfläche ist an der aktuellen Materialabtragsstelle stets im Wesentlichen rechtwinklig zu der herzustellenden Werkstückfläche bzw. zu dem bereits hergestellten Abschnitt der Werkstückfläche ausgerichtet. Bei fortschreitendem Materialabtrag wird die Pulsfläche über die Maschinenantriebsrichtung vorzugsweise nicht schräg oder rechtwinklig zur Abstrahlrichtung verschoben. Die Pulsfläche bohrt sich sozusagen in Abstrahlrichtung der Laserstrahlimpulse in das Werkstück hinein.

Die abzutragende Querschnittskontur, beispielsweise die Querschnittskontur einer Nut, kann ausschließlich durch die Außenkontur der Pulsfläche vorgegeben sein. Die abzutragende Querschnittskontur wird dabei vorzugsweise ausschließlich durch die Ablenkeinrichtung des Laserkopfes bestimmt, während die Ausrichtung der Längsachse des Werkstücks und die Bewegung der aktuellen Materialabtragsstelle

am Werkstück entgegen der Abstrahlrichtung ausschließlich durch die Maschinenantriebseinrichtung erfolgt. Alternativ hierzu kann die Außenkontur der Pulsfläche auch in wenigstens einer Dimension kleiner sein als die Querschnittskontur der herzustellenden Nut und in dieser wenigstens einen Dimension gegenüber dem Werkstück verschoben werden, wofür vorzugsweise nur die Maschinenantriebseinrichtung oder alternativ zusätzlich oder ausschließlich die Ablenkeinrichtung verwendet werden kann.

Die Maschinenantriebseinrichtung erzeugt eine Relativbewegung des Werkstücks gegenüber dem Laserkopf in einem oder mehreren translatorischen bzw. rotatorischen Freiheitsgraden entlang einer vorgegebenen Bahn. Die Pulsfläche wird somit relativ zum Werkstück entlang einer vorgegebenen Bewegungsbahn bewegt, um die Werkstückfläche zu erzeugen.

Bei diesen Verfahren sind die Laserstrahlimpulse, die auf das Werkstück auftreffen, ausschließlich tangential im Sinne der oben angegebenen Definition zu einem bereits hergestellten Abschnitt der herzustellenden Werkstückfläche ausgerichtet. An der aktuellen Materialabtragsstelle verläuft die bereits hergestellte Werkstückfläche tangential zu den einfallenden Laserstrahlimpulsen. Dadurch werden Unebenheiten in der bereits hergestellten Werkstückfläche durch die Laserstrahlimpulse beseitigt, die angrenzend an die bereits hergestellte Werkstückfläche entlang der Außenkontur der Pulsfläche auf das Werkstück einfallen. Dadurch lässt sich eine Werkstückfläche, insbesondere eine Nutinnenfläche, mit einer sehr geringen Rauheit erzeugen.

Der Wärmeeintrag der Laserstrahlimpulse findet jedoch zum allergrößten Teil in das abzutragende Material inner-

halb der Pulsfläche statt. Eine wärmebeeinflusste Zone an der hergestellten Werkstückfläche, die die Materialeigenschaften negativ beeinflussen könnte und beispielsweise das Material spröde machen könnte, bildet sich nicht. Die von den Laserstrahlimpulsen gebildete Pulsfläche stellt somit ein Bohrwerkzeug mit veränderbarem, beliebig anpassbarem Querschnitt dar, das entlang der herzustellenden Werkstückfläche fortschreitend durch das Werkstück bewegt wird. Vorzugsweise werden alle Werkstückbereiche bei der Herstellung der Werkstückfläche entfernt, auf die während der Bearbeitung Laserstrahlimpulse einfallen. Es verbleiben somit keine Flächen am Werkstück, die aufgrund der Laserbearbeitung eine zu großen Rauheit aufweisen und deswegen nachbearbeitet werden müssen. Somit kann die Werkstückfläche und eine Nutinnenfläche einer hergestellten Nut in einem einzigen Durchgang ohne weitere Nachbearbeitung mit geringer Rauheit hergestellt werden.

Das Verfahren eignet sich insbesondere für die Herstellung von zumindest abschnittsweise in eine oder mehrere Raumrichtungen gekrümmten Werkstückflächen, wie beispielsweise Nutinnenflächen von geraden oder spiralförmigen Nuten. Insbesondere bei der Herstellung von geraden Nuten kann es notwendig sein, die Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlimpulse gegenüber der Tangenten an die herzustellende Werkstückfläche um zumindest den halben Divergenzwinkel zu neigen, um eine Abschattung der Laserstrahlimpulse durch das Werkstück zu vermeiden.

Es ist außerdem vorteilhaft, wenn die Außenkontur der Pulsfläche während der Bearbeitung verändert wird. Dabei kann die Geometrie der Außenkontur beibehalten und der Flächeninhalt der Pulsfläche vergrößert oder verkleinert, also

die Pulsfläche sozusagen skaliert werden. Es ist alternativ oder zusätzlich möglich, die Form bzw. Geometrie der Außenkontur zu ändern. Zum Beispiel kann ein gekrümmter Abschnitt der Außenkontur in einen eckigen Abschnitt verändert werden oder umgekehrt. Dadurch lassen sich komplexe Geometrien, beispielsweise sich verändernde Nutquerschnitte, herstellen. Außerdem ist es beispielsweise möglich, eine Werkstückfläche herzustellen, die an einem Axialabschnitt im Querschnitt einen gekrümmten Verlauf aufweist und an einem anderen Axialabschnitt einen zumindest abschnittsweise geradlinigen Querschnitt aufweist bzw. Ecken enthält. Durch eine entsprechende Programmierung bzw. Steuerung des Laserkopfes und der Maschinenantriebsseinrichtung kann eine derartige Anpassung realisiert werden.

Die Außenkontur der Pulsfläche hat vorzugsweise einen Abschnitt, der mit einem Abschnitt der Querschnittskontur des Werkstücks an der Materialabtragsstelle übereinstimmt.

Das Verfahren eignet sich insbesondere zur Bearbeitung von Werkstücken, die wenigstens zwei oder auch mehr Werkstückabschnitte aufweisen, wobei jeder Werkstückabschnitt aus einem anderen Material besteht und/oder eine andere Absorptionscharakteristik für das verwendete Laserlicht aufweist. Beispielsweise kann das Werkstück einen Schaft und eine am Schaft befestigte Werkstückspitze aus Diamant aufweisen. Es ist auch möglich, dass das Werkstück an einem Ende eine Beschichtung aus einem anderen Werkstoff aufweist. Die Werkstückfläche wird bei solchen Werkzeugen in einem kontinuierlichen Verfahrensablauf insbesondere unterbrechungslos in beiden Werkstückabschnitten hergestellt. Beispielsweise kann eine Nut sowohl durch eine angebrachte Werkstückspitze, wie auch durch den sich daran anschließen-

den Schaft axial oder spiralförmig um die Längsachse des Werkstücks verlaufen. Die Werkstückabschnitte können bezüglich der Längsachse des Werkstücks axial und/oder radial aufeinanderfolgend angeordnet sein.

Die beiden Werkstückabschnitte können auf geeignete Weise miteinander verbunden sein, insbesondere durch eine stoffschlüssige Verbindung, beispielsweise durch Kleben oder Löten. Zwischen den beiden Werkstückabschnitten kann bei der Verwendung einer stoffschlüssigen Verbindung eine Verbindungsschicht aus Klebstoff oder aus Lot vorhanden sein. Die Nut wird in diesem Fall auch kontinuierlich durch die Verbindungsschicht zwischen den beiden Werkstückabschnitten hergestellt.

Dadurch, dass die Laserstrahlimpulse tangential zu einem bereits hergestellten Abschnitt der Werkstückfläche im Anschluss an die aktuelle Materialabtragsstelle in der Pulsfläche verlaufen, entstehen durch sich verändernde Materialien oder sich ändernde Absorptionseigenschaften des Werkstücks keine oder lediglich geringe negative Einflüsse auf die Oberflächenqualität der hergestellten bzw. herzustellenden Werkstückfläche.

Zur Vereinfachung der Steuerung des Laserkopfes bzw. des Laserscanners kann der Abstand zwischen den jeweils unmittelbar benachbarten Auftreffstellen in der Pulsfläche bei der Herstellung der Werkstückfläche bei einem Ausführungsbeispiel unverändert bleiben. Abhängig von der Außenkontur der Pulsfläche müssen dabei nicht sämtliche innerhalb der Pulsfläche angeordneten Auftreffstellen denselben Abstand aufweisen.

Bei einem Ausführungsbeispiel kann die Werkstückfläche durch eine Nutinnenfläche gebildet sein. Bei der Bearbeitung des Werkstücks wird mithin eine Nut im Werkstück erzeugt. Diese Nut wird ausgehend von einem ersten Nutende hergestellt. Die Pulsfläche entspricht dabei dem jeweils herzustellenden Nutquerschnitt. Das dem ersten Nutende entgegengesetzte zweite Nutende wird insbesondere zuletzt hergestellt.

Bei einem Ausführungsbeispiel wird durch das Verfahren die Nuttiefe variiert. Insbesondere kann die Nuttiefe am zweiten Nutende abnehmen und beispielsweise stetig abnehmen, bis die Nutinnenfläche in die Außenfläche des Werkstücks übergeht.

Vorzugsweise kann die Außenkontur der Pulsfläche beim Herstellen des zweiten Nutendes verschieden sein von der Außenkontur der Pulsfläche beim Herstellen des ersten Nutendes. Beispielsweise kann die Außenkontur der Pulsfläche beim Herstellen des ersten Nutendes einen Ellipsenbogen bzw. einen Kreisbogen aufweisen, während die Außenkontur der Pulsfläche beim Herstellen des zweiten Nutendes zumindest einen abschnittsweise geradlinigen Verlauf aufweist, wobei auch eine oder mehrere Ecken gebildet werden können.

Es ist ferner vorteilhaft, wenn der Energieeintrag pro Flächeneinheit durch die in der Pulsfläche auftreffenden Laserstrahlimpulse in einer Randzone der Pulsfläche verschieden ist von dem Energieeintrag pro Flächeneinheit in einer Kernzone der Pulsfläche. Der Energieeintrag pro Flächeneinheit ist in der Randzone vorzugsweise kleiner als in der Kernzone. Die Randzone ist der Bereich der Pulsfläche, der unmittelbar an den bereits hergestellten Abschnitt der

Werkstückfläche angrenzt. Die Kernzone der Pulsfläche ist von diesem bereits hergestellten Abschnitt der Werkstückfläche beabstandet. Durch diese Maßnahme kann sichergestellt werden, dass im Bereich der hergestellten bzw. herzustellenden Werkstückfläche keine die Materialeigenschaften negativ beeinflussende wärmebeeinflussende Zone entsteht. Dies kann beispielsweise durch die Dichte bzw. den Abstand der Auftreffstellen in der Randzone gegenüber der Kernzone eingestellt werden.

Mit Hilfe dieses Verfahrens lässt sich ein Werkzeug aus einem Werkstück herstellen, an dem durch die Bearbeitung eine Freifläche und/oder eine Spanfläche und/oder eine Nutinnenfläche erzeugt wurde.

Es ist auch möglich, das vorstehend beschriebene Verfahren lediglich zum Schlichtbearbeiten zu verwenden. Eine Werkstückfläche oder Nutinnenfläche kann durch ein beliebiges Vorbearbeitungsverfahren mit einem verbleibenden Übermaß hergestellt und das erfindungsgemäße Verfahren zur nachfolgenden Herstellung der gewünschten, vorgegebenen Geometrie verwendet werden. Das kann insbesondere dann vorteilhaft sein, wenn das abzutragende Materialvolumen relativ groß ist. Auf diese Weise lässt sich beispielsweise eine scharfe Kante, beispielsweise eine Schneidkante am Rand der Werkstückfläche herstellen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen, der Beschreibung und der Zeichnung. Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele des Verfahrens anhand der beigefügten Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Bearbeitungsmaschine, die zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet ist,

Figur 2 eine schematische perspektivische Darstellung eines stabförmigen Werkstücks während der Herstellung einer Werkstückfläche.

Figur 3 eine schematische perspektivische Darstellung eines stabförmigen Werkstücks während der Bearbeitung, wobei die Außenkontur einer für die Bearbeitung vorgegebenen Pulsfläche veranschaulicht ist,

Figuren 4 und 5 jeweils ein Beispiel einer Pulsfläche in schematischer Draufsicht,

Figur 6 ein aus einem stabförmigen Werkstück mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestelltes Werkzeug und

Figur 7 eine beispielhafte, schematische Kontur einer herzustellenden Werkstückfläche im Längsschnitt durch das Werkstück sowie die sich bei der Herstellung der Werkstückfläche ändernde Außenkontur der Pulsfläche.

In Figur 1 ist schematisch eine Bearbeitungsmaschine 10 veranschaulicht, die dazu eingerichtet ist, ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Bearbeitung eines stabförmigen Werkstücks 11 auszuführen. Das unbearbeitete Werkstück 11 hat eine zylindrische Gestalt und ist beispielsweise kreiszylindrisch. Aus dem Werkstück 11 wird durch die Bearbeitung mit der Bearbeitungsmaschine 10 ein Rotationswerkzeug hergestellt, das sich um die Längsachse A des Werkstücks 11 bzw. des daraus hergestellten Werkzeugs dreht.

Die Bearbeitungsmaschine 10 weist einen gepulsten Laser 12 auf, der einen gepulsten Laserstrahl, also Laserstrahlimpulse B erzeugt. Der gepulste Laserstrahl wird vom Laser 12 zu einem Laserkopf 13 übermittelt. Der Laserkopf 13 ist dazu eingerichtet, die Laserstrahlimpulse B bezüglich seiner optischen Achse O in einer vorgegebenen Richtung abzugeben und in einem Arbeitsbereich zu fokussieren. Während der Bearbeitung des Werkstücks 11 befindet sich die aktuell bearbeitete Fläche des Werkstücks 11, also die Materialabtragsstelle oder Materialabtragsfläche innerhalb des Arbeitsbereiches.

Der Laserkopf 13 kann Fokussiermittel, wie optische Linsen oder dergleichen aufweisen. Dadurch erhält der Laserstrahlimpuls B einen Divergenzwinkel θ , der schematisch in Figur 1 veranschaulicht ist. Der Divergenzwinkel im Fernfeld ist sozusagen der Öffnungswinkel der Laserstrahlimpulse von dem Fokussiermittel des Laserkopfes 13 bis zum Arbeitsbereich. Außerdem weist der Laserkopf 13 eine Ablenkeinrichtung 14 auf, die auch als Laserscanner bezeichnet werden kann. Die Ablenkeinrichtung 14 kann beispielsweise einen oder mehrere Ablenkspiegel aufweisen und dient dazu, die Austrittsrichtung der Laserstrahlimpulse B

gegenüber der optischen Achse O einzustellen.

Die Bearbeitungsmaschine 10 hat zur Ansteuerung des Lasers 12 und des Laserkopfes 13 eine Steuereinheit 15.

Die Steuereinheit 15 steuert außerdem eine Maschinenantriebseinrichtung 16 der Bearbeitungsmaschine 10 an. Die Maschinenantriebseinrichtung 16 ist dazu eingerichtet, eine Relativbewegung zwischen dem Laserkopf 13 und einer Spanneinrichtung 17 zum Einspannen des stabförmigen Werkstücks 11 in der Bearbeitungsmaschine 10 zu erzeugen. Dabei erzeugt die Maschinenantriebseinrichtung 16 eine Relativbewegung zwischen dem eingespannten Werkstück 11 und dem Laserkopf 13.

Die Maschinenantriebseinrichtung 16 weist zur Ausrichtung und/oder Positionierung und/oder Bewegung der Spanneinrichtung 17 relativ zum Laserkopf 13 bzw. umgekehrt für jeden vorhandenen translatorischen Freiheitsgrad X, Y, Z und für jeden vorhandenen rotatorischen Freiheitsgrad DX, DY, DZ jeweils einen Maschinenachs Antrieb 18 auf, von denen in Figur 1 lediglich stark schematisiert ein Teil der Maschinenachsantriebe 18 veranschaulicht ist. Die Anzahl der translatorischen und/oder rotatorischen Freiheitsgrade X, Y, Z, DX, DY, DZ kann variieren, wobei insgesamt bis zu sechs Freiheitsgrade vorgesehen werden können.

Alternativ zu der Darstellung in Figur 1 kann auch der Laserkopf 13 über einen oder mehrere Maschinenachsantriebe 18 in jeweils einem Freiheitsgrad bewegbar sein. Entscheidend ist lediglich die Relativbewegung des Werkstücks 11 bzw. der Spanneinrichtung 17 gegenüber dem Laserkopf 13.

Die Laserstrahlimpulse B werden in einer Abstrahlrichtung R vom Laserkopf 13 auf das Werkstück 11 gerichtet. Der Flächenbereich der Werkstückoberfläche, auf dem die Laserstrahlimpulse B auftreffen und in dem ein Materialabtrag stattfindet, ist durch eine Pulsfläche 22 definiert. Die Pulsfläche 22 wird durch die Ablenkeinrichtung 14 erzeugt.

Die Pulsfläche 22 ist beispielhaft insbesondere aus den Figuren 3 bis 5 zu erkennen. Die Pulsfläche 22 hat eine Außenkontur K. Die Außenkontur K ist so ausgewählt bzw. vorgegeben, dass die Außenkontur K an eine herzustellende Werkstückfläche 23 angepasst ist.

Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wird an dem Werkstück 11 wenigstens eine Nut 24 hergestellt, die eine Nutinnenfläche 25 aufweist. Die Nutinnenfläche 25 ist die gesamte beim Herstellen der Nut 24 entstehende Fläche. Im vorliegenden Fall ist die herzustellende Werkstückfläche 23, also durch die Nutinnenfläche 25 gebildet. Beim Ausführungsbeispiel ist die herzustellende Nut 24 im Querschnitt gesehen an jeder Stelle rinnenförmig ausgeführt. Die beiden Nutkanten 26, an denen die Nut 24 in die ursprüngliche Außenoberfläche 27 übergeht, haben beim Ausführungsbeispiel denselben Radialabstand von der Längsachse A. Die herzustellende Nut 24 kann in Richtung der Längsachse A geradlinig oder - wie hier veranschaulicht - spiralförmig um die Längsachse A verlaufen. Es kann sich beispielsweise um eine Spannut an dem aus dem Werkstück 11 herzustellenden Werkzeug 40 handeln.

Alternativ zu der beschriebenen Nut 24 können auch andere Flächen mit Hilfe der Bearbeitungsmaschine 10 und dem erfindungsgemäßen Verfahren am Werkstück 11 erzeugt werden,

beispielsweise Freiflächen oder Spanflächen angrenzend an eine Schneidkante.

Die Außenkontur K der Pulsfläche 22 entspricht einem Materialquerschnitt, der an die herzustellende Werkstückfläche 23 angrenzt und vom Werkstück 11 entfernt werden soll. Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel entspricht die Außenkontur K der Pulsfläche 22 somit dem Nutquerschnitt der herzustellenden Nut 24. Die Außenkontur K hat beispielsweise einen ersten Außenkonturabschnitt K1, der während der Werkstückbearbeitung unmittelbar an die herzustellende Querschnittsfläche 23, hier also die Nutinnenfläche 25, angrenzt. Die Außenkontur K hat außerdem einen zweiten Außenkonturabschnitt K2, der bei der Bearbeitung des Werkstücks 11 zumindest in etwa einem Querschnittskonturabschnitt der ursprünglichen Werkstückquerschnittskontur (der ursprünglichen Außenfläche 27 des Werkstücks) entspricht. Beim Ausführungsbeispiel sind beide Außenkonturabschnitte K1, K2 gekrümmt und stoßen unter Bildung von zwei Ecken aneinander an. Abhängig von der herzustellenden Geometrie, beispielsweise der Nutgeometrie, können auch Außenkonturen K mit abschnittsweise geradlinigem Verlauf oder Kombinationen aus geradlinigen oder gekrümmten Abschnitten vorgesehen sein.

Innerhalb der Außenkonturfläche K befindet sich eine Vielzahl von Auftreffstellen 31. Die Auftreffstellen 31 sind innerhalb der Außenkontur K verteilt angeordnet. Der Abstand zwischen unmittelbar benachbarten Auftreffstellen 31 kann innerhalb der Pulsfläche 22 gleichmäßig sein oder variieren. Dies hängt zum einen von der Geometrie der Außenkontur K und zum anderen davon ab, ob der Energieeintrag pro Flächeneinheit innerhalb der Pulsfläche 22 gleichmäßig

oder ungleichmäßig erfolgen soll. Zu jeder Außenkontur K kann in der Steuereinheit 15 eine definierte Anordnung der Auftreffstellen 31 vorgegeben und/oder abgespeichert werden. Die Steuereinheit 15 steuert die Ablenkeinrichtung 14 während der Bearbeitung des Werkstücks 11 derart an, dass die Laserstrahlimpulse B während einer Sequenz entsprechend einer vorgegebenen Reihenfolge auf die Auftreffstellen 31 innerhalb der Außenkontur K gerichtet werden. Nach dem Abschluss einer Sequenz ist auf jede Auftreffstelle 31 zumindest ein Laserstrahlimpuls gerichtet worden. Diese Sequenz wird zyklisch wiederholt. Beispielsweise können die Laserstrahlimpulse von einer Auftreffstelle 31 zur nächsten Auftreffstelle 31 entlang einer Pulsbahn 32 bewegt werden. In den Figuren 4 und 5 sind zwei beispielhafte Ausführungsformen für solche Pulsbahnen 32 schematisch veranschaulicht. Die Pulsbahn 32 gemäß Figur 4 mäandriert innerhalb der Pulsfläche 22, während die Pulsbahn 32 beispielsweise einen spiralförmigen Verlauf aufweist. Hiervon abweichende andere Pulsbahnen 32 bzw. Sequenzen oder Reihenfolgen zum Richten der Laserstrahlimpulse B auf die Auftreffstellen 31 sind möglich.

In der Pulsfläche 22 kann eine Randzone 33 vorhanden sein, die in den Figuren 4 und 5 gestrichelt eingezeichnet ist. Die Randzone 33 grenzt an den ersten Außenkonturabschnitt K1 an. Die nicht zur Randzone 33 gehörenden Flächenabschnitte der Pulsfläche 22 bilden eine Kernzone 34, die somit von dem ersten Außenkonturabschnitt K1 beabstandet ist. Der Energieeintrag pro Flächeneinheit kann beim Ausführungsbeispiel in der Randzone 33 kleiner sein als in der Kernzone 34 der Pulsfläche 22. Zumindest ist der Energieeintrag pro Flächeninhalt der auf die Auftreffstellen 31 in der Randzone 33 gerichteten Laserstrahlimpulse

kleiner als ein vorgegebener Maximalwert. Dadurch wird sichergestellt, dass beim Entfernen von Material während der Bearbeitung des Werkstücks 11 durch einen zu großen Energieeintrag im Bereich der Randzone 33 keine wärmebeeinflusste Zone an der herzustellenden Werkstückfläche 23 bzw. der Nutinnenfläche 25 entsteht. Durch eine solche wärmebeeinflusste Zone kann das Material des Werkstücks 11 spröde werden und deshalb eine Nachbearbeitung der hergestellten Werkstückfläche 23 erfordern. Demgegenüber hat die Kernzone 34 einen ausreichenden Abstand zum ersten Außenkonturabschnitt K1 und mithin zu den Materialbereichen des Werkstücks 11, die später die Werkstückfläche 23 bilden, so dass in der Kernzone 34 der Energieeintrag pro Flächeninhalt größer gewählt werden kann als in der Randzone 33.

Der Energieeintrag pro Flächeninhalt kann beispielsweise durch die Dichte der Auftreffstellen innerhalb der Pulsfläche 22, also innerhalb der Randzone 33 bzw. der Kernzone 34 variiert werden. Alternativ oder zusätzlich können auch Parameter des Lasers 12 verändert werden, beispielsweise die Dauer eines Laserstrahlimpulses B und/oder die Laserleistung.

Bei dem Verfahren zur Herstellung der Werkzeugfläche 23 unter Verwendung der Bearbeitungsmaschine 10 wird wie folgt vorgegangen:

Mit Hilfe der Maschinenantriebseinrichtung 16 wird eine Ausgangsposition des unbearbeiteten Werkstücks 11 gegenüber dem Laserkopf 13 eingestellt. Über die Steuereinheit 15 wird während des Verfahrens die Maschinenantriebseinrichtung 16 gesteuert, um das Werkstück 11 relativ zum Laserkopf 13 zu bewegen und/oder auszurichten. Der Bewegungs-

ablauf ist in der Steuereinheit 15 vorgegeben und insbesondere programmiert. Für einen bestimmten Werkstücktyp lassen sich beispielsweise aus einer Bibliothek die geeigneten Verfahrensabläufe aufrufen. Abhängig von der zu erzeugenden Werkstückfläche bzw. Werkstückgeometrie wird durch die Steuereinheit 15 während des Verfahrens auch der Laserkopf 13 bzw. die Ablenkeinrichtung 14 angesteuert, um die einer jeweils aktuellen Relativposition zwischen dem Werkstück 11 und dem Laserkopf 13 zugeordnete Außenkontur K der Pulsfläche 22 einzustellen. Die Außenkontur K kann während des Verfahrens konstant bleiben oder sich ändern. Eine sich ändernde Außenkontur K kann lediglich in einer Skalierung des Flächeninhalts unter Beibehaltung der geometrischen Form der Außenkontur K durchgeführt werden. Alternativ oder zusätzlich kann auch die geometrische Form der Außenkontur K geändert werden.

Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wird eine Nut 24 in dem ursprünglichen zylindrischen Werkstück 11 erzeugt. Die Nut 24 hat im Bereich der Stirnseite 34 an einem freien Ende 35 des Werkstücks 11 ein erstes Nutende 36 und beabstandet dazu ein entgegengesetztes zweites Nutende 37. Die Nut 24 wird ausgehend vom freien Ende 35 des Werkstücks erzeugt, so dass zunächst das erste Nutende 36 erzeugt wird. Anschließend wird die Nut 24 entlang ihrer Verlaufsrichtung ausgehend vom ersten Nutende 36 durch Materialabtrag verlängert, bis schließlich das zweite Nutende 37 fertiggestellt ist.

Über die Maschinenantriebseinrichtung 16 wird der Abstand des Werkstücks 11 vom Laserkopf 13 stets so eingestellt, dass die aktuell bearbeitete Stelle des Werkstücks 11 innerhalb des fokussierten Arbeitsbereichs der Laser-

strahlimpulse B liegt. Dabei wird das Werkstück 11 gegenüber der Abstrahlrichtung R derart ausgerichtet, dass die Laserstrahlimpulse B parallel bzw. tangential zu dem Abschnitt der Werkstückfläche 23 bzw. Nutinnenfläche 25 auf das Werkstück 11 auftreffen, der entgegen der Abstrahlrichtung R unmittelbar benachbart zur Materialabtragsstelle, also zur Pulsfläche 22, angeordnet ist. Mit anderen Worten verlaufen die Laserstrahlimpulse B in einem Abschnitt benachbart zur Pulsfläche 22 bzw. zu den Auftreffstellen 31 tangential zu einem bereits hergestellten Flächenabschnitt der Werkstückfläche 23 bzw. Nutinnenfläche 25, der unmittelbar an die Pulsfläche 22 anschließt. „Tangential“ bedeutet, dass der Winkel zwischen der Ausbreitungsrichtung bzw. der Längsmittelachse eines Laserstrahlimpulses B und einer unmittelbar angrenzend an die Materialabtragsstelle an den Flächenabschnitt der hergestellten Werkstückfläche 23 angelegten Tangente kleiner ist als der Divergenzwinkel θ oder kleiner ist als der halbe Divergenzwinkel θ .

Die Pulsfläche 22 ist während der Bearbeitung so vorgegeben, dass sie sich stets in einer Querschnittsebene der Nut 24 befindet. Die Pulsfläche 22 wird während der Bearbeitung sozusagen in Verlaufsrichtung der Nut 24 ausgehend vom ersten Nutende 36 bis zum zweiten Nutende 37 durch das Werkstück 11 bewegt, bis die Nut 24 vollständig hergestellt ist. Die hierfür erforderliche Relativbewegung wird durch eine oder mehrere Maschinenachsantriebe 18 in den entsprechenden Freiheitsgraden X, Y, Z, DX, DY, DZ bewirkt.

Die Außenkontur K der Pulsfläche 22 kann zu jedem Zeitpunkt der herzustellenden Querschnittskontur der Nut 24 entsprechen. Ein Verschieben der Pulsfläche innerhalb einer Ebene, in der sich die Pulsfläche 22 erstreckt, findet in

diesem Fall nicht statt. Vielmehr wird die Pulsfläche 22 relativ zum Werkstück 11 in ihrer Normalenrichtung und mit- hin in Abstrahlrichtung R bewegt. Alternativ dazu ist es auch möglich, die Außenkontur K der Pulsfläche in zumindest einer Dimension kleiner zu wählen als die herzustellende Querschnittskontur der Nut 24. In diesem Fall wird die Pulsfläche zusätzlich in der Querschnittsebene der Nut 24 bewegt bzw. verlagert, um die gewünschte Querschnittskontur der Nut 24 zu erreichen.

Während des Materialabtrags wird durch die Relativaus- richtung bzw. Relativbewegung des Werkstücks 11 gegenüber dem Laserkopf 13 die Pulsfläche 22 sozusagen entlang einer vorgegebenen Bewegungsbahn 38 (Figur 2) relativ zum Werk- stück 11 bewegt, beispielsweise vom ersten Nutende 36 zum zweiten Nutende 37 hin.

Dadurch ist erreicht, dass die Bereiche des Werkstücks 11, auf die die Laserstrahlimpulse B auftreffen, bereits beim und durch das Herstellen der Werkstückfläche 23 bzw. der Nutinnenfläche 25 vollständig entfernt werden. Flächen- bereiche, auf denen die Laserstrahlimpulse B auftreffen, haben nach der Herstellung in der Regel eine zu große Rau- heit bzw. sind durch den Energieeintrag, also die Wärme, beeinflusst. Häufig ist das Material des Werkstücks dort spröde. Um eine solche wärmebeeinflusste Zone wieder zu entfernen und/oder die Rauheit zu verringern, findet dann häufig eine Nachbearbeitung statt. Dies kann bei dem hier vorgeschlagenen Verfahren entfallen. Die hergestellte Werk- stückfläche 23 ist an der Materialabtragsstelle stets im Wesentlichen rechtwinklig zu der Pulsfläche 22 ausgerich- tet, so dass dort wo die Laserstrahlimpulse B auftreffen, eine Glättung der angrenzenden, bereits hergestellten Werk-

stückfläche 23 erfolgt. Sollten dort kleinere Bereiche in das Lichtraumprofil der Pulsfläche 22 hineinragen, werden diese durch die auf die Pulsfläche 22 gerichteten Laserstrahlimpulse entfernt und die bereits hergestellte Werkstückfläche 23 erhält eine sehr geringe Rauheit. Die Werkstückfläche 23 kann somit in einem Zug beim Entfernen des Materials hergestellt werden.

In Figur 6 ist beispielhaft ein hergestelltes Werkzeug 40 mit mehreren hergestellten Nuten 24 veranschaulicht. Die Nuten 24 sind dort beispielsweise spiralförmig um die Längsachse A angeordnet. Während der Herstellung dieser Nuten 24 wurde die Außenkontur K der Pulsfläche 22 verändert, um an unterschiedlichen Axialpositionen relativ zur Längsachse A des Werkzeugs 40 unterschiedliche Nutquerschnitte zu erreichen. So nehmen die Nuttiefe und auch die Nutbreite ausgehend vom ersten Nutende 36 zum zweiten Nutende 37 ab. An verschiedenen Axialpositionen ist schematisch die jeweilige eingestellte Außenkontur K der Pulsfläche 22 veranschaulicht. Die rinnenförmige Gestalt der Nut 24 und mithin der Außenkontur K der Pulsfläche 22 bleibt erhalten. An dem zweiten Nutende 37 geht die hergestellte Nutinnenfläche 25 in die ursprüngliche Außenoberfläche 27 des unbearbeiteten Werkstücks 11 über.

Mit einem solchen Verfahren lassen sich sehr vorteilhaft Werkstücke 11 bearbeiten, die zwei oder mehr Werkstückabschnitte 41 aus unterschiedlichen Materialien oder mit unterschiedlichen Absorptionscharakteristika für das verwendete Laserlicht aufweisen. Ein solches Werkstück 11 ist sehr stark schematisiert und lediglich beispielhaft in Figur 2 veranschaulicht. Dort ist beispielsweise der eine Werkstückabschnitt 41 durch einen Hartmetallschaft 42 ge-

bildet, der ein Endstück 43 trägt, das den anderen Werkstückabschnitt 41 bildet. Das Endstück 43 kann beispielsweise aus einem sehr widerstandsfähigen, harten Material bestehen, wie zum Beispiel Diamant. Es versteht sich, dass das Werkstück 11 auch mehr als zwei Werkstückabschnitte 41 aufweisen könnte.

Die beiden Werkstückabschnitte 41 können wie in Figur 2 veranschaulicht axial in Richtung der Längsachse A aufeinanderfolgend angeordnet sein. Alternativ oder zusätzlich könnten die beiden Werkstückabschnitte 41 auch radial zur Längsachse A aufeinanderfolgend angeordnet sein. Sie können sich mit anderen Worten in Axialrichtung und/oder in Radialrichtung übergreifen bzw. überlappen. Es ist auch möglich, wenigstens einen Werkstückabschnitt 41 durch eine Beschichtung eines anderen Werkstückabschnitts 41 auszuführen.

Bei dem hier beschriebenen Beispiel sind die beiden Werkstückabschnitte 41 und beispielsweise der Hartmetallabschnitt 42 und das Endstück 43 miteinander verbunden, vorzugsweise stoffschlüssig verbunden. Die stoffschlüssige Verbindung kann durch Kleben oder Löten hergestellt sein. Dabei kann zwischen den beiden Werkstückabschnitten 41 eine Verbindungsschicht aus Klebstoff oder Lot vorhanden sein.

Dadurch, dass die herzustellende Werkstückfläche 23 durch stets tangential zur herzustellenden Werkstückfläche 23 (bezogen auf die Materialabtragsstelle) einfallende Laserstrahlimpulse B erzeugt wird, kann der Materialabtrag auch durchgängig bzw. unterbrechungslos durch die verschiedenen Werkstückabschnitte 41 mit unterschiedlichen Absorptionscharakteristiken ausgeführt werden. Zwar kann abhängig

von der Absorptionscharakteristik des jeweiligen Werkstückabschnitts 41 die Abtragsrate variieren, allerdings bleibt die Qualität und insbesondere die Rauheit der hergestellten Werkstückfläche 23 davon unbeeinträchtigt. Somit lassen sich beispielsweise Werkzeuge mit einem Hartmetallschaft 42 und einer aus dem Endstück 43 gebildeten Werkzeugspitze erzeugen, wobei die hergestellten Werkstückflächen bzw. hergestellten Nuten 24 sowohl durch das Endstück 43, als auch durch den Hartmetallschaft 42 verlaufen, wie es in Figur 2 schematisch veranschaulicht ist.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens kann zusätzlich oder alternativ zu der Änderung der Außenkontur K gemäß Figur 6, auch die geometrische Form der Außenkontur K verändert werden, was sehr schematisch in Figur 7 veranschaulicht ist. Dort wird beispielsweise ein gekrümmter Bereich der herzustellenden Werkstückfläche 23 durch eine kreisförmige Außenkontur K der Pulsfläche 22 hergestellt, während mit Hilfe einer mehreckigen, beispielsweise viereckigen und insbesondere rechteckigen oder quadratischen Form der Außenkontur K in einem Endbereich der hergestellten Werkzeugfläche 23 eine Ecke erzeugt wird. Mit Hilfe einer solchen Anpassung der Geometrie der Außenkontur K kann beispielsweise eine Nut 24 erzeugt werden, an deren zweitem Nutende 37 Kanten und/oder Ecken und/oder Absätze an dem Werkzeug 40 hergestellt werden können.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Werkstückfläche 23 bzw. einer Nutinnenfläche 25 an einem stabförmigen, insbesondere zylindrischen Werkstück 11. Aus dem Werkstück 11 soll ein Rotationswerkzeug 40 hergestellt werden. Der Materialabtrag zur Herstellung der Werkstückfläche 23 erfolgt mit Hilfe von Laserstrahlimpul-

sen B, die über eine Ablenkeinrichtung 14 auf Auftreffstellen 31 innerhalb einer Pulsfläche 22 mit einer vorgegebenen Außenkontur K auf das Werkstück 11 gerichtet werden. Über eine oder mehrere Maschinenachsantriebe 18, insbesondere CNC-Achsen erfolgt dabei eine Ausrichtung bzw. Positionierung bzw. Bewegung zwischen dem Werkstück 11 und der Ablenkeinrichtung 14 derart, dass die Pulsfläche 22 mit den darin angeordneten Auftreffstellen 31 für die Laserstrahlimpulse B im Wesentlichen rechtwinklig zur Abstrahlrichtung R der Laserstrahlimpulse und rechtwinklig zu dem Abschnitt der Werkzeugfläche 23 ausgerichtet ist, der bereits hergestellt wurde und an die Pulsfläche 22 angrenzt. Während des Materialabtrags wird über den wenigstens einen Maschinenachsantrieb 18 die Pulsfläche 22 entlang einer vorgegebenen Bewegungsbahn 38 unter Beibehaltung der Ausrichtung, also stets rechtwinklig zum unmittelbar anschließenden, bereits hergestellten Abschnitt der Werkstückfläche 22 relativ zum Werkstück 11 bewegt. Auf diese Weise kann beispielsweise eine Nut 24 mit einer Nutinnenfläche 25 ausgehend von einem ersten Nutende 36 am freien Ende 35 des Werkstücks bis zu einem entgegengesetzten freien Nutende 37 in Verlaufsrichtung der Nut 24 hergestellt werden. Die Außenkontur K der Pulsfläche 22 kann dabei jeweils dem herzustellenden Querschnitt der Nut 24 entsprechen oder zumindest innerhalb dem herzustellenden Querschnitt der Nut 24 liegen.

Bezugszeichenliste:

- 10 Bearbeitungsmaschine
- 11 Werkstück
- 12 Laser
- 13 Laserkopf
- 14 Ablenkeinrichtung
- 15 Steuereinheit
- 16 Maschinenantriebseinrichtung
- 17 Spanneinrichtung
- 18 Maschinenachsanantrieb

- 22 Pulsfläche
- 23 Werkstückfläche
- 24 Nut
- 25 Nutinnenfläche
- 26 Nutmante
- 27 ursprüngliche Außenoberfläche des Werkstücks

- 31 Auftreffstelle
- 32 Pulsbahn
- 33 Randzone
- 34 Stirnseite
- 35 freies Ende des Werkstücks
- 36 erstes Nutende
- 37 zweites Nutende
- 38 Bewegungsbahn

- 40 Werkzeug
- 41 Werkstückabschnitt
- 42 Hartmetallschaft
- 43 Endstück

θ	Divergenzwinkel der Laserstrahlimpulse
A	Längsachse des Werkstücks
B	Laserstrahlimpuls
DX	rotatorischer Freiheitsgrad
DY	rotatorischer Freiheitsgrad
DZ	rotatorischer Freiheitsgrad
K	Außenkontur
K1	erster Außenkonturabschnitt
K2	zweiter Außenkonturabschnitt
O	optische Achse des Laserkopfes
R	Abstrahlrichtung
x	translatorischer Freiheitsgrad
y	translatorischer Freiheitsgrad
z	translatorischer Freiheitsgrad

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung einer Werkstückfläche (23) an einem stabförmigen Werkstück (11), unter Verwendung einer Bearbeitungsmaschine (10), die einen Laser (12) aufweist, der Laserstrahlimpulse (B) erzeugt, mit einem Laserkopf (13), der die Laserstrahlimpulse (B) des Lasers (12) auf das Werkstück (11) richtet, und mit einer Maschinenantriebseinrichtung (16), die wenigstens einen Maschinenachs Antrieb (18) aufweist, der dazu eingerichtet ist, das Werkstück (11) und den Laserkopf (13) in wenigstens einem translatorischen und/oder rotatorischen Freiheitsgrad (X, Y, Z, DX, DY, DZ) relativ zueinander zu bewegen, mit folgenden Schritten:

- Positionieren und/oder Ausrichten des Werkstücks (11) relativ zu dem Laserkopf (13),
- Vorgeben und/oder Auswählen einer Außenkontur (K) einer Pulsfläche (22), sowie von innerhalb der Pulsfläche (22) angeordneten, voneinander beabstandeten Auftreffstellen (31), auf die die Laserstrahlimpulse (B) vom Laserkopf (13) in einer vorgegebenen Sequenz abgegeben werden,
- Abgeben der Laserstrahlimpulse (B) über den Laserkopf (13) in einer Abstrahlrichtung (R) auf das Werkstück (11) auf die vorgegebenen Auftreffstellen (31) innerhalb der Pulsfläche (22), wobei die Laserstrahlimpulse (B) während der Bearbeitung tangential zu dem durch die Bearbeitung des Werkstücks (11) erzeugten Abschnitt der Werkstückfläche (23) ausgerichtet sind, der an die Pulsfläche (22) angrenzt,

- Bewegen des Laserkopfes (13) und/oder des Werkstücks (11) derart relativ zueinander, dass sich die Pulsfläche (22), an der der Materialabtrag stattfindet, ausschließlich in der Abstrahlrichtung (R) einer vorgegebenen Bewegungsbahn (38) folgend gegenüber dem Werkstück (11) bewegt um die Werkstückfläche (23) zu erzeugen.

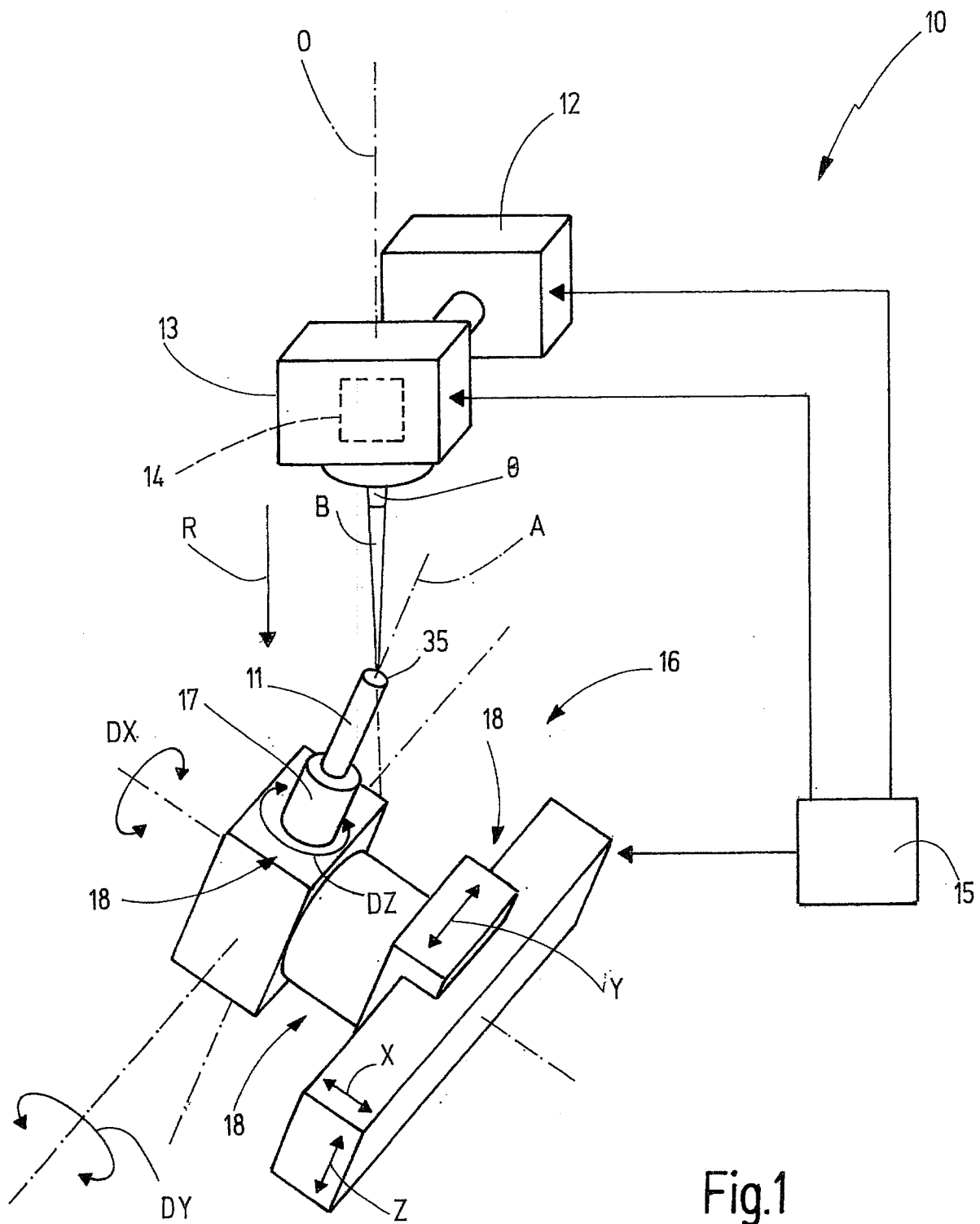
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass alle Werkstückbereiche benachbart zu der hergestellten Werkstückfläche (23), auf die bei der Bearbeitung Laserstrahlimpulse (B) auftreffen, bereits durch die und bei der Herstellung der Werkstückfläche (23) vollständig entfernt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahlimpulse (B), die auf die Auftreffstellen (31) der Pulsfläche (22) gerichtet sind, tangential zumindest zu dem benachbarten, bereits hergestellten Abschnitt der Werkstückfläche (23) ausgerichtet sind und die Rauheit dieses benachbarten Abschnitts der Werkstückfläche (23) reduzieren.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Außenkontur (K) der Pulsfläche (22) abhängig von der aktuellen Relativposition und/oder Relativausrichtung des Werkstücks (11) gegenüber dem Laserkopf (13) verändert wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (11) wenigstens zwei Werkstückabschnitte (41) aufweist, die unter-

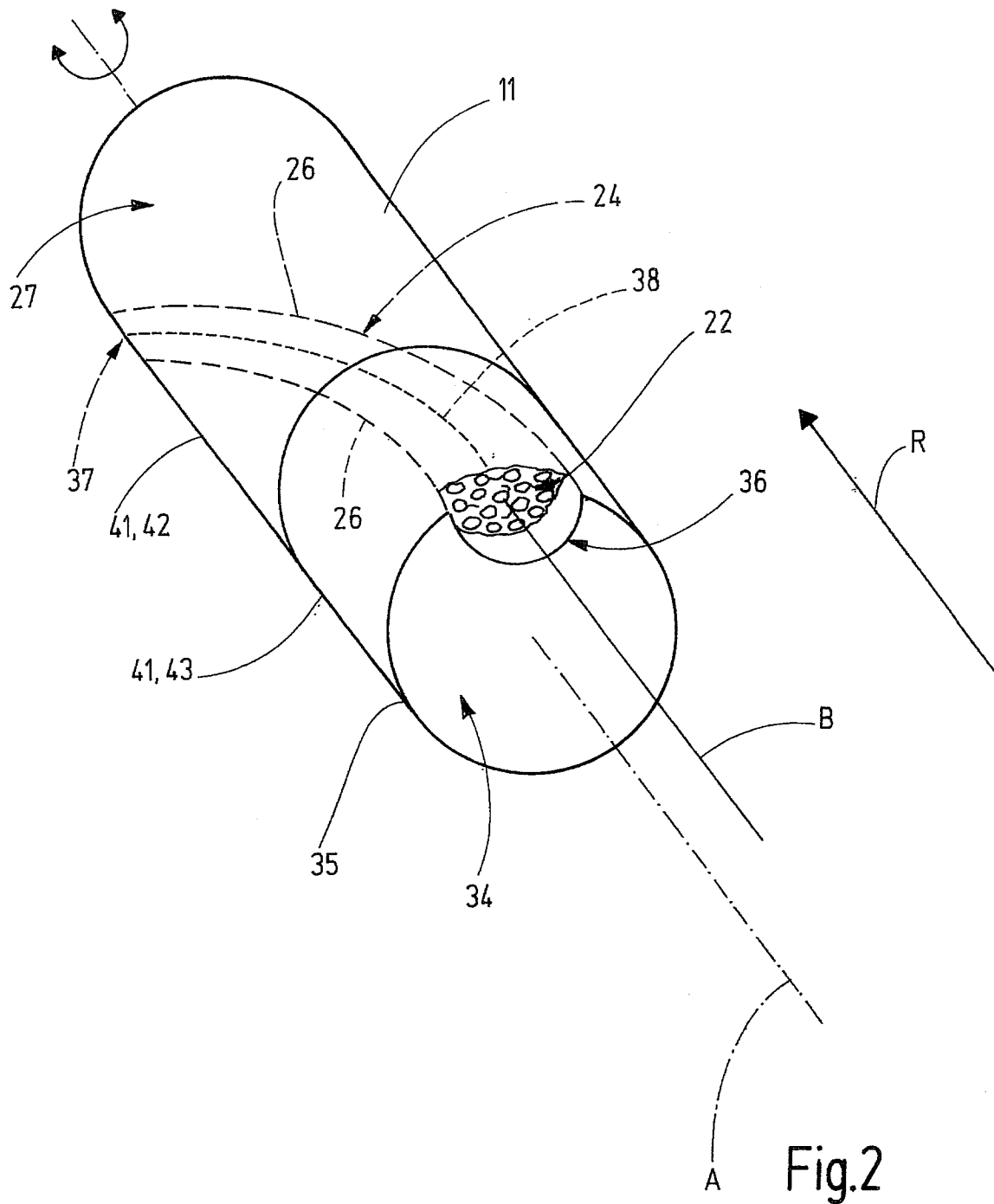
schiedliche Absorptionscharakteristika für das verwendete Laserlicht aufweisen und die Werkstückfläche (23) durch einen kontinuierlichen Verfahrensablauf in den beiden Werkstückabschnitten (41) hergestellt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Werkstückabschnitte (41) aus stoffschlüssig miteinander verbundenen Teilen (42, 43) bestehen.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen unmittelbar benachbarten Auftreffstellen (31) in der Pulsfläche (22) während der Herstellung der Werkstückfläche (23) konstant bleibt.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Werkstückfläche (23) durch eine Nutinnenfläche (25) gebildet ist, wobei die Nut (24) ausgehend von einem ersten Nutende (36) hergestellt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, dass die Nut (24) ein dem ersten Nutende (36) entgegengesetztes zweites Nutende (37) aufweist, das zuletzt hergestellt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass die Nuttiefe im Bereich des zweiten Nutendes (37) abnimmt.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet, dass die Außenkontur (K) der Pulsfläche (22) beim Herstellen des zweiten Nutendes

(37) verschieden ist von der Außenkontur (K) der Pulsfläche (22) beim Herstellen des ersten Nutendes (36).

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Energieeintrag der Laserstrahlimpulse (B) pro Flächeneinheit in eine Randzone (33) der Pulsfläche (22), die an die herzustellende bzw. hergestellte Werkstückfläche (23) angrenzt, größer oder kleiner ist als in einer von der herzustellenden bzw. hergestellten Werkstückfläche (23) beabstandeten Kernzone (34) der Pulsfläche (22).
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es bei der Herstellung eines Werkzeuges (40) aus dem Werkstück (11) eingesetzt wird.
14. Verfahren zur Herstellung einer scharfen Kante an einem Rand einer Werkstückfläche (23) eines Werkstücks (11), dadurch gekennzeichnet, dass zuerst eine Fläche an dem Werkstück (11) erzeugt wird, die zumindest um die Kante herum ein Übermass aufweist und anschließend dieses Aufmass nach dem Verfahren gemäß einem der vorstehenden Patentansprüche entfernt wird.





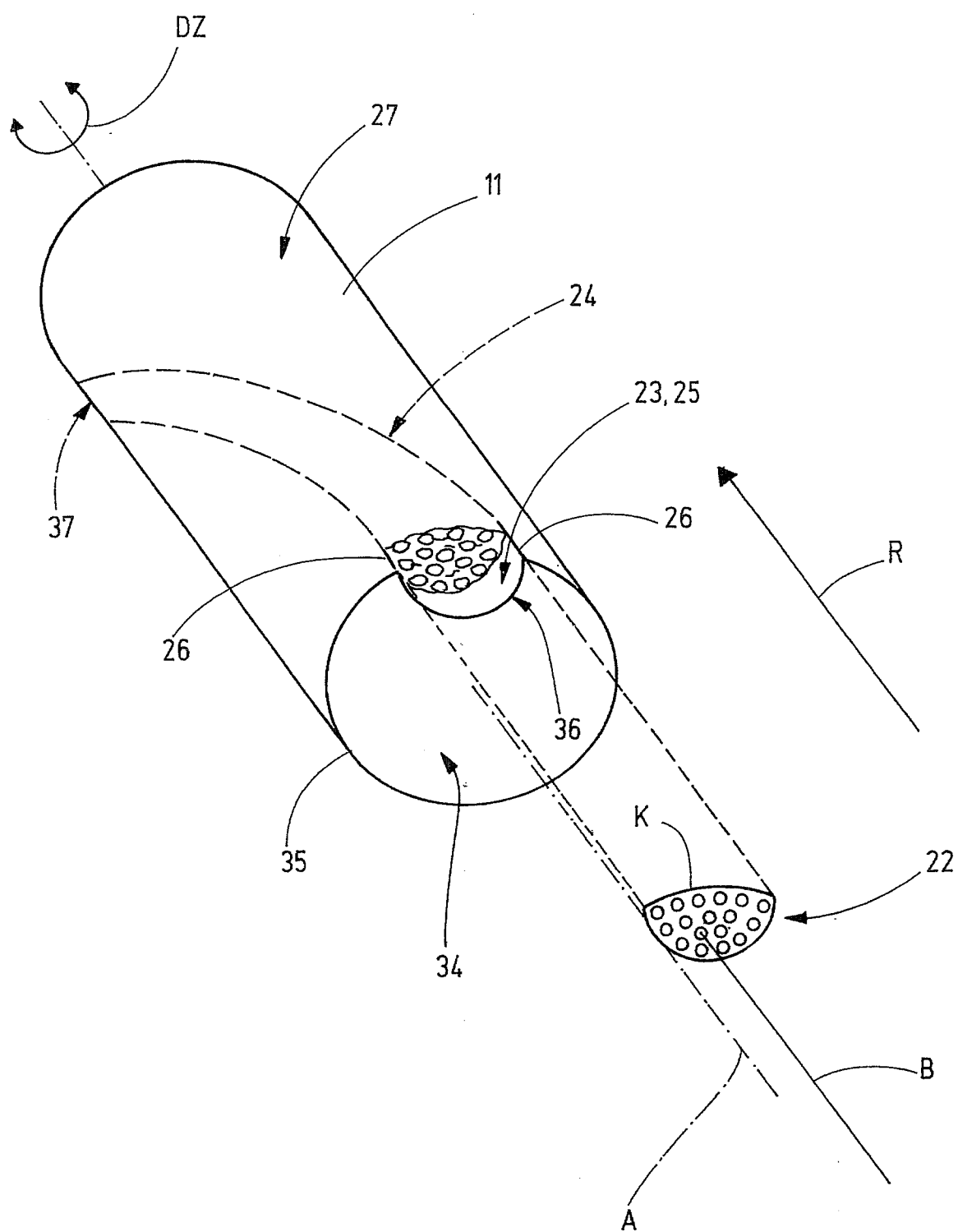
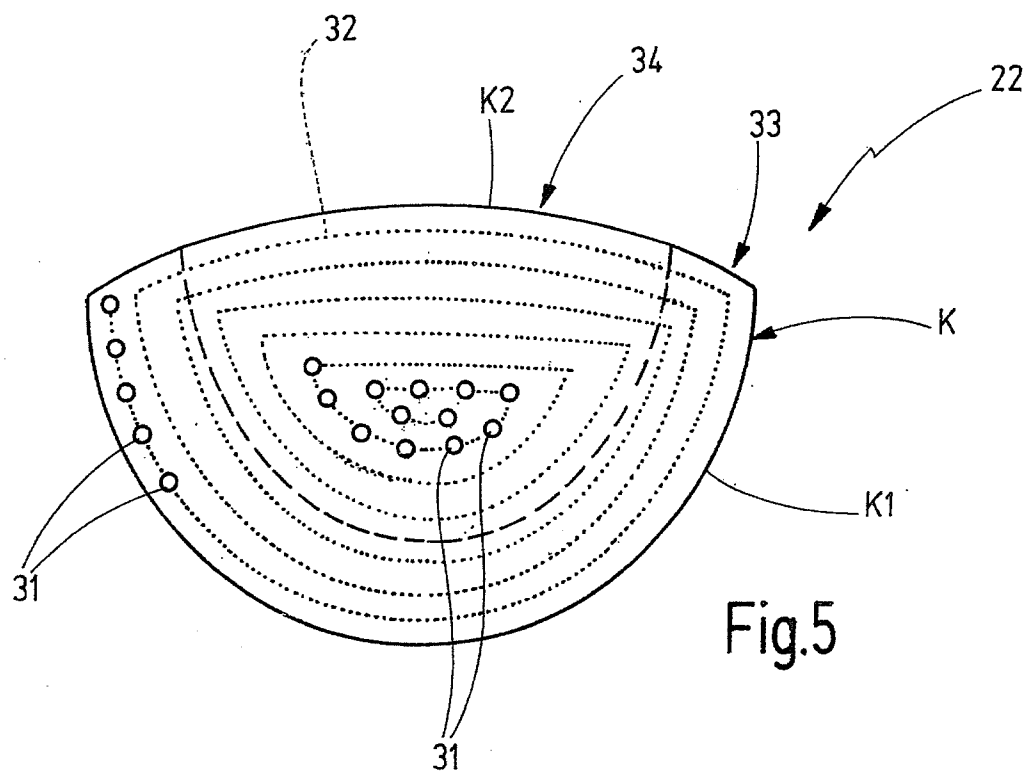
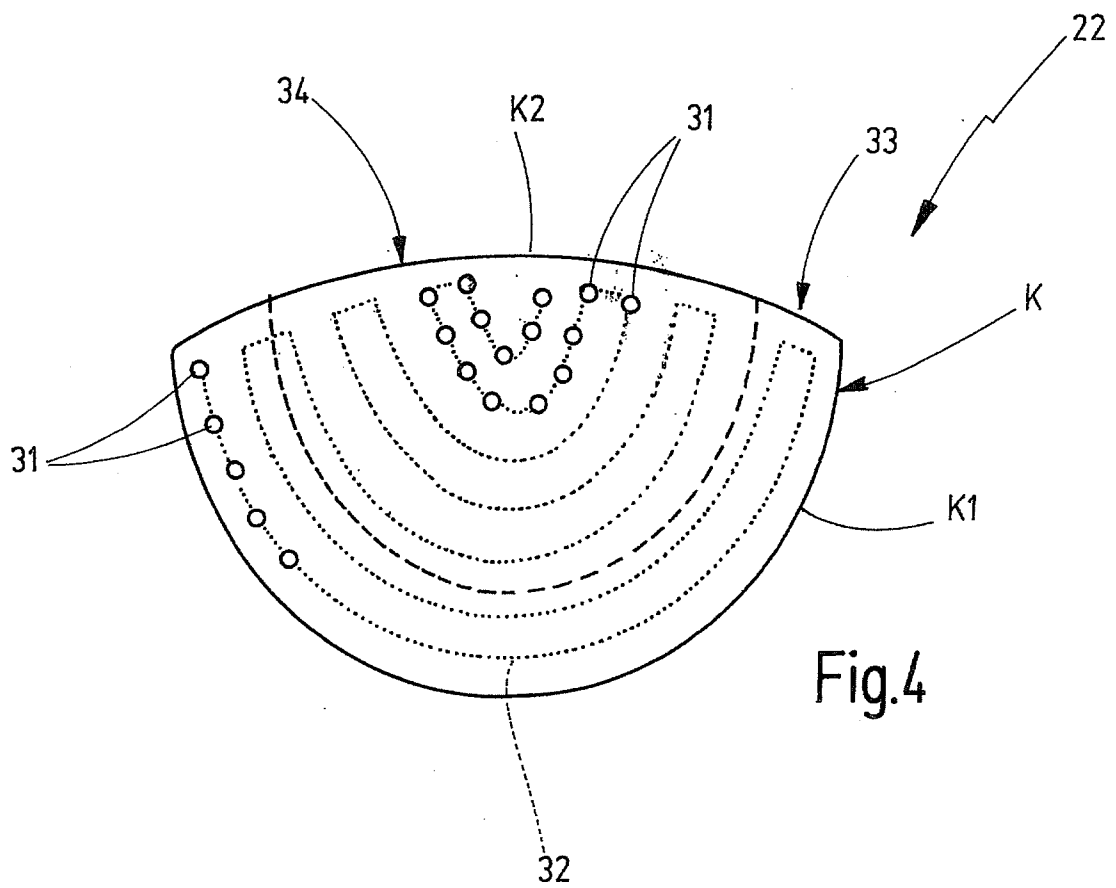
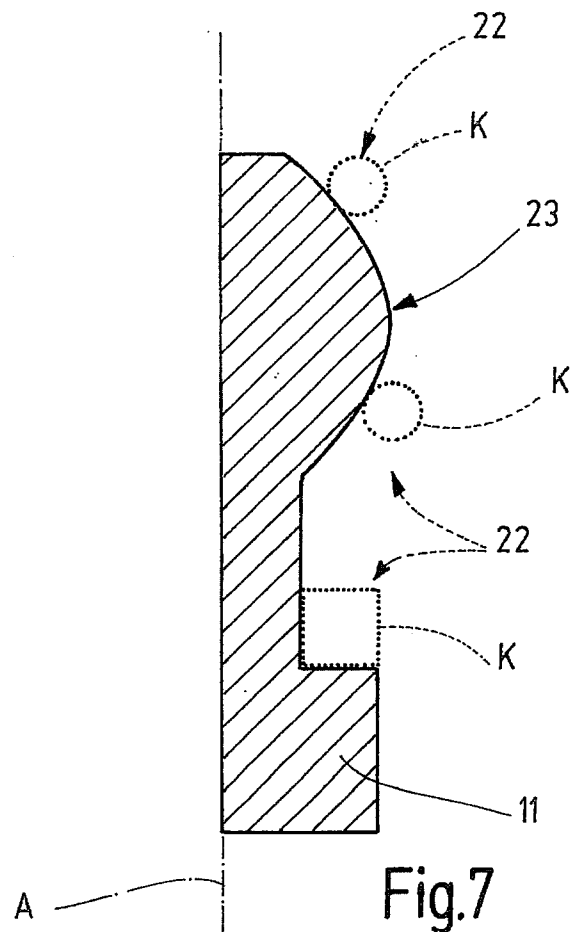
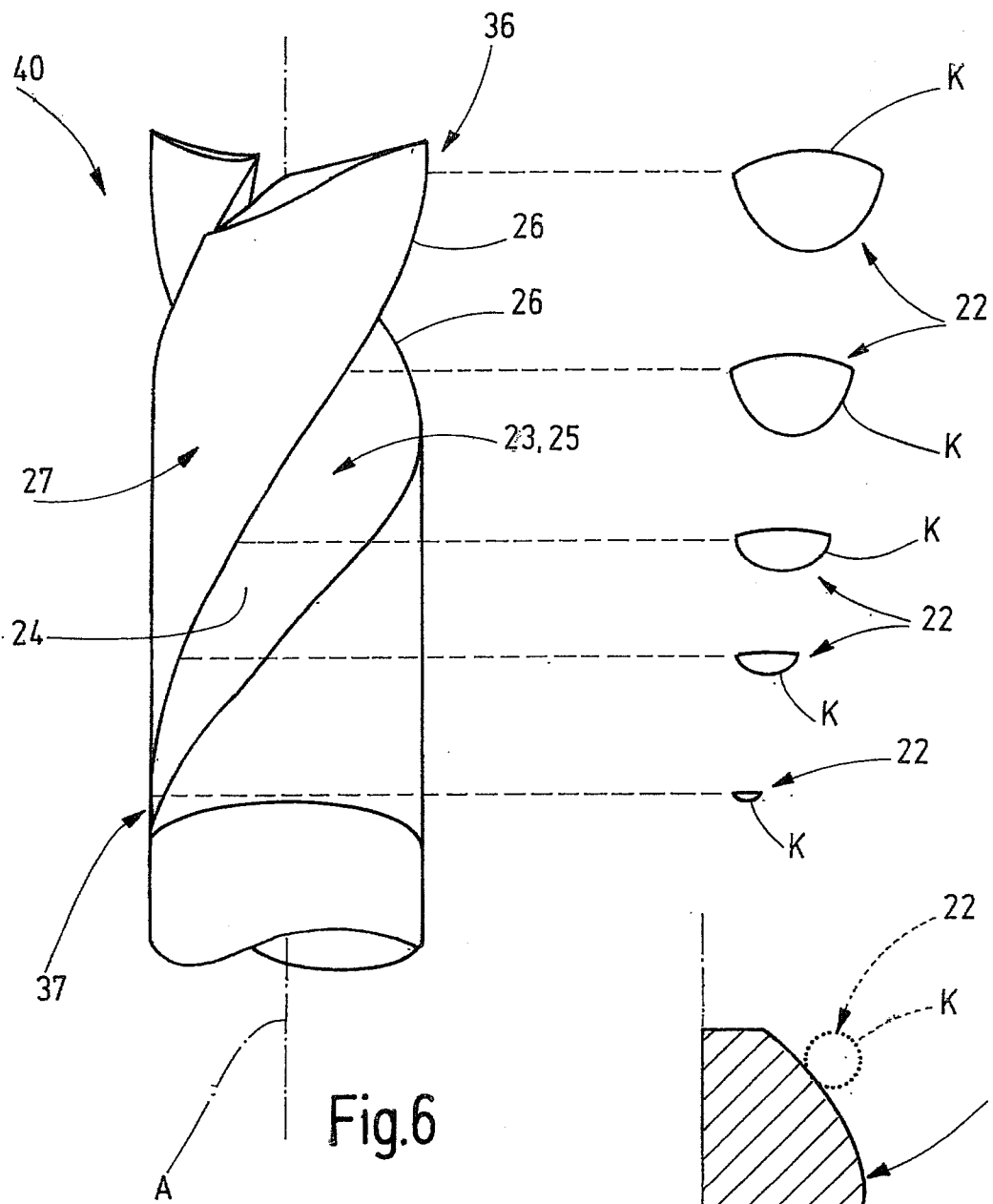


Fig.3





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/062898

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B23K26/08 B23K26/362 B23K26/364 B23K26/0622 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23K		
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		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 199 01 777 A1 (ESPE DENTAL AG [DE]) 20 July 2000 (2000-07-20) column 1 - column 2; figures 1-3 -----	1-14
Y	US 2011/097162 A1 (GEY CHRISTOPH [DE] ET AL) 28 April 2011 (2011-04-28) paragraphs [0021] - [0025], [0037] - [0043]; claims 1-26 -----	1-14
A	EP 0 191 203 A2 (LEMELSON JEROME H) 20 August 1986 (1986-08-20) pages 19-22 -----	1
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"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 21 October 2015		Date of mailing of the international search report 03/11/2015
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 Hernanz, Sonsoles

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/062898

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19901777	A1	20-07-2000	NONE

US 2011097162	A1	28-04-2011	CN 102574243 A 11-07-2012
			EP 2490853 A2 29-08-2012
			JP 2013508168 A 07-03-2013
			KR 20120088710 A 08-08-2012
			US 2011097162 A1 28-04-2011
			WO 2011050053 A2 28-04-2011

EP 0191203	A2	20-08-1986	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. B23K26/08 B23K26/362 B23K26/364 B23K26/0622
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

B23K

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.
Y	DE 199 01 777 A1 (ESPE DENTAL AG [DE]) 20. Juli 2000 (2000-07-20) Spalte 1 - Spalte 2; Abbildungen 1-3 -----	1-14
Y	US 2011/097162 A1 (GEY CHRISTOPH [DE] ET AL) 28. April 2011 (2011-04-28) Absätze [0021] - [0025], [0037] - [0043]; Ansprüche 1-26 -----	1-14
A	EP 0 191 203 A2 (LEMELSON JEROME H) 20. August 1986 (1986-08-20) Seiten 19-22 -----	1



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

21. Oktober 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

03/11/2015

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

Hernanz, Sonsoles

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/062898

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19901777	A1	20-07-2000	KEINE

US 2011097162	A1	28-04-2011	CN 102574243 A 11-07-2012
			EP 2490853 A2 29-08-2012
			JP 2013508168 A 07-03-2013
			KR 20120088710 A 08-08-2012
			US 2011097162 A1 28-04-2011
			WO 2011050053 A2 28-04-2011

EP 0191203	A2	20-08-1986	KEINE
