

(19)



(11)

EP 4 180 879 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
17.05.2023 Patentblatt 2023/20

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
G04B 13/02 (2006.01) **G04B 15/14** (2006.01)
G04B 17/32 (2006.01) **B81C 1/00** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21207650.9**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
G04B 13/02; G04B 13/022; G04B 15/14;
B81C 1/00; G04B 17/32

(22) Anmeldetag: **10.11.2021**

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

(71) Anmelder: **GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH**
89081 Ulm (DE)

(72) Erfinder: **Gluche, Peter**
89287 Bellenberg (DE)

(74) Vertreter: **Pfenning, Meinig & Partner mbB**
Patent- und Rechtsanwälte
Theresienhöhe 11a
80339 München (DE)

(54) **MIKROMECHANISCHE BAUGRUPPE, VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG UND DEREN VERWENDUNG**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft mikromechanische Baugruppen, die mindestens ein Funktionsbauteil und mindestens eine Achse und/oder Welle aufweisen, wobei diese mittels Pressfügen kraftschlüssig verbunden

sind. Ebenso betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung solcher mikromechanischen Baugruppen und deren Verwendung in Uhrwerken.

EP 4 180 879 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft mikromechanische Baugruppen, die mindestens ein Funktionsbauteil und mindestens eine Achse und/oder Welle aufweisen, wobei diese mittels Pressfügen kraftschlüssig verbunden sind. Ebenso betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung solcher mikromechanischen Baugruppen und deren Verwendung in Uhrwerken.

[0002] Auf dem Gebiet der Uhrwerksbaugruppen sind Mikrogetriebe und Uhrenbauteile aus metallischen Werkstoffen bekannt. Die Grundkomponenten bestehen dabei aus jeweils mindestens 2 Baugruppenkomponenten:

1. einer Achse mit Lagerstellen (z.B. mit Lagerzapfen und ggf. integriertem Trieb) und
2. einem Funktionsbauteil (z.B. Zahnrad, Ankerrad oder Anker)

[0003] Bei der Hemmung einer Uhr handelt es sich hierbei um ein Ankerrad mit Achse und/oder integrierten Trieb (auf der Achse) sowie einem Anker mit Ankerwelle.

[0004] Es gibt viele weitere Anwendungen innerhalb einer mechanischen Uhr, wie z.B. alle Räder des Räderwerkes, der Unruh mit Doppelrolle oder z.B. alle Räder eines Mikrogetriebes für Elektromotoren bzw. andere Mikroantriebskomponenten.

[0005] Üblicherweise sind die Bauteile der Baugruppen in konventioneller Bauart aus metallischen Werkstoffen gefertigt. Die Achsen werden typischerweise aus Stahl gedreht und sofern notwendig, gleich eine Verzahnung für den Trieb integriert. Um die Lagerstellen (z.B. als Gleitlager in Uhren ausgeführt) verschleißresistent zu halten, werden die Achsen nach der Bearbeitung gehärtet. Die Zapfendurchmesser werden üblicherweise bei hochwertigen Wellen rouliert, um einerseits einen mikrometergenauen Durchmesser der Zapfen einzustellen und andererseits die Oberfläche der Zapfen zu verdichten und zu härten und die Reibkontaktoberflächen ggf. zusätzlich zu glätten. Um die Reibung weiter zu minimieren, können darüber hinaus zusätzliche Polierschritte erfolgen.

[0006] Das Ankerrad oder der Anker (im Folgenden: Funktionsbauteil) werden bislang separat gefertigt. Hierzu werden u.a. Stanz-, Fräs-, Dreh-, Verzahn- oder Laserschneidverfahren verwendet. Im Fall von Ankerrädern und Ankern werden ebenfalls metallische Werkstoffe eingesetzt, z.B. Stahl in unterschiedlichen Legierungen wie z.B. 20AP® oder amagnetische metallische Legierungen wie z.B. Phynox® (Kobaltlegierung).

[0007] Sobald die Achse oder Welle und die Funktionskomponente hergestellt sind, müssen beide montiert werden. Dazu bedient man sich üblicherweise einer Pressverbindung, die zur Sicherheit auch optional noch durch eine Fügeverbindung verstärkt werden kann (z.B. Nieten des Ankerradsitzes). Entsprechend wird auf der Achse bereits eine Nietstruktur (sog. Nietfahne) vorge-

sehen, die nach dem Aufpressen des Rades plastisch so verformt wird, dass das Rad kraftschlüssig auf der Achse sitzt.

[0008] Da es sich üblicherweise um rotierende Bauteile handelt, ist bei der Montage sicherzustellen, dass sowohl der Rundlauf (radiale Abweichung zur Bezugsachse innerhalb einer Umdrehung des Funktionsbauteils) als auch der Planlauf (oft auch als Flachlauf bezeichnet, axiale Abweichung zur Bezugsachse innerhalb einer Umdrehung des Funktionsbauteils) der Baugruppe entsprechend den Vorgaben erfüllt werden. Insbesondere bei Uhrenbauteilen sind die Spezifikationen für Flach- und Rundlauf sehr eng toleriert (wenige μm). Gleichzeitig muss sichergestellt sein, dass das Funktionsbauteil bezüglich der Verdrehsicherheit (radiale Festigkeit gegen Verdrehung relativ zur Achse/Welle) als auch Auspresskraft (axiale Festigkeit gegen Verschiebung relativ zur Achsmittelpunkt) ausreichend spezifiziert ist. Ein sich lösendes Funktionsbauteil führt meist zum Totalausfall der Uhr, bzw. des Mikrogetriebes.

[0009] Seit einigen Jahren gibt es eine neue Klasse von Funktionsbauteilen aus neuen Materialien wie z.B. Silizium, Diamant und Kombinationen daraus. Diese Werkstoffe sind sehr leicht und werden mittels mikrotechnischen Fertigungsverfahren (z.B. Plasmaätzen) aus Scheiben, sog. Wafern, hergestellt. Da die Bauteilgeometrie üblicherweise mittels Photolithographie definiert wird, können auch sehr komplexe und präzise Formen ohne Mehraufwand hergestellt werden. Allerdings sind diese Werkstoffe nicht duktil, sondern sprödhart, d.h. bei mechanischer Belastung oberhalb der kritischen mechanischen Spannung werden die Funktionsbauteile ohne vorherige Ankündigung brechen. Da beispielsweise Silizium darüber hinaus eine sehr niedrige und zudem kristallisationsabhängige Bruchspannung aufweist, muss bezüglich der Montage auf die gängigen Verfahren verzichtet werden. Stattdessen werden diese Bauteile meist geklebt. Kleben wiederum ist ein aufwändiges und teures Montageverfahren und ist aufgrund des notwendigen Klebespaltes hinsichtlich Rund- und Planlauf nicht besonders präzise.

[0010] Aus der EP 2 637 066 A2 ist ein Verfahren bekannt, bei dem Komponenten aus einem sprödharten Material zusammengesetzt werden, wobei im Anschluss eine Beschichtung mit einem Isoliermaterial sowie eine Metallisierung erfolgt. Auch dieses Verfahren ist aufgrund der Vielzahl der Schritte sehr aufwändig.

[0011] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen nicht-duktilen Werkstoff auf eine konventionell gefertigte Achse aus einem duktilen Werkstoff kraftschlüssig zu montieren und dabei gleichzeitig auf Klebprozesse und Zwischenstücke vollständig zu verzichten.

[0012] Diese Aufgabe wird durch die mikromechanische Baugruppe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und das Verfahren zu dessen Herstellung mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Anspruch 15 nennt erfindungsgemäße Verwendungen der mikromechanischen Baugruppe.

[0013] Erfindungsgemäß wird eine mikromechanische Baugruppe bereitgestellt enthaltend

- mindestens ein Funktionsbauteil sowie
- mindestens eine Achse oder Welle.

[0014] Das mindestens eine Funktionsbauteil weist dabei mindestens eine im Wesentlichen zylindrische Ausnehmung zur Aufnahme der Achse auf.

[0015] Gemäß der Erfindung ist die Achse oder Welle aus einem duktilen Material gebildet und das mindestens eine Funktionsbauteil weist am inneren Umfang der Ausnehmung mehrere zahnartige Strukturen bzw. Zähne auf. Dabei sind zumindest die mit der Achse oder Welle in Kontakt tretenden Bereiche der zahnartigen Strukturen aus einem sprödharten Material gebildet.

[0016] Unter duktilem Material ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Material zu verstehen, das einen Bereich plastischer Verformung aufweist, dessen Beginn durch die Elastizitätsgrenze $R_{p0,2}$ im Spannungs-Dehnungsdiagramm von 40-1700 MPa liegt. Dabei ist die Elastizitätsgrenze $R_{p0,2}$ auch oft als 0,2%-Dehngrenze bezeichnet, diejenige (einachsige) mechanische Spannung, bei der die auf die Anfangslänge der Probe bezogene bleibende Dehnung (d. h. plastische Dehnung nach Entlastung) 0,2 % beträgt.

[0017] Unter sprödhartem Material ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Material zu verstehen, das vorteilhafter Weise aus der Werkstoffklasse der Halbleiter (4. Hauptgruppe des Periodensystems (insbesondere Silizium, Germanium, Diamant) oder der Keramiken (insbesondere Silizium-, Aluminium-Zirkon und Yttrium-basierte Keramiken) ausgewählt ist. Es weist keinen Bereich plastischer Verformung und eine Biegebruchspannung von mehr als 1 GPa, vorzugsweise mehr als 2 GPa auf.

[0018] Erfindungsgemäß sind das mindestens eine Funktionsbauteil und die mindestens eine Achse oder Welle im Bereich der Ausnehmung durch Pressfügen kraftschlüssig verbunden.

[0019] Die Erfindung beruht darauf, dass die zahnartigen Strukturen zumindest bereichsweise, bevorzugt vollständig aus dem sprödharten Material gebildet sind. Dadurch weisen die zahnartigen Strukturen eine ausreichend hohe mechanische Stabilität auf, wodurch ein Ausbrechen der zahnartigen Strukturen beim Pressfügen verhindert werden kann. Aufgrund der hohen mechanischen Stabilität graben sich die zahnartigen Strukturen beim Pressfügen vielmehr in das duktile Material der Achse bzw. Welle ein und sorgen so für eine besonders stabile Fixierung der Achse oder Welle mit dem Funktionsbauteil.

[0020] Von Vorteil ist auch, wenn der sprödharte Werkstoff des Funktionsbauteils eine hohe Härte von mehr als 50 GPa, bevorzugt von 60 bis 110 GPa aufweist (die Härte wird gemäß dem Nanoindentationsverfahren HIT bestimmt). Hierdurch wird verhindert, dass während des

Einpressvorgangs die Zahnstrukturen, insbesondere die empfindliche Zahnschulter durch Verschleiß ihre Form ändert.

[0021] Vorzugsweise weist das mindestens eine Funktionsbauteil von 3 bis 21 zahnartige Strukturen, bevorzugt von 5 bis 19 zahnartige Strukturen und besonders bevorzugt von 7 bis 11 zahnartige Strukturen auf. Dabei ist es vorteilhaft, dass die Anzahl der zahnartigen Strukturen ungerade ist, da dies zu einem kleineren Rundlauffehler führt.

[0022] Eine Erhöhung der Zahnanzahl führt einerseits zu einer Erhöhung der Einpresskraft als auch zu erhöhter Verdrehesicherheit und Auspresskraft. Insbesondere bei kleinen Ausnehmungen d_i bzw. kleinen Achsdurchmessern d_p , sollte daher die Zahnanzahl erhöht werden, um einen sicheren Sitz der Bauteile zu gewährleisten.

[0023] Die zahnartigen Strukturen weisen vorzugsweise einen Öffnungswinkel β im Bereich von 10° bis 120° , bevorzugt von 20° bis 60° und besonders bevorzugt von 20° bis 50° und insbesondere von 45° auf. Je größer der Öffnungswinkel β , desto größer die Einpresskraft und damit auch die korrespondierende Belastung auf die Achsplatte. Daher wird das Übermaß Δ zwischen Inkreisdurchmesser d_i des Funktionsbauteils und des Achsdurchmessers im Presssitzbereich ($d_p = 2r_p$) sehr genau (im Bereich von 1 bis 5 μm) eingestellt werden.

[0024] Eine bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass die zahnartigen Strukturen zumindest teilweise von der Ober- und/oder Unterseite angliert sind. Besonders bevorzugt sind alle zahnartigen Strukturen von der Ober- und/oder Unterseite angliert. In diesem Fall weisen zumindest die zahnartigen Strukturen Fasen an den Strukturkanten auf.

[0025] Es ist bevorzugt, dass das duktile Material der mindestens einen Achse oder Welle ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus

a) Eisenhaltigen Materialien, insbesondere Stähle, bevorzugt

- härtbare Stähle, wie z.B. Automatenstahl 20AP der Firma Sandvik, oder Automatenstähle wie z.B. C100Pb 1.1268
- niedrig- und hochlegierte Stähle sowie Edelstähle, insbesondere rostfreie Stähle der Werkstoffklassen 1.4XXX, wie z.B. 1.4197 (X20CrNiMoS13),
- Maragingstähle wie Phynox(Elgiloy), Durnico (Durimphy), Durinox (Ultrafort), insbesondere unmagnetische Varianten dieser Maragingstähle,

b) Eisenfreien metallischen Materialien, bevorzugt Al, Ni, Cr, Co, Cu, Mn, V, Ti, Sc, W, Ta, Mo, Nb, Pt, Au, Rh, und Legierungen hiervon, insbesondere Messing, Bronze, CuBe;

c) metallischen Karbide der refraktären Metalle Ti, Ta, W, Mo, Ni;

d) Hochtemperaturlegierungen mit Refraktärmetallbestandteilen, insbesondere TZM (Molybdän, 0,50 % Titan, 0,08 % Zirkonium, 0,01-0,04 % Kohlenstoff); MHC (1,2 % Hafnium, 0,05 % Kohlenstoff); ZHM (1,2 % Hafnium, 0,4 % Zirkonium, 0,12 % Kohlenstoff),

e) Verbundwerkstoffen aus keramischen Werkstoffen in einer metallischen Matrix (Cermets), Hartmetallen, gesinterten Carbid-Hartmetallen, wie z.B. Cobalt oder Nickel-gebundenen Wolframkarbiden oder Titankarbiden;

f) Kombinationen von den Materialien a) bis e).

[0026] Dabei ist es bevorzugt, dass das duktile Material bevorzugt eine Vickers-Härte von 350 bis 920HV, besonders bevorzugt von 400 bis 800HV, ganz besonders bevorzugt von 550 bis 700HV aufweist.

[0027] Es ist weiter bevorzugt, dass das sprödharte Material ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus einkristallinem Diamant, polykristallinem Diamant, nanokristallinem Diamant, diamantartigem amorphen Kohlenstoff (DLC) und Kombinationen hiervon.

[0028] Eine bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass das mindestens eine Funktionsbauteil aus dem sprödharten Material besteht, d.h. das Funktionsbauteil ist z.B. ein Volldiamant-Bauteil.

[0029] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass das Funktionsbauteil ein Substrat aus einem Material ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Silizium, Hartmetall, Stahl, keramischen Materialien, insbesondere Si_3N_4 und SiC , SiO_2 , Si_xO_y , SiO_xN_y (mit x, y natürliche Zahlen) sowie Kombinationen hiervon enthält oder daraus besteht und eine zumindest bereichsweise Beschichtung aus dem sprödharten Material aufweist. Diese Beschichtung ist dann insbesondere an den Flächen des Funktionsbauteils aufgetragen, die mit der Achse oder der Welle in Kontakt stehen. Die Beschichtung weist vorzugsweise eine Schichtdicke im Bereich von 1 bis 100 μm , bevorzugt von 2 bis 50 μm und besonders bevorzugt von 4 bis 10 μm auf. Bei der Beschichtung handelt es sich vorzugsweise um eine isotrop, z.B. mittels chemischer Gasphasenabscheidung (CVD) aufgetragene Beschichtung.

[0030] Es ist bevorzugt, dass die Beschichtung eine Hartstoffbeschichtung ist und bevorzugt mindestens eine der folgenden Eigenschaften erfüllt:

- eine Biegebruchspannung σ_0 von mindestens 2 GPa, bevorzugt mindestens 5 GPa und besonders bevorzugt mindestens 7 GPa,
- ein E-Modul von maximal 1000 GPa, bevorzugt maximal 700 GPa und besonders bevorzugt von maxi-

mal 450 GPa,

- eine Oberflächenrauigkeit von 3 bis 100 nm R_{RMS} , bevorzugt von 4 bis 30 nm R_{RMS} ,
- eine Härte von mindestens 30 GPa, insbesondere von 60 bis 110 GPa.

[0031] Dabei besteht die Hartstoffbeschichtung bevorzugt aus Diamant.

[0032] Bezüglich der Definition der Biegebruchspannung wird auf die folgenden Literaturstellen verwiesen:

- R. Morrell et al., Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 28 (2010), S. 508-515;
- R. Danzer et al. in "Technische keramische Werkstoffe", herausgegeben von J. Kriesemann, HvB Verlag, Ellerau, ISBN 978-3-938595-00-8, Kapitel 6.2.3.1 - Der 4-Kugelversuch zur Ermittlung der biaxialen Biegefestigkeit spröder Werkstoffe".

[0033] Die Biegebruchspannung wird dabei durch statistische Auswertung von Bruchversuchen z.B. im B3B- Belastungsversuch gemäß den oben stehenden Literaturangaben ermittelt. Sie ist dabei definiert als die Bruchspannung, bei der eine Bruchwahrscheinlichkeit von 63 % vorliegt.

[0034] Der E-Modul oder Youngsche Modul wird nach dem Verfahren gemäß "Youngs modulus, fracture strength, and Poisson's ratio of nanocrystalline diamond films", J. Appl. Phys. 116, 124308 (2014), insbesondere paragraph III. B. Static measurement of Young's modulus, bestimmt.

[0035] Die Oberflächenrauheit R_{RMS} wird wie folgt berechnet:

$$R_{\text{RMS}} = \left(\frac{1}{A} \right) \iint Z(x, y)^2 dx dy$$

A = Auswertefläche

$Z(x, y)$ = die lokale Rauigkeitsverteilung

[0036] Die Oberflächenrauigkeit R_{RMS} wird nach DIN EN ISO 25178 bestimmt. Die genannte Oberflächenrauheit macht ein zusätzliches mechanisches Polieren des gewachsenen Materials überflüssig.

[0037] Die Härte wird über das Nanoindentationsverfahren HIT bestimmt.,

[0038] Eine bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass das mindestens eine Funktionsbauteil Silizium enthält oder hieraus besteht und die Beschichtung aus nanokristallinem Diamant besteht.

[0039] Vorzugsweise weist das mindestens eine Funktionsbauteil eine Dicke im Bereich von 10 μm bis 2 mm, bevorzugt von 50 μm bis 1 mm und besonders bevorzugt

von 100 μm bis 500 μm auf.

[0040] Vorzugsweise weist die Ausnehmung in dem mindestens einen Funktionsbauteil einen Durchmesser im Bereich von 0,1 bis 1 mm, bevorzugt von 0,2 bis 0,5 mm und besonders bevorzugt von 0,3 bis 0,4 mm auf.

[0041] Dabei ist es bevorzugt, dass die Ausnehmung und/oder die Achse oder Welle eine Konizität von -1° bis 3° , besonders bevorzugt von 0° bis $2,5^\circ$ und ganz besonders bevorzugt von $0,5^\circ$ bis 2° aufweist. Durch diese Konizität wird die Einführung der Achse oder Welle in die Ausnehmung des Funktionsbauteils erleichtert. Gleichzeitig wird die Spanbildung beim Einpressen auf das duktile Material der Achse bzw. Welle verhindert.

[0042] Eine erfindungsgemäße Variante sieht vor, dass der Presssitzbereich in Achsrichtung konisch geformt ist, d.h. der Durchmesser d_p der Achse nimmt nach unten hin zu, ist also nicht konstant. Der maximale Durchmesser d_p im Presssitzbereich der Achse sei für diesen Fall $d_{p\text{max}}$. Dadurch ergibt sich ein Überlapp von $\bar{U} = d_{p\text{max}} - d_j$. Der Kraftschluss der Bauteile wird maßgeblich durch den Überlapp \bar{U} im Presssitzbereich definiert. Je größer der Überlapp, desto höher der Kraftschluss, die Verdrehsicherheit und Auspresskraft.

[0043] Grundsätzlich kann die Konizität auch durch eine konische Ausführung des Presssitzbereiches im duktilen Material der Welle/Achse erreicht werden. Dazu wird der Presssitzbereich konisch, d.h. mit einem zunehmenden Durchmesser in Richtung der Pressrichtung des Funktionsbauteils ausgeführt. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn eine entsprechende konische Ausführung der Ausnehmung im Funktionsbauteil durch die mikrotechnische Bearbeitung nicht möglich ist.

[0044] Eine bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass das mindestens eine Funktionsbauteil mindestens eine von der Ausnehmung zum äußeren Rand des Funktionsbauteils verlaufende weitere Ausnehmung, z.B. in radialer Richtung, aufweist, die eine elastische Verformung des Funktionsbauteils im Bereich der Achsplatte ermöglicht und damit das Funktionsbauteil die Achse oder Welle im Klemmsitz umschließt. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn das Bauteil nachträglich nochmals in der Position verschoben werden soll.

[0045] Eine alternative Ausführungsform sieht vor, dass für die durch Pressfügen verbundene Baugruppe das Funktionsbauteil und die Achse bzw. Welle im Bereich der Kontaktflächen mit einer zusätzlichen Fixierung versehen wird. Hierbei kann es sich um Nieten oder um einen Klebstoff handeln. Dies ist insbesondere für den Fall notwendig, dass besonders hohe axiale Auspresskräfte benötigt werden.

[0046] Es ist bevorzugt, dass die mikromechanische Baugruppe ein Uhrwerksbaugruppe mit einer Achse oder einer Welle sowie einem Funktionsbauteil ist, wobei das Funktionsbauteil insbesondere ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Zahnrad, Ankerrad, Anker, Trieb, Doppelrolle, Sicherheitsmesser, Hebelstein, Hebestein, Sicherheitsrolle, Lagerzapfen und Kombinationen hiervon.

[0047] Erfindungsgemäß wird ebenso ein Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Baugruppe, wie sie zuvor beschrieben wurde, bereitgestellt, bei dem:

5 a) mindestens eine durch Drehen hergestellte Achse oder Welle bereitgestellt wird,

b) mindestens ein Funktionsbauteil in Wafer-Technologie mittels Plasmaätzen hergestellt wird, wobei in dem mindestens einen Funktionsbauteil mindestens eine Ausnehmung zur Aufnahme der Achse oder Welle erzeugt wird,

10 c) die mindestens eine Achse oder Welle in die mindestens eine Ausnehmung des Funktionsbauteils eingeführt wird und

d) die Achse oder Welle und das Funktionsbauteil mittels Pressfügen kraftschlüssig verbunden werden.

[0048] Es ist bevorzugt, dass die Ausnehmung des Funktionsbauteils konisch ist und die Achse an der größeren Öffnung der Ausnehmung eingeführt wird. Dies erleichtert das Einführen, verhindert die Spanbildung im duktilen Material und ermöglicht eine größere Kontaktzone zwischen der Achse und den Zähnen des Presssitzes (der Ausnehmung). Besonders bevorzugt ist, dass die größere Ausnehmung des Funktionsbauteils einen Inkreisdurchmesser aufweist der größer ist als der Durchmesser der Achse im Bereich des Presssitzes. Ferner ist notwendig, dass der kleinere Bereich der Ausnehmung einen kleineren Inkreisdurchmesser aufweist als der der Durchmesser der Achse im Bereich des Presssitzes.

[0049] Eine bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass die Achse oder Welle in dem späteren Kontaktbereich mit dem Funktionsbauteil mit einem Roulierverfahren bearbeitet wird.. Hierdurch wird sichergestellt, dass die engen durchmesservorgaben erreicht und die Oberfläche der Achse eine ausreichend glatte Oberflächenqualität aufweist. Raue Oberflächen erhöhen das Risiko einer unerwünschten Spanbildung bei Pressvorgang und führen zu einer Erhöhung der Einpresskraft.

[0050] Vorzugsweise wird in Schritt a) eine Auflageplatte (sog. Plateau) ausgeführt, um das richtige Höhenniveau des Funktionsbauteils auf der Achse zu gewährleisten, wobei die Auflageplatte bevorzugt einen Hohlraum zur Aufnahme eines gegebenenfalls beim Pressfügen entstehenden Spans aufweist. Hierzu kann die Auflageplatte auf der Achse direkt angedreht werden. Das Funktionsbauteil liegt auf dem Plateau flächig auf. Damit ist auch der Flachlauf sichergestellt. Hierbei gilt, dass je größer der Durchmesser der Auflageplatte ist, umso präziser der Flachlauf ist. Allerdings muss bei rotierenden Komponenten das Trägheitsmoment der Achse beachtet werden, das mit zunehmendem Durchmesser des Plateaus ebenfalls zunimmt.

[0051] Es ist bevorzugt, dass in Schritt d) die kraftschlüssige Verbindung durch zusätzliche Nieten oder einen Klebstoff realisiert wird

[0052] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können auch Triebe hergestellt werden und auf die Achse gepresst werden. Damit kann erstmals auch im Räderwerk der Trieb/Radkontakt aus Diamant hergestellt werden. Dies hat den Vorteil, dass diese Bauteile dann schmierungsfrei sind, einen niedrigen Reibkoeffizient, eine geringe Massenträgheit aufweisen und verschleißarm sind. Ferner kann dadurch ein schmierungsfreier Betrieb der Verzahnung erreicht werden, weil z.B. Diamant einen sehr niedrigen Gleitreibkoeffizient aufweist. Das ist vor allem für zukünftige Anwendungen im Mikroantriebsbereich ein wesentlicher Vorteil, da hier hohe Drehzahlen des Antriebsmotors vorausgesetzt werden, die dann über mehrstufige Untersetzungen eines Mikrogetriebes in den Anwendungsdrehzahl-/Drehmomentbereich unteretzt werden. Hierbei spielen vor allem das niedrige Trägheitsmoment, der geringe Gleitreibkoeffizient und die Verschleißresistenz der Funktionsbauteile eine wichtige Rolle.

[0053] Die mikromechanische Baugruppe wird als Uhrwerksbaugruppe, insbesondere als Zahnrad, Anker, Anker, Trieb, Doppelrolle einer Unruh, Hebelstein einer Doppelrolle, Hebelstein, Lagerzapfen und Kombinationen hiervon, verwendet.

[0054] Anhand der nachfolgenden Figuren und Beispiele soll der erfindungsgemäße Gegenstand näher erläutert werden, ohne diesen auf die hier gezeigten spezifischen Ausführungsformen einzuschränken.

- Fig. 1 zeigt eine Variante eines Funktionsbauteils einer erfindungsgemäßen Baugruppe in der Aufsicht und im Querschnitt
- Fig. 2 zeigt eine Variante einer Ausnehmung eines erfindungsgemäßen Funktionsbauteils in der Aufsicht und im Querschnitt
- Fig. 3 zeigt verschiedene Varianten einer Ausnehmung eines erfindungsgemäßen Funktionsbauteils in der Aufsicht bezüglich der Anzahl und Öffnungswinkel der zahnförmigen Strukturen
- Fig. 4 zeigt eine Variante einer erfindungsgemäßen Baugruppe mit Funktionsbauteil und integrierter Achse in der Aufsicht und im Querschnitt
- Fig. 5 zeigt eine weitere Variante einer erfindungsgemäßen Baugruppe mit Funktionsbauteil und integrierter Achse mit zusätzlicher Nietverbindung in der Aufsicht und im Querschnitt
- Fig. 6a/b/c zeigen Varianten einer erfindungsgemä-

ßen Baugruppe mit Funktionsbauteil und integrierter Achse in der Aufsicht und im Querschnitt

- 5 Fig. 7a/b zeigen eine Variante einer erfindungsgemäßen Baugruppe mit Funktionsbauteil und integrierter Achse in der Aufsicht und im Querschnitt
- 10 Fig. 8 zeigt eine Variante einer erfindungsgemäßen Baugruppe mit Funktionsbauteil und integrierter Achse in der Aufsicht
- 15 Fig. 9a/b zeigen eine weitere Variante einer erfindungsgemäßen Baugruppe mit Funktionsbauteil und integrierter Achse in der Aufsicht und im Querschnitt
- 20 Fig. 10 zeigt eine Aufsicht eines erfindungsgemäßen Funktionsbauteils mit zusätzlicher Ausnehmung
- 25 Fig. 11 zeigt eine Aufsicht eines erfindungsgemäßen Funktionsbauteils mit zusätzlichen Ausnehmungen

[0055] Fig. 1 zeigt ein Funktionsbauteil 2 in Form eines Ankerrades mit einer Ausnehmung 4. Die Ausnehmung 4 weist mehrere zahnförmige Strukturen 5, 5' auf, die einen Presssitz der in die Ausnehmung 4 eingefügten Achse (hier nicht dargestellt) realisiert.

[0056] Figur 1 zeigt weiterhin eine Schnittdarstellung des Teilschnitts A-A, der die Grenzfläche zwischen Ankerrad 2 und Ausnehmung 4 darstellt.

35 **[0057]** Aus der Detailaufnahme des Teilschnitts A-A geht hervor, dass der Inkreisdurchmesser d_i der Oberflächenseite O des Funktionsbauteils 2 kleiner als der Inkreisdurchmesser d_a auf der Unterseite U des Funktionsbauteils 2 ist. Die Achse oder Welle 3 (hier nicht dargestellt) wird dabei von der Unterseite U in die Ausnehmung 4 des Funktionsbauteils 2 eingeführt. Das Funktionsbauteil 2 weist somit einen über die Stärke t zunehmenden Inkreisdurchmesser auf, der zu einer Konizität (charakterisiert durch den Flankenwinkel α) des Funktionsbauteils 2 an der Grenzfläche zur Ausnehmung 4 führt.

45 **[0058]** Fig. 2 zeigt ein Funktionsbauteil 2 und hier insbesondere den Bereich der Achsplatte 12, die eine Ausnehmung 4 in Form eines Achsloches aufweist. Die Achsplatte 12 hat einen Außendurchmesser d_{AP} und im Zentrum der Achsplatte 12 befindet sich die Ausnehmung 4 mit dem Inkreisdurchmesser d_i . Aus der Detailansicht geht hervor, dass an der Ausnehmung 4 mehrere zahnförmige Strukturen 5, 5', 5'', 5''' angeordnet sind, wobei der Inkreisdurchmesser d_i durch die Spitzen dieser zahnförmigen Strukturen definiert wird. Die zahnförmigen Strukturen 5, 5', 5'', 5''' weisen an der Spitze einen Verrundungsradius r_z auf, der in der Regel im Bereich

von 5 bis 10 μm liegt. Im Fall eines diamantbeschichteten Funktionsbauteils korrespondiert dieser Verrundungsradius r_z meist mit der aufgetragenen Schichtdicke. Jeder Zahn weist einen Öffnungswinkel β auf, der vorzugsweise im Bereich von 45° liegt.

[0059] In Fig. 3 sind verschiedene Varianten des Funktionsbauteils mit Ausnehmung 4 dargestellt, wobei hier zum einen die Anzahl der zahnförmigen Strukturen 5, 5', 5'', 5''' und deren Öffnungswinkel variiert wurde. Bei den vertikal angeordneten Varianten weist die oberste Variante 18 Zähne, die mittlere Variante 9 Zähne und die untere Variante 3 Zähne auf. Bei den horizontal angeordneten Varianten weist die linke Variante einen Öffnungswinkel von 120° , die mittlere Variante einen Öffnungswinkel von 60° , und die rechte Variante einen Öffnungswinkel β von 45° auf. Bevorzugt ist hierbei eine Variante mit 9 zahnförmigen Strukturen 5, 5', 5'', 5''' und einem Öffnungswinkel von $\beta = 45^\circ$. Je größer der Öffnungswinkel β , desto größer die Einpresskraft und damit auch die korrespondierende Belastung auf die Achsplatte. Daher muss das Übermaß \bar{U} zwischen Inkreisdurchmesser d_i des Funktionsbauteils und des Achsdurchmessers im Presssitzbereich ($d_p = 2r_p$) sehr genau (wenige μm) eingestellt werden. Im oben genannten Fall und bei einer Ausnehmung 4 im Bereich von 0,3 bis 0,4 mm werden für das Übermaß \bar{U} zwischen 2 und 10 μm gefordert, um eine Verdrehsicherheit von 1 mNm und eine Auspresskraft von 1 Nm sicher zu erreichen.

[0060] Eine Erhöhung der Zahnanzahl führt einerseits zu einer Erhöhung der Einpresskraft als auch zu erhöhter Verdrehsicherheit und Auspresskraft. Insbesondere bei kleinen Ausnehmungen d_i bzw. kleinen Achsdurchmessern d_p , sollte daher die Zahnanzahl erhöht werden, um einen sicheren Sitz der Bauteile zu gewährleisten.

[0061] Fig. 4 zeigt eine Achse bzw. Welle 3, die in eine Ausnehmung 4 eines Funktionsbauteils 2 eingepresst werden kann, in der Aufsicht. Anhand einer Schnittdarstellung des Teilschnittes A-A wird der Aufbau der Achse 3 näher erläutert. Die Achse 3 weist dabei einen Zapfen 13 zur Lagerung auf. Der Querschnitt zeigt, dass sich hieran ein verjüngter Bereich 14 sowie ein Presssitzbereich 15 mit Radius r_p korrespondierend Durchmesser d_p anschließt. Der verjüngte Bereich 14 ermöglicht es, dass beim Pressvorgang eine Spanbildung verhindert werden kann und aus optischen Gründen unerwünschte Riefen in diesem Bereich vermieden werden. Der Presssitzbereich 15 weist einen Durchmesser d_p auf, der größer ist als der Inkreisdurchmesser d_i des Funktionsbauteils 2, so wie es in Fig. 1 dargestellt ist. Hierbei ist es alternativ auch möglich, dass der Presssitzbereich 15 in Achsrichtung konisch geformt ist, d.h. der Durchmesser d_p der Achse nimmt nach unten hin zu, ist also nicht konstant. Der maximale Durchmesser d_p im Presssitzbereich der Achse sei für diesen Fall $d_{p\text{max}}$. Dadurch ergibt sich ein Überlapp von $\bar{U} = d_{p\text{max}} - d_i$. Der Kraftschluss der Bauteile wird maßgeblich durch den Überlapp \bar{U} im Presssitzbereich definiert. Je größer der Überlapp, desto höher der Kraftschluss, die Verdrehsicherheit und Aus-

presskraft. Eine solche Konfiguration ermöglicht insbesondere die zuverlässige Pressverbindung einer nicht-konischen Ausnehmung 4 des Funktionsbauteils.

[0062] Im Teilschnitt A-A ist weiterhin ein Plateau 16 dargestellt, mit dem das Höhenniveau des Funktionsbauteils 2 definiert wird und darüber hinaus ein ausreichend guter Planlauf des Funktionsbauteils 2 ermöglicht wird. Das Plateau 16 weist angrenzend an den Presssitzbereich 15 einen Freistich 17 auf, durch den eine flächige Auflage des Funktionsbauteils 2 auf dem Plateau 16 ermöglicht wird und ggf. entstehende Späne durch den Pressvorgang aufgenommen werden können.

[0063] Figur 5 zeigt eine Achse bzw. Welle 3, die in einer Ausnehmung 4 an das Funktionsbauteil 2 eingepresst werden kann, in der Aufsicht. Im Unterschied zu Fig. 4 kann die hier dargestellte Achse bzw. Welle 3 mit einer zusätzlichen Nietverbindung fixiert werden. Dies kann insbesondere dann von Vorteil sein, wenn eine hohe axiale Festigkeit, also hohe Auspresskräfte gefordert werden.

[0064] Die Schnittdarstellung des Teilschnittes A-A zeigt, dass die Achse 3 einen Zapfen 13 aufweist. Hieran schließt sich ein verjüngter Bereich 14 sowie ein Presssitzbereich 15 an. Zwischen dem verjüngten Bereich 14 und dem Presssitzbereich 15 mit Presssitzdurchmesser $d_p = 2r_p$ weist die Achse 3 zusätzlich einen Freistich 18 und eine Nietfahne 19 auf. Die Nietfahne 19 kann im späteren Verlauf der Fixierung plastisch verformt werden, so dass eine zusätzliche Nietverbindung zwischen dem Funktionsbauteil 2 und der Achse oder Welle 3 besteht. Die weiteren Details in Fig. 5 entsprechen der Variante nach Fig. 4.

[0065] In Fig. 6a ist eine erfindungsgemäße Baugruppe 1 dargestellt, die aus einem Funktionsbauteil 2 in Form eines Ankerrades und einer Achse 3 besteht. Die Baugruppe ist zunächst in der Aufsicht dargestellt und Details sind der Schnittdarstellung gemäß Teilschnitt A-A zu entnehmen. Gemäß Teilschnitt A-A steht hierbei die Achse 3 mit dem Funktionsbauteil 2 in unmittelbarem Kontakt, wobei das Höhenniveau des Funktionsbauteils 2 durch das Plateau 16 definiert wird. Der Freistich 17 ermöglicht die flächige Auflage des Funktionsbauteils 2 auf dem Plateau 16 und kann ggf. entstehende Späne, die beim Pressvorgang entstehen könnten, aufnehmen.

[0066] In Fig. 6b können in der Detailansicht des Teilschnittes A-A diese Details entnommen werden. Weiter ist aus der Detailansicht in Fig. 6b zu entnehmen, dass durch den Pressvorgang eine Nut 20 in der Achse 3 entstanden ist. Ferner ist zu erkennen, dass das Funktionsbauteil und die Achse über die Länge L im Kraftschluss sind. Je größer die Länge L, desto besser der Kraftschluss und umso höher die Verdrehsicherheit und Auspresskraft. Vorteilhaft ist deshalb, wenn die Kontaktlänge L mindestens $1/3$ der Gesamtlänge des Presssitzbereichs, hier korrespondierend zur Stärke t des Funktionsbauteils. Vorteilhafterweise sollte $L > 0,5t$ betragen. Den besten Kraftschluss wird erreicht, wenn möglichst die gesamte Stärke des Bauteils in Kontakt mit dem Presssitz-

bereich der Achse ist $L=t$.

[0067] In Fig. 6c ist eine weitere Variante dargestellt, die im Wesentlichen dem Aufbau von Fig. 6b entspricht. Das Funktionsbauteil ist hier aber aus einem Substrat 6 (z.B. aus Silizium) mit einer Beschichtung 7, bevorzugt einer Hartstoffbeschichtung, aufgebaut. Als Hartstoffbeschichtung eignet sich insbesondere eine Diamantbeschichtung. Aufgrund seiner hohen Bruchspannung ermöglicht die Diamantschicht auch das schadenfreie Pressen von filigranen Zahnformen mit kleinem Öffnungswinkel β . Darüber hinaus wird die Achsplatte durch die Diamantschicht zusätzlich mechanisch verstärkt und ein Versagensbruch in Radialer Richtung tritt erst bei deutlich höheren Einpresskräften auf, als bei einer unbeschichteten Achsplatte.

[0068] Fig. 7a zeigt eine weitere Variante einer erfindungsgemäßen Baugruppe 1 in der Aufsicht. Diese besteht aus dem Funktionsbauteil 2 und der Achse 3. Aus dem Teilschnitt A-A resultiert eine Schnittdarstellung, die den Aufbau des Funktionsbauteils 2 verdeutlicht. Dies ist insbesondere aus der Detailansicht in Fig. 7b zu entnehmen, die zeigt, dass im Unterschied zu Fig. 6b hier keine Konizität des Funktionsbauteils 2 noch der Achse 3 vorliegt. Vielmehr ist hier das Funktionsbauteil mit einer zylindrischen Ausnehmung versehen, die in planem Kontakt mit der Achse 3 steht. Dadurch wird eine maximale Kontaktlänge L im Presssitzbereich und damit ein maximaler Kraftschluss erreicht. Im vorliegenden Fall kann eine Spanbildung dadurch vermieden werden, dass das Funktionsbauteil 2 am unteren Ende eine Fase 21 aufweist.

[0069] Fig. 8 zeigt in einer Aufsicht eine erfindungsgemäße Baugruppe 1 mit einem Funktionsbauelement 2 in Form eines Ankerrades, wobei hier im Wesentlichen der Bereich der Ankerplatte 12 dargestellt ist. Im Zentrum der Ankerplatte 12 befindet sich eine Achse 3. Gemäß der ersten Detailansicht wird verdeutlicht, wie die Achse 3 über die zahnförmigen Strukturen 5, 5', 5" in Kontakt steht. Hierbei greifen die zahnförmigen Strukturen in das duktilere Material der Achse 3 ein. Dies wird in der zweiten Detailansicht nochmals verdeutlicht, in der die zahnförmige Struktur durch den Vorgang des Pressfügens in das Material der Achse eingegraben hat. Sofern es hier zu einer Spanbildung kommt, können die Späne in den Hohlräumbereichen 22, 23 gesammelt werden. Das Eingreifen der Zahnstruktur 5 in das Material der Achse 3 erlaubt eine Verdrehsicherheit und einen Kraftschluss, der für eine sichere Fixierung der Achse 3 in der Ausnehmung 4 des Funktionsbauteils 2 sorgt.

[0070] Fig. 9a ist die Aufsicht einer Variante einer erfindungsgemäßen Baugruppe 1 mit einem Funktionsbauteil 2 in Form eines Ankerrades, in dessen zentraler Ausnehmung eine Achse 3 eingefügt ist. Die Anordnung der Achse 3 im Funktionsbauteil 2 ist anhand einer Schnittdarstellung gemäß dem Teilschnitt A-A verdeutlicht. Das Funktionsbauteil 2 weist hierbei eine konische Flanke auf, die eine einfache Montage ermöglicht und eine Spanbildung vermeidet. Zusätzlich ist aus der De-

tailansicht in Fig. 9b zu erkennen, dass an der Oberseite die plastisch verformbare Nietfahne 19 (so wie sie in Fig. 5 dargestellt ist) so geformt wurde, dass sie von der Oberseite auf das Funktionsbauteil 2 gepresst ist. Hierbei ist es vorteilhaft, wenn das Funktionsbauteil an der Oberseite eine Fase 24 aufweist.

[0071] Fig. 10 zeigt eine Aufsicht einer Variante einer erfindungsgemäßen Baugruppe 1 mit einem Funktionsbauteil 2 in Form eines Ankers, wobei im Wesentlichen die Achsplatte 12 dargestellt ist. Die Achsplatte weist zentrale eine erfindungsgemäße Ausnehmung 4 mit zahnförmigen Strukturen auf. Zusätzlich weist die Ankerplatte 12 eine von der Ausnehmung 4 zum äußeren Rand 26 des Funktionsbauteils verlaufende Ausnehmung 25 auf. Diese ermöglicht eine elastische Verformung des Funktionsbauteils, wodurch das Funktionsbauteil 2 die Achse oder Welle 3 (hier nicht dargestellt) im Klemmsitz umschließen kann.

[0072] Eine ähnliche Variante zeigt Fig. 11 für ein Ankerrad, wobei hier die Achsplatte 12 vier von der Ausnehmung 4 zu den äußeren Rändern 26, 26', 26", 26" des Funktionsbauteils verlaufende Ausnehmungen 25, 25', 25", 25" aufweist. Die Ausnehmungen sind so einzubringen, dass die Auswirkungen auf die Funktionszonen, d.h. vor allem der Effekt der elastischen Verformung und der damit verbundenen Geometrieänderung des Bauteils minimiert werden.

30 Patentansprüche

1. Mikromechanische Baugruppe (1) enthaltend

- mindestens ein Funktionsbauteil (2) sowie
- mindestens eine Achse oder Welle (3),
wobei das mindestens eine Funktionsbauteil (2) mindestens eine im Wesentlichen zylindrische Ausnehmung (4) zur Aufnahme der Achse oder Welle (3) aufweist,
wobei die Achse oder Welle (3) aus einem duktilen Material gebildet ist und das mindestens eine Funktionsbauteil (2) am inneren Umfang der Ausnehmung (4) mehrere zahnförmige Strukturen (5, 5', ...) aufweist und zumindest die mit der Achse oder Welle (3) in Kontakt tretenden Bereiche der zahnförmigen Strukturen (5, 5', ...) aus einem sprödharten Material gebildet sind und
wobei das mindestens eine Funktionsbauteil (2) und die mindestens eine Achse oder Welle (3) im Bereich der Ausnehmung durch Pressfügen kraftschlüssig verbunden sind.

2. Mikromechanische Baugruppe (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Funktionsbauteil (2) von 3 bis 21 zahnförmige Strukturen (5, 5', ...) bevorzugt von 5 bis 19 zahnförmige Strukturen (5, 5', ...) und besonders bevorzugt

- von 7 bis 11 zahnförmige Strukturen (5, 5',...) aufweist, wobei vorzugsweise die zahnförmigen Strukturen (5, 5',...) einen Öffnungswinkel im Bereich von 10° bis 120°, bevorzugt von 20° bis 60° und besonders bevorzugt von 20° bis 50° und insbesondere von 45° aufweisen. 5
3. Mikromechanische Baugruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die zahnförmigen Strukturen (5, 5',...) zumindest teilweise, bevorzugt alle zahnförmigen Strukturen (5, 5',...), von der Ober- und/oder Unterseite angliert sind. 10
4. Mikromechanische Baugruppe (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 15
dadurch gekennzeichnet, dass das duktile Material der mindestens einen Achse oder Welle (3) ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus 20
- a) eisenhaltigen Materialien, insbesondere Stähle, bevorzugt härtbare Stähle, niedrig- und hochlegierte Stähle, Maragingstähle, 25
 - b) eisenfreien metallischen Materialien, bevorzugt Al, Ni, Cr, Co, Cu, Mn, V, Ti, Sc, W, Ta, Mo, Nb, Pt, Au, Rh, und Legierungen hiervon, insbesondere Messing, Bronze, CuBe; 30
 - c) metallischen Karbide der refraktären Metalle Ti, Ta, W, Mo, Ni; 35
 - d) Hochtemperaturlegierungen mit Refraktärmetallbestandteilen, insbesondere TZM, 40
 - e) Verbundwerkstoffen aus keramischen Werkstoffen in einer metallischen Matrix, Hartmetallen, gesinterten Carbidhartmetallen, wie z.B. Cobalt oder Nickel-gebundenen Wolframkarbiden oder Titankarbiden; 45
 - f) Kombinationen von den Materialien a) bis e).
- wobei das duktile Material bevorzugt eine Vickers-Härte von 350 bis 900HV, besonders bevorzugt von 400 bis 800HV, ganz besonders bevorzugt von 550 bis 700HV aufweist. 50
5. Mikromechanische Baugruppe (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 55
dadurch gekennzeichnet, dass das sprödharte Material ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus einkristallinem Diamant, polykristallinem Diamant, nanokristallinem Diamant, diamantartigem amorphen Kohlenstoff (DLC) und Kombinationen hiervon.
6. Mikromechanische Baugruppe (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
- dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Funktionsbauteil (2) aus dem sprödharten Material besteht oder
- dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Funktionsbauteil (2) ein Substrat (6) aus einem Material ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Silizium, Hartmetall, Stahl, keramischen Materialien, insbesondere SiO₂, Si₃N₄ und SiC, sowie Kombinationen hiervon enthält und eine zumindest bereichsweise Beschichtung (7) aus dem sprödharten Material aufweist, wobei die Beschichtung (7) vorzugsweise eine Schichtdicke im Bereich von 1 bis 100 µm, bevorzugt von 2 bis 50 µm und besonders bevorzugt von 4 bis 10 µm aufweist und insbesondere eine isotrop aufgetragene Beschichtung ist.
7. Mikromechanische Baugruppe (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung (7) eine Hartstoffbeschichtung ist und bevorzugt mindestens eine der folgenden Eigenschaften erfüllt:
- eine Biegebruchspannung σ_0 von mindestens 2 GPa, bevorzugt mindestens 5 GPa und besonders bevorzugt mindestens 7 GPa,
 - ein E-Modul von maximal 1000 GPa, bevorzugt maximal 700 GPa und besonders bevorzugt von maximal 450 GPa,
 - eine Oberflächenrauigkeit von 3 bis 100 nm R_{RMS}, bevorzugt von 4 bis 30 nm R_{RMS},
 - eine Härte von mindestens 50 GPa, insbesondere von 60 bis 110 GPa
- wobei die Hartstoffbeschichtung bevorzugt aus Diamant besteht.
8. Mikromechanische Baugruppe (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Funktionsbauteil (2) Silizium enthält und die Beschichtung (7) aus nanokristallinem Diamant besteht.
9. Mikromechanische Baugruppe (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Funktionsbauteil (2) eine Dicke im Bereich von 10 µm bis 2 mm, bevorzugt von 50 µm bis 1 mm und besonders bevorzugt von 100 µm bis 500 µm aufweist.
10. Mikromechanische Baugruppe (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die Ausnehmung (4) und/oder die Achse oder Welle (3) eine Konizität von -1° bis 3° , bevorzugt von 0° bis $2,5^\circ$ und besonders bevorzugt von $0,5^\circ$ bis 2° aufweist und/oder die Ausnehmung (4) einen Durchmesser im Bereich von 0,1 bis 1 mm, bevorzugt von 0,2 bis 0,5 mm und besonders bevorzugt von 0,3 bis 0,4 μm aufweist.

5

baugruppe, insbesondere als Zahnrad, Ankerrad, Anker, Trieb, Doppelrolle einer Unruh, Hebestein, Hebelstein einer Doppelrolle, Lagerzapfen und Kombinationen hiervon.

11. Mikromechanische Baugruppe (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

10

dadurch gekennzeichnet, dass, im Querschnitt der Baugruppe betrachtet, das Verhältnis von Kontaktlänge L des Kontakts von Funktionsbauteil (2) zu Achse oder Welle (3) zur gesamten Länge des Presssitzbereichs t gilt: $L > 1/3t$, bevorzugt $L > 1/2t$, besonders bevorzugt $L > 3/4t$ und/oder dass der Überlapp $\Delta = d_{\text{pmax}} - d_i$ im Bereich von 1 bis 25 μm , bevorzugt 2 bis 15 μm , besonders bevorzugt 3 bis 8 μm beträgt.

15

20

12. Mikromechanische Baugruppe (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die mikromechanische Baugruppe (1) eine Uhrwerksbaugruppe mit einer Achse oder einer Welle sowie einem Funktionsbauteil ist, wobei das Funktionsbauteil insbesondere ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Zahnrad, Ankerrad, Anker, Trieb, Doppelrolle, Sicherheitsmesser, Hebelstein, Hebestein, Lagerzapfen, Sicherheitsrolle und Kombinationen hiervon.

25

30

13. Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Baugruppe (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bei dem

35

- a) mindestens eine durch Drehen hergestellte Achse oder Welle (3) bereitgestellt wird,
- b) mindestens ein Funktionsbauteil (2) in Wafer-Technologie mittels Plasmaätzen hergestellt wird, wobei in dem mindestens einen Funktionsbauteil (2) mindestens eine Ausnehmung (4) zur Aufnahme der Achse oder Welle (3) erzeugt wird,
- c) die mindestens eine Achse oder Welle (3) in die mindestens eine Ausnehmung (4) des Funktionsbauteils (2) eingeführt wird und
- d) die Achse oder Welle (3) und das Funktionsbauteil (2) mittels Pressfügen kraftschlüssig verbunden werden.

40

45

50

14. Verfahren nach Anspruch 13,

dadurch gekennzeichnet, dass die Ausnehmung (4) des mindestens einen Funktionsbauteils (2) konisch ist und die Achse oder Welle (3) an der größeren Öffnung der Ausnehmung (4) eingeführt wird.

55

15. Verwendung der mikromechanischen Baugruppe (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12 als Uhrwerks-

Fig. 1

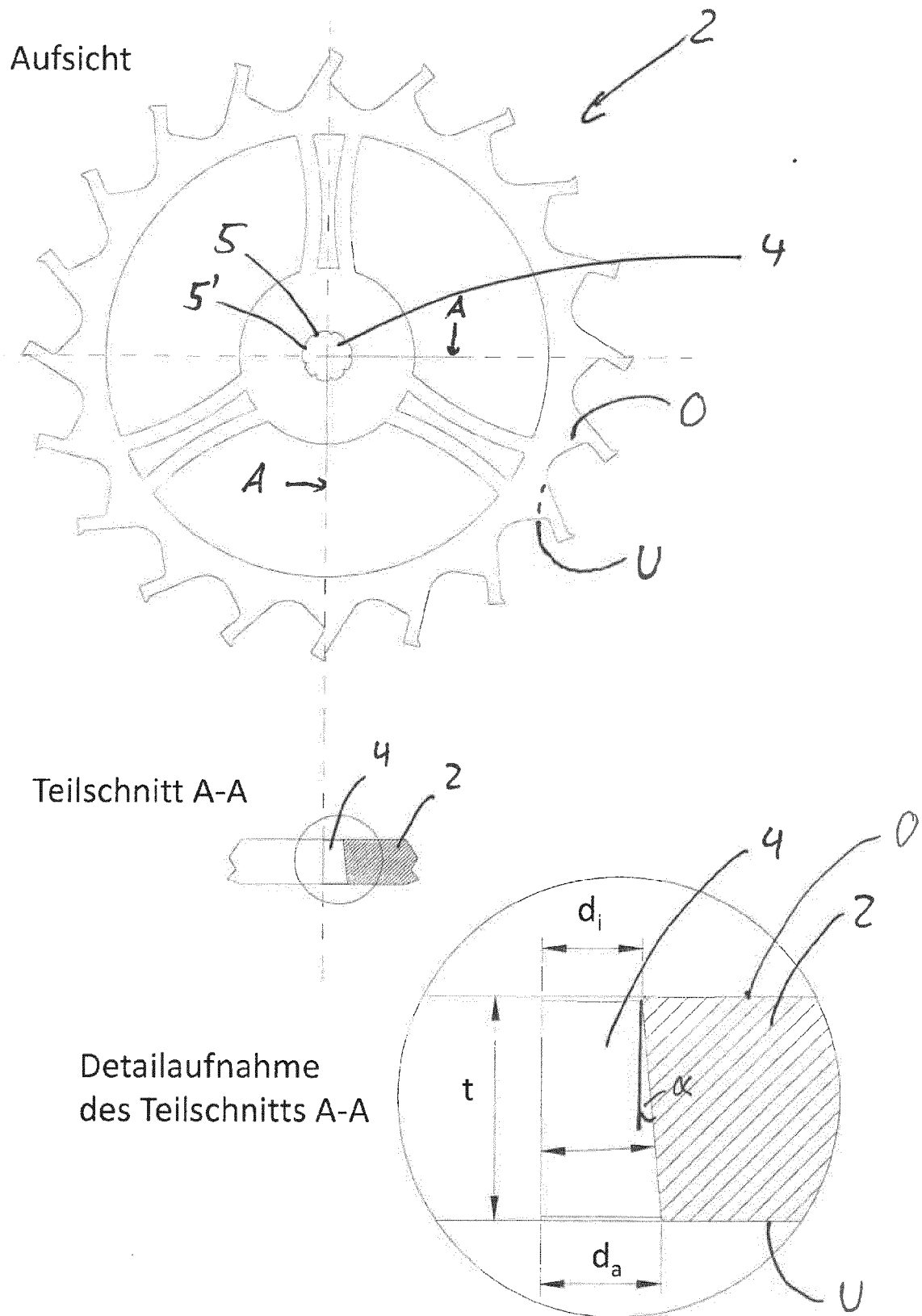


Fig. 2

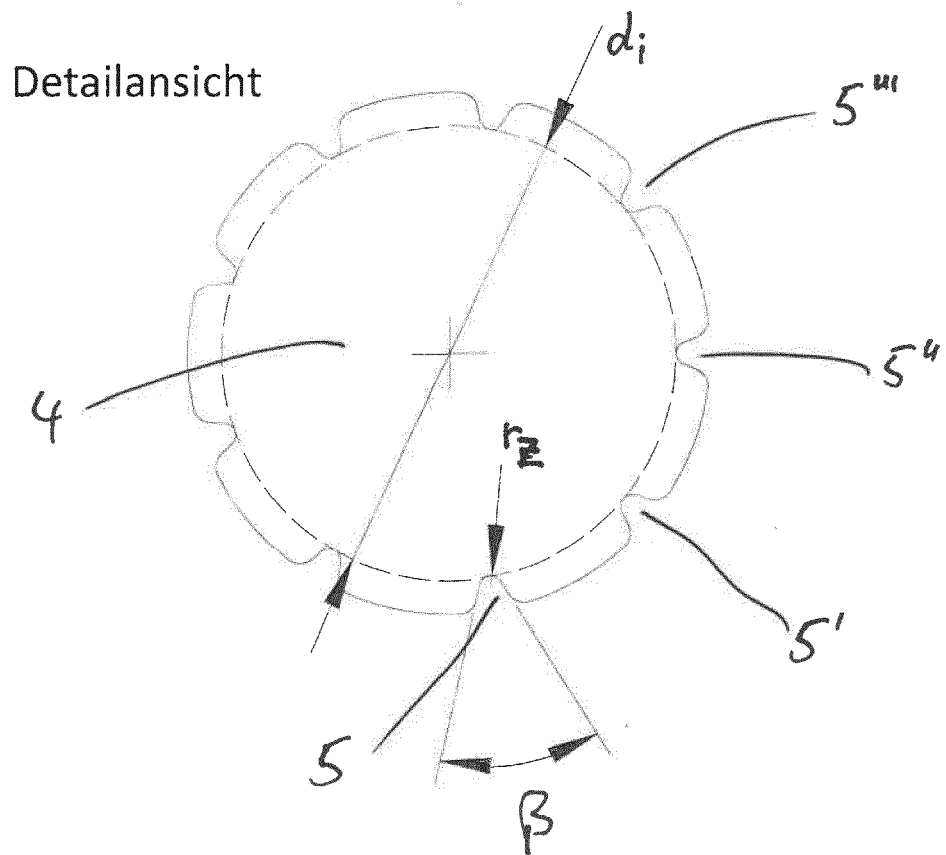
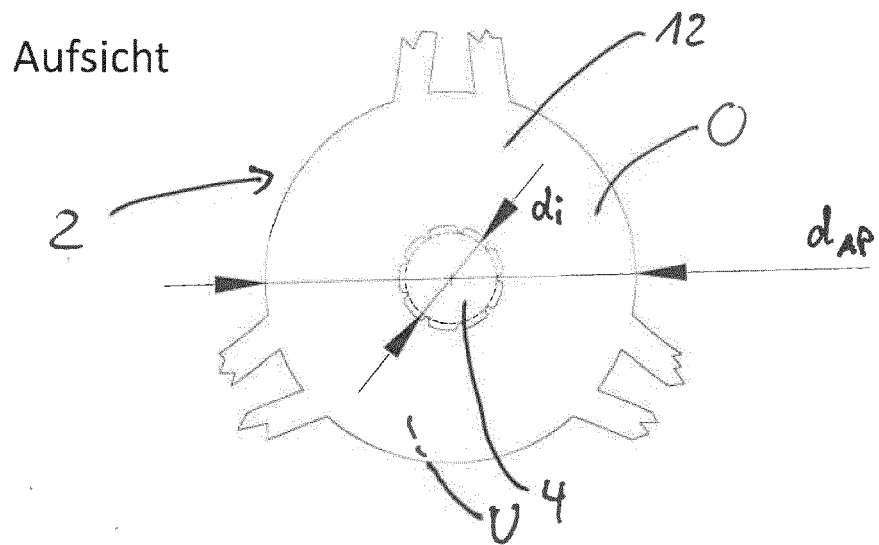


Fig. 3

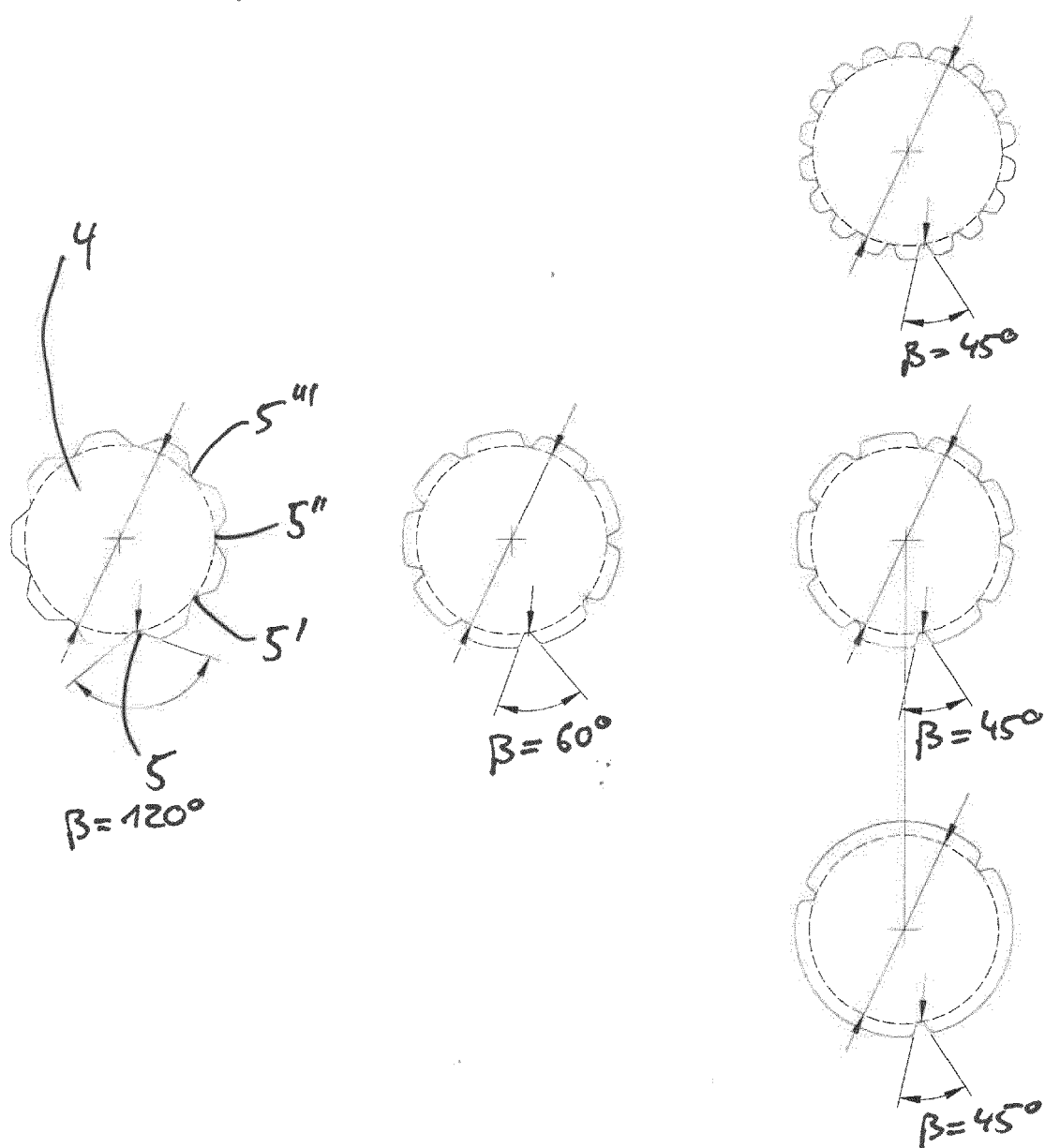


Fig. 4

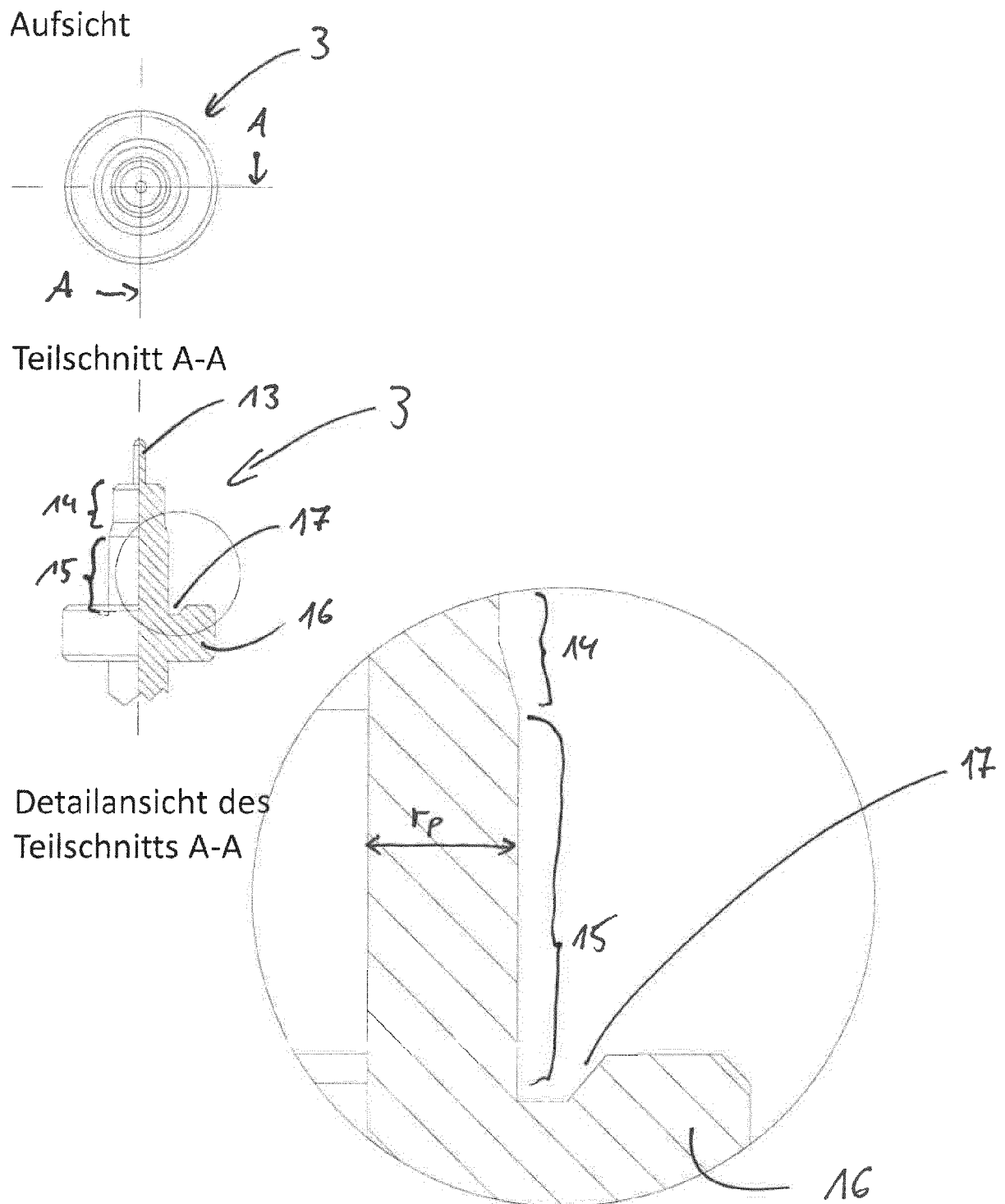
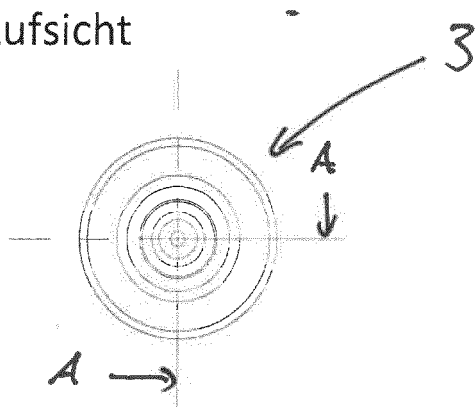
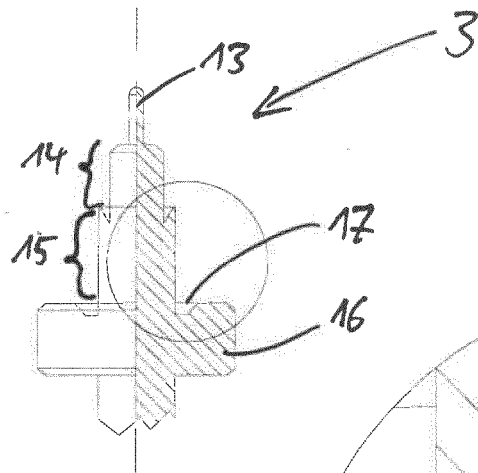


Fig. 5

Aufsicht



Teilschnitt A-A



Detailansicht des
Teilschnitts A-A

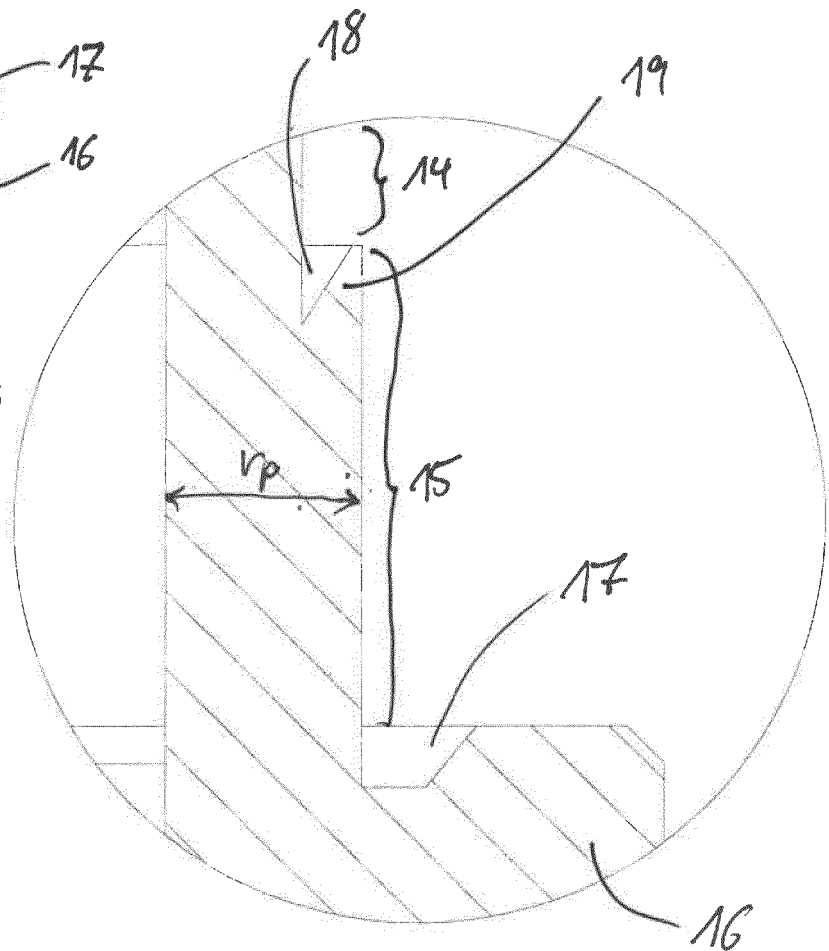
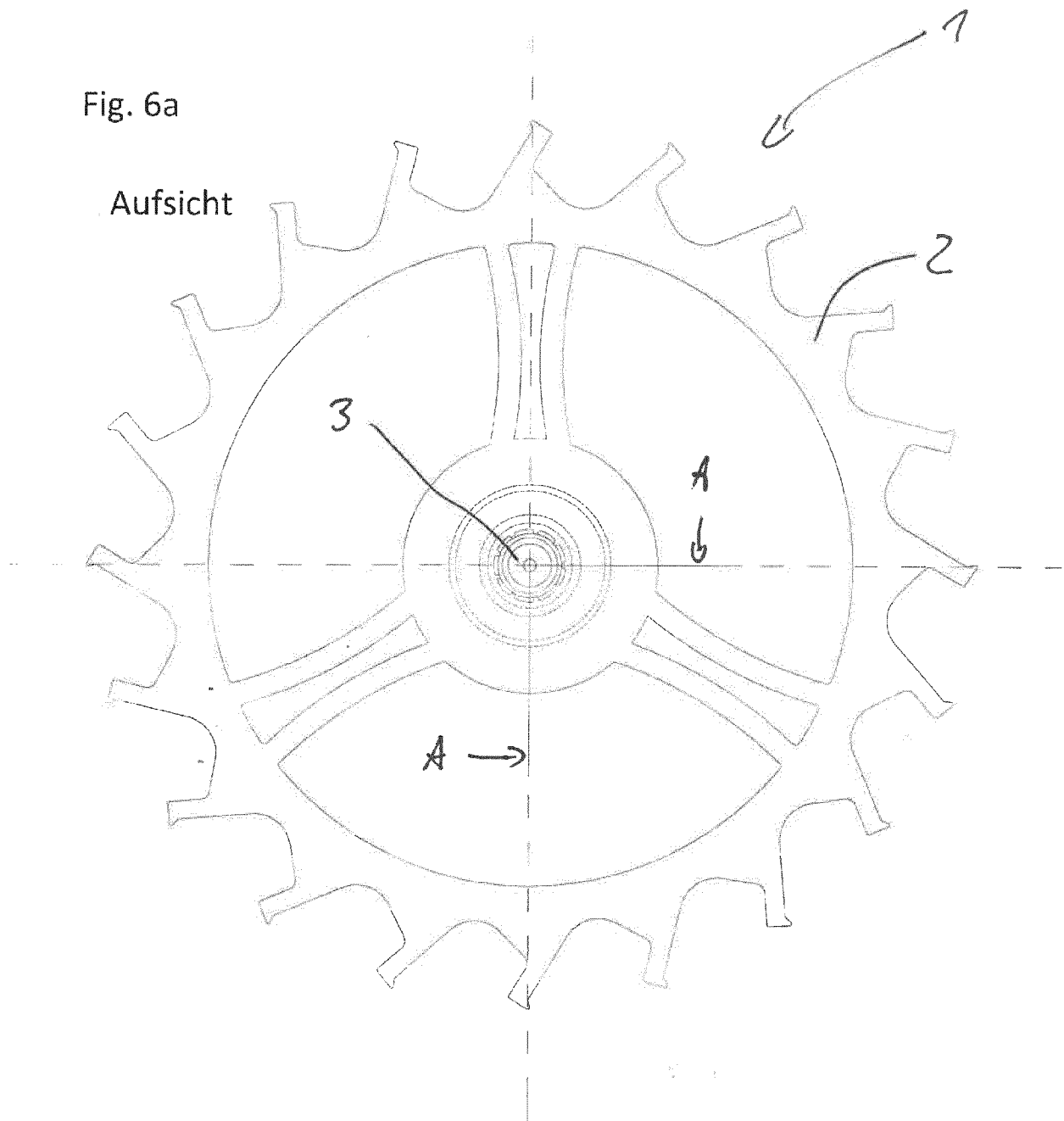


Fig. 6a

Aufsicht



Teilschnitt A-A

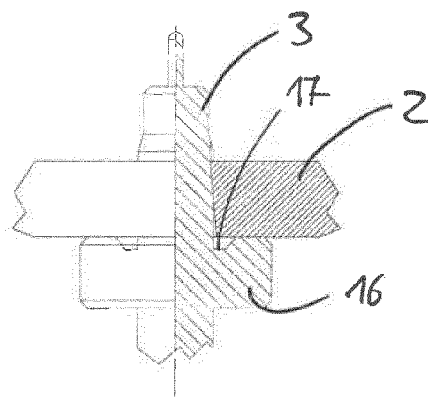
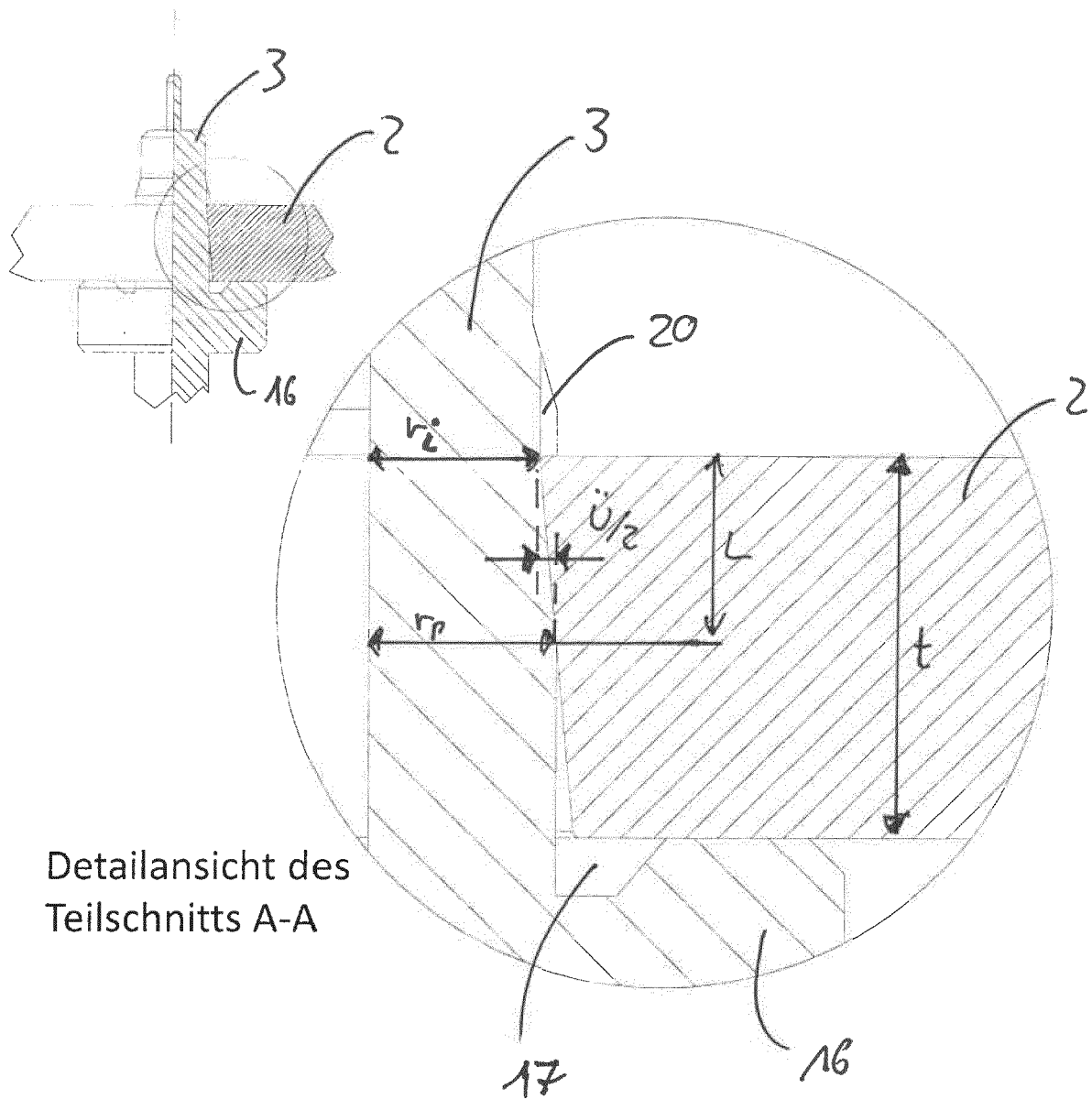


Fig. 6b

Teilschnitt A-A



Detailansicht des
Teilschnitts A-A

Fig. 6c

Teilschnitt A-A

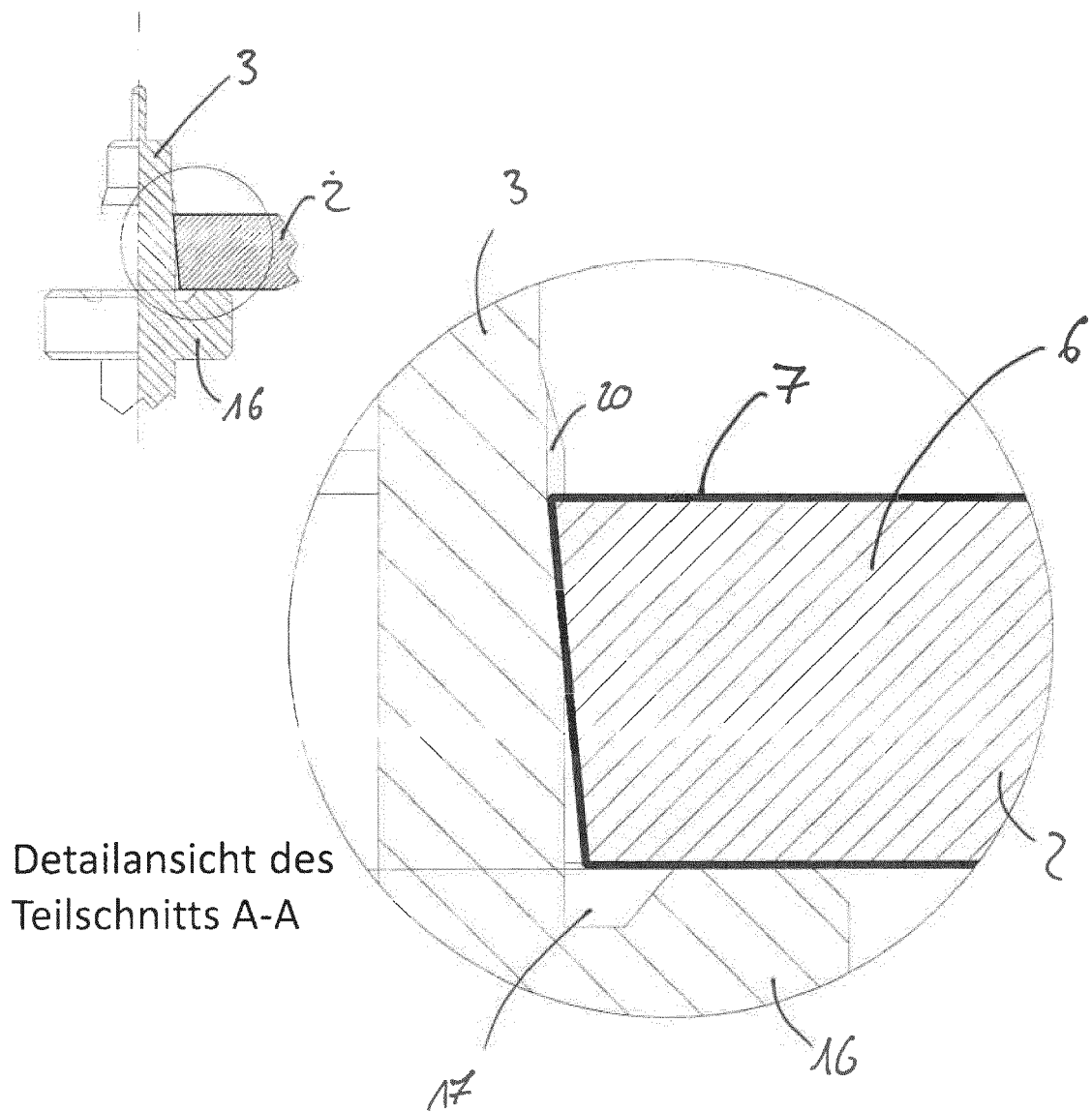
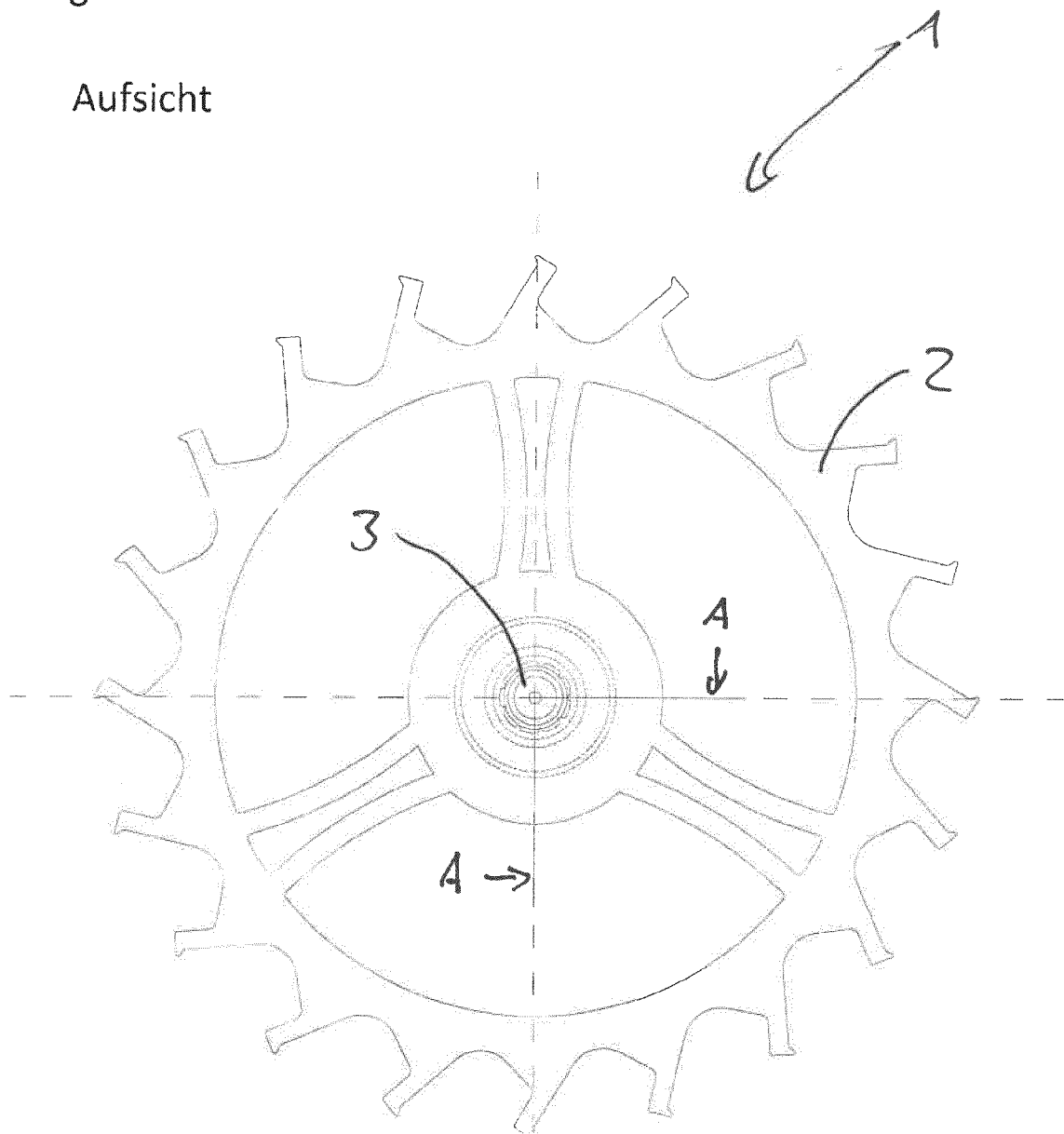


Fig. 7a

Aufsicht



Teilschnitt A-A

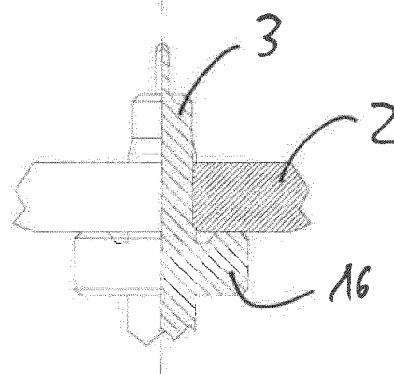


Fig. 7b

Teilschnitt A-A

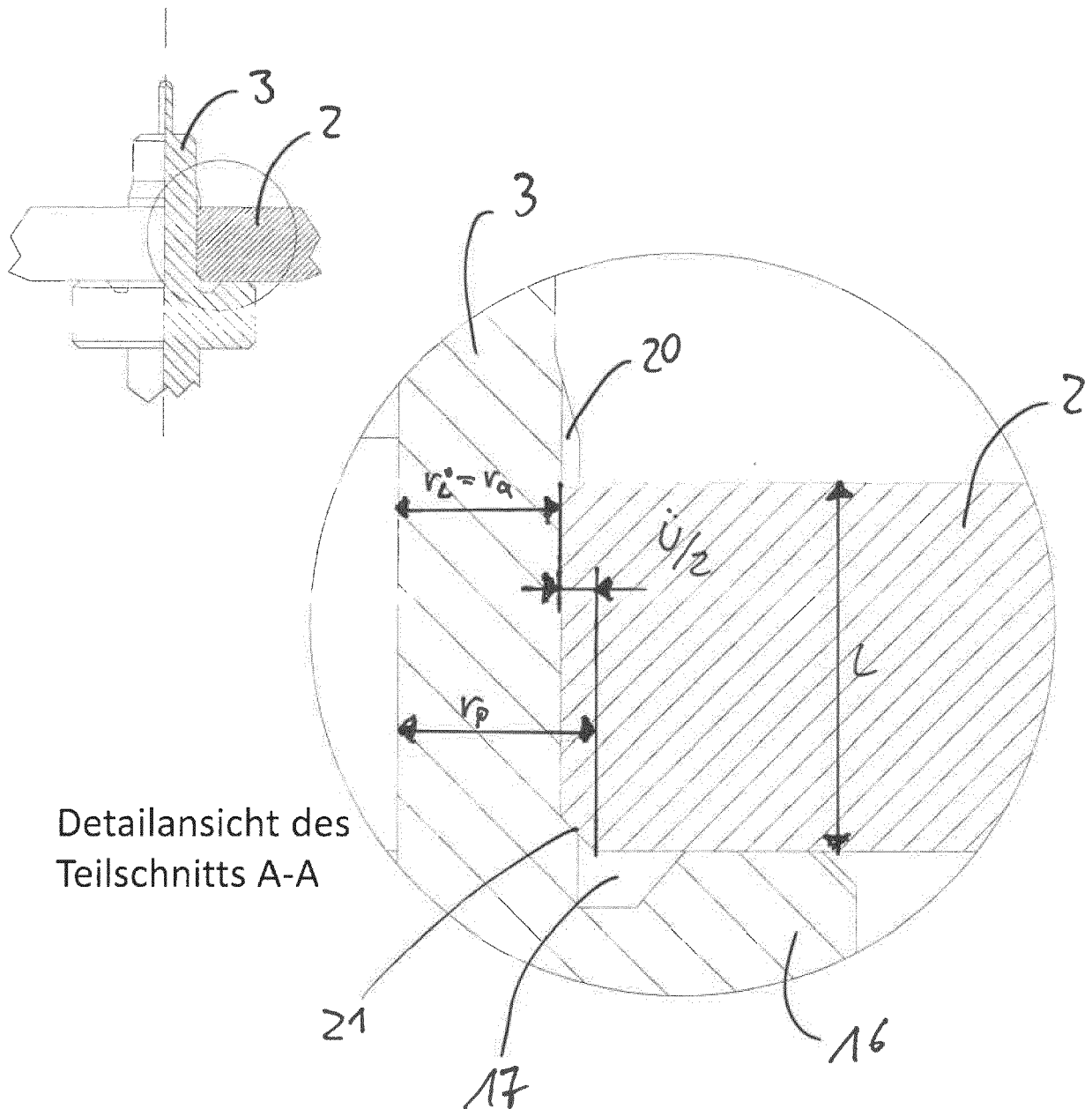
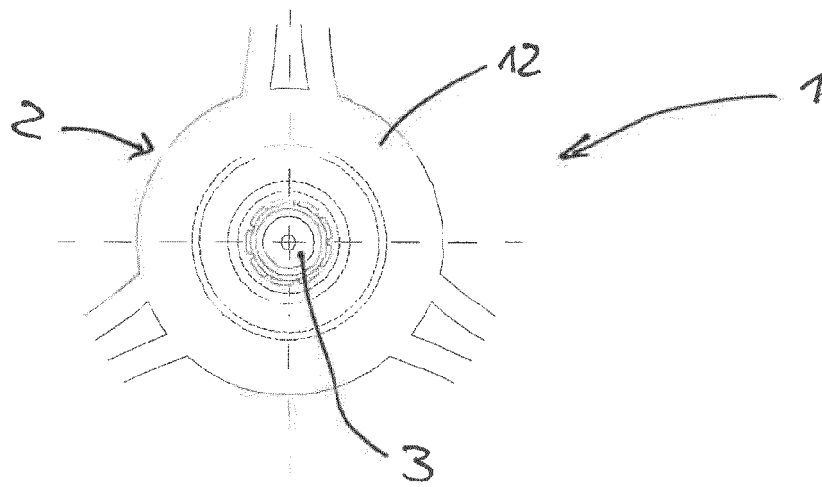
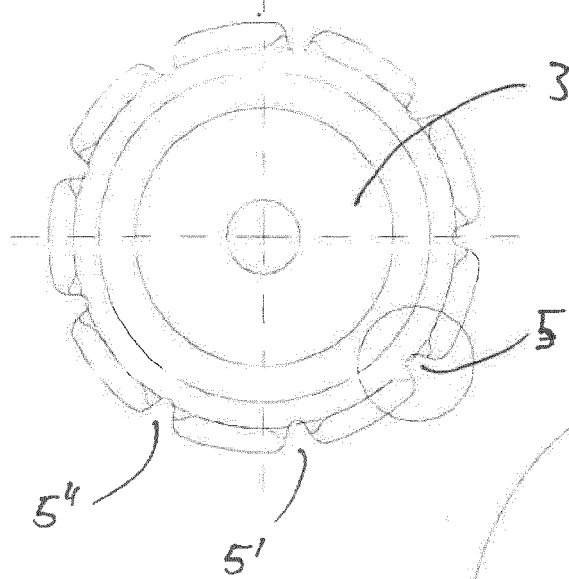


Fig. 8

Aufsicht



1. Detailansicht



2. Detailansicht

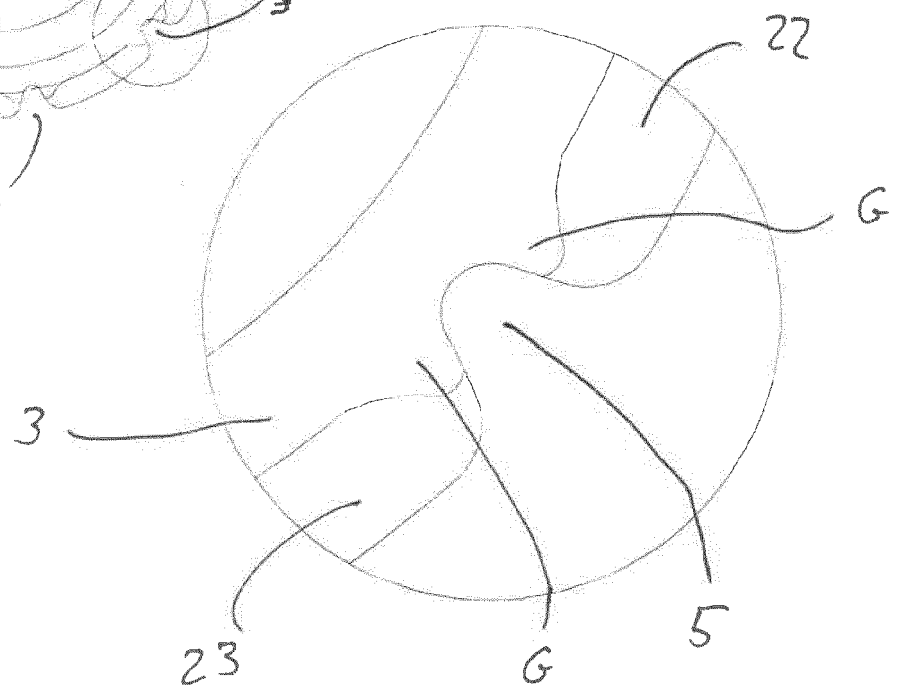
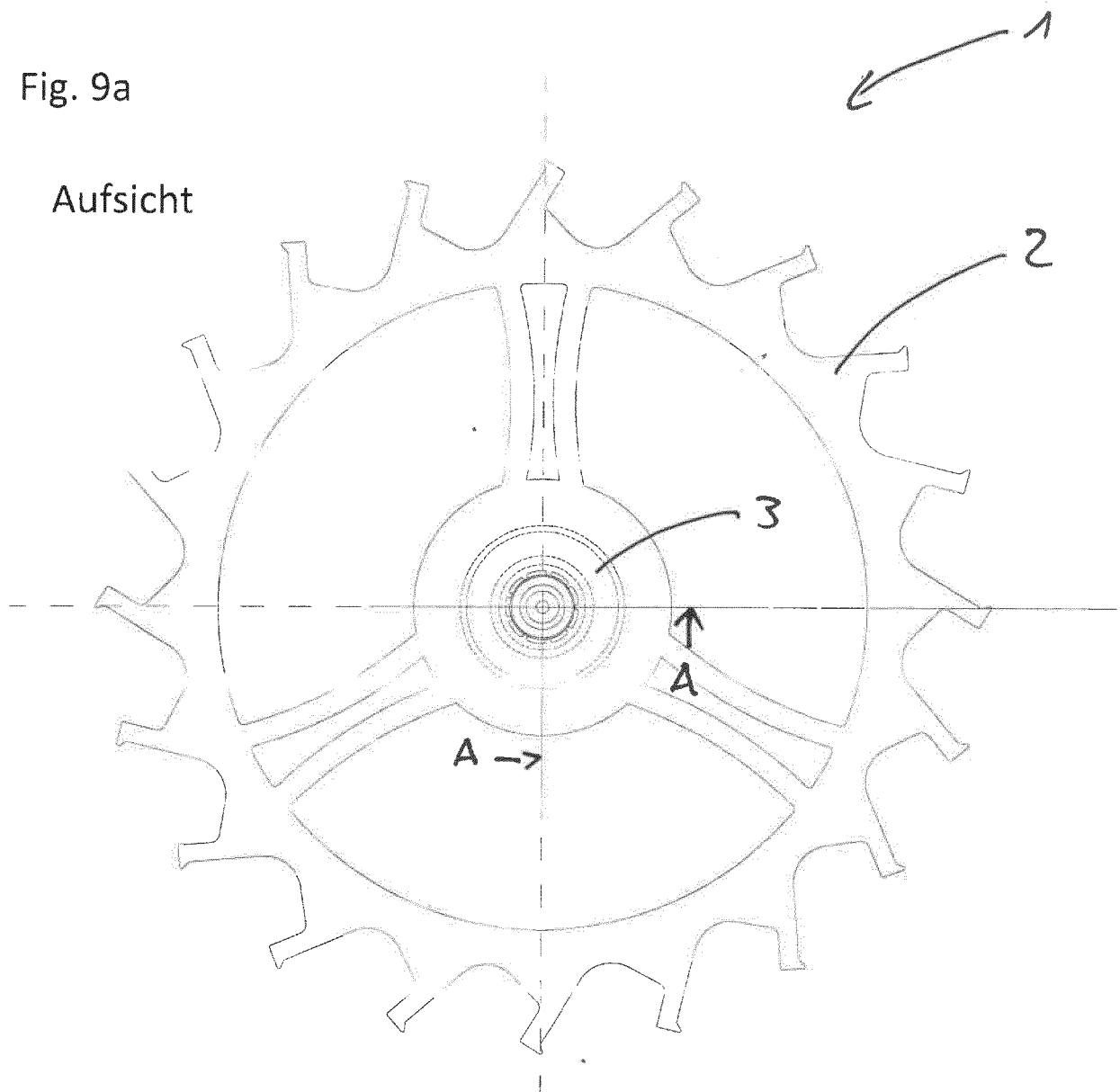


Fig. 9a

Aufsicht



Teilschnitt A-A

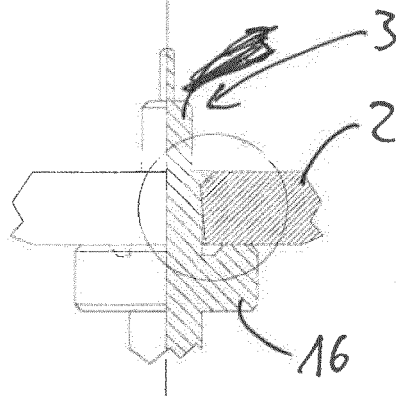


Fig. 9b

Teilschnitt A-A

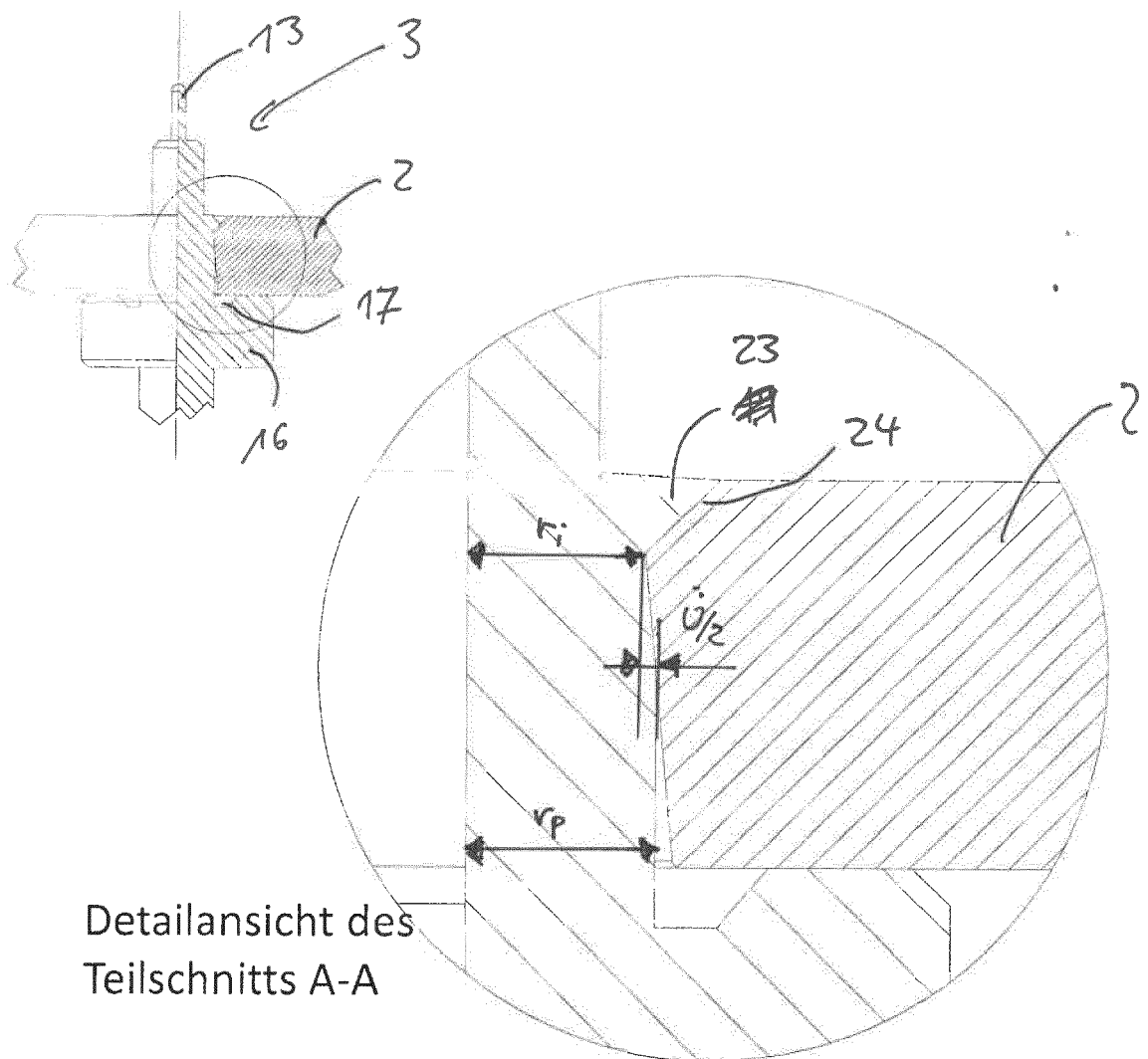


Fig. 10

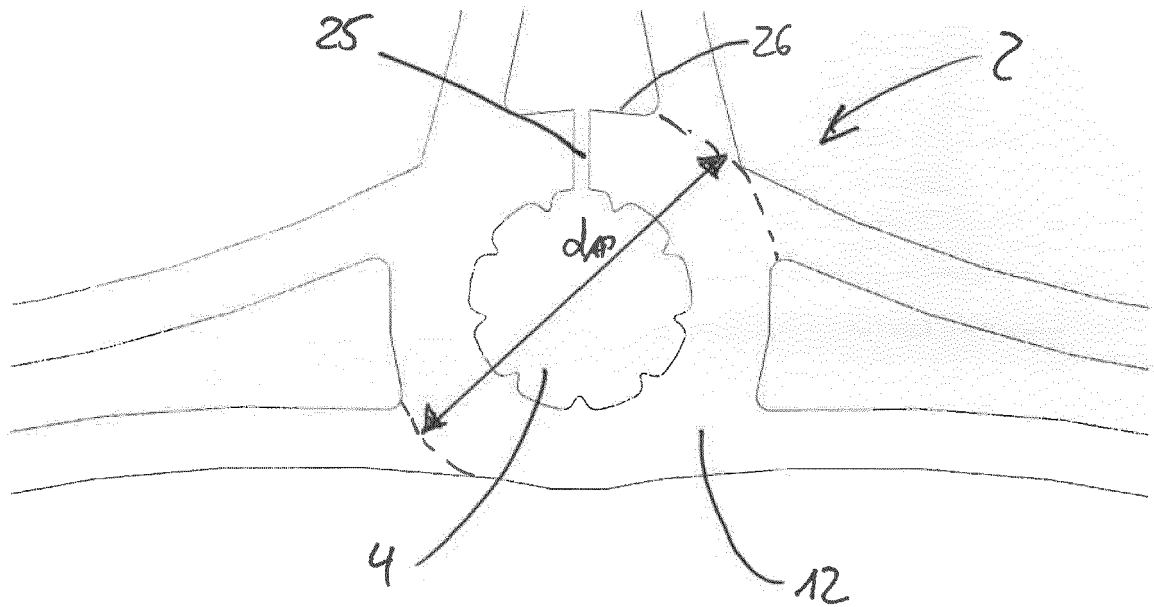
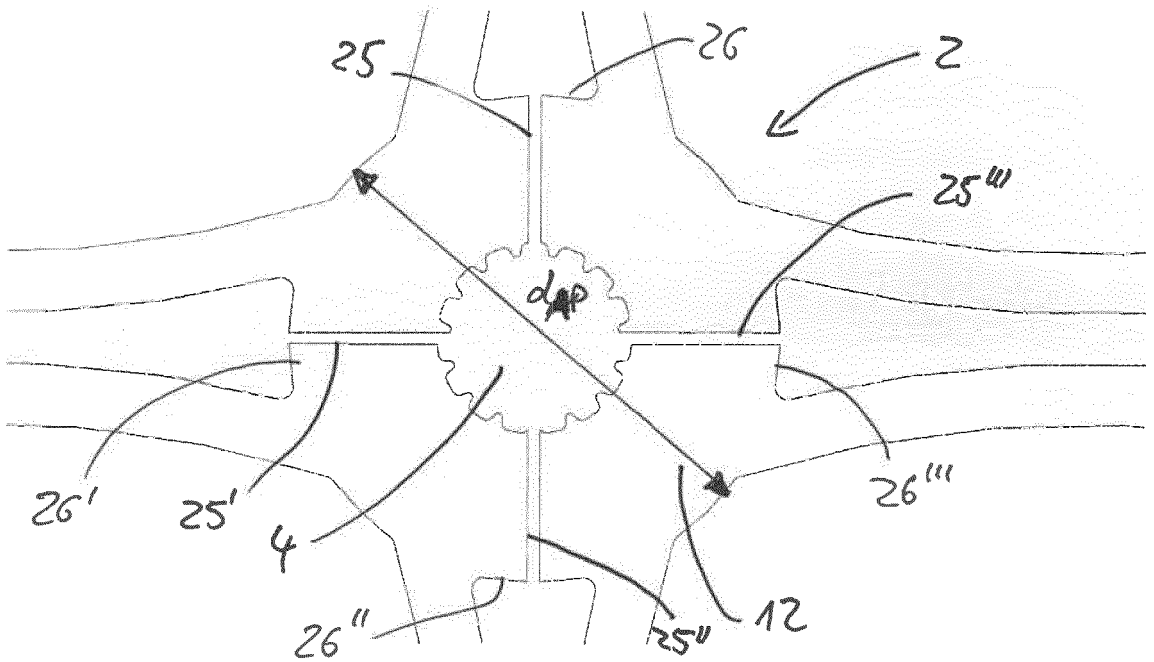


Fig. 11





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 21 20 7650

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 3 413 143 A2 (SEIKO EPSON CORP [JP]) 12. Dezember 2018 (2018-12-12)	1, 2, 4, 6, 15	INV. G04B13/02
Y	* Absätze [0039] - [0108]; Abbildung 3 *	5, 7-9	G04B13/022
A	-----	3, 10-14	G04B15/14 G04B17/32
Y	EP 2 727 880 A1 (GFD GES FUER DIAMANTPRODUKTE MBH [DE] ET AL.) 7. Mai 2014 (2014-05-07) * Absätze [0006] - [0008]; Ansprüche 1, 8, 9, 11, 12 *	5, 7-9	B81C1/00
A	EP 2 230 570 A2 (MHVJ MANUFACTURE HORLOGERE VAL [CH]) 22. September 2010 (2010-09-22) * Absätze [0015], [0020] - [0021]; Abbildung 5 *	1	
A, D	EP 2 637 066 A2 (SIGATEC SA [CH]) 11. September 2013 (2013-09-11) * Absätze [0010] - [0014], [0019] - [0023]; Abbildungen 1-3 *	1	
A	US 2012/159766 A1 (VERARDO MARCO [CH] ET AL) 28. Juni 2012 (2012-06-28) * Absätze [0035] - [0067]; Abbildung 11 *	1, 10, 11	G04B B81C B82B
A	EP 3 644 128 A1 (SEIKO EPSON CORP [JP]) 29. April 2020 (2020-04-29) * Abbildung 4 *	1	
A	EP 3 627 238 A1 (NIVAROX SA [CH]) 25. März 2020 (2020-03-25) * Absätze [0021] - [0029]; Abbildung 3 *	1	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 4. Mai 2022	Prüfer Camatchy Toppé, A
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 20 7650

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

04-05-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 3413143 A2	12-12-2018	EP 3413143 A2 JP 6891646 B2 JP 2018205196 A US 2018356768 A1	12-12-2018 18-06-2021 27-12-2018 13-12-2018
20	EP 2727880 A1	07-05-2014	KEINE	
25	EP 2230570 A2	22-09-2010	CH 700640 A1 EP 2230570 A2	30-09-2010 22-09-2010
30	EP 2637066 A2	11-09-2013	CH 706220 A2 EP 2637066 A2	13-09-2013 11-09-2013
35	US 2012159766 A1	28-06-2012	CH 704258 A2 CN 102540848 A EP 2469351 A1 EP 2469354 A2 HK 1176127 A1 JP 5330493 B2 JP 2012132914 A RU 2011152381 A TW 201240764 A US 2012159766 A1	29-06-2012 04-07-2012 27-06-2012 27-06-2012 19-07-2013 30-10-2013 12-07-2012 27-06-2013 16-10-2012 28-06-2012
40	EP 3644128 A1	29-04-2020	CN 111090229 A EP 3644128 A1 JP 6915602 B2 JP 2020067353 A US 2020133200 A1	01-05-2020 29-04-2020 04-08-2021 30-04-2020 30-04-2020
45	EP 3627238 A1	25-03-2020	CN 112740118 A EP 3627238 A1 EP 3853672 A1 JP 2022500653 A KR 20210046731 A US 2022035313 A1 WO 2020057943 A1	30-04-2021 25-03-2020 28-07-2021 04-01-2022 28-04-2021 03-02-2022 26-03-2020

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2637066 A2 [0010]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **R. MORRELL et al.** *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 2010, vol. 28, 508-515 [0032]
- Der 4-Kugelversuch zur Ermittlung der biaxialen Biegefestigkeit spröder Werkstoffe. **R. DANZER et al.** Technische keramische Werkstoffe. HvB Verlag [0032]
- Youngs modulus, fracture strength, and Poisson's ratio of nanocrystalline diamond films. *J. Appl. Phys.*, 2014, vol. 116, 124308 [0034]