

(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
26. April 2012 (26.04.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/052007 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2011/075118
- (22) Internationales Anmeldedatum:
24. Mai 2011 (24.05.2011)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2010 017 357.6 14. Juni 2010 (14.06.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): BPE E. K. [DE/DE]; Föhrenstr. 51, 90542 Eckental (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HORNIG, Wolfgang [DE/DE]; Föhrenstr. 51, 90542 Eckental (DE).
- (74) Anwalt: KAUFMANN, Sigfrid; Loschwitz Str. 42, 01309 Dresden (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD FOR STRUCTURING BODIES

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM STRUKTURIEREN VON KÖRPERN

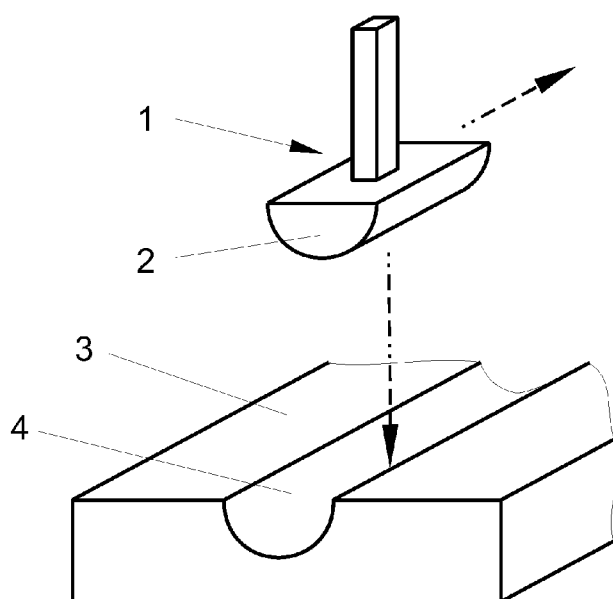


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing bodies having surface structures in the micrometer or nanometer range, wherein the stamping section of a stamping tool is pressed several times against various locations of the surface of a body by means of a hardness testing device, whereby recesses are stamped at the pressing locations, and wherein a stamping tool having an elongated stamping section is used and corresponding channels or line-like structure are produced in the body.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von Körpern mit Oberflächenstrukturen im Mikrometer- oder Nanometerbereich, wobei der Prägeabschnitt eines Prägewerkzeugs mittels eines Härteprüfgeräts mehrfach auf verschiedene Stellen der Oberfläche eines Körpers gepresst wird, wodurch an den jeweiligen Aufpressstellen Vertiefungen eingepreßt werden, und wobei ein Prägewerkzeug mit einem länglich geformten Prägeabschnitt eingesetzt und entsprechende Kanäle oder linienartige Strukturen in dem Körper erzeugt werden.

Verfahren zum Strukturieren von Körpern

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, mit dem die Oberflächen von beliebigen Körpern mit unterständigen Mikro- oder Nanostrukturen versehen sowie mikro- und/oder nanogroß durchbrochene Folien angefertigt werden können.

Oberflächen, die mit Mikro- oder Nanostrukturen versehen sind, gewinnen immer mehr an Bedeutung, da sich ihre Eigenschaften von denen unstrukturierter Oberflächen deutlich unterscheiden. So kann z. B. durch oberständige Nanostrukturen die Benetzbarkeit von Oberflächen stark herabgesetzt (Lotuseffekt) oder durch unterständige Strukturen (Öltaschen von Prägewerkzeugen) vergrößert werden. Des Weiteren kann der Strömungswiderstand von Oberflächen verringert (Riblet-Oberflächen), die geometrische (z. B. bei Wärmetauschern) oder reaktive Oberfläche (z. B. bei Elektroden von Brennstoffzellen) vergrößert sowie das optische Verhalten der Oberflächen (z. B. durch Aufbringen von Mikrolinsen, Mikroprismen) verändert werden.

Da die originäre Herstellung (direkte Herstellung ohne Verwendung von Urformen oder Lochmasken) von mikro- bzw. nanostrukturierten Oberflächen mit herkömmlichen Verfahren sehr aufwendig ist, wenn nicht sogar unmöglich ist (dreidimensionale Form, Abmessungen), wobei der Aufwand (Ultrapräzisionsmaschinen, Werkzeuge) mit feiner werdenden Strukturen weiter ansteigt, werden aus Kostengründen ausschließlich Urformen und lithographische Masken originär hergestellt, die dann vielfach repliziert werden.

Urformen werden üblicherweise durch Lasern oder Mikrofräsen der erforderlichen Mikro- oder Nanostrukturen in die Oberfläche eines Rohlings hergestellt. Sowohl das Lasern als auch das Mikrofräsen sind mit erheblichem zeitlichen und apparativen Aufwand verbunden. Nachteilig ist außerdem, dass die Formen der in die Oberfläche eingebrachten Vertiefungen beim Lasern praktisch nicht (immer trichterförmig) und beim Mikrofräsen nur geringfügig (rotationssymmetrisch) gestaltet werden können.

Darüber hinaus sind aus dem Stand der Technik neuere Entwicklungen zur Erzeugung

oder Modifikation von Mikro- und Nanostrukturen bekannt.

So wird in DE 10 2007 047 162 A1 ein Verfahren für die Herstellung von Mikro- oder Nanostrukturen, gebildet aus Scharen von metallischen Säulen, beschrieben, bei dem eine Schablone, die eine Schar von Durchgangslöchern aufweist, auf einen Träger mit elektrisch leitender Oberfläche aufgelegt wird und anschließend auf der Anordnung galvanisch Metall abgeschieden wird. Hierdurch werden auf dem Träger im Bereich der Durchgangslöcher die säulenförmigen Metallstrukturen aufgebracht.

In DE 10 2005 011 345 A1 wird ein Verfahren zum Herstellen einer Nanostruktur vorgestellt, bei dem ein Substrat, wie z. B. ein Si-Wafer, einer maskierten Ionenstrahlung (MIB) ausgesetzt und anschließend einer elektrodenlosen Abscheidung in einer übersättigten Lösung unterzogen wird. Die Abscheidung erfolgt ausschließlich in den bestrahlten Bereichen, da sich dort Nukleationszentren ausbilden.

Zur Herstellung der Nanostrukturen wird allerdings in beiden Fällen eine Schablone bzw. eine Maske eingesetzt, deren Herstellung mit einem fast genauso großen Aufwand verbunden ist, wie die Herstellung einer Urform.

In EP 1 587 113 A2 wird eine Methode zur Modifikation von Mikro- oder Nanostrukturen beschrieben. Hierzu wird vorgeschlagen, die Messspitze eines Nano-Profilometers in einem vorgegebenen Muster schnell über die zu modifizierende Oberfläche zu ziehen. Alternativ kann auch mit der Messspitze, wenn sie in eine ständige Zitterbewegung ("mikroskopischer Presslufthammer") versetzt wird, Material von der Oberfläche entfernt werden.

Die vorgeschlagene Methode ist allerdings nur zur lokalen Modifikation von Mikro- oder Nanostrukturen geeignet; die komplette Herstellung von Urformen mit mikro- und/oder nanostrukturierten Oberflächen ist mit der Methode nicht möglich.

Aus DE 10 2009 004 305 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung von plattenförmigen Körpern mit mikro- und/oder nanostrukturierten Oberflächen oder von mikro- und/oder na-

nanogroß durchbrochenen Folien bekannt, bei dem die aus Diamant, Hartmetall, Glas oder Keramik bestehende Spitze eines nadelförmigen Prägewerkzeugs unter Verwendung einer Positioniereinrichtung sehr oft auf verschiedene Stellen der Oberfläche eines Rohlings gepresst wird, wodurch an allen Aufpressstellen Vertiefungen eingeprägt und/oder Durchbrüche erzeugt werden.

Das Verfahren ist jedoch auf das Strukturieren plattenförmiger Körper mittels eines nadelförmigen Prägewerkzeugs mit einer Spitze beschränkt und behandelt dementsprechend kein Einprägen von (länglich ausgeformten) Kanälen oder linienartigen Mikrostrukturen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu finden, das es ermöglicht, mit geringem apparativem Aufwand die Oberflächen beliebig geformter Körper mit unterständigen Mikro- oder Nanostrukturen (d.h. mit als Vertiefungen ausgebildeten Strukturen mit Abmessungen im Mikrometer- bzw. Nanometerbereich) zu versehen sowie mikro- und/oder nanogroß durchbrochene Folien herzustellen. Mit dem Verfahren sollen in einfacher Weise Kanäle oder linienartige Mikro-/Nanostrukturen erzeugbar sein.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Weitere Ausführungen und Verwendungen der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen 2 bis 19.

Die Erfindung stellt ein Verfahren zur Herstellung von Körpern mit mikro- und/oder nanostrukturierten Oberflächen oder von mikro- und/oder nanogroß durchbrochenen Körpern bereit, bei dem das – z.B. aus Diamant, Hartmetall, Glas oder Keramik bestehende – Ende zumindest eines Prägewerkzeugs unter Verwendung eines Härteprüfgeräts (z.B. mittels eines handelsüblichen Mikro- oder Nanohärteprüfgeräts) mehrfach auf verschiedene Stellen der Oberfläche eines Körpers gepresst wird, wodurch an den jeweiligen Aufpressstellen Vertiefungen eingeprägt und/oder Durchbrüche erzeugt werden.

Nach Maßgabe der Erfindung wird das Verfahren auf beliebige mit Vertiefungen oder mit Durchbrüchen zu versehende Körper angewandt. Außerdem werden Prägewerkzeuge

eingesetzt, bei denen das Ende (bzw. der Abschnitt), mit dem geprägt wird, d.h. der Prägeabschnitt des Prägewerkzeugs, eine beliebige längliche Form aufweist, wobei beim Prägen (dieser Form) entsprechende Kanäle oder linienartige Strukturen in dem Körper erzeugt werden. Zum Beispiel können Prägewerkzeuge eingesetzt werden, deren Ende bzw. Prägeabschnitt die Form eines Prismas oder Quaders hat oder deren Prägeabschnitt länglich geformt ist und einen halbrunden Querschnitt aufweist. Hat das Ende des Prägewerkzeugs die Form eines Prismas, dann wird dessen längste Seite auf den Körper gepresst, hat das Ende die Form eines Quaders, dann werden beim Aufpressen die beiden längsten Seiten des Quaders auf den Körper gedrückt und wenn das Ende des Prägewerkzeugs länglich und mit einem halbrunden Querschnitt ausgeformt ist, dann wird bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens die halbrunde Seite auf den Körper gepresst.

Auf diese Weise können mit vergleichsweise wenigen Prägeschritten – nämlich z.B. bereits mit einem einzigen Prägeschritt – Kanäle oder linienartige Strukturen auf den Oberflächen der zu prägenden Körper erzeugt werden.

Gemäß einer Ausführungsform werden die Kanäle bzw. linienartigen Strukturen erzeugt, indem beim Prägen in aufeinanderfolgenden Prägevorgängen bzw. Prägeschritten Prä- gung an Prä- gung gesetzt wird (entweder exakt bündig oder mit einer leichten Überlap- tung), wodurch z.B. Kanäle mit einer entsprechend größeren Länge erzeugt werden können.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird beim Einprägen von Vertiefungen in den Körper bei zumindest einem der Prägevorgänge ein Stanzmaterial zwischen dem Prä- gewerkzeug und dem Körper angeordnet und beim Prägen von dem Prägewerkzeug ein der Form des Prägeabschnitts entsprechender Abschnitt aus dem Stanzmaterial her- ausgestanzt und (gleichzeitig) mit dem Ausbilden der entsprechenden Vertiefung in die- selbe eingepasst.

Gemäß dieser Ausführungsform kann die eingeprägte Vertiefung z.B. auf einfache Art und Weise mit dem Stanzmaterial ausgekleidet werden, wobei das ausgestanzte Mate-

rial gleichzeitig entsprechend der Form des Prägeabschnitts des Prägewerkzeugs geformt werden kann. Es kann auch vorgesehen sein – z.B. wenn das Stanzmaterial wesentlich härter ist als das Material des (zu prägenden) Körpers – dass das ausgestanzte Material die mittels des Prägewerkzeugs in dem Körper ausgebildete Vertiefung im Wesentlichen vollständig ausfüllt. Das Stanzmaterial kann z.B. in Form einer Folie, etwa einer Metall- oder Kunststofffolie, vorliegen.

Das Prägewerkzeug bzw. dessen Prägeabschnitt kann mit einer Schneide ausgebildet sein (z.B. durch Ausbilden eines Randes des Prägeabschnitts in Form einer scharfen Kante), um das Ausstanzen des Stanzmaterials zu erleichtern.

Das Stanzmaterial kann z.B. ein (bzgl. einer vorgegebenen Lichtwellenlänge) reflektierendes Material (d.h. ein Material mit einem hohen Reflexionsvermögen) sein und die damit ausgekleideten Vertiefungen können eine reflektierende Anordnung bilden, welche z.B. optisch ausgelesen werden kann und etwa als Strichcode (z.B. als Produktschutz- bzw. Produktkennzeichnungscode) oder sonstige Markierung (z.B. als eine Skalenmarkierung für optische Sensoren) dienen kann. Aufgrund der erzielbaren kleinen Strukturabmessungen kann z.B. die Genauigkeit optischer Sensoren mit derartigen reflektierenden Skalenmarkierungen verbessert werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden das Einprägen einer Vertiefung und das Stanzen und Einpassen des Stanzmaterials in die Vertiefung in zwei separaten, aufeinanderfolgenden Schritten durchgeführt. Gemäß dieser Ausführungsform wird nach dem Einprägen zumindest einer der Vertiefungen ein Stanzmaterial zwischen dem Prägewerkzeug und dem Körper angeordnet und an der entsprechenden (d.h. der zu der zumindest einen Vertiefung zugehörigen) Aufpressstelle von dem Prägewerkzeug ein der Form des Prägeabschnitts entsprechender Abschnitt aus dem Stanzmaterial herausgestanzt und in die zuvor eingeprägte Vertiefung eingepasst.

Zum Beispiel kann vorgesehen sein, zunächst alle vorgesehenen Vertiefungen an den jeweiligen Aufpressstellen einzuprägen, danach das Stanzmaterial zwischen dem Körper und dem Prägewerkzeug anzuordnen und die Aufpressstellen nochmals abzufahren

und an den vorgesehenen Stellen Stanzmaterial in die zuvor eingeprägten Vertiefungen einzupassen. Es kann auch vorgesehen sein, nach dem Einprägen einer (einzigen) jeweiligen Vertiefung das Stanzmaterial zwischen dem Körper und dem Prägewerkzeug anzuordnen und an der entsprechenden Aufpressstelle einen Abschnitt aus dem Stanzmaterial herauszustanzen und in die Vertiefung einzupassen, wobei das Prägewerkzeug (bzw. der zu prägende Körper) zwischen dem Schritt des Prägens und dem Schritt des Stanzens nicht verfahren wird und somit ein genaues Übereinstimmen der Präge-Position und der Stanz-Position auf dem Körper gewährleistet ist.

Gemäß einer Ausführungsform besteht der (zu prägende) Körper aus einem elektrisch isolierenden Material und das Stanzmaterial ist ein elektrisch leitfähiges Material.

Zum Beispiel kann der zu prägende Körper aus einem Polymer oder einer Keramik bestehen und das Stanzmaterial kann eine Aluminiumfolie oder eine Kupferfolie sein. Somit können z.B. teilweise oder auch durchgehend mit einem elektrisch leitfähigen Material ausgekleidete linienförmige Strukturen bzw. Kanäle erzeugt werden, wobei z.B. an vorgegebenen Positionen elektrisch leitfähige Kontaktierungen (etwa in Form von Elektroden) ausgebildet werden können. Das Stanzmaterial kann z.B. auch ein Supraleiter (z.B. ein metallischer oder ein keramischer Supraleiter) sein.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform bilden die in die Vertiefungen eingepassten Abschnitte des elektrisch leitfähigen Stanzmaterials Leiterbahnen eines elektrischen Schaltkreises.

Gemäß dieser Konfiguration können auf einfache Art und Weise Leiterplatten mit Leiterbahnen mit Strukturbreiten im Mikrometer- oder Nanometerbereich hergestellt werden, wobei der zu prägende Körper aus dem elektrisch isolierenden Material die Basisplatte der Leiterplatte bildet und die mit dem elektrisch leitfähigen Stanzmaterial ausgekleideten Kanäle bzw. linienartigen Strukturen die Leiterbahnen bilden.

Das Verfahren erfordert kein kompliziertes Strukturieren der vorgesehenen Leiterbahnen (etwa mittels optischer Lithographie und nasschemischen Ätzens) und ist somit zeitspa-

rend, kosteneffektiv und umweltfreundlich.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform besteht der (zu prägende) Körper aus einem nicht magnetisierbaren (oder einem nicht magnetischen) Material und das Stanzmaterial ist ein magnetisierbares (oder magnetisches) Material.

Gemäß dieser Konfiguration können mittels des Strukturierungsverfahrens z.B. auf einfache Art und Weise magnetische Speichermedien oder magnetische Kennzeichnungs-codes realisiert werden.

Es kann auch vorgesehen sein, dass der zu prägende Körper aus einem (für eine vorgegebene Lichtwellenlänge) im Wesentlichen intransparenten Material besteht und das Stanzmaterial aus einem (für die vorgegebene Wellenlänge) im Wesentlichen transparenten Material besteht, wobei die mit dem Stanzmaterial ausgekleideten Vertiefungen z.B. optische Leiterbahnen (Lichtleiter) bilden können.

Gemäß einer Ausführungsform wird das Verfahren zum Herstellen von Stanzteilen verwendet, wobei ein jeweiliges Stanzteil durch das Einpassen des herausgestanzten Abschnitts des Stanzmaterials in die entsprechende Vertiefung gebildet und geformt wird. Gemäß dieser Ausführungsform kann die Form der Stanzteile auf einfache Art und Weise durch die Form des Prägeabschnitts und die Eigenschaften (z.B. Härte, Duktilität etc.) des Materials des Körpers und des Stanzmaterials eingestellt werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, kanalartigen Strukturen herzustellen, die ein Gefälle aufweisen und/oder die pfeilartig spitz zulaufen. Hierzu werden die zu prägende Fläche und das Werkzeug zueinander verkippt ausgerichtet, d.h., sie schließen einen üblicherweise kleinen Winkel von weniger als 10° miteinander ein. Werden die Kanäle mittels mehrerer Prägungen erzeugt, dann wird beim Prägen des Kanals, beginnend mit der maximalen Einprägtiefe, die Einprägtiefe kontinuierlich derart verringert, dass ein bezüglich der Oberfläche geneigter und/oder spitz zulaufender Kanal (üblicherweise ohne Stufen) erzeugt wird.

Zur Sicherstellung des Originals kann von der mikro- und/oder nanostrukturierten Ober-

fläche ein Abdruck, z.B. mittels eines Polymerwerkstoffs, hergestellt werden.

Das Verfahren eignet sich auch sehr gut für die Herstellung von mikro- oder nanogroßen Zahnrädern, wie sie immer häufiger in Mikrogetrieben (z.B. für Mikrosatelliten und Drohnen) zum Einsatz kommen. Für deren Herstellung wird ein Prägewerkzeug mit einem als Prisma geformten Prägeabschnitt bzw. Ende eingesetzt. Das Prägewerkzeug wird mit der längsten Seite des Prismas solange mit einem Versatz (von Prägung zu Prägung) auf den Rand einer mikro- oder nanogroßen Scheibe aufgedrückt, bis die Scheibe umlaufend mit Vertiefungen (bzw. Zähnen) versehen ist.

Anstelle der Scheibe kann ein feiner Draht eingesetzt werden, auf dem in analoger Weise umlaufend Vertiefungen geprägt werden. Hierzu wird z.B. ein Prägewerkzeug mit einem prismatischen Ende eingesetzt, das eine Länge von ca. 1 mm und eine Kantenschärfe von kleiner 5 μm (z.Z. sind technisch Kantenschärfen von bis zu ca. 1 μm möglich) aufweist. Anschließend wird der Draht in feine Scheiben geschnitten, wodurch man eine Vielzahl von Zahnrädern erhält.

Zum Einprägen der Vertiefungen bzw. Erzeugen der Durchbrüche wird ein Standard-Härteprüfgerät bzw. ein Mikro- oder ein Nanohärteprüfgerät, das die lokale Härte von Oberflächen misst, verwendet, wobei z.B. Prüfgeräte, die nach der Methode von Vickers messen, gut geeignet sind. Je nachdem, welche Abmessungen die Oberflächenstrukturen erhalten sollen, werden Kräfte (Gewichtskräfte) von 0,01 mg bis 100 kg zum Prägen eingesetzt; dieser von sehr kleinen bis sehr großen Kräften reichende Bereich ist mit den Härteprüfgeräten (Standard-, Mikro- oder Nanohärteprüfgerät) erreichbar.

Mit kommerziellen Mikro- oder Nanohärteprüfgeräten ist es zudem möglich, eine Vielzahl von Messstellen zu programmieren und diese nacheinander „anzufahren“. Da sowohl die Verteilung als auch die Abstände der Messstellen praktisch frei wählbar sind, können die Körper mit frei vorgebbaren Oberflächenstrukturen bzw. folienförmige Rohlinge mit beliebigen Lochmustern versehen werden. Auf die ansonsten für die Härtemessung erforderliche Ermittlung der Größen der erzeugten Vertiefungen kann bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens grundsätzlich verzichtet werden.

Andererseits kann die Erfassung aller möglichen Daten (Kraft, Weg, Eindringgeschwindigkeit, geometrische Abmessungen, E-Modul, dynamisches Verformungsverhalten, Härte), die bereits bei Erzeugung einer singulären Struktur anfallen, zur Qualitätssteigerung und -sicherung genutzt werden, wogegen bei konventionellen Verfahren hierfür ein zusätzlicher, erheblicher Messaufwand nach der Fertigstellung der entsprechenden Strukturen notwendig ist. Beim Einsatz neuer Werkstoffe (als Werkzeug oder als zu beprägender Körper) und neuer Werkzeugformen sowie bei der Herstellung neuartiger Strukturen sind durch die Nutzung und Interpretation dieser Messwerte (physikalische Eigenschaften) z.B. Innovationen schneller umsetzbar.

Da Mikro- und Nanohärteprüfgeräte vergleichsweise preiswert sind, können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wesentlich kostengünstiger Mikro- und/oder Nanostrukturen erzeugt werden als mit herkömmlichen Methoden, wie Mikrofräsen oder Lasern. Außerdem können nahezu beliebig geformte Vertiefungen in die Oberflächen von, z.B. plattenförmigen, Rohlingen eingeprägt werden, indem Prägwerkzeuge mit entsprechend geformten Enden eingesetzt werden. Dies ist mit herkömmlichen Methoden nur bedingt oder mit höherem Aufwand zu erreichen.

Es hat sich überraschenderweise gezeigt, dass sich Nanomaterialien, die üblicherweise eine größere Härte aufweisen als die entsprechenden Ausgangsmaterialien, besser für das Einprägen von Vertiefungen eignen, als deren Ausgangsmaterialien. Dies äußert sich einerseits darin, dass z.B. Spitzen beim Prägen, ohne dass sich dabei Risse im Material bilden, mit wesentlich höheren Kräften aufgedrückt werden können als auf die entsprechenden Ausgangsmaterialien, andererseits wird auch die Form der Spitze besser abgebildet. So konnten beim Aufpressen einer nadelförmigen Spitze auf einen Gegenstand aus hartem, grobkörnigen Material bereits bei Aufpresskräften von ca. 10 g (Gewichtskraft) Risse im Bereich der Aufpressstelle festgestellt werden, wohingegen sich bei hartem, feinkörnigem Material auch bei Kräften größer 100 g keine Risse bildeten. Ähnliches gilt auch für Nanobeschichtungen.

In diesem Zusammenhang sind unter Nanometallen Metalle oder Legierungen, deren Gefüge Korngrößen kleiner als $1\mu\text{m}$ aufweist, und/oder Metalle/Legierungen mit zule-

gierten ungelösten Nanoteilchen zu verstehen. Nanohartmetall hat eine analoge Bedeutung, wobei jedoch anstelle der Metalle/Legierungen Hartmetalle, wie z.B. hochlegierte Stähle oder Wolframcarbid/Kobalt, treten. Entsprechend sind Nanokeramiken keramische Werkstoffe mit einem Gefüge, in dem Korngrößen kleiner als $1\mu\text{m}$ auftreten, oder keramische Werkstoffe, die anteilig mit zugemischten, ungelösten Nanoteilchen (kleiner $1\mu\text{m}$) versetzt sind.

Unter Nanobeschichtungen werden Beschichtungen von Oberflächen mit Werkstoffen verstanden, in denen Korngrößen kleiner $1\mu\text{m}$ auftreten und/oder die Beschichtungen zulegierte ungelöste Nanoteilchen enthalten und/oder bei denen die Dicke der Beschichtungen kleiner als $1\mu\text{m}$ dick ist.

Das Verfahren eignet sich also z.B. gut zum Prägen von Körpern aus Nanometall, wie z.B. Nanonickel, Nanostahl oder Nanoaluminium, aus einem Nanohartmetall oder aus einer Nanokeramik, wie z.B. Nanoaluminiumoxid, Nanozirkonoxid oder Nanotitanoxid und zum Prägen entsprechender Nanobeschichtungen.

Des Weiteren wurde überraschend festgestellt, dass auch in sehr harte und spröde Materialien wie Diamant, Glas oder Quarzglas Vertiefungen (bis zu einer bestimmten Tiefe) eingeprägt werden können, ohne dass sich dabei Risse in den Materialien ausbilden. Interessant ist z.B. der Fall des Prägens von Diamant mit einer Diamantnadel: hier fällt auf, dass, obwohl die Härten vom prägenden und zu prägenden Stoff gleich groß sind, dennoch mit einer Diamantnadel viele Prägungen erzeugt werden können, d.h., der Verschleiß der Diamantnadel ist wesentlich geringer als eigentlich zu erwarten wäre. Mit dem Verfahren können also problemlos in Körpern und dünnen Schichten aus Diamant (oder einem anderen Edelstein), Glas oder Quarzglas, aus Vertiefungen bestehende Oberflächenstrukturen erzeugt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch zur Erzeugung von mikro-/nano-großen Strukturen auf den Oberflächen von Körpern aus einem transparenten Material, wie z.B. Glas, Quarzglas oder einem optischen Kunststoff, das aufgrund seiner optischen Eigenschaften nicht mittels Lasern bearbeitet werden kann, eingesetzt werden. Auf diese

Weise sind Beugungsgitter und Lichtlenkungselemente vergleichsweise kostengünstig herstellbar.

In einer weiteren Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird dieses zur Strukturierung der Oberflächen von Mikro-/Nanobauteilen oder zur Strukturierung von Werkzeugen oder Urwerkzeugen, die zur Herstellung von Mikro-/Nano-bauteilen dienen, eingesetzt. Das Verfahren kann entsprechend zur Herstellung von Werkzeugen für die Fertigung makroskopischer Gegenstände eingesetzt werden.

Auch das Prägen der Oberflächen von für medizinische Zwecke verwendeten Mikrobau- teilen, wie z.B. von Polymerröhrchen, ist mit dem erfindungsgemäßen Verfahren prob- lemlos möglich.

Des Weiteren kann das erfindungsgemäße Verfahren entweder zum direkten Signieren von Gegenständen mit Codes oder zum Prägen von Codes in Fertigungswerkzeuge, Urwerkzeuge oder Werkzeugeinsätze eingesetzt werden. Werden zum Prägen der Ver- tiefungen Standardprägwerkzeuge eingesetzt, so wird die Fälschungssicherheit der Codes über die charakteristische Anordnung der Vertiefungen erreicht. Zum Beispiel werden sehr feine Codes erzeugt, die mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen sind. Zur weiteren Erhöhung der Fälschungssicherheit können auch Prägwerkzeuge mit Spitzen, definierten Radien oder scharfen Kanten eingesetzt werden, die eine charakteristische Form und/oder Oberflächenstruktur aufweisen, wodurch eine Identifizierung aller mit dieser Spitze erzeugten Vertiefungen ermöglicht wird.

Auf diese Weise können Sicherheitssysteme, z.B. Schlüssel/Schloß-Einheiten und Plomben, hergestellt oder deren Sicherheit erhöht werden.

Ferner kann das Verfahren zum Signieren von Gegenständen mit optisch oder magne- tisch auslesbaren Codes eingesetzt werden, wobei die Codes durch ein Prägen von Vertiefungen in einer charakteristischen Anordnung unter gleichzeitigem Einpassen ei- nes Stanzmaterials mit charakteristischen optischen bzw. magnetischen Eigenschaften in die Vertiefungen erzeugt werden.

Zum Beispiel kann das Stanzmaterial ein Material mit einem (bzgl. einer vorgegebenen Lichtwellenlänge) hohen Reflexionsvermögen sein, wobei das optische Auslesen eines entsprechenden Codes durch Abtasten des signierten Gegenstandes mit Licht und Erfassen der Positionierung der reflektierenden Bereiche mittels eines optischen Sensors erfolgen kann. Als ein anderes Beispiel kann, etwa falls der zu signierende Gegenstand aus einem Material mit einem hohen Reflexionsvermögen besteht, das Stanzmaterial aus einem Material mit einem (bzgl. einer entsprechenden, vorgegebenen Lichtwellenlänge) niedrigen Reflexionsvermögen bestehen, wobei das Auslesen und Erfassen des Codes ebenfalls mittels eines optischen Sensors erfolgen kann. Analog ist der Einsatz eines Stanzmaterials mit charakteristischen magnetischen Eigenschaften, welche sich von den magnetischen Eigenschaften des zu signierenden Körpers unterscheiden, möglich, wobei in einem solchen Fall der Code z.B. mittels eines Magnetfeldsensors magnetisch ausgelesen werden kann.

Ein weiterer interessanter Anwendungsfall für das Einprägen von Codes ist die Kennzeichnung von Textilien oder von Papier. Zur Erzeugung der Codes werden entweder Vertiefungen in die einzelnen Fäden/Fasern eingeprägt oder es werden in definierter Weise einzelne (feine) Fäden/Fasern durchgetrennt.

Das Kennzeichnen von Stoffen durch Einprägen von Vertiefungen ist zudem zerstörungsfrei. Da die in Textilien Stoffe eingeprägte Vertiefungen nach mehreren Waschvorgängen möglicherweise nicht mehr nachweisbar sind, eignet sich das Verfahren z.B. zur Kennzeichnung von unverarbeiteten, textilen Stoffen (Stoffballen).

Codes, bei denen einzelne Fäden von Textilien durchtrennt werden, sind zwar nicht zerstörungsfrei, können jedoch auch problemlos zum Kennzeichnen von verarbeiteten textilen Stoffen, also von Kleidungsstücken eingesetzt werden, da sie nicht durch Reinigungs- oder Waschvorgänge unkenntlich gemacht werden können. Sofern, was mit dem Verfahren ohne Weiteres möglich ist, nur sehr feine Fäden durchgetrennt und die Abstände zwischen den durchtrennten Fäden groß gewählt werden, wird die mechanische Belastbarkeit der Textilien an der Stelle des aufgetragenen Codes praktisch nicht beein-

trächtigt.

Dem Wesen der Erfindung folgend werden die Codes entweder auf den Textilien direkt aufgebracht oder es werden wie oben beschrieben Spinn-, Web- oder Wickelwerkzeuge mit oberständigen Strukturen hergestellt, die bei der Verarbeitung der Textilien Codes einprägen und/oder durch ein Durchtrennen einzelner Fäden Codes auf den zu kennzeichnenden Textilien erzeugen.

Eine weitere Veränderung besteht darin, mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Strukturierung auf (üblicherweise mechanisch) beanspruchte Oberflächen aufzubringen, die eine Messung der an der Oberfläche auftretenden Reibung und vom Verschleiß, dem diese Oberfläche ausgesetzt ist, ermöglicht.

Eine weitere Verwendungsmöglichkeiten der Ausführungsform des Verfahrens unter gleichzeitigem Einprägen bzw. Einpassen von ausgestanztem Material ist z.B. bei der Herstellung von Peltierelementen mit sehr kleinen und sehr vielen Einzel-Peltierelementen unterschiedlicher Peltierwerkstoff-Paare (z.B. entsprechender n- und p-dotierter Halbleiterbereiche) und deren ohmscher Verbindungen (z.B. der elektrischen Verbindungsleitungen solcher n- und p-dotierter Halbleiterbereiche) zu sehen, wobei z.B. solche gegensinnig dotierten Halbleiterbereiche in jeweilige, voneinander beabstandete eingeprägte Vertiefungen eingebracht werden können und diese Vertiefungen mittels einer mit einem elektrisch leitfähigen Material ausgekleideten Vertiefung miteinander elektrisch verbunden werden.

Ferner kann das Verfahren aufgrund der erzielbaren geringen Strukturabmessungen z.B. bei der Herstellung von Leiterbahnen auf Solarzellen, bei der Herstellung von Kerb- und Sollbruchstellen, bei der Herstellung von Durchbrüchen zur Verwendung als Sieb für Teilchen mit Abmessungen im Mikrometer- oder Nanometerbereich (z.B. menschliche Zellen mit einer Größe von typischerweise 1 – 20 μm), bei der Herstellung von Oberflächen mit einem geringen Strömungswiderstand auf Leichtbauteilen (z.B. zur Reduzierung des Energieverbrauches), bei der Strukturierung von Oberflächen magnetischer Werkstoffe (z.B. zur Ausbildung bzw. Führen von magnetischen Flusslinien) und

bei der Herstellung von katalytisch oder elektrochemisch aktiven Oberflächen eingesetzt werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Figuren 1 bis 3 näher erläutert, wobei gleiche oder ähnliche Merkmale mit gleichen Bezugszeichen versehen sind; hierzu zeigen:

Fig. 1: die Herstellung eines mikro-/nanogroßen Kanals;

Fig. 2: die Herstellung eines mikro-/nanogroßen Zahnrades;

Fig. 3A, 3B: die Herstellung eines mit einem Stanzmaterial ausgekleideten Kanals.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, wird zur Herstellung eines Kanals das Prägewerkzeug 1, dessen Ende bzw. Prägeabschnitt 2 länglich geformt ist und einen halbkreisförmigen Querschnitt aufweist, mehrfach und in Längsrichtung des Prägeabschnitts 2 derart versetzt auf die Oberfläche eines Körpers 3 gepresst (wobei in Fig. 1 die vertikale Prägebewegung und die horizontale Versatzbewegung des Prägewerkzeugs 1 mittels der durchbrochenen Pfeile veranschaulicht sind), dass die eingeprägten Vertiefungen 4 einen zusammenhängenden Kanal bilden. Indem das Prägewerkzeug 1 leicht geneigt zur Oberfläche des Körpers 3 auf diesen gepresst wird, können auch Kanäle mit einem leichten Gefälle hergestellt werden.

Zur Herstellung eines mikro-/nanogroßen Zahnrades (Fig. 2) werden mittels eines Prägewerkzeugs 1 mit einem prismenförmigen Prägeabschnitt 2 umlaufend aneinander grenzende, jeweils kanalartige Vertiefungen 4 auf den Rand einer mikro-/nanogroßen Scheibe 5 gepresst bzw. in denselben eingeprägt, wodurch aus der Scheibe 5 ein Zahnrad geformt wird. In analoger Weise kann anstatt der kreisförmigen Scheibe 5 ein zylinderförmiger Körper (Draht) geprägt werden, der anschließend, um die Zahnräder zu erhalten, in Scheiben geschnitten wird.

Die Figuren 3A und 3B veranschaulichen das Prägen eines Kanals unter gleichzeitigem Ausstanzen eines Stanzmaterials und Einpassen des ausgestanzten Materials in den Kanal. Gemäß Fig. 3A wird zunächst ein – hier als Metallfolie (z.B. Kupfer- oder Aluminiumfolie) vorliegendes – Stanzmaterial 6 zwischen dem Prägewerkzeug 1 und dem zu prägenden Körper 3 angeordnet, im vorliegenden Fall als Beispiel direkt auf den Körper 3 aufgelegt. Der Körper 3 besteht als Beispiel aus einem elektrisch nicht leitfähigen Material, etwa aus einem Kunststoff oder einer Keramik. Wie in Fig. 3B veranschaulicht, wird beim Prägen jeweils ein der länglichen Form des Prägeabschnitts 2 des Prägewerkzeugs 1 entsprechender Abschnitt aus der Metallfolie 6 herausgestanzt und gleichzeitig mit dem Ausbilden bzw. Einprägen einer entsprechenden länglichen Vertiefung 4 in dieselbe eingepasst. Durch wiederholtes Versetzen des Prägewerkzeugs 1 in Längsrichtung wird Prägung an Prägung gesetzt, wobei die Kanalabschnitte bzw. Vertiefungen 4 einen zusammenhängenden Kanal bilden, der mit der elektrisch leitfähigen Metallfolie 6 ausgekleidet ist. Der derart ausgekleidete Kanal kann z.B. als Leiterbahn einer Leiterplatte fungieren, wobei der Körper 3 aus dem elektrisch isolierenden Material die Basisplatte der Leiterplatte bilden kann.

Liste der verwendeten Bezugszeichen

- 1 Prägewerkzeug
- 2 Ende bzw. Prägeabschnitt des Prägewerkzeugs
- 3 Körper
- 4 Vertiefung
- 5 Scheibe
- 6 Stanzmaterial

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Körpern mit mikro- und/oder nanostrukturierten Oberflächen oder von mikro- und/oder nanogroß durchbrochenen Körpern, bei dem der aus Diamant, Hartmetall, Glas oder Keramik bestehende Prägeabschnitt (2) zumindest eines Prägewerkzeugs (1) unter Verwendung eines Härteprüfgeräts mehrfach auf verschiedene Stellen der Oberfläche eines Körpers (3) gepresst wird, wodurch an den jeweiligen Aufpressstellen Vertiefungen (4) eingeprägt und/oder Durchbrüche (5) erzeugt werden, wobei Prägewerkzeuge (1) mit einem länglich geformten Prägeabschnitt (2) eingesetzt und entsprechende Kanäle oder linienartige Strukturen in dem Körper erzeugt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Prägewerkzeug (1) mit einem Prägeabschnitt (2) eingesetzt wird, der als Prisma geformt ist, wobei beim Aufpressen die längste Seite des Prismas auf den Körper gepresst wird, oder ein Prägewerkzeug (1) mit einem Prägeabschnitt (2) in Form eines Quaders gewählt wird, wobei beim Aufpressen die beiden längsten Seiten des Quaders auf den Körper gepresst werden, oder ein Prägewerkzeug (1) mit einem länglichen Prägeabschnitt (2), der einen halbrunden Querschnitt aufweist, verwendet wird, wobei beim Aufpressen die halbrunde Seite auf den Körper gepresst wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle oder linienartigen Strukturen erzeugt werden, indem beim Prägen mit dem Prägewerkzeug in aufeinanderfolgenden Prägevorgängen Prägung an Prägung gesetzt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei an den jeweiligen Aufpressstellen Vertiefungen in den Körper eingeprägt werden, dadurch gekennzeichnet, dass bei zumindest einem der Prägevorgänge ein Stanzmaterial zwischen dem Prägewerkzeug und dem Körper angeordnet wird und beim Prägen von dem Prägewerkzeug ein der Form des Prägeabschnitts

entsprechender Abschnitt aus dem Stanzmaterial herausgestanzt wird und mit dem Ausbilden der entsprechenden Vertiefung in dieselbe eingepasst wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei an den jeweiligen Aufpressstellen Vertiefungen in den Körper eingeprägt werden, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Einprägen zumindest einer der Vertiefungen ein Stanzmaterial zwischen dem Prägewerkzeug und dem Körper angeordnet wird und an der entsprechenden Aufpressstelle von dem Prägewerkzeug ein der Form des Prägeabschnitts entsprechender Abschnitt aus dem Stanzmaterial herausgestanzt und in die zuvor eingeprägte Vertiefung eingepasst wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Körper aus einem elektrisch isolierenden Material besteht und das Stanzmaterial ein elektrisch leitfähiges Material ist.
7. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Körper aus einem nicht magnetisierbaren Material oder einem nicht magnetischen Material besteht und das Stanzmaterial ein magnetisierbares oder magnetisches Material ist.
8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die in die Vertiefungen eingepassten Abschnitte des Stanzmaterials Leiterbahnen eines elektrischen Schaltkreises bilden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass von der mikro- und/oder nanostrukturierten Oberfläche ein Abdruck hergestellt wird, der zur Sicherstellung des Originals dient.
10. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zur Herstellung von mikro- oder nanogroßen Zahnrädern, bei dem ein Prägewerkzeug (1) mit einem Prägeabschnitt (2) eingesetzt wird, der als Prisma geformt ist, wobei beim Aufpressen die längste Seite des Prismas umlaufend und jeweils mit einem

- Versatz auf den Rand einer mikro- oder nanogroßen Scheibe (5) aufgepresst wird.
11. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Herstellung von Kanälen, wobei ein Prägewerkzeug (1) mit einem Prägeabschnitt (2) eingesetzt wird, der als Prisma, als Quader oder in einer länglichen Geometrie mit halbkreisförmigem Querschnitt geformt ist, und beim Aufpressen der Prägeabschnitt (2) mit seiner längsten Seite auf den Körper gepresst wird.
 12. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Herstellung von kanalartigen Strukturen, die ein Gefälle gegenüber der Oberfläche des Körpers (3) aufweisen und/oder pfeilartig spitz zulaufen, wobei die zu prägende Fläche und das Werkzeug zueinander verkippt ausgerichtet sind, und, falls die Kanäle mittels mehrerer Prägungen erzeugt werden, beim Prägen der kanalartigen Struktur, beginnend mit der maximalen Einprägtiefe, die Einprägtiefe derart kontinuierlich verringert wird, dass ein bezüglich der Oberfläche geneigter und/oder spitz zulaufender Kanal erzeugt wird.
 13. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 zum Prägen von Vertiefungen in einen Körper aus einem Nanometall oder aus einem Nanohartmetall.
 14. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zum Prägen von Vertiefungen in einen Körper aus Diamant oder einem sonstigen Edelstein, aus Glas, aus Quarzglas, aus einer Nanokeramik, oder aus einem optischen Kunststoff.
 15. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Strukturierung der Oberflächen von Mikro-/Nanobauteilen, von für medizinische Zwecke verwendeten Mikrobauanteilen oder zur Strukturierung von Werkzeugen oder Urwerkzeugen, die zur Herstellung von Mikro-/Nanobauteilen dienen.

16. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3 entweder zum direkten Signieren von Gegenständen mit Codes oder zum Prägen von Codes in Fertigungswerkzeuge, Urwerkzeuge oder Werkzeugeinsätze, wobei die Codes durch ein Prägen von Vertiefungen in einer charakteristischen Anordnung erzeugt werden, und zumindest ein Prägewerkzeug (1) mit einem Prägeabschnitt (2) mit einer charakteristischen Form und/oder Oberflächenstruktur eingesetzt wird, die eine Identifizierung aller mit diesem Prägeabschnitt (2) erzeugten Vertiefungen (4) ermöglicht.
17. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 4 bis 7 zum Signieren von Gegenständen mit Codes, wobei die Codes durch ein Prägen von Vertiefungen in einer charakteristischen Anordnung und Einpassen eines Stanzmaterials mit charakteristischen optischen oder magnetischen Eigenschaften in die Vertiefungen erzeugt werden, wobei ein derart erzeugter Code optisch oder magnetisch ausgelesen werden kann.
18. Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 6 oder 8 zum Erzeugen von Leiterplatten, wobei der Körper aus dem elektrisch isolierenden Material die Basisplatte der Leiterplatte bildet und das in die Vertiefungen eingepasste elektrisch leitfähige Stanzmaterial die Leiterbahnen der Leiterplatte bildet.
19. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Herstellung und/oder der Erhöhung der Fälschungssicherheit von Schlüssel/Schloß-Einheiten und Plomben.
20. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zum Kennzeichnen von Textilien, wobei Vertiefungen (4) in die einzelnen Fasern eingeprägt und/oder in Form eines signifikanten Musters einzelne Fäden durchgetrennt werden, oder zur Herstellung von mit Codes versehenen Spinn-, Web- oder Wickelwerkzeugen, die bei der Verarbeitung der Textilien Codes einprägen und/oder Codes mittels Durchtrennens einzelner Fäden auf Textilien erzeugen.

21. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Strukturierung von beanspruchten Oberflächen, wobei diese Strukturierung eine Messung von Reibung und Verschleiß ermöglicht.
22. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 4 oder 5 zur Herstellung von Stanzteilen, wobei ein jeweiliges Stanzteil durch das Einpassen des herausgestanzten Abschnitts des Stanzmaterials in die entsprechende Vertiefung gebildet wird.

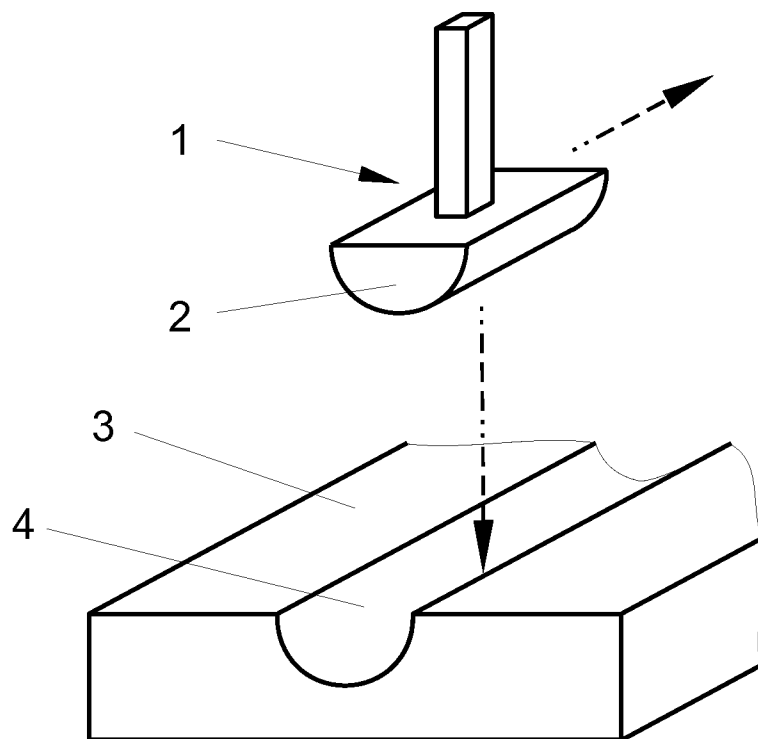


Fig. 1

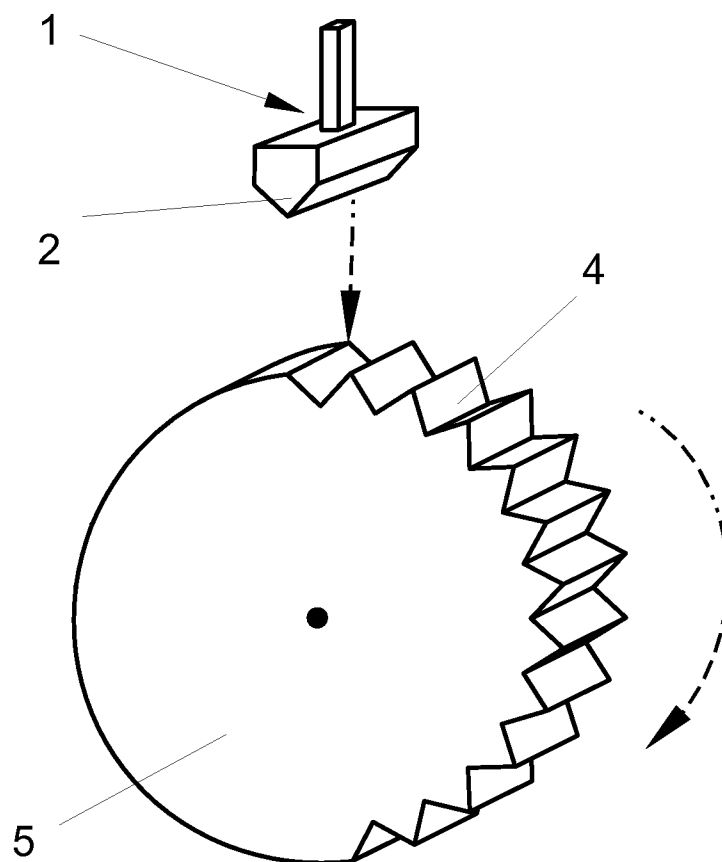


Fig. 2

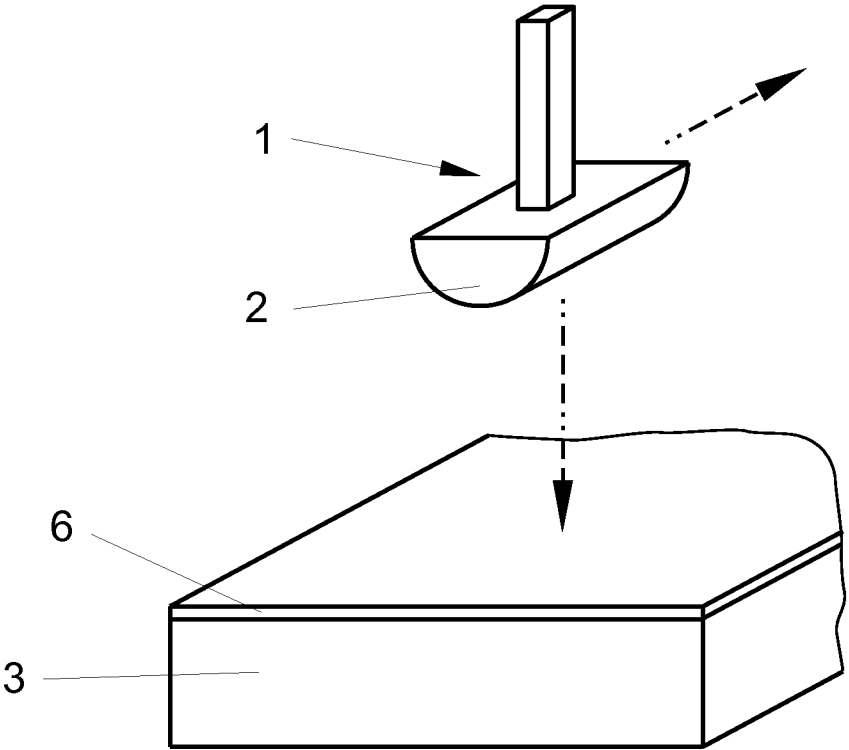


Fig. 3A

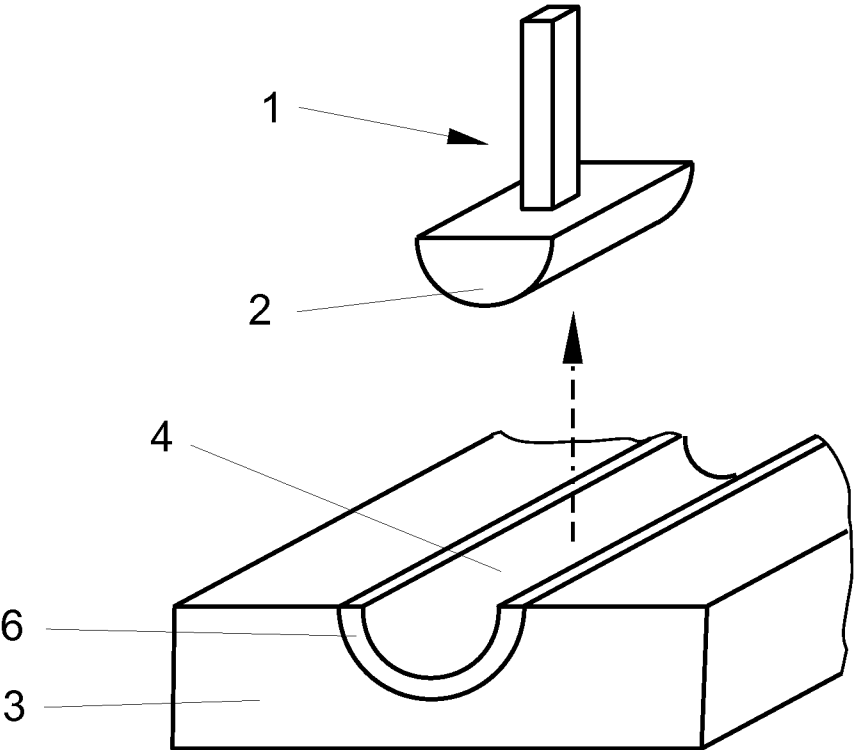


Fig. 3B