

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 933 146 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
25.08.2004 Patentblatt 2004/35

(51) Int Cl.7: **B21D 39/04**, B21C 37/20,
B21D 26/14

(21) Anmeldenummer: **98250448.2**

(22) Anmeldetag: **23.12.1998**

(54) **Verfahren zur Formgebung von Körpern durch eine strukturierende Umbildung ihrer Oberflächenkontur**

Method for forming workpieces by restructuring their surfaces

Procédé pour la formation de pièces par restructuration de leur surface

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT DE DK FR GB IT NL PT

(30) Priorität: **22.01.1998 DE 19803782**
28.10.1998 DE 29819194 U

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
04.08.1999 Patentblatt 1999/31

(60) Teilanmeldung:
03023480.1

(73) Patentinhaber: **Hellwig, Udo, Prof. Dr.**
12351 Berlin (DE)

(72) Erfinder:

- **Hellwig, Udo Prof Dr.-Ing**
12351 Berlin (DE)
- **Haase, Hans-Joachim Dr.**
12555 Berlin (DE)

(74) Vertreter: **Erich, Dieter**
Patentanwalt
August-Bebel-Ring 36
15751 Niederlehme bei Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 4 401 974 **DE-A- 19 711 103**
FR-A- 2 018 559 **FR-A- 2 152 349**
FR-A- 2 348 762 **US-A- 3 203 078**
US-A- 5 261 263

EP 0 933 146 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Formgebung von Körpern durch eine strukturierende Umbildung ihrer gleichmäßig ausgebildeten Oberflächenkontur, unter Anwendung partiell auf den Körper gerichteter Kräfte, bei dem die Krafteintragung auf einen ausgewählten sektoriellen Bereich des Körpers gelenkt wird, (siehe z.B. FR-A-2 152 349).

[0002] Es ist bekannt, Körper mit gleichmäßig ausgebildeten Oberflächenkonturen berührungslos verformend zu strukturieren. So ist es aus G. Spur, Lehrblätter für Fertigungstechnik, ZWF 78 1983, bekannt, metallische Werkstücke mit Hilfe stark gepulster Magnetfelder zu verformen. Bei diesem Verfahren wird die elektrische Energie einer Kondensatorenbatterie in Magnetfeldenergie einer Arbeitsspule umgewandelt und die abstoßende Wirkung des Magnetfeldes auf ein elektrisch leitendes Werkstück zur Durchführung des Umformungsvorganges genutzt. An rohrförmigen Werkstücken wird dabei eine nach innen gerichtete radial auf die Oberfläche des Rohres wirkende Kraft erzeugt. Solche Umformungsverfahren sind den Umformungstechnologien ohne mechanische Werkzeugberührung beizuordnen.

[0003] Ein Nachteil dieser Verfahren ist darin zu sehen, daß als Gegenkraft der verformenden Kraft, feste, der auszubildenden Struktur entsprechende Stützkerne zum Einsatz gelangen müssen. Diese Stützkerne wirken wie eine Matrice und erlauben es, die Struktur entsprechend den Anforderungen des Verwendungszweckes berührungslos auszuformen. Es ist weiterhin aus der DE 44 47 268 A1 entnehmbar, Wärmeübertragungsrohre zu falten und mit konkaven Abschnitten zu versehen. Das offenbarte Verfahren gibt in seiner Prozeßdarstellung keinen Anhaltspunkt darüber, ob die Verformung unter Einsatz von Stützkernen erfolgt bzw. daß thermische Hilfsmittel zur Anwendung gelangen. Die DE 44 01 974 A1 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Beulverformung. Gemäß dem Verfahren wird eine Beulstrukturierung durch den partiellen Eintrag von Kräften auf das zu verformende Material vorgenommen, jedoch ist das Verfahren nicht ohne den Einsatz von Stützkernen möglich. Nun offenbart weiter die DE 44 37 986 A1 ein Verfahren, gekrümmte Materialbahnen und Folien mit Über- und Unterdruck zu beaufschlagen und dadurch eine Beulstruktur zu erreichen. Bei der Durchführung des Verfahrens sowohl bei der Anwendung von Über- als auch Unterdruck als verformende Kraft, ist ein Stützraster notwendig, auf dem die Materialbahn aufliegt. Die Öffnungen des Stützrasters bestimmen dabei Größe, Kontur und Intensität der aufzubringenden Strukturierung.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Formgebung von Körpern durch strukturierende Umbildung ihrer gleichmäßig ausgebildeten Oberflächenkontur, unter Anwendung partiell auf den Körper gerichteter Kräfte zu schaffen, mittels dem die Herstellung von Oberflächenstrukturen von Körpern

durch wechselnde Verformungsintensitäten durchgeführt werden kann.

[0005] Die Erfindung löst die Aufgabe mittels eines Verfahrens zur Formgebung von Körpern durch eine strukturierende Umbildung ihrer gleichmäßig ausgebildeten Oberflächenkontur und Anwendung partiell auf den Körper gerichteter Kräfte, bei dem die Krafteintragung auf einen ausgewählten sektoriellen Bereich des Körpers gelenkt, in diesen in ihrer Größe sowie sektoriellen Erstreckung soweit hineingeführt und so lange gehalten wird, die erforderlich ist, die partielle Formgebung in der vorgesehenen Kontur zu vollenden, wobei nach einem Zurücknehmen der verformenden Kraft die Rückstellkraft in der Kontur der verformten Körper bleibend aufgenommen wird, daß die sektoriellen Bereiche sich wiederholend, auf den Körpern angeordnet werden, um bei der Formgebung in einer ausgewählten Rasterung wechselweise konkav eingezogene Sohlenbereiche und konvex ausgestülpte Scheitelbereiche bildende Strukturen ausgeformt werden, wobei die eingetragenen Verformungskräfte durch die in der erzeugten Oberflächenstruktur gebildeten statischen Kräfte aufgenommen werden.

[0006] Die Erfindung ist sinnvoll ausgebildet, wenn die einwirkende Kraft kurzzeitig und impulsartig sowie in ihrer Tiefererstreckung begrenzt, auf den Körper zur Einwirkung gebracht wird, wobei eine dauernde Formeinhaltung durch die Einwirkung der verformenden Kraft im Bereich einer elastischen Verformung erzielt wird, die in den partiellen Verformungsbereichen der konkav eingezogenen und konvex ausgestülpten Strukturen bis in den plastischen Bereich überführt wird.

[0007] Die Erfindung ist damit vorteilhaft ausgebildet, daß bei rotationssymmetrischen Körpern die einwirkenden Kräfte radial gerichtet, gleichwinklig und konzentrisch angeordnet, den Umfang des Körpers mit strukturierenden Verformungen versehen, zum Eingriff gebracht werden, wobei die Verformung sektorial auf die Oberfläche des Körpers, diesen in beiden Körperachsen gleichmäßig strukturierend, verlaufend vorgenommen wird. Eine sinnvolle Ausformung des erfindungsgemäßen Gedankens ist darin zu sehen, daß die Kräfte dynamisch in den Körper eingetragen werden und den Körper in einem gegen die Außenkontur gerichtet verlaufenden Arbeitsstoß, anhaltend und formbeständig, mit einer frei bestimmbar Struktur ausprägen. Das erfindungsgemäße Verfahren weist den Vorteil auf, daß jetzt mittels dynamisch und kurzzeitig einwirkender Kräfte eine Strukturierung, vorrangig eine Beulstrukturierung, auf insbesondere dünnwandige hohle Körper bzw. ebene monolitwandige Körper oder Materialbahnen vorgenommen werden kann. Das Einwirken der Kräfte, die berührungslos angreifen, ist in ihrer Einwirktiefe in das Material hinein begrenzt. Das Material wird vorteilhafterweise mittels eines dynamischen Kraststoßes, der vektoriell begrenzt und gerichtet ist, ohne die Zuhilfenahme stützender Kerne oder Matrizen oder anderer Formunterlagen in den Werkstoff der Körper ein-

gebracht. Die Besonderheit des Verfahrens gestattet es dabei, die Formstabilität der Struktur dadurch zu erreichen, daß die strukturierten Flächen in ihren Sohlen- und Scheitelbereichen, also dort, wo die größte Verformung zu verzeichnen ist, in partiellen Materialbereiche plastisch, also bleibend verformt werden, und die einer geringeren Verformungsarbeit ausgesetzten Bereiche der Struktur elastisch verformt werden, die sich dann gegen die Scheitel- und Sohlenbereiche elastisch abstützen. Dadurch wird bei Anwendung des Verfahrens durch das in einer plastischen Verformung realisierte Auslenken des Materials in den Sohlen- und Scheitelbereichen die Möglichkeit gegeben, daß die einer geringeren Verformungsarbeit ausgesetzten partiellen Teile der Struktur sich elastisch gegen die Sohlen- und Scheitelbereiche der Struktur abstützen.

[0008] Die Wirkung des Verfahrens ist dadurch vorteilhaft, daß nicht nur die Struktur durch eine eingetragene Verformungsarbeit schlechthin erzeugt wird, sondern daß diese Verformungsarbeit in dem behandelten Werkstück partiell unterschiedlich ist und plastische sowie elastisch sich verformende Bereiche erzeugt werden, die nach Abschluß der Verformungsarbeit ihre, durch die Verformung erhaltene Lage beibehalten. So ist es erfindungsgemäß auch gestattet, daß Verfahren so auszuformen, daß die zur Strukturierung angreifenden Kräfte mit dem Einsatz mechanischer Mittel auf die zu strukturierenden Bereiche der Körper zur Wirkung gebracht werden. Als die Erfindung ausbildend ist anzuführen, daß die Form der in den Körper eingetragenen Struktur eine sich über beide Körperachsen erstreckende regelmäßige und unterbrochene Ausbildung hat, wobei nach einer Ausbildungsform der Erfindung die Form der in den Körper eingetragenen Struktur, eine sich über eine der Körperachsen erstreckende, regelmäßige und unterbrochene Ausbildung aufweist.

[0009] Die Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

Fig. 1: Eine schematische Darstellung der Kontur eines gemäß dem Verfahren beulstrukturierten Abschnitts in einer axonometrischen Lage;

Fig. 2: Ein Beispiel einer berührungslos arbeitenden Vorrichtung zum Einarbeiten der Beulstrukturierung.

[0010] Der Fig. 1 ist zu entnehmen, daß die Einbringung der Strukturierung auf den Werkstücken, gleichwohl ob es sich um ein rotationssymmetrisches oder ein planparalleles Werkstück oder Halbzeug handelt, welches durch eine Strukturierung zu einem Produkt geformt werden soll, immer nur partiell so ausgebildet wird, daß die Veränderung seiner Erstreckung in Richtung der großen Körperachsen beachtet wird. D.h., daß sich rotationssymmetrische sowie planparallele Körper durch die Beulstrukturierung gegenüber ihren ursprüng-

lichen Dimensionen verändern. Das trifft nicht nur auf die gewollte Beulstrukturierung zu, sondern beinhaltet auch die gleichzeitig damit einhergehende Verkürzung der Werkstücke in ihren ursprünglichen Körperlängen. Bezeichnend ist für das Verfahren seine Grundsätzlichkeit, die darin ihren Ausdruck findet, daß durch eine dynamische, kurzzeitig wirksame, unter hohem Druck eines Mediums betriebene Verformungsarbeit, Oberflächen von Körpern bleibend verformt werden, wobei die Verformungsarbeit im Bereich von plastischen und elastischen Verformungsarten kombiniert ist und nach Abschluß der plastischen Verformung in partiellen Bereichen die gesamten Strukturbereiche in Form einer elastischen Verformungsstruktur beharren. Der Zustand wird dadurch erreicht, daß sich die Sohlen- und Scheitelbereiche 29;28 der Beulen 2;12;20 sich gegenseitig stützen und einen statischen Zustand erreichen.

[0011] Dazu zeigt die Fig. 1 konkret einen Rohrschnitt 27, dessen neutrale Wandlinie 32 durch Sohlen- und Scheitelbereiche 29;28 profiliert ist. Der betrachtende Fachmann erkennt hier, daß die Scheitelbereiche 28 mit ihren prägnanten Krümmungen, den Bereich der beim Strukturierungsvorgang einstweilig plastisch verformten Partien darstellen und die Sohlenbereiche 29 elastisch, mit sanften Linien verformt, sich gegen die Scheitelbereiche 28 abstützend, die Beulstrukturierung formstabil ausbilden.

[0012] Fig. 2 zeigt eine Ausbildungsform des Verfahrens. Gemäß dieser Verfahrensdurchführung ist einem horizontal angeordneten Rohr 11 beliebiger Länge ein Düsenring 13, das Rohr 11 in konzentrischer Lage umfassend, zugeordnet. Der Düsenring 13 ist in seinem, auf die Rohroberfläche gerichteten Innenbereich mit Düsen versehen, die einen Profilierungsstrahl 15 auf die Oberfläche des Rohres 11 richten. Konzentrisch zum Rohrrinnenraum und zur Lage der Längsmittelnachse des Rohres 11, gleichlaufend ist ein Innenrohr 14 angeordnet, aus dem durch Düsenöffnungen Stützstrahlen 16 auf die inneren Oberflächen des Rohres 11 gerichtet werden. Zur Profilierung von ringförmigen Beulstrukturen mit auf dem Umfang des Rohres 11 gleichmäßig verteilten Beulen 12 ist es erforderlich, daß der Düsenring 13 eine der Beulenzahlen des Beulringes entsprechende Zahl an Profilierungsstrahlen 15 aufweist. Gemäß dem Ausführungsbeispiel entsprechend der Verfahrensdurchführung nach Fig. 1 ist eine Aufteilung von sechs Beulen auf dem Rohrumfang vorgesehen. Die Profilierungsstrahlen 15 des Düsenringes 13 treten in gleichmäßig aufgeteilten Abständen aus den Innenflächen des Düsenringes 13 aus und sind auf die Oberfläche des Rohres 11 gerichtet. Die Arbeitsrichtung der Profilierungsstrahlen 15 ist auf die Längsmittelnachse des Rohres 11 eingestellt und gestattet eine gleichmäßig verteilte partiell strukturierende Wirkung auf das Rohr 11. Die Arbeitsintensität der Profilierungsstrahlen 15 ist so ausgebildet, daß ihre Einwirkzeit sehr kurz ist und mit hohem Druck, schlagartig verformend, auf die Oberfläche des Rohres 11 einwirkt. Die partielle Wir-

kung der Profilierungsstrahlen 15 konzentriert sich dabei punktförmig auf die Sohlenbereiche 29 der Beulstruktur. Um die Längserstreckung der auszubildenden Beulen 12 beeinflussen zu können, werden aus dem Innenrohr 14 Stützstrahlen 16 auf die Innenflächen des Rohres 11 gerichtet. Dabei sind die Stützstrahlen 16 im gleichen Abstand zu dem Aktionspunkt 30 der Profilierungsstrahlen 15 angeordnet und treffen in den Scheitelbereichen der Längsausdehnung der Beulen 12, im Innenraum wirksam werdend, auf. Da die Stützstrahlen 16 den Aktionsdruck der Profilierungsstrahlen 15 partiell einschränken sollen und nur in bestimmten Fällen profilierend wirksam werden müssen, ist ihr Druck und ihr Arbeitsimpuls der Intensität und dem Impulsverlauf des Profilierungsstrahls 15 angepasst. D.h., daß die Stützstrahlen 16 gleichzeitig, die Arbeitswirkung des Profilierungsstrahls 15 unterstützend, zur Wirkung gebracht werden, aber in ihrem Druck nicht größer sind als der Druck der Profilierungsstrahlen 15.

[0013] Es ist anhand dieses Ausführungsbeispiels erkennbar, daß der Verfahrensverlauf, betrachtet am sicheren Verfahrensregime der grundsätzlich dynamisch und kurzzeitig einzusetzenden Verformungskraft in Richtung auf das Rohr 11 und unter Betrachtung der Herausbildung sich selbst haltender Beulstrukturen dadurch noch sicherer in der Wirkung gestaltet wird, daß Stützstrahlen 16 die Lage und Form der auszubildenden Beulen 12 bzw. Beulstrukturen dimensionssicher in ihrer Breite und Lage der Scheitelpunkte 29 gestalten lassen. Es ist jetzt erkennbar, daß das Verfahren seine sichere Durchführung erreicht, wenn die Stützstrahlen 16 zeitversetzt die späteren Scheitelbereiche der Außenkonturen der Beulringe halten und für die Einwirkung des dynamisch auftreffenden Profilierungsstrahls 15 auf den Aktionspunkt 30 der Beulen 12 sichern. Die Variationsbreite des Verfahrens findet auch darin ihren Ausdruck, daß die Gegenkraft der Stützstrahlen 16 zeitgleich und impulsartig als Reaktion auf den schlagartig auftretenden Verformungsdruck des Profilierungsstrahls 15 ihre Verwendung finden und damit das Strukturprofil 16 homogen gestalten helfen.

[0014] Der Verfahrensverlauf läßt für den Fachmann erkennen, daß die Herstellung der Struktur durch die sich jetzt selbst organisierenden Beulen 2 schlagartig erfolgen muß. Damit ist der Grundsatz des Verfahrens im Rahmen einer Selbstorganisation der Struktur, gleichförmige Strukturen zu erhalten, erfüllt, weil ausführungsgemäß beim Erreichen des notwendigen Arbeitsdruckes, wie bereits dargestellt, sich die Strukturierung schlagartig selbst einstellt. Bei dieser Selbsteinstellung eines strukturierten Ringes läuft der gleiche Vorgang ab wie bei einer dynamischen, punktuellen Strukturierung, weil der Druck, stetig aufgebaut, über mehrere Arretierungsstellen bis zum Nenndruck geführt, eine Ausbildung der Beulstruktur erzeugt, die in den Scheitelbereichen 29 über eine zeitweilige plastische Verformung eine Selbststützung aller Beulenelemente im Rahmen der sich vollständig einstellenden,

durchgängigen elastischen Verformung aller Bereiche erreicht ist.

5 Patentansprüche

1. Verfahren zur Formgebung von Körpern durch eine strukturierende Umbildung ihrer gleichmäßig ausgebildeten Oberflächenkontur unter Anwendung partiell auf den Körper gerichteter Kräfte, bei dem die Krafteintragung, auf einen ausgewählten sektoriellen Bereich des Körpers gelenkt, in diesen in ihrer Größe sowie vektoriellen Erstreckung soweit hineingeführt und solange gehalten wird, die erforderlich ist, die partielle Formgebung in der vorgesehenen Kontur zu vollenden, wobei nach einem Zurücknehmen der verformenden Kraft die Rückstellkraft in der Kontur der verformten Körperpartie vom Körper bleibend aufgenommen wird, daß die sektoriellen Bereiche sich wiederholend auf den Körpern angeordnet werden und bei der Formgebung in einer ausgewählten Rasterung wechselweise konkav eingezogene Sohlenbereiche und konvex ausgestülpte Scheitelbereiche bildende Strukturen ausgeformt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beeinflussten Bereiche entlang der Bewegungsrichtung der Kräfte soweit verformt werden, dass Sohlenbereiche hergestellt sind, die sich gegenüber sich erhabenen ausformenden Scheitelbereichen elastisch abstützen, wobei die eingetragenen Verformungskräfte durch die in der erzeugten Oberflächenstruktur gebildeten statischen Kräfte aufgenommen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die einwirkende Kraft kurzzeitig und impulsartig sowie in ihrer Tiefenerstreckung begrenzt, auf den Körper zur Einwirkung gebracht wird, wobei eine dauernde Formeinhaltung durch die Einwirkung der verformenden Kraft im Bereich einer elastischen Verformung erzielt wird, die in den partiellen Verformungsbereichen der konkav eingezogenen und konvex ausgestülpten Strukturen bis in einen plastischen Bereich überführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sohlenbereiche eine Tiefe erhalten, mit der ein vektoriell in der Richtung der neutralen Faser des Körpers wirkender Druck zur Austellung der Scheitelbereiche der Struktur erhalten wird.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die Strukturumbildung der Oberfläche des Körpers eine in der Richtung in und auf die neutrale Faser horizontal verlaufende Spannungsebene erhalten wird.

Claims

1. Process for the shaping of bodies through a structuring reconstruction of their regularly developed surface contour, by applying forces partially directed onto the body, where the application of force, guided to a selected sectoral part of the body, is inserted in its extent as well as in vectorial range, as far and held as long as required in order to complete the partial reconstruction in the assigned contour, where, after a retraction of the shaping force the restoring force is lastingly accepted in the contour of the shaped body part, **characterized by** that the sectoral areas are arranged repeatedly on the bodies and that, with the shaping in a pre-selected grid, structures are built with alternately concavely inverted areas and convexly protubing vertex areas and that the influenced areas along the moving direction of the forces are shaped so far that trough areas are created which support themselves elastically against the convexly shaped vertex areas, where the registered shaping forces are accepted by the static forces built in the produced surface structure.

5
10
15
20
25
2. Process as per claim 1, **characterized by** that the acting force, short time and impulse-shaped as well as limited in its depth extent, is brought upon the body to act, where a lasting retention of the shape is achieved by the action of the shaping force in the area of an elastic shaping, which is transferred up to a plastic area in the partial shaped areas of the concavely inverted and convexly protubing structures.

30
35
3. Process as per claim 1, **characterized by** that the trough areas attain a depth, with which a pressure, acting vectorially in direction to the neutral fibre of the body to exhibit the vertex areas of the structure, is maintained.

40
4. Process as per claim 1, **characterized by** that the structure reconstruction of the surface of the body will attain a horizontal tension level running in the direction in and on the neutral fibre.

45

pel est absorbée dans le contour de la partie déformée du corps, **caractérisé en ce que** les zones sectorielles se répètent sur les corps et que des structures plastiques sont créées lors du formage selon une trame choisie alternée de zones de fond enfoncées concaves et de zones de sommet retournées convexes, et **en ce que** les zones affectées le long de la direction de déplacement des forces sont déformées de manière à produire des zones de fond avec appui élastique sur les zones de sommet se formant en relief, les forces de déformation appliquées étant absorbées par les forces statiques formées dans la structure de surface créée.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la force agissante est limitée à une brève durée et à une action par impulsion ainsi que dans son extension en profondeur, est portée sur le corps pour action, un maintien durable de forme étant obtenu par l'action de la force déformante dans le champ d'une déformation élastique, laquelle est transmise jusqu'à une plage plastique aux zones de déformation partielles des structures enfoncées concaves et retournées convexes.

3. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les zones de fond sont pourvues d'une profondeur par laquelle une pression agissant vectoriellement dans la direction des fibres neutres du corps est obtenue pour l'exposition des zones de sommet de la structure.

4. Procédé selon les revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** par restructuration de surface du corps, un plan de tension est obtenu, s'étendant horizontalement dans la direction dans et sur la fibre neutre.

Revendications

1. Procédé de formage de corps par restructuration de leur contour de surface régulièrement formé en recourant partiellement à des forces dirigées sur les corps, où l'application de force, orientée sur une zone sectorielle choisie du corps, pénètre celle-ci et est maintenue autant que nécessaire avec la grandeur et l'extension vectorielle exigées pour parachever le formage partiel avec le contour prévu, où, après retrait de la force déformante, la force de rap-

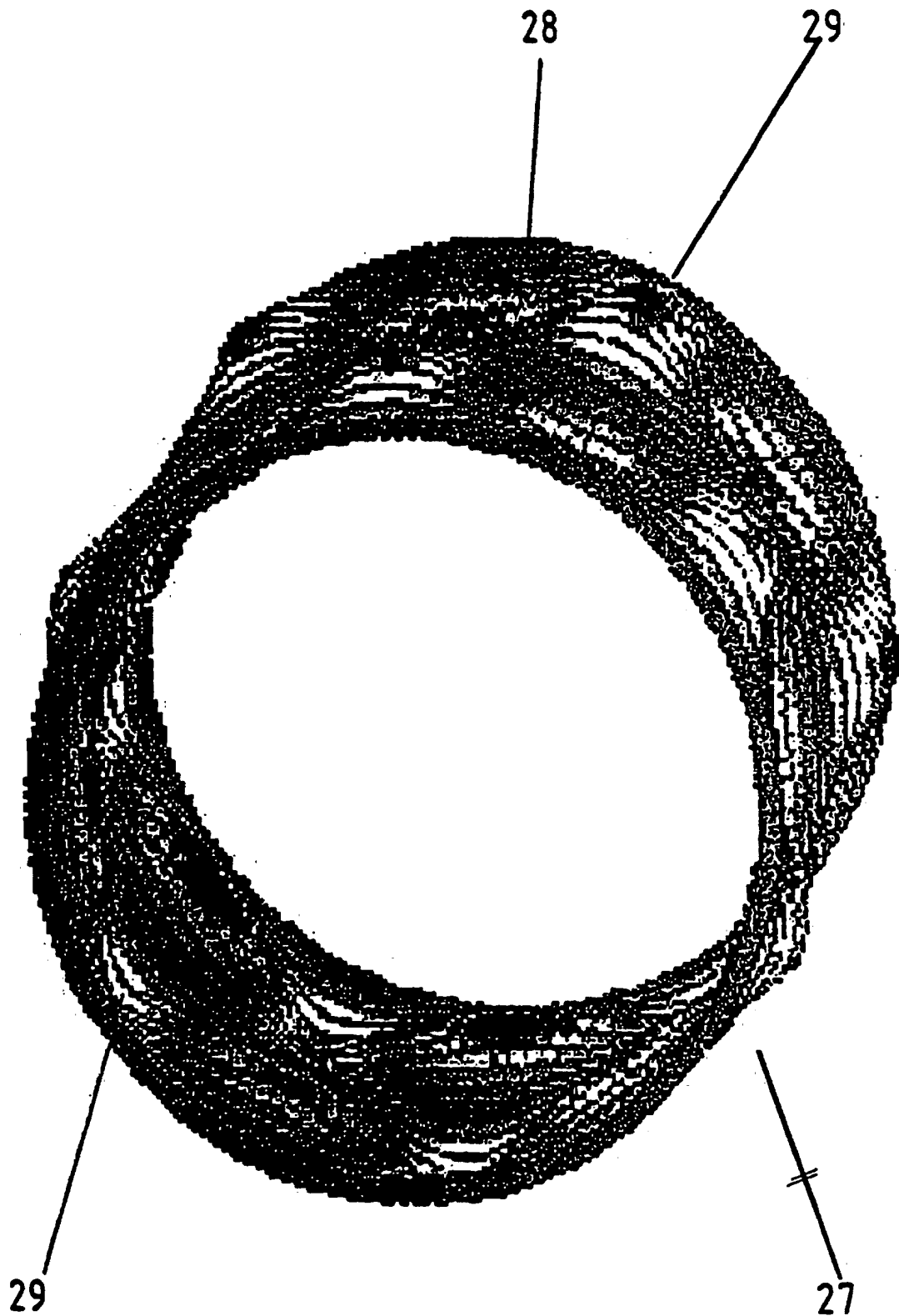


Fig. 1

