

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50463/2021
(22) Anmeldetag: 08.06.2021
(43) Veröffentlicht am: 15.08.2022

(51) Int. Cl.: **B22F 3/16** (2006.01)
B22F 3/24 (2006.01)
B22F 5/08 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)
C22C 38/40 (2006.01)
C23C 8/24 (2006.01)
C23C 8/30 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2004086413 A1
DE 19604386 A1
US 2014020442 A1

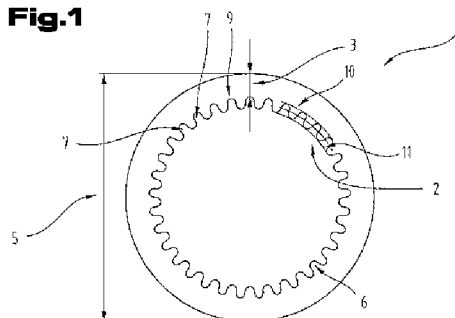
(71) Patentanmelder:
Miba Sinter Austria GmbH
4663 Laakirchen (AT)

(74) Vertreter:
Anwälte Burger und Partner Rechtsanwalt
GmbH
4580 Windischgarsten (AT)

(54) **Verfahren zur Herstellung eines Sinterbauteils mit einer Verzahnung**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines, insbesondere ringförmigen, Sinterbauteils (1) mit einer Verzahnung (2), die Zähne (6) mit Zahnfüßen (9), Zahnköpfen (8) und Zahnflanken (7) aufweist, umfassend die Schritte Pressen eines Pulvers zu einem Grünling, Sintern des Grünlings und Härten des gesinterten Sinterbauteils (1), wobei nach dem Sintern die Zahnflanken (7) und gegebenenfalls die Zahnköpfe (8) nachverdichtet und danach spanend nachbearbeitet werden, und wobei ein Übergangsbereich (13) zwischen den Zahnflanken (7) und den Zahnfüßen (9) hinterschnitten ausgeführt wird, und die Nachverdichtung der Zahnflanken (7) nur bis zu diesem Übergangsbereich (13) durchgeführt wird.

Fig.1



Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines, insbesondere ringförmigen, Sinterbauteils (1) mit einer Verzahnung (2), die Zähne (6) mit Zahnfüßen (9), Zahnköpfen (8) und Zahnflanken (7) aufweist, umfassend die Schritte Pressen eines Pulvers zu einem Grünling, Sintern des Grünlings und Härten des gesinterten Sinterbauteils (1), wobei nach dem Sintern die Zahnflanken (7) und gegebenenfalls die Zahnköpfe (8) nachverdichtet und danach spanend nachbearbeitet werden, und wobei ein Übergangsbereich (13) zwischen den Zahnflanken (7) und den Zahnfüßen (9) hinterschnitten ausgeführt wird, und die Nachverdichtung der Zahnflanken (7) nur bis zu diesem Übergangsbereich (13) durchgeführt wird.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines, insbesondere ringförmigen, Sinterbauteils mit einer Verzahnung, die Zähne mit Zahnfüßen und Zahnflanken aufweist, umfassend die Schritte Pressen eines Pulvers zu einem Grünling, Sintern des Grünlings und Härten des gesinterten Sinterbauteils, wobei nach dem Sintern die Zahnflanken und gegebenenfalls die Zahnköpfe nachverdichtet und danach spanend nachbearbeitet werden.

Weiter betrifft die Erfindung ein Sinterbauteil, insbesondere Hohlrad, mit einer Verzahnung, die Zähne mit Zahnfüßen und Zahnflanken aufweist, wobei die Zahnflanken und gegebenenfalls die Zahnköpfe nachverdichtet und spanend nachbearbeitet sind.

Es ist bekannt, dass bei drehmomentübertragenden Verzahnungen die größte Beanspruchung aufgrund der Zahnkräfte im Bereich des Fußrundungsradius der Zähne liegt. Die maximale Spannung liegt an dieser Stelle an der Oberfläche und nimmt in das Zahninnere hin ab. Es ist weiter bekannt, die Porosität eines Sinterbauteils durch einen Nachverdichtungsprozess, wie z. B. Walzen oder Kalibrieren, lokal zu verringern oder zu eliminieren, um damit die Bauteilfestigkeit zu verbessern. Die Nachverdichtung kann im Bereich des Zahnkopfes, der Zahnflanke und dem Zahnfuß erfolgen. Nur als Beispiel sei die AT 505118 A1 erwähnt.

Hochfeste Sinterzahnräder können zur Erreichung der gewünschten Festigkeit einsatzgehärtet bzw. carbonitriert werden. Dabei dringen Kohlenstoff bzw. Kohlenstoff und Stickstoff in die Oberfläche ein, harter Martensit entsteht und Verspannungen treten auf. Diese führen u.a. zu Verzügen und erfordern in den meisten

Anwendungsfällen eine nachträgliche Hartfeinbearbeitung, insbesondere der Verzahnung. Diese Hartfeinbearbeitung verursacht zusätzliche Kosten, besonders bei Hohlrädern.

Zur Vermeidung dieses Nachteils ist in der AT 515352 A2 ein Verfahren zur Herstellung eines, insbesondere ringförmigen, Sinterbauteils mit einer Verzahnung, die Zähne mit Zahnfüßen und Zahnflanken aufweist, in near net-shape oder net-shape Qualität vorgeschlagen worden, umfassend die Schritte Pulverpressen, Sintern und Härten, wobei das Härten durch Plasmanitrieren oder Plasmanitrocarburieren erfolgt, wobei die Zahnfüße mit einer Zahnfußdauerfestigkeit $\sigma_{F, \text{lim}}$ nach DIN 3990 von mindestens 200 MPa hergestellt werden. Nach dem Sintern werden ausschließlich die Zahnflanken und gegebenenfalls die Zahnköpfe verdichtet, insbesondere kaltverdichtet. Zudem werden die Zahnflanken höher verdichtet als die Zahnfüße. Durch das Plasmanitrieren bzw. das Plasmanitrocarburieren zur Härtung der Sinterbauteile können prozessbedingte Verzüge, wie sie bei der Einsatzhärtung auftreten, vermieden werden.

Bei gesinterten Hohlräder, welche aus Pulvern mit die Festigkeit steigernden Elementen, wie z.B. Chrom, in Verbindung mit Plasmanitrieren hergestellt werden, tritt hinsichtlich dem Randzonenverdichten das Problem auf, dass es durch die großen Umformung beim Nachverdichten im Zahnfußbereich, insbesondere im Bereich der Zahnfußrundung zu Materialdefekten kommt.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein verzahntes Sinterbauteil, insbesondere ein Hohlrad, mit verbesserter Belastbarkeit zu schaffen.

Die Aufgabe wird mit dem eingangs genannten Verfahren gelöst, nach dem vorgesehen ist, dass ein Übergangsbereich zwischen den Zahnflanken und den Zahnfüßen hinterschnitten ausgeführt wird und dass die Nachverdichtung der Zahnflanken nur bis zu diesem Übergangsbereich durchgeführt wird.

Zudem wird die Aufgabe der Erfindung mit dem eingangs genannten Sinterbauteil gelöst, bei dem ein Übergangsbereich zwischen den Zahnflanken und den Zahnfüßen hinterschnitten ausgeführt ist und die Nachverdichtung der Zahnflanken nur bis zu diesem Übergangsbereich durchgeführt ist.

Von Vorteil ist dabei, dass die (so hergestellten) Sinterbauteile eine verbesserte Zahnfußfestigkeit aufweisen, da diese Bereiche nach dem Sintern nicht mehr umgeformt werden und somit Defekte in diesen Bereichen, wie beispielsweise eine ungünstige Porenstruktur bzw. Mikrorisse, etc., verhindert werden. Damit sind auch Verzahnungen an Sinterbauteilen, wie insbesondere Hohlrädern, mit sehr kleinen Rundungsradien der Zahnfüße einfacher herstellbar.

Zur Verbesserung dieser Effekte kann nach einer Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen werden, dass die Nachverdichtung nur bis in einen Bereich durchgeführt wird, der durch den Fußnutzkreisdurchmesser zuzüglich 10 % des Fußnutzkreisdurchmessers definiert ist. Der Fußnutzkreisdurchmesser definiert den Nutzbereich der Zähne der Verzahnung, der von dem Kopfkreis der Verzahnung bis zum Fußnutzkreis gemessen wird und in dem die Zahnflanken des Zahnrads und eines entsprechenden Gegenzahnrades aufeinander abwälzen. Unterhalb des Fußnutzkreises bis zum Fußkreis findet zwischen den Zähnen der Zahnräder kein Kontakt mehr beim Abwälzen statt.

Vorzugsweise werden nach einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung die Zahnfüße beim Pressen des Pulvers ohne Aufmaß hergestellt, sodass die Zahnfüße nach dem Sintern und Härten des Sinterbauteils ohne jegliche weitere Bearbeitung bereits fertig vorliegen.

Nach einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die spanende Nachbearbeitung der Zahnflanken maximal bis in einen Bereich durchgeführt wird, dessen Radius um 0,08 % bis 12 % vom Zahnfußkreisradius abweicht. Es ist damit die Standzeit des Umformwerkzeugs zu verbessern, insbesondere eine Honrings, da kritische Werkzeugbereiche aufgrund der Hinterschnidungen der Zähne keinen Kontakt mit dem Sinterbauteil haben. Damit sind auch massivere Werkzeugausführung möglich.

Die Vorteile der Erfindung wirken sich besonders bei Pulvern für das Sinterbauteil aus, die aus 0,1 Gew.-% bis 5 Gew.-% Chrom, 0,1 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Kohlenstoff, 0 Gew.-% bis 2 Gew.-% Molybdän, 0 Gew.-% bis 2 Gew.-% Nickel, Rest Eisen bestehen. Sinterbauteile aus diesen Werkstoffen weisen eine relativ hohe Sinterhärte im Bereich von 180 HB auf. Hier wirkt sich die Vermeidung der Umformung und Nachbearbeitung der Zahnfüße besonders effektiv aus, insbesondere wenn aus diesen Pulvern Hohlräder hergestellt werden.

Aus diesen Gründen ist es nach einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung ebenfalls von Vorteil, wenn damit Sinterbauteile hergestellt werden, deren Zahnfüße gerundet ausgebildet werden, wobei ein Rundungsradius ausgewählt wird aus einem Bereich von 0,2 mm bis 8 mm.

Aufgrund der Verringerung von Bauteilverzügen ist es für die Vermeidung der Zahnfußbearbeitung von Vorteil, wenn das Härten durch Plasmanitrieren oder Plasmanitrocarburieren erfolgt.

Nach einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Verzahnung ein Modul aus einem Bereich von 0,3 mm bis 3 mm aufweist. Es wurde nämlich im Zuge der Erfindung gefunden, dass die voranstehend beschriebenen positiven Effekte bei Zahngrößen entsprechend einem Modul aus diesem Bereich ausgeprägter auftreten.

Wie bereits mehrfach erwähnt wird mit dem Verfahren bevorzugt ein Hohlrad hergestellt, da überraschenderweise die Bearbeitung eines innenverzahnten Zahnrades unterschiedlich ist zur Bearbeitung eines außenverzahnten Zahnrad und somit die Erkenntnisse aus der Bearbeitung außenverzahnter Zahnräder, insbesondere in Hinblick auf die Nachverdichtung, nicht einfach auf innenverzahnte Zahnräder übertragen werden können.

Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

Es zeigen jeweils in stark vereinfachter, schematischer Darstellung:

- Fig. 1 ein Sinterbauteil in Form eines Hohlrades;
- Fig. 2 den Sinterbauteil nach Fig. 1 im Querschnitt;
- Fig. 3 einen Ausschnitt aus dem Sinterbauteil nach Fig. 1;
- Fig. 4 den Ausschnitt aus dem Sinterbauteil nach Fig. 3 einer Ausführungsvariante des Sinterbauteils;
- Fig. 5 einen Ausschnitt aus einer anderen Ausführungsvariante des Sinterbauteils;
- Fig. 6 einen Ausschnitt aus einer weiteren Ausführungsvariante des Sinterbauteils.

Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind diese Lageangaben bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

Angaben zu Normen beziehen sich immer auf die zum Anmeldetag der die Priorität begründenden Erstanmeldung jeweils letztgültige Fassung dieser Normen, sofern nicht etwas anderes explizit angegeben ist.

In den Fig. 1 und 2 ist ein metallisches Sinterbauteil 1 in Form eines Hohlrades dargestellt. Dieses ist ringförmig ausgebildet und weist eine Verzahnung 2 in Form einer Innenverzahnung auf. Da derartige Sinterbauteile 1 an sich bekannt sind, erübrigt sich eine weitere Erörterung. Das metallische Sinterbauteil 1 kann auch ein (Getriebe)Zahnrad, ein Zahnriemenrad, ein Kettenrad, etc. sein. Weiter kann das Sinterbauteil 1 eine Geradverzahnung oder eine Schrägverzahnung aufweisen.

Es sei bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass das nachstehend beschriebene Verfahren nicht nur zur Herstellung von Hohlrädern angewandt werden kann. Vielmehr können nach dem Verfahren Sinterbauteile 1, insbesondere ringförmige Sinterbauteile 1 an sich hergestellt werden, die gegebenenfalls anstelle oder zusätzlich zu der Innenverzahnung eine Außenverzahnung bzw. generell eine Verzahnung 2 aufweisen.

Das Sinterbauteil 1 weist in der radialen Richtung eine Dicke 3 auf, die senkrecht auf eine Axialrichtung 4 verläuft. Die Dicke 3 wird dabei zwischen dem Fußkreis der Innenverzahnung und einem maximalen Außendurchmesser 5 des Sinterbauteils 1 gemessen, wie dies in Fig. 1 gezeigt ist. Sofern das Sinterbauteil 1 nur eine Außenverzahnung aufweist, ist die Dicke 3 dementsprechend zwischen dem Fußkreis der Verzahnung 2 und dem Innendurchmesser zu messen. Sollte das Sinterbauteil 1 sowohl eine Innenverzahnung als auch eine Außenverzahnung aufweisen, ist die Dicke 3 zwischen den beiden Fußkreisen der Verzahnungen 2 zu messen.

Die Verzahnung 2 weist Zähne 6 auf. Die Zähne 6 weisen Zahnflanken 7, Zahnköpfe 8 und Zahnfüße 9 auf.

Hinsichtlich der Festlegung der Bereiche der Zahnflanken 4, der Zahnköpfe 5 und der Zahnfüße 6 sei auf die DIN 3998 verwiesen.

Unter einem Zahnfuß 9 versteht man den Bereich zwischen dem Fußkreis 10 und dem Beginn des Eingriffsbereichs eines weiteren Zahnrades.

Die Zahnflanke 7 ist der Bereich des Eingriffs des weiteren Zahnrades. Die Zahnflanke schließt also an den Zahnfuß 9 an.

Der Zahnkopf 8 schließt an die Zahnflanke 7 an und ist der Bereich zwischen dem Eingriffsende des weiteren Zahnrades und dem Kopfkreis 11.

Die Herstellung des Sinterbauteils 1 erfolgt nach einem Sinterverfahren. Dazu wird aus einem Sinterpulver, das aus den einzelnen (metallischen) Pulvern durch Mi-

schen hergestellt werden kann, wobei die Pulver gegebenenfalls vorlegiert eingesetzt werden können, ein Grünling in einer entsprechenden Pressform hergestellt. Vorzugsweise weist der Grünling eine Dichte von größer 6,8 g/cm³ auf.

Der Grünling wird in der Folge bei üblichen Temperaturen entwachst und ein- oder zweistufig bzw. mehrstufig gesintert und danach vorzugsweise auf Raumtemperatur abgekühlt. Das Sintern kann beispielsweise bei einer Temperatur zwischen 900°C und 1300 °C erfolgen.

Da diese Verfahrensweisen und die dabei verwendeten Verfahrensparameter aus dem Stand der Technik bekannt sind, sei zur Vermeidung von Wiederholungen dazu auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen.

Als Sinterpulver, aus dem das Sinterbauteil 1 hergestellt wird, wird vorzugsweise ein Pulver mit folgender Zusammensetzung verwendet:

0,1 Gew.-% bis 5 Gew.-% Chrom

0,1 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Kohlenstoff

0 Gew.-% bis 2 Gew.-% Molybdän

0 Gew.-% bis 2 Gew.-% Nickel

Rest Eisen.

Insbesondere durch die Anteile von Chrom und Molybdän können höhere Härte-
werte erreicht werden.

Gegebenenfalls können dem Sinterpulver auch übliche Verarbeitungshilfsstoffe, wie Presshilfsmittel und/oder Bindemittel, in den üblichen Mengenanteilen zugesetzt werden. Diese Mengenanteile beziehen sich dabei auf die gesamte Pulvermischung. Die voranstehenden Mengenanteile der metallischen Pulver sind hingegen auf die Gesamtheit der metallischen Anteile bezogen.

Das Sinterpulver kann aber auch anderes zusammengesetzt sein. Beispielsweise kann das Sinterpulver 0,05 Gew.-% bis 0,5 Gew.-% Kohlenstoff, 0,5 Gew.-% bis 1 Gew.-% Molybdän, 0 Gew.-% bis 2 Gew.-% andere Legierungselemente, wie z.B. Ni, Cr, Co, Si, Cu, etc., aufweisen, wobei den Rest Eisen bildet.

Nach dem Sintern wird das Sinterbauteil 1 zur Verbesserung der Verschleißbeständigkeit gehärtet. Das Härten erfolgt vorzugsweise durch Plasmanitrieren oder Plasmanitrocarburieren, wozu in einer Behandlungskammer für die Sinterbauteile 1 zumindest eine Stickstoffquelle und gegebenenfalls zumindest eine Kohlenstoffquelle vorhanden ist. Die Plasmabehandlung des Sinterbauteils 1 wird mit folgenden Parametern ausgeführt. Die Sinterbauteile 1 werden vor der Wärmebehandlung im Plasma vorzugsweise gereinigt, gegebenenfalls nach vorangegangener Entfernung von Ölen und Fetten in einer Reinigungsanlage. Bevorzugt erfolgt die Reinigung mittels Sputtern.

Temperatur beim Plasmanitrieren:

Die Temperatur ist ausgewählt aus einem Bereich von 350 °C und 600 °C, insbesondere ausgewählt aus einem Bereich von 400 °C und 550 °C. Gegebenenfalls kann die Temperatur über die Verfahrensdauer variieren, wobei allerdings jedenfalls die Temperatur im genannten Temperaturbereich liegt.

Dauer des Plasmanitrierens: 1 Stunde bis 60 Stunden

Atmosphäre beim Plasmanitrieren:

Als Atmosphäre in der Plasmakammer kann Wasserstoff oder Stickstoff oder Argon oder eine Mischung daraus, beispielsweise ein Gemisch aus Wasserstoff und Stickstoff, verwendet werden. Das Verhältnis der Volumenanteile an Wasserstoff und Stickstoff in diesem Gemisch kann ausgewählt sein aus einem Bereich von 100 : 1 bis 1 : 100. Gegebenenfalls können die Volumenanteile an Wasserstoff und Stickstoff über die Verfahrensdauer variieren, wobei allerdings jedenfalls die Verhältnisse in den genannten Bereichen liegen, Weitere Prozessgase können vorhanden sein, wobei deren Gesamtanteil an der Atmosphäre maximal 30 Vol.-% beträgt.

Spannung:

Die elektrische Spannung zwischen den Elektroden wird ausgewählt aus einem Bereich von 300 V bis 800 V, insbesondere aus einem Bereich von 450 V bis 700

V. Dabei ist es auch möglich, dass die Spannung während der Plasmanitrierbehandlung der Sinterbauteile 1 variiert wird.

Es können dabei sowohl zumindest zwei eigene Elektroden verwendet werden, als auch das Sinterbauteil 1 selbst als Elektrode geschaltet sein.

Druckbereich:

Der Druck in der Behandlungskammer während der Plasmabehandlung der Sinterbauteile 1 kann ausgewählt sein aus einem Bereich von 0,1 mbar bis 10 mbar, insbesondere aus einem Bereich von 2 mbar bis 7 mbar.

Durch das Plasmanitrieren oder das Plasmanitrocarburieren werden die Sinterbauteile 1 in den oberflächennahen Bereichen unter Ausbildung einer Schicht gehärtet. Dabei werden der Stickstoffanteil und gegebenenfalls der Kohlenstoffanteil im Sinterbauteil 1 durch Einlagerung von Stickstoff und gegebenenfalls Kohlenstoff in diese Schicht erhöht. Der Begriff „erhöht“ umfasst auch eine Erhöhung dieser Anteile beginnend von 0 Gew.-% vor der Plasmabehandlung.

Obwohl das Plasmanitrieren oder das Plasmanitrocarburieren das bevorzugte Härtingsverfahren ist, können auch andere in der Sintertechnik bekannte Härtingsverfahren eingesetzt werden.

Im Verfahrensablauf ist vorgesehen, dass die Zahnflanken 7 nachverdichtet werden. Vorzugsweise werden auch die Zahnköpfe 8 nachverdichtet. Es entsteht damit eine verdichtete Randzone 12, wie dies aus Fig. 3 zu ersehen ist, die einen Zahn 6 der Verzahnung 2 des Sinterbauteils 1 nach Fig. 1 zeigt. Es ist vorgesehen, dass ausschließlich die Zahnflanken 7 und gegebenenfalls die Zahnköpfe 8 verdichtet, insbesondere kaltverdichtet, werden. Die Zahnfüße 9 werden nach dem Sintern nicht verdichtet.

Die Nachverdichtung erfolgt bevorzugt nach dem Sintern und vor dem Härten, kann aber auch nach dem Härten ausgeführt werden.

Die Nachverdichtung kann beispielsweise durch Rollen der Verzahnung 2 gegen eine Masterform erfolgen, wobei die Masterform eine Verzahnung aufweist, die in

die Verzahnung 2 des Sinterbauteils 1 eingreift. Die Nachverdichtung kann aber auch in einer Pressform erfolgen, z.B. einer Kalibriermatrize, mit der ein entsprechender Druck auf die Zahnflanken 7 und gegebenenfalls die Zahnköpfe 8 ausgeübt werden kann. Das Kalibrieren dient dazu, die Bauteilgeometrie zu erhöhen, also das Istmaß an das Sollmaß anzugleichen.

Für die Nachverdichtung der Zahnflanken 7 und gegebenenfalls der Zahnköpfe 8 kann ein Verdichtungsdruck angewandt werden, der ausgewählt ist aus einem Bereich von 150 MPa bis 1200 MPa, insbesondere von 300 MPa bis 1200 MPa.

Durch die Nachverdichtung weisen die oberflächennahen Bereiche der Zahnflanken 7 und gegebenenfalls der Zahnköpfe 8 eine Dichte auf, die zumindest 95 % der Dichte des Vollmaterials (Volldichte) entspricht. Die oberflächennahen Bereiche der Zahnfüße 9 können eine Dichte aufweisen, die zwischen 78 % und 93% der Dichte des Vollmaterials (Volldichte) entspricht.

Die Nachverdichtung wird insbesondere bis eine Tiefe im Sinterbauteil 1 durchgeführt, die zwischen 0,08 mm und 0,8 mm, insbesondere zwischen 0,08 mm und 0,4 mm, beträgt, gemessen von der Oberfläche des Sinterbauteils 1. Der unter dem verdichteten Bereich liegende Bereich des Sinterbauteils 1, d.h. der Kern des Sinterbauteils 1, weist eine Kerndichte auf, die zumindest annähernd der Dichte des Sinterbauteils 1 nach dem Sintern entspricht.

Wie aus Fig. 3 zu ersehen ist, ist zwischen den Zahnflanken 7 und den Zahnfüßen 9 ein Übergangsbereich 13 ausgebildet. Der Übergangsbereich 13 kann beginnt in den Zahnflanken 7 dort, wo diese nicht mehr nachverdichtet sind bzw. werden.

Der Übergangsbereich 13 ist hinterschnitten ausgeführt bzw. weist eine Hinterschneidung 14 auf. Die Hinterschneidung 14 bezieht sich dabei auf den Verlauf der Zahnflanke 7.

Die Hinterschneidung 14, auch als Protuberanz bezeichnenbar, ist insbesondere an der Stelle in den Zahnflanken 7 angeordnet, an der die Nachverdichtung endet, wie dies aus Fig. 3 ersichtlich ist.

Die Hinterschneidung kann wie in Fig. 3 dargestellt gerundet ausgeführt sein, kann aber auch einen anderen Verlauf haben bzw. aufweisen, beispielsweise einen linearen.

Eine Breite 15 der Zähne 6 in der Umfangsrichtung 15 nimmt in der radialen Richtung bei Innenverzahnungen von innen nach außen (oder von außen nach innen bei Außenverzahnungen bis zum Beginn der Hinterschneidung 14 zu. Am Beginn der Hinterschneidung wird die relative Änderung der Zunahme kleiner oder Null oder negativ, wodurch durch diese Unstetigkeit im Flankenverlauf die Hinterschneidung 14 ausgebildet ist. In Ansicht in der Axialrichtung 4 (siehe Fig. 2) weisen die Zahnflanken 7 beispielsweise durch der Hinterschneidung 14 keinen geradlinigen Verlauf mehr auf.

In der bevorzugten Ausführungsvariante der Zähne 6 nimmt die Breite 15 vom Zahnkopf 8 bis zur Hinterschneidung 14 (stetig) zu.

Die Hinterschneidung 14 in den Zahnflanken 7 wird bevorzugt bereits beim Pulverpressen, also beim Herstellen des Grünlings, durch entsprechende Ausbildung der Pressmatrize bzw. bevorzugt bereits vor dem Nachverdichten der Zahnflanken 7 hergestellt, womit die Nachverdichtung der Zahnflanken 7 bzw. das Werkzeug hierfür, vereinfacht werden kann.

Die Nachverdichtung der Zahnflanken 7 wird beginnend beim Zahnkopf 8 zumindest bis zum Fußnutzkreis 17 durchgeführt, also jenen Bereich des Zahnes 6, in dem dieser mit dem Zahn einer weiteren Verzahnung bzw. eines weiteren Zahnrades kämmt. Es kann auch vorgesehen sein, dass die Nachverdichtung darüber hinaus in einem zusätzlichen Abschnitt 18 durchgeführt wird, wie dies am Beispiel der Fig. 3 zu ersehen ist. Eine Länge 19 des Abschnittes 18 kann zwischen 1 % und 12 % einer Länge 20 der Zahnflanken 7 ab dem Kopfkreis 11 betragen.

Durch das Aussparen der Zahngründe der Verzahnung 2 beim Umformen können für die Belastbarkeit des Sinterbauteils 1 nachteilige Defekte vermieden werden.

Für die Nachverdichtung kann beim Grünling ein Aufmaß 21 der nachzuverdichtenden Bereich der Zähne 6 vorgesehen werden, wie dies in Fig. 3 strichliert angedeutet ist. Die Zahnfüße 9 werden gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante des Verfahrens beim Pressen des Pulvers zumindest im Zahngrund 22 und in einem Fußrundungsbereich 23 ohne Aufmaß hergestellt, sodass diese die Form dieser Abschnitte der Verzahnung 2 bereits beim Pulverpressen definiert wird. Durch das Vorsehen des Aufmaßes 21 kann die Hinterschneidung 14 im Übergangsbereich 13 ausgeprägter ausgebildet werden.

Mit den Hinterschneidungen 14 in den Zahnkonturen kann ein Werkzeugkontakt mit den nicht nachzuverdichtenden Bereichen der Verzahnung 2 beim Nachverdichten besser/einfacher vermieden werden.

Gemäß einer Ausführungsvariante des Verfahrens kann die Nachverdichtung bis in einen Bereich durchgeführt werden, der durch den Fußnutzkreisdurchmesser 24 zuzüglich 10 %, insbesondere zuzüglich 5 %, des Fußnutzkreisdurchmessers 24, also über den Fußnutzkreis 17 in Richtung auf den Zahngrund 22 hinaus, definiert ist.

Es ist im Verfahrensablauf weiter vorgesehen, dass die Zähne 6 der Verzahnung 2 des Sinterbauteils 1 spanend nachbearbeitet werden. Diese spanende Nachbearbeitung erfolgt nach der Nachverdichtung. Sie kann weiter nach dem Härten des Sinterbauteils 1 durchgeführt werden, erfolgt aber bevorzugt vor dem Härten des Sinterbauteils 1.

Die spanende Nachbearbeitung kann beispielsweise durch Fräsen, Stoßen, Räumen, Feilen, Raspeln, Schaben oder bevorzugt durch Honen, z.B. mit einem Honring) erfolgen. Durch die spanende Nachbearbeitung der Zahnflanken 7 und gegebenenfalls der Zahnköpfe 8 wird eine Schichtdicke 25 (siehe Fig. 3) der nachverdichteten Bereiche auf eine Schichtdicke 26 verringert, wie dies aus Fig. 4 zu sehen ist. Aufgrund der Hinterschneidungen 14 hat dabei das Spanwerkzeug keinen Kontakt mit den Zahngründen 22 und den Fußrundungsbereichen 23.

Gemäß einer Ausführungsvariante des Verfahrens dazu kann vorgesehen sein, dass die spanende Nachbearbeitung der Zahnflanken 7 maximal bis in einen Bereich durchgeführt wird, dessen Radius 27 um 0,08 % bis 12 %, insbesondere um 0,08 % bis 8 %, von einem Zahnfußkreisradius 28 abweicht.

Wie bereits ausgeführt, kann der Bereich der Zahnfüße 9 gerundet ausgebildet sein. Dabei kann nach einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen sein, dass ein Rundungsradius 29 ausgewählt ist aus einem Bereich von 0,2 mm bis 8 mm, insbesondere zwischen 0,2 mm und 4 mm, (R0,2 bis R8 bzw. R4). Die Rundung der Zahnfüße 9 und insbesondere der Fußrundungsbereiche 23 kann dabei mit nur einem Rundungsradius 29 oder mit einer Abfolge mehrere unterschiedlicher Rundungsradien 29 ausgeführt sein. Bei mehreren unterschiedlichen Rundungsradien 29 sind vorzugsweise alle aus dem genannten Bereich ausgewählt.

Nach einer weiteren Ausführungsvariante kann vorgesehen sein, dass die Verzahnung mit einem Modul aus einem Bereich von 0,3 mm bis 3 mm, insbesondere ausgewählt aus einem Bereich von 0,5 mm bis 2 mm, hergestellt wird. Insbesondere bei diesen Ausführungen von Verzahnungen 2 ist die Ausbildung der Hinterschnidungen 14 in den Zahnflanken 7 zur Vermeidung des Kontaktes des Zahnfußbereiche mit Werkzeugen der Nachbearbeitung der Verzahnung 2 von Vorteil.

Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass der Modul entsprechend DIN 780 definiert ist als Quotient aus Teilkreisdurchmesser in mm und der Zähnezahl. Der Teilkreisdurchmesser ist jener Durchmesser eines Zahnrades, bei dem die Zahnteilung p genau z mal auftritt, wobei z die Anzahl der Zähne ist. Die Zahnteilung p ist die Länge eines Teilkreisbogens zwischen zwei aufeinander folgenden gleichnamigen Flanken (Rechts- oder Linksflanken).

In Fig. 5 ist eine weitere Ausführungsvariante des Verfahrens dargestellt. Wie anhand des Ausschnittes aus einem Zahn 6 zu ersehen ist, besteht im Rahmen der Erfindung die Möglichkeit, dass die spanende Bearbeitung der Zahnflanken 7 bereits vor dem Ende des nachverdichteten Bereichs 30 endet. Fig. 5 zeigt dazu

auch den Bereich 31 des nachverdichteten Bereichs 30, der durch die spanenden Bearbeitung entfernt wird.

Das Ende des nachverdichteten Bereichs 30 und das Ende des spanend bearbeiteten Bereichs 31 kann aber auch zusammenfallen.

Fig. 6 zeigt die Ausführungsvariante, bei der Bereich 31 der spanenden Bearbeitung über den Bereich 30 der Nachverdichtung hinausgeht, sodass ein Teil des nicht nachverdichteten Fußbereichs ebenfalls spanend entfernt wird.

Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten des Sinterbauteils 1, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass auch diverse Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind.

Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus des Sinterbauteils 1 dieses nicht notwendigerweise maßstäblich dargestellt ist.

Bezugszeichenliste

1	Sinterbauteil	31	Bereich
2	Verzahnung		
3	Dicke		
4	Axialrichtung		
5	Außendurchmesser		
6	Zahn		
7	Zahnflanke		
8	Zahnkopf		
9	Zahnfuß		
10	Fußkreis		
11	Kopfkreis		
12	Randzone		
13	Übergangsbereich		
14	Hinterschneidung		
15	Breite		
16	Umfangsrichtung		
17	Fußnutzkreis		
18	Abschnitt		
19	Länge		
20	Länge		
21	Aufmaß		
22	Zahngrund		
23	Fußrundungsbereich		
24	Fußnutzkreisdurchmesser		
25	Schichtdicke		
26	Schichtdicke		
27	Radius		
28	Zahnfußkreisradius		
29	Rundungsradius		
30	Bereich		

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Herstellung eines, insbesondere ringförmigen, Sinterbauteils (1) mit einer Verzahnung (2), die Zähne (6) mit Zahnfüßen (9), Zahnköpfen (8) und Zahnflanken (7) aufweist, umfassend die Schritte Pressen eines Pulvers zu einem Grünling, Sintern des Grünlings und Härten des gesinterten Sinterbauteils (1), wobei nach dem Sintern die Zahnflanken (7) und gegebenenfalls die Zahnköpfe (8) nachverdichtet und danach spanend nachbearbeitet werden, dadurch gekennzeichnet, dass ein Übergangsbereich (13) zwischen den Zahnflanken (7) und den Zahnfüßen (9) hinterschnitten ausgeführt wird, und dass die Nachverdichtung der Zahnflanken (7) nur bis zu diesem Übergangsbereich (13) durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Nachverdichtung bis in einen Bereich durchgeführt wird, der durch den Fußnutzkreisdurchmessers (24) zuzüglich 10 % des Fußnutzkreisdurchmessers (24) definiert ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zahnfüße (9) beim Pressen des Pulvers ohne Aufmaß hergestellt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die spanende Nachbearbeitung der Zahnflanken (7) maximal bis in einen Bereich durchgeführt wird, dessen Radius um 0,08 % bis 12 % vom Zahnfußkreisradius (28) abweicht.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Pulver mit folgender Zusammensetzung eingesetzt wird:
0,1 Gew.-% bis 5 Gew.-% Chrom
0,1 Gew.-% bis 0,8 Gew.-% Kohlenstoff
0 Gew.-% bis 2 Gew.-% Molybdän

0 Gew.-% bis 2 Gew.-% Nickel

Rest Eisen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Zahnfüße (9) gerundet ausgebildet werden, wobei ein Rundungsradius (29) ausgewählt ist aus einem Bereich von 0,2 mm bis 8 mm.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Härten durch Plasmanitrieren oder Plasmanitrocarburieren erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Verzahnung (2) mit einem Modul aus einem Bereich von 0,3 mm bis 3 mm hergestellt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Sinterbauteil (1) als Hohlrad hergestellt wird.
10. Sinterbauteil (1), insbesondere Hohlrad, mit einer Verzahnung (2), die Zähne (6) mit Zahnfüßen (9), Zahnköpfen (8) und Zahnflanken (7) aufweist, wobei die Zahnflanken (7) und gegebenenfalls die Zahnköpfe (8) nachverdichtet und spanend nachbearbeitet sind, dadurch gekennzeichnet, dass ein Übergangsbereich (13) zwischen den Zahnflanken (7) und den Zahnfüßen (9) hinterschnitten ausgeführt ist, und dass die Nachverdichtung der Zahnflanken (7) nur bis zu diesem Übergangsbereich (13) durchgeführt ist.

Fig.1

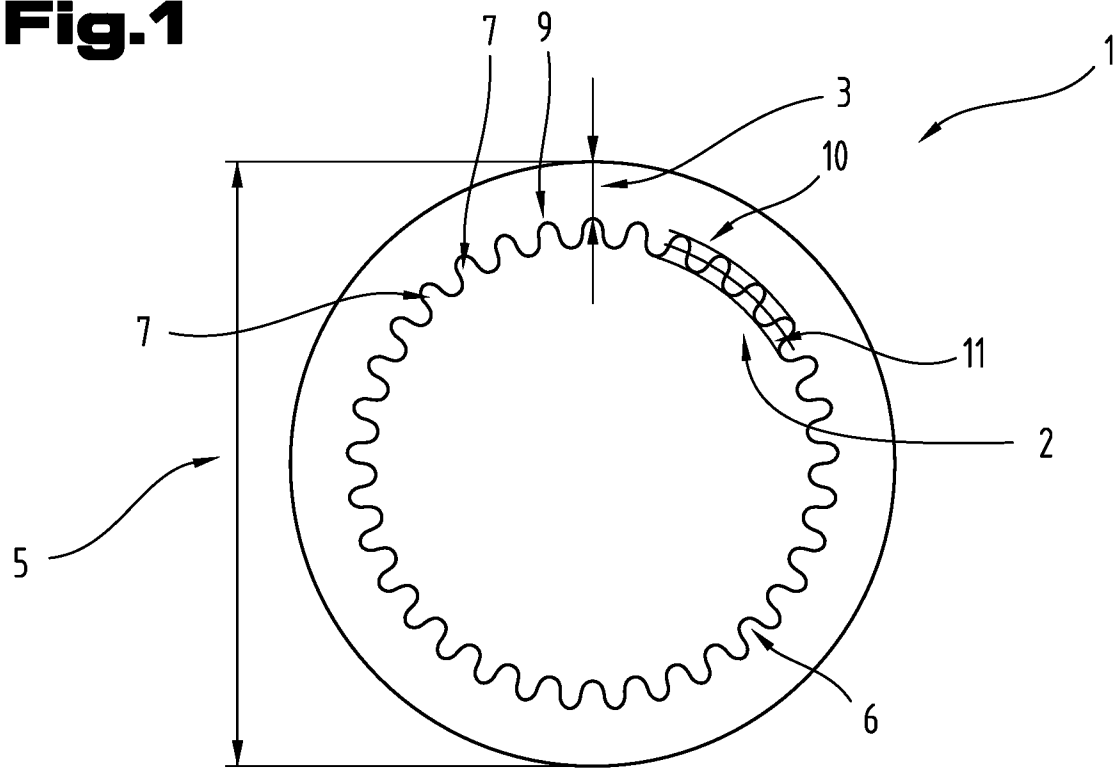


Fig.2

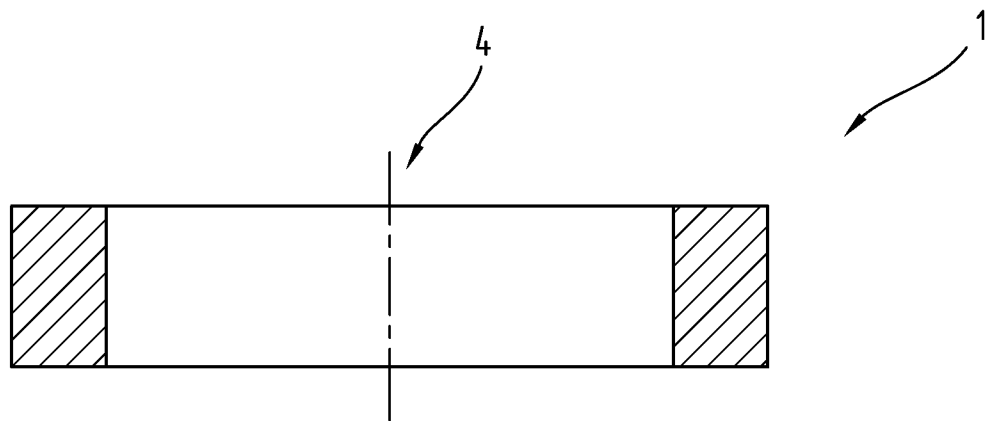


Fig.3

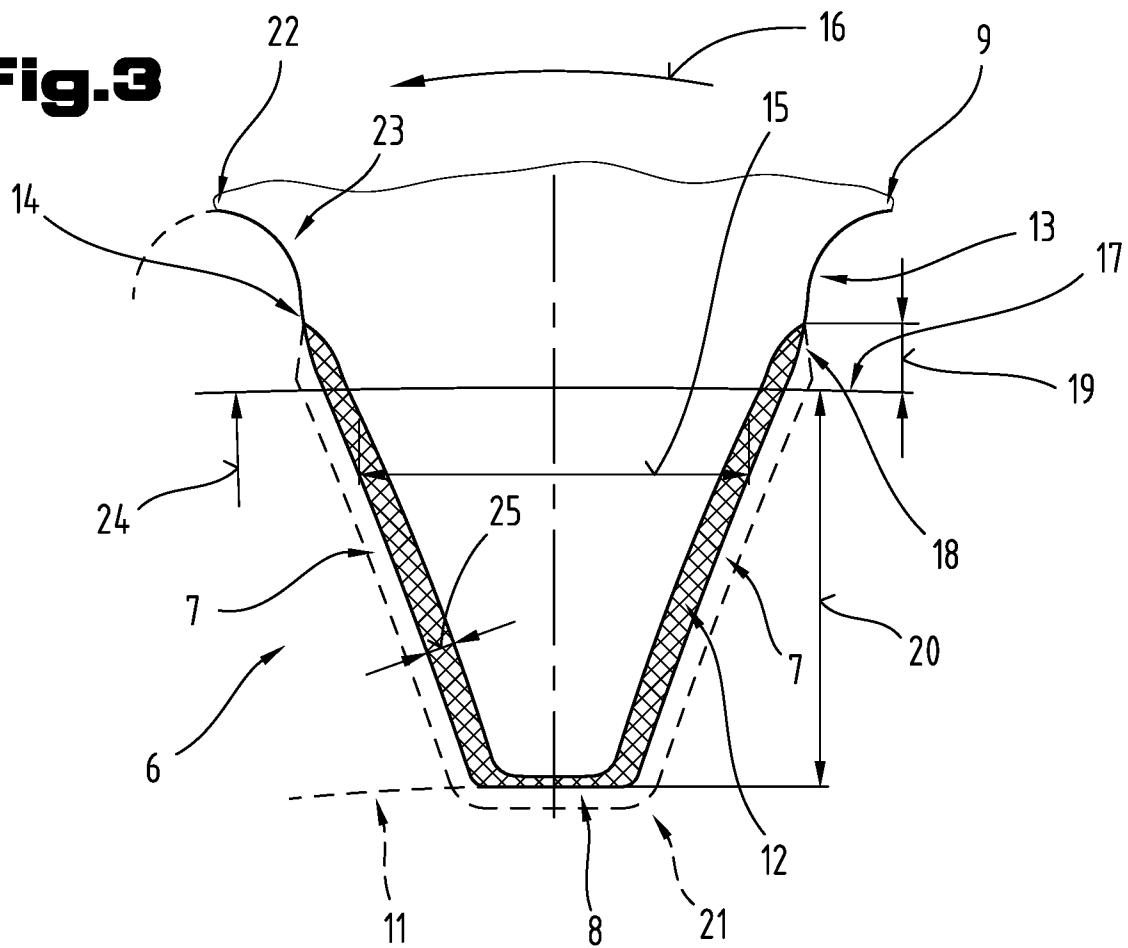


Fig.4

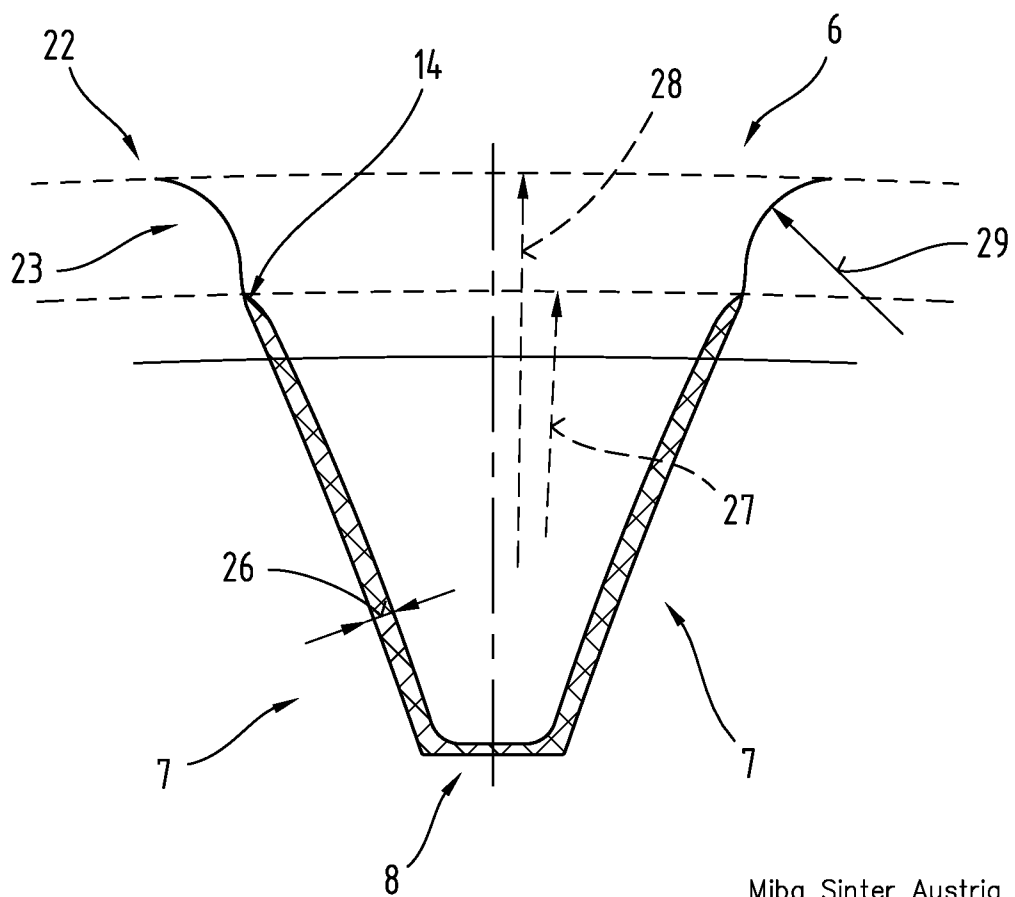


Fig.5

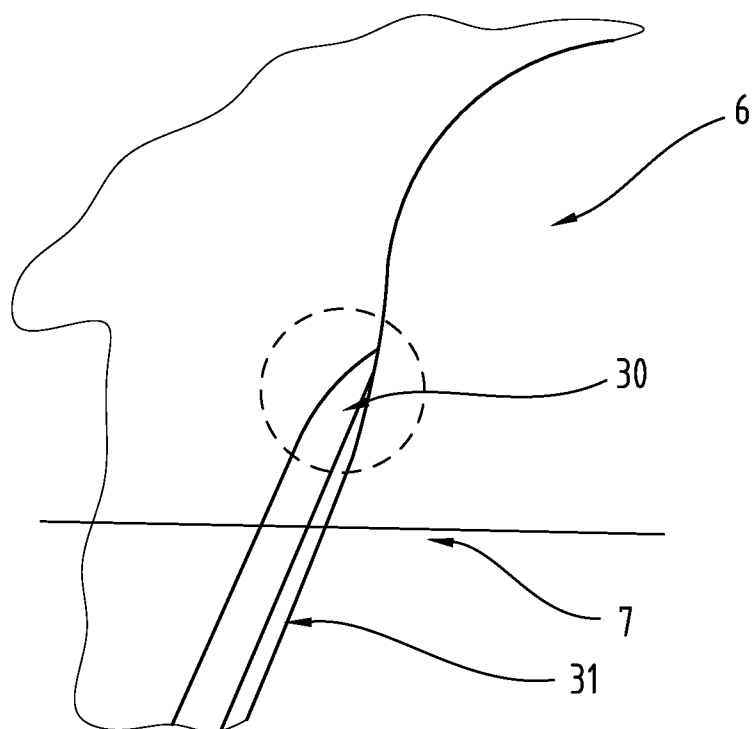


Fig.6

