



(10) **DE 11 2019 007 667 T5** 2022.06.15

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2021/038878**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜbkG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2019 007 667.1**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2019/034296**  
(86) PCT-Anmeldetag: **30.08.2019**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **04.03.2021**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **15.06.2022**

(51) Int Cl.: **C22C 33/02 (2006.01)**

**B22F 1/00 (2022.01)**  
**B22F 3/12 (2006.01)**  
**B22F 3/24 (2006.01)**  
**B22F 5/08 (2006.01)**  
**C22C 38/00 (2006.01)**  
**C22C 38/08 (2006.01)**  
**C22C 38/12 (2006.01)**  
**C22C 38/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Sumitomo Electric Industries, Ltd., Osaka-shi, JP;**  
**Sumitomo Electric Sintered Alloy, Ltd., Takahashi-**  
**shi, Okayama, JP**

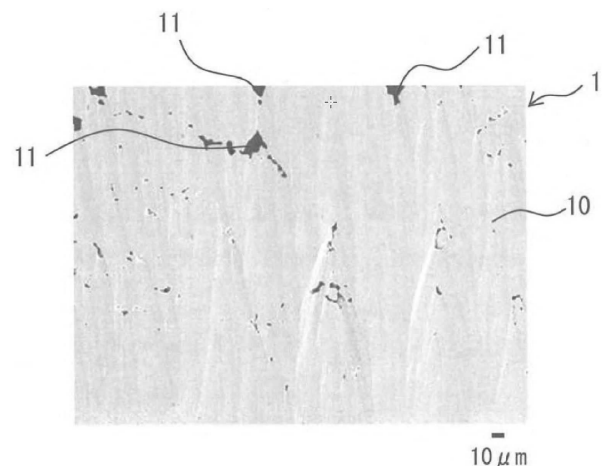
(72) Erfinder:  
**Ishimine, Tomoyuki, Osaka-shi, JP; Egashira,**  
**Shigeki, Osaka-shi, JP; Shimauchi, Kazunari,**  
**Osaka-shi, JP; Tashiro, Takayuki, Osaka-shi, JP**

(74) Vertreter:  
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB,**  
**80802 München, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Gesintertes Material und Verfahren zum Herstellen von gesintertem Material**

(57) Zusammenfassung: Ein gesintertes Material mit einer Grundphase, die aus einem Metall gebildet ist, und einer Mehrzahl von Poren, die in der Grundphase vorhanden sind, wobei die Poren in einem Querschnitt eine durchschnittliche Querschnittsfläche von  $500 \mu\text{m}^2$  oder weniger aufweisen und das gesinterte Material eine relative Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% aufweist.



## Beschreibung

Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein gesintertes Material und ein Verfahren zum Herstellen des gesinterten Materials.

Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Die Patentliteratur 1 beschreibt einen Sinterkörper auf Eisenbasis mit einer relativen Dichte von 93% oder mehr.

Liste von Zitierungen

Patentliteratur

**[0003]** PTL 1: Japanische ungeprüfte Patentanmeldung mit Veröffentlichungsnummer 2017-186625

Zusammenfassung der Erfindung

**[0004]** Ein erstes gesintertes Material gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst eine Grundphase, die aus einem Metall gebildet ist, und eine Mehrzahl von Poren, die in der Grundphase vorhanden sind, wobei die Poren in einem Querschnitt eine durchschnittliche Querschnittsfläche von  $500 \mu\text{m}^2$  oder weniger aufweisen, und das gesinterte Material eine relative Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% aufweist.

**[0005]** Ein zweites gesintertes Material gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst eine Grundphase, die aus einem Metall gebildet ist, und eine Mehrzahl von Poren, die in der Grundphase vorhanden sind, wobei die Poren in einem Querschnitt einen durchschnittlichen Umfang von  $100 \mu\text{m}$  oder weniger aufweisen, und das gesinterte Material eine relative Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% aufweist.

**[0006]** Ein Verfahren zum Herstellen eines gesinterten Materials gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst die Schritte eines Komprimierens eines Rohpulvers zur Herstellung eines Grünlings mit einer relativen Dichte im Bereich von 93% bis 99,5%, und eines Sinterns des Grünlings, wobei das Rohpulver ein Pulver umfasst, das aus einem auf Eisen basierenden Material mit einer Vickershärte Hv im Bereich von 80 bis 200 gebildet ist, und eine Sintertemperatur im Schritt des Sinterns des Grünlings  $1000^\circ\text{C}$  oder mehr und weniger als  $1300^\circ\text{C}$  beträgt.

Figurenliste

**[Fig. 1]** Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht eines Beispiels für ein gesintertes Material gemäß einer Ausführungsform.

**[Fig. 2A]** Fig. 2A ist eine mikroskopische Aufnahme eines Querschnitts eines gesinterten Materials von Probe Nr. 1, die im Testbeispiel 1 vorbereitet wurde.

**[Fig. 2B]** Fig. 2B ist eine Mikroaufnahme eines Querschnitts eines gesinterten Materials von Probe Nr. 2, die im Testbeispiel 1 vorbereitet wurde.

**[Fig. 2C]** Fig. 2C ist eine Mikroaufnahme eines Querschnitts durch ein gesintertes Material der Probe Nr. 3, die im Testbeispiel 1 vorbereitet wurde.

**[Fig. 3]** Fig. 3 ist ein Graph, der die durchschnittliche Querschnittsfläche der Poren in einem gesinterten Material von jeder im Testbeispiel 1 vorbereiteten Probe zeigt.

**[Fig. 4]** Fig. 4 ist ein Graph, der den durchschnittlichen Porenumfang im gesinterten Material von jeder im Testbeispiel 1 vorbereiteten Probe zeigt.

**[Fig. 5]** Fig. 5 ist ein Graph, der den durchschnittlichen maximalen Durchmesser der Poren in dem gesinterten Material von jeder im Testbeispiel 1 vorbereiteten Probe zeigt.

**[Fig. 6]** Fig. 6 ist ein Graph, der den Maximalwert der maximalen Durchmesser der Poren in dem gesinterten Material von jeder im Testbeispiel 1 vorbereiteten Probe zeigt.

**[Fig. 7]** Fig. 7 ist ein Graph, der den Minimalwert der maximalen Durchmesser der Poren in dem gesinterten Material von jeder Probe des Testbeispiels 1 zeigt.

**[Fig. 8A]** Fig. 8A ist eine mikroskopische Aufnahme eines Querschnitts eines gesinterten Materials der Probe Nr. 101, die im Testbeispiel 1 vorbereiteten wurde.

**[Fig. 8B]** Fig. 8B ist eine Mikroaufnahme eines Querschnitts eines gesinterten Materials der Probe Nr. 102, die im Testbeispiel 1 vorbereiteten wurde.

**[Fig. 8C]** Fig. 8C ist eine Mikroaufnahme eines Querschnitts eines gesinterten Materials der Probe Nr. 103, die im Testbeispiel 1 vorbereiteten wurde.

[Probleme, die durch die vorliegende Erfindung zu lösen sind]

**[0007]** Es besteht ein Bedarf an einem gesinterten Material mit hoher Festigkeit und Produktivität.

**[0008]** Dementsprechend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein gesintertes Material mit hoher Festigkeit und Produktivität bereitzustellen. Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials bereitzustellen, das in der Lage ist, ein gesintertes Material mit hoher Festigkeit und hoher Produktivität herzustellen.

[Vorteilhafte Effekte der vorliegenden Erfindung]

**[0009]** Ein gesintertes Material gemäß der vorliegenden Erfindung weist eine hohe Festigkeit und Produktivität auf. Ein gesintertes Material mit hoher Festigkeit kann mit hoher Produktivität durch ein Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt werden.

[Beschreibung von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung]

**[0010]** Zunächst werden unten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben.

**[0011]** (1) Ein gesintertes Material gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst eine Grundphase, die aus einem Metall gebildet ist, und eine Mehrzahl von Poren, die in der Grundphase vorhanden sind, wobei die Poren in einem Querschnitt eine durchschnittliche Querschnittsfläche von  $500 \mu\text{m}^2$  oder weniger aufweisen, und das gesinterte Material eine relative Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% aufweist.

**[0012]** Das gesinterte Material gemäß dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann im Folgenden als ein erstes gesintertes Material bezeichnet werden.

**[0013]** Gemäß der Beschreibung unten ist das erste gesinterte Material weniger anfällig für porenbedingte Rissbildung und weist daher eine hohe Festigkeit und Produktivität auf.

(Festigkeit)

**[0014]** Das erste gesinterte Material weist eine relative Dichte von 93% oder mehr auf und ist dicht. Ein dichtes gesintertes Material weist weniger Poren auf, die weniger wahrscheinlich einen Ausgangspunkt für Rissbildung darstellen.

**[0015]** Obwohl das erste gesinterte Material eine Mehrzahl von Poren umfasst, ist es weniger wahrscheinlich, dass jede Pore ein Ausgangspunkt für Risse ist. Dies liegt daran, dass die meisten Poren mit einer durchschnittlichen Querschnittsfläche von  $500 \mu\text{m}^2$  oder weniger eine kleine Querschnittsfläche aufweisen. Poren mit einer kleinen Querschnittsfläche stellen weniger wahrscheinlich einen Ausgangspunkt für Rissbildung dar.

(Produktivität)

**[0016]** Das erste gesinterte Material wird z. B. durch Sintern eines dichten Grünlings mit einer relativen Dichte von 93% oder mehr bei einer relativ niedrigen Temperatur hergestellt. Eine niedrige Sintertemperatur kann die thermische Energie reduzieren.

**[0017]** Ein gesintertes Material mit einer relativen Dichte von 93% oder mehr kann durch Sintern eines Grünlings mit einer relativ geringen Dichte, z. B. eines Grünlings mit einer relativen Dichte von etwa 90%, bei einer hohen Temperatur, bei der sich eine flüssige Phase bildet, hergestellt werden. Allerdings neigt das Hochtemperaturesintern dazu, die Porengröße zu vergrößern. Diesbezüglich kann auf ein später beschriebenes Testbeispiel 1 verwiesen werden. Große Poren sind tendenziell Ausgangspunkte für Rissbildung. Poren als Ansatzpunkte für Risse verringern die Festigkeit des gesinterten Materials. Im Gegensatz dazu kann der dichte Grünling bei einer relativ niedrigen Temperatur gesintert werden, um ein dichtes gesintertes Material mit kleinen Poren zu erhalten. In diesem Zusammenhang kann auf das später beschriebene Testbeispiel 1 verwiesen werden.

**[0018]** Ohne Hochtemperaturesintern lässt sich leicht ein gesintertes Material mit hoher Form- und Maßgenauigkeit herstellen. Dies führt tendenziell zu einer hohen Ausbeute.

**[0019]** Der dichte Grünling weist gute Zerspanungseigenschaften auf. Daher kann das Schneiden des Grünlings vor dem Sintern, falls erforderlich, die Verarbeitungszeit verkürzen. Außerdem lässt sich ein gesintertes Material mit vorgegebenen Abmessungen und Formen leichter herstellen. Dies führt tendenziell zu einer höheren Ausbeute.

**[0020]** (2) Ein gesintertes Material gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst eine Grundphase, die aus einem Metall gebildet ist, und eine Mehrzahl von Poren, die in der Grundphase vorhanden sind, wobei die Poren in einem Querschnitt einen durchschnittlichen Umfang von 100 µm oder weniger aufweisen, und das gesinterte Material eine relative Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% aufweist.

**[0021]** Das gesinterte Material gemäß der anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann im Folgenden als ein zweites gesintertes Material bezeichnet werden.

**[0022]** Das zweite gesinterte Material ist, wie im Folgenden beschrieben, weniger anfällig für porenbedingte Rissbildung und weist daher eine hohe Festigkeit auf. Das zweite gesinterte Material weist aus demselben Grund wie das erste gesinterte Material auch eine hohe Produktivität auf.

**[0023]** Das zweite gesinterte Material weist eine relative Dichte von 93% oder mehr auf und ist dicht. Ein dichtes gesintertes Material weist weniger Poren auf, die weniger wahrscheinlich Ausgangspunkt für Rissbildung sind.

**[0024]** Obwohl das zweite gesinterte Material eine Mehrzahl von Poren aufweist, ist es weniger wahrscheinlich, dass jede Pore ein Ausgangspunkt für Risse ist. Dies liegt daran, dass die meisten Poren mit einem durchschnittlichen Umfang von 100 µm oder weniger einen kleinen Umfang aufweisen, und die Poren mit einem kleinen Umfang weisen eine kleine Querschnittsfläche auf.

**[0025]** (3) In einer Ausführungsform des ersten gesinterten Materials weisen die Poren in einem Querschnitt einen durchschnittlichen Umfang von 100 µm oder weniger auf.

**[0026]** In dieser Ausführungsform weisen die meisten Poren eine kleine Querschnittsfläche und einen geringen Umfang auf. Solche Poren stellen weniger wahrscheinlich Ausgangspunkt für Risse dar.

**[0027]** (4) In einer Ausführungsform des ersten gesinterten Materials oder des zweiten gesinterten Materials beträgt die relative Dichte 96,5% oder mehr.

**[0028]** Diese Ausführungsform weist weniger Poren auf. Daher ist es weniger wahrscheinlich, dass Poren Ausgangspunkte für Risse darstellen.

**[0029]** (5) In einer Ausführungsform des ersten gesinterten Materials oder des zweiten gesinterten Materials weisen die Poren einen durchschnittlichen maximalen Durchmesser im Bereich von 5 µm bis 30 µm.

**[0030]** Wie Poren mit einer kleinen Querschnittsfläche oder Poren mit einem kleinen Umfang sind auch die meisten Poren mit einem durchschnittlichen maximalen Durchmesser von 30 µm oder weniger kurz und klein. Solche Poren stellen weniger wahrscheinlich einen Ausgangspunkt für Risse dar. Darüber hinaus sind Poren mit einem durchschnittlichen maximalen Durchmesser von 5 µm oder mehr nicht zu klein, so dass der Druck zur Bildung eines Grünlings weniger wahrscheinlich zu hoch ist. Daher weist diese Ausführungsform eine hohe Produktivität auf.

**[0031]** (6) In einer Ausführungsform des ersten gesinterten Materials oder des zweiten gesinterten Materials stellt das Metall eine auf Eisen basierende Legierung dar und die auf Eisen basierende Legierung weist mindestens ein Element auf, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus C, Ni, Mo und B gebildet ist.

**[0032]** Ein Stahl, der aus einer auf Eisen basierenden Legierung gebildet ist, die das oben erwähnte Element umfasst, beispielsweise eine auf Eisen basierende Legierung, die C umfasst, weist eine hohe Festigkeit auf. Daher weist diese Ausführungsform eine hohe Festigkeit auf.

**[0033]** (7) Ein Verfahren zum Herstellen eines gesinterten Materials gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Schritte:

eines Komprimierens eines Rohpulvers zur Herstellung eines Grünlings mit einer relativen Dichte im Bereich von 93% bis 99,5%; und

eines Sinterns des Grünlings,

wobei das Rohpulver ein Pulver umfasst, das aus einem auf Eisen basierenden Material mit einer Vickershärte Hv im Bereich von 80 bis 200 gebildet ist, und

eine Sintertemperatur in dem Schritt des Sinterns des Grünlings 1000°C oder mehr und weniger als 1300°C beträgt.

**[0034]** Ein gesintertes Material kann, wie im Folgenden beschrieben, mit hoher Festigkeit bei hoher Produktivität durch ein Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt werden.

(Festigkeit)

**[0035]** Ein dichter Grünling mit einer relativen Dichte von 93% oder mehr wird zur Herstellung eines gesinterten Materials mit einer relativen Dichte von 93% oder mehr verwendet. Ein solches gesintertes Material weist weniger Poren auf und ist dicht, so dass die Poren weniger wahrscheinlich Ausgangspunkt für Risse darstellen.

**[0036]** Bei dem Material auf Eisenbasis kann es sich typischerweise um eine auf Eisen basierende Legierung handeln. Auf Eisen basierende Legierungen weisen im Allgemeinen eine hohe Festigkeit auf. So werden gesinterte Materialien mit hoher Festigkeit hergestellt.

**[0037]** Ein so hergestelltes gesintertes Material weist typischerweise Poren mit einer durchschnittlichen Querschnittsfläche von 500 µm<sup>2</sup> oder weniger auf. Ein so hergestelltes gesintertes Material weist Poren mit einem durchschnittlichen Umfang von 100 µm oder weniger auf. In einem solchen gesinterten Material ist es, wie oben beschrieben, weniger wahrscheinlich, dass jede Pore einen Ausgangspunkt für Rissbildung darstellt.

(Produktivität)

**[0038]** Das Pulver aus einem auf Eisen basierenden Material mit der spezifischen Vickershärte Hv wird verdichtet, um den dichten Grünling herzustellen. Darüber hinaus bildet der dichte Grünling auch bei einer niedrigen Temperatur von weniger als 1300°C das dichte gesinterte Material. Eine Sinterung bei hohen Temperaturen von 1300°C oder mehr oder sogar 1400°C oder mehr ist daher nicht erforderlich. Dadurch kann die Wärmeenergie reduziert werden.

**[0039]** Ohne Hochtemperaturesintern lässt sich leicht ein gesintertes Material mit hoher Form- und Maßgenauigkeit herstellen. Dies führt tendenziell zu einer hohen Ausbeute.

**[0040]** (8) Eine Ausführungsform eines Verfahrens zum Herstellen eines gesinterten Materials gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst ferner den Schritt eines Schneidens des Grünlings vor dem Sintern des Grünlings.

**[0041]** Der Grünling weist vor dem Sintern bessere Schneideigenschaften als gesinterte Materialien nach dem Sintern auf. Daher kann diese Ausführungsform die Bearbeitungszeit beim Schneiden reduzieren. Aufgrund der guten Schneideigenschaften kann ein gesintertes Material mit hoher Form- und Maßgenauigkeit leicht hergestellt werden. Somit kann die Ausführungsform die Ausbeute weiter erhöhen.

**[0042]** (9) In einer Ausführungsform eines Verfahrens zur Herstellung eines gesinterten Materials gemäß der vorliegenden Erfindung weist das Pulver, das aus dem auf Eisen basierenden Material gebildet ist, ein Pulver auf, das aus einer auf Eisen basierenden Legierung gebildet ist, und die auf Eisen basierende Legierung weist mindestens ein Element von 0,1 bis 2,0 Massenprozent Mo und 0,5 bis 5,0 Massenprozent Ni auf.

**[0043]** Gemäß dieser Ausführungsform kann ein Legierungspulver mit einer Vickershärte Hv im Bereich von 80 bis 200 leicht hergestellt werden.

[Details der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung]

**[0044]** Ein gesintertes Material gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und ein Verfahren zum Herstellen eines gesinterten Materials gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

[gesintertes Material]

**[0045]** Ein gesintertes Material 1 gemäß einer Ausführungsform wird im Folgenden hauptsächlich mit Bezug auf **Fig. 1** beschrieben.

**[0046]** **Fig. 1** zeigt ein Außenzahnrad als Beispiel für ein gesintertes Material 1 gemäß einer Ausführungsform.

(Umriss)

**[0047]** Das gesinterte Material 1 gemäß der Ausführungsform ist ein dichtes gesintertes Material, das hauptsächlich aus einem Metall gebildet ist. Das gesinterte Material 1 weist in einem Querschnitt kleine Poren auf. Genauer gesagt weist das gesinterte Material 1 gemäß der Ausführungsform eine Grundphase 10, die aus einem Metall gebildet ist, und Poren 11 auf, die in der Grundphase 10 vorhanden sind (siehe **Fig. 2**, später beschrieben). Das gesinterte Material 1 gemäß der Ausführungsform weist eine relative Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% auf. In einem Beispiel des gesinterten Materials 1 gemäß der Ausführungsform weisen die Poren 11 in einem Querschnitt eine durchschnittliche Querschnittsfläche von 500  $\mu\text{m}^2$  oder weniger auf. In einem anderen Beispiel des gesinterten Materials 1 gemäß der Ausführungsform weisen die Poren 11 in einem Querschnitt einen durchschnittlichen Umfang von 100  $\mu\text{m}$  oder weniger auf.

**[0048]** Die durchschnittliche Querschnittsfläche der Poren 11 ist ein Wert, den man erhält, indem man einen Querschnitt des gesinterten Materials 1 nimmt, die Querschnittsfläche jeder Pore 11 in dem Querschnitt bestimmt und den Durchschnitt der Querschnittsflächen bildet.

**[0049]** Der durchschnittliche Umfang der Poren 11 ist ein Wert, den man erhält, indem man einen Querschnitt des gesinterten Materials 1 nimmt, die Länge der Kontur jeder Pore 11 im Querschnitt bestimmt und die Längen der Konturen mittelt.

**[0050]** Verfahren zur Messung der Querschnittsfläche der Poren, des Porenumfangs sowie des maximalen Durchmessers der Poren, des Seitenverhältnisses der Poren und der relativen Dichte werden später in Versuchsbeispielen ausführlich beschrieben.

**[0051]** Das gesinterte Material 1 wird im Folgenden näher beschrieben.

(Zusammensetzung)

**[0052]** Das Metall, das die Grundphase 10 des gesinterten Materials 1 gemäß der Ausführungsform bildet, kann ein reines Metall oder eine Legierung sein. Bei dem reinen Metall kann es sich beispielsweise um Eisen, Nickel, Titan, Kupfer, Aluminium oder Magnesium handeln.

**[0053]** Bei der Legierung kann es sich beispielsweise um eine auf Eisen basierende Legierung, eine Legierung auf Titanbasis, eine Legierung auf Kupferbasis, eine Legierung auf Aluminiumbasis oder eine Legierung auf Magnesiumbasis handeln. Legierungen haben im Allgemeinen eine höhere Festigkeit als reine Metalle. Daher weist das gesinterte Material 1, das eine Legierung als Grundphase 10 umfasst, eine hohe Festigkeit auf.

**[0054]** Auf Eisen basierende Legierungen umfassen ein zusätzliches Element und den Rest, der aus Fe (Eisen) und Verunreinigungen gebildet ist, und stellen Legierungen mit dem höchsten Fe-Anteil dar. Bei dem Zusatzelement kann es sich um mindestens ein Element handeln, das aus der Gruppe ausgewählt wird, die aus Kohlenstoff (C), Nickel (Ni), Molybdän (Mo) und Bor (B) besteht. Eine auf Eisen basierende Legierung, die diese Elemente zusätzlich zu Fe umfasst, z. B. Stahl, hat eine hohe Festigkeit, z. B. eine hohe Zugfestigkeit. Das gesinterte Material 1 mit der Grundphase 10, das aus einer auf Eisen basierenden Legierung gebildet ist, die ein solches Zusatzelement umfasst, weist also eine hohe Festigkeit auf. Die Festigkeit nimmt tendenziell mit jedem Elementgehalt zu. Wenn der Gehalt der einzelnen Elemente nicht zu hoch ist, werden eine Abnahme der Härte und Versprödung unterdrückt, und die Härte ist tendenziell hoch.

**[0055]** C-haltige Legierungen auf der Basis von Eisen, typischerweise Kohlenstoffstahl, weisen eine hohe Festigkeit auf. Der C-Gehalt kann zwischen 0,1 und 2,0 Massenprozent liegen. Der C-Gehalt kann zwischen 0,1 und 1,5 Massenprozent, zwischen 0,1 und 1,0 Massenprozent oder zwischen 0,1 und 0,8 Massenprozent liegen. Der Elementgehalt ist ein Massenverhältnis, bezogen auf 100 Massenprozent der Legierung auf der Basis von Eisen.

**[0056]** Ni trägt nicht nur zur Verbesserung der Festigkeit, sondern auch zur Verbesserung der Härte bei. Der Ni-Gehalt kann zwischen 0 und 5,0 Massenprozent liegen. Der Ni-Gehalt kann im Bereich von 0,1 bis 5,0 Massenprozent, 0,5 bis 5,0 Massenprozent, 4,0 oder weniger Massenprozent oder 3,0 oder weniger Massenprozent liegen.

**[0057]** Mo und B tragen zur Verbesserung der Festigkeit bei. Insbesondere Mo neigt dazu, die Festigkeit zu erhöhen.

**[0058]** Der Mo-Gehalt kann im Bereich von 0 bis 2,0 Massenprozent, 0,1 bis 2,0 Massenprozent oder 1,5 Massenprozent oder weniger liegen.

**[0059]** Der B-Gehalt kann im Bereich von 0 bis 0,1 Massenprozent oder 0,001 bis 0,003 Massenprozent liegen.

**[0060]** Beispiele für andere Zusatzelemente sind Mangan (Mn), Chrom (Cr) und Silizium (Si). Der Gehalt an jedem dieser Elemente kann zwischen 0,1 und 5,0 Massenprozent liegen.

**[0061]** Die gesamte Zusammensetzung des gesinterten Materials 1 kann durch energiedispersive Röntgenanalyse (EDX oder EDS) oder hochfrequente induktiv gekoppelte Plasmaspektroskopie (ICP-OES) gemessen werden.

(Mikrostruktur)

**[0062]** Obwohl das gesinterte Material 1 gemäß dieser Ausführungsform in einem Querschnitt Poren 11 aufweist, ist jede der Poren 11 klein. Daher ist es weniger wahrscheinlich, dass jede Pore 11 ein Ausgangspunkt für Rissbildung ist. Da eine durch die Poren 11 verursachte Rissbildung weniger wahrscheinlich ist, weist das gesinterte Material 1 eine hohe Festigkeit auf.

## &lt;&lt;Querschnittsfläche&gt;&gt;

**[0063]** Wenn die Poren 11 eine durchschnittliche Querschnittsfläche von  $500 \mu\text{m}^2$  oder weniger aufweisen, haben die meisten Poren 11 im gesinterten Material 1 eine kleine Querschnittsfläche. Je kleiner die durchschnittliche Querschnittsfläche ist, desto kleiner ist auch die Querschnittsfläche der einzelnen Poren 11. Kleine Poren 11 sind weniger wahrscheinlich Ausgangspunkte für Rissbildung. Um das Auftreten von Rissen, die durch die Poren 11 verursacht werden, zu verringern, beträgt die durchschnittliche Querschnittsfläche vorzugsweise  $480 \mu\text{m}^2$  oder weniger, mehr bevorzugt  $450 \mu\text{m}^2$  oder weniger, besonders bevorzugt  $430 \mu\text{m}^2$  oder weniger.

**[0064]** Die durchschnittliche Querschnittsfläche der Poren 11 nimmt tendenziell mit zunehmender relativer Dichte des gesinterten Materials 1 ab. Beispielsweise kann der Verdichtungsdruck in einem Prozess zur Herstellung des gesinterten Materials 1 erhöht werden, um die relative Dichte des Grünlings und damit die relative Dichte des gesinterten Materials 1 zu erhöhen. Dadurch verringert sich tendenziell die durchschnittliche Querschnittsfläche. Ein zu hoher Verdichtungsdruck führt jedoch tendenziell zu einer langen Entformungszeit und einer kurzen Lebensdauer der Matrice. Dies kann die Produktivität verringern. Um die Produktivität zu verbessern, kann die durchschnittliche Querschnittsfläche  $20 \mu\text{m}^2$  oder mehr oder sogar  $30 \mu\text{m}^2$  oder mehr betragen.

## &lt;&lt;Perimeter&gt;&gt;

**[0065]** Wenn die Poren 11 einen durchschnittlichen Umfang von  $100 \mu\text{m}$  oder weniger aufweisen, weisen die meisten Poren 11 im gesinterten Material 1 einen kleinen Umfang auf. Poren 11 mit einem kleinen Umfang weisen eine kleine Querschnittsfläche auf. Poren 11 mit einem kleineren durchschnittlichen Umfang weisen eine kleinere Querschnittsfläche auf. Bei kleinen Poren 11 ist die Wahrscheinlichkeit geringer, dass sie Ausgangspunkt für Risse sind. Um das Auftreten von Rissen, die durch die Poren 11 verursacht werden, zu verringern, beträgt der durchschnittliche Umfang vorzugsweise  $90 \mu\text{m}$  oder weniger, mehr bevorzugt  $80 \mu\text{m}$  oder weniger, besonders bevorzugt  $70 \mu\text{m}$  oder weniger.

**[0066]** Der durchschnittliche Umfang der Poren 11 nimmt mit zunehmender relativer Dichte des gesinterten Materials 1 tendenziell ab. Um einen zu hohen Verdichtungsdruck wie oben beschrieben zu vermeiden und die Produktivität zu verbessern, kann der durchschnittliche Umfang  $10 \mu\text{m}$  oder mehr oder sogar  $15 \mu\text{m}$  oder mehr betragen.

**[0067]** Die Poren 11 weisen vorzugsweise eine durchschnittliche Querschnittsfläche von  $500 \mu\text{m}^2$  oder weniger und einen durchschnittlichen Umfang von  $100 \mu\text{m}$  oder weniger auf. Die meisten Poren 11 im gesinterten Material 1 weisen eine kleine Querschnittsfläche und einen kleinen Umfang auf. Daher ist es weniger wahrscheinlich, dass jede Pore 11 einen Ausgangspunkt für Risse darstellt. Um das Auftreten von Rissen, die durch die Poren 11 verursacht werden, zu verringern, sind die durchschnittliche Querschnittsfläche und der durchschnittliche Umfang vorzugsweise kleiner, wie oben beschrieben ist.

## &lt;&lt;Maximaler Durchmesser&gt;&gt;

**[0068]** Außerdem weisen die Poren 11 vorzugsweise einen kleinen durchschnittlichen maximalen Durchmesser auf. Der durchschnittliche maximale Durchmesser der Poren 11 ist ein Wert, der sich ergibt, wenn man einen Querschnitt des gesinterten Materials 1 nimmt, den maximalen Durchmesser jeder Pore 11 im Querschnitt bestimmt und den Durchschnitt der maximalen Durchmesser bildet.

**[0069]** Zum Beispiel weisen die Poren 11 einen durchschnittlichen maximalen Durchmesser im Bereich von  $5 \mu\text{m}$  bis  $30 \mu\text{m}$  auf. Wenn der Durchschnitt  $30 \mu\text{m}$  oder weniger beträgt, sind die meisten Poren 11 im gesinterten Material 1 kurz und klein. Bei solchen Poren 11 ist die Wahrscheinlichkeit geringer, dass sie Ausgangspunkt für Risse sind. Um das Auftreten von Rissen, die durch die Poren 11 verursacht werden, zu verringern, beträgt der Durchschnitt vorzugsweise  $28 \mu\text{m}$  oder weniger, mehr bevorzugt  $25 \mu\text{m}$  oder weniger, besonders bevorzugt  $20 \mu\text{m}$  oder weniger. Wenn der Durchschnitt  $5 \mu\text{m}$  oder mehr beträgt, sind die Poren 11 nicht zu klein. Um einen zu hohen Verdichtungsdruck, wie oben beschrieben, zu vermeiden und die Produktivität zu verbessern, kann der Durchschnitt  $8 \mu\text{m}$  oder mehr oder sogar  $10 \mu\text{m}$  oder mehr betragen. Im Hinblick auf das Gleichgewicht zwischen hoher Festigkeit und hoher Produktivität liegt der Durchschnitt beispielsweise zwischen  $10 \mu\text{m}$  und  $25 \mu\text{m}$ .

**[0070]** Außerdem weisen die Poren 11 vorzugsweise einen kleinen Maximalwert der maximalen Durchmesser auf. Dies liegt daran, dass die Poren 11 weniger wahrscheinlich Ausgangspunkt für Rissbildung sind. Der Maximalwert beträgt zum Beispiel vorzugsweise 30 µm oder weniger, mehr bevorzugt 28 µm oder weniger, besonders bevorzugt 25 µm oder weniger.

**[0071]** Der Minimalwert der maximalen Durchmesser der Poren 11 liegt vorzugsweise im Bereich von z. B. 3 µm bis 20 µm, besonders bevorzugt 5 µm bis 18 µm oder weniger, im Hinblick auf eine verbesserte Produktivität, wie oben beschrieben.

<<Form>>

**[0072]** In einem Querschnitt des gesinterten Materials 1 weisen die Poren 11 typischerweise eine unregelmäßige Form auf (siehe auch **Fig. 2**). Ein Grund für die unregelmäßige Form der Poren 11 anstelle einer einfachen gekrümmten Form, wie z. B. einer kreisförmigen oder elliptischen Form, ist, dass ein dichter Grünling bei einer relativ niedrigen Temperatur gesintert wird, wie später beschrieben wird. In **Fig. 2** stellen Partikelbereiche mit einer dunklen Farbe, hauptsächlich schwarze Partikelbereiche, und Partikelbereiche mit einem weißen Rand die Poren 11 dar, und der Rest ist die Grundphase 10.

(Relative Dichte)

**[0073]** Das gesinterte Material 1 gemäß dieser Ausführungsform weist eine relative Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% auf. Mit anderen Worten stellen die Poren 11 0,5% bis 7% des gesinterten Materials 1 dar. Bei einem Porengehalt in diesem Bereich sind die Poren 11 weniger und das gesinterte Material 1 ist dicht. Je weniger Poren 11 vorhanden sind, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie Ausgangspunkt für Risse sind. Die Anzahl der Poren 11 nimmt mit zunehmender relativer Dichte ab. Um das Auftreten von Rissen, die durch die Poren 11 verursacht werden, zu verringern, beträgt die relative Dichte vorzugsweise 94% oder mehr, noch bevorzugter 95% oder mehr, noch bevorzugter 96% oder mehr, besonders bevorzugt 96,5% oder mehr. Die relative Dichte kann 97% oder mehr, 98% oder mehr, oder 99% oder mehr betragen.

**[0074]** Das gesinterte Material 1 mit einer relativen Dichte von 99,5% oder weniger kann eine hohe Produktivität ohne übermäßig hohen Verdichtungsdruck aufweisen. Um die Produktivität zu verbessern, kann die relative Dichte 99% oder weniger betragen.

**[0075]** Im Hinblick auf das Gleichgewicht zwischen hoher Festigkeit und hoher Produktivität weist das gesinterte Material 1 eine relative Dichte im Bereich von z.B. 94% bis 99% auf.

(Anwendungen)

**[0076]** Das gesinterte Material 1 gemäß dieser Ausführungsform kann für verschiedene allgemeine Konstruktionsteile, z. B. mechanische Teile, verwendet werden. Beispiele für mechanische Teile sind verschiedene Zahnräder, einschließlich Ritzel, Rotoren, Ringe, Flansche, Riemenscheiben und Lager. Das gesinterte Material 1 ist dicht, hat eine hohe Festigkeit und kann klein sein. Daher kann das gesinterte Material 1 gemäß der Ausführungsform in geeigneter Weise für ein Getriebe verwendet werden, z. B. für ein Getriebe eines Kraftfahrzeugs, das eine hohe Festigkeit aufweisen und klein und leicht sein soll.

(Wichtigste vorteilhafte Effekte)

**[0077]** Das gesinterte Material 1 gemäß der Ausführungsform weist eine hohe relative Dichte, weniger Poren 11 und kleine Poren 11 in einem Querschnitt auf. In dem gesinterten Material 1 gemäß der Ausführungsform sind die Poren 11 weniger wahrscheinlich Ausgangspunkte für Risse und die Festigkeit ist hoch. Wenn mindestens eine der Poren 11 eine an der Oberfläche des gesinterten Materials 1 geöffnete Pore ist, d. h. eine offene Pore, weist das gesinterte Material 1 außerdem vorteilhafterweise eine hohe Haltbarkeit und Geräuscharmheit auf, wie nachstehend beschrieben wird.

Dauerhaftigkeit

**[0078]** Eine offene Pore kann Schmiermittel aufnehmen. Handelt es sich bei dem Sinterwerkstoff 1 um ein Gleitelement, wie z. B. ein Zahnrad, reduziert das in einer offenen Pore gehaltene Schmiermittel das Festfressen des Gegenstücks. Ein solches Gleitelement aus dem Sinterwerkstoff 1 kann über längere Zeiträume gut genutzt werden.

## Geräuscharmum

**[0079]** Eine offene Pore kann Schall absorbieren. Schall, der wie oben beschrieben von einer kleinen offenen Pore absorbiert wird, ist tendenziell gedämpft.

[Verfahren zur Herstellung von gesintertem Material]

**[0080]** Das gesinterte Material 1 gemäß der Ausführungsform kann beispielsweise durch ein Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials hergestellt werden, das die folgenden Schritte umfasst.

**[0081]** (Erster Schritt) Ein Rohpulver wird verdichtet, um einen Grünling mit einer relativen Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% herzustellen.

**[0082]** (Zweiter Schritt) Der Grünling wird gesintert. Die Sintertemperatur liegt unterhalb der Temperatur der flüssigen Phase.

**[0083]** Ein dichter Grünling mit einer relativen Dichte von 93% oder mehr kann zur Herstellung eines dichten gesinterten Materials mit einer relativen Dichte im Bereich von 93% bis 99,5%, d. h. eines gesinterten Materials mit weniger Poren, auch bei einer relativ niedrigen Sintertemperatur, z. B. unterhalb der Temperatur der flüssigen Phase, verwendet werden. Dies liegt daran, dass das gesinterte Material typischerweise die relative Dichte des Grünlings beibehält. Die Poren machen 0,5% bis 7% des Grünlings aus. Jede Pore wird jedoch durch Kompression kleiner. Ein dichter Grünling mit kleinen Poren kann bei einer relativ niedrigen Temperatur gesintert werden, um ein dichtes Sintermaterial mit kleinen Poren zu erhalten. Mit anderen Worten: Das so hergestellte gesinterte Material behält im Wesentlichen die Größe und Anzahl der Poren des Grünlings bei. Das gesinterte Material weist weniger kleine Poren auf, die weniger wahrscheinlich Ausgangspunkte für Risse sind, und weist eine hohe Festigkeit auf.

**[0084]** Das Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials gemäß der Ausführungsform umfasst die oben beschriebenen ersten und zweiten Schritte. Insbesondere umfasst das Rohpulver ein Pulver aus einem auf Eisen basierenden Werkstoff mit einer Vickershärte Hv im Bereich von 80 bis 200. Ein Pulver, das aus einem Material auf Eisenbasis gebildet ist, kann im Folgenden als Pulver auf der Basis von Eisen bezeichnet werden. Die Sintertemperatur im zweiten Schritt beträgt 1000°C oder mehr und weniger als 1300°C. Der dichte Grünling lässt sich leicht durch Verwendung eines Pulvers auf Eisenbasis mit einer Vickershärte Hv im obigen Bereich herstellen, wie später beschrieben ist.

**[0085]** Jeder Schritt wird im Folgenden beschrieben.

(Erster Schritt)

<Zubereitung des Rohpulvers>

**[0086]** Das Rohpulver umfasst ein metallisches Pulver. Das metallische Pulver ist vorzugsweise aus einem Metall gebildet, das weder zu weich noch zu hart ist. Das nicht zu harte metallische Pulver lässt sich durch Kompression leicht plastisch verformen. So lässt sich ein dichter Grünling mit einer relativen Dichte von 93% oder mehr leicht herstellen. Ein Grünling mit einer relativen Dichte von 99,5% oder weniger, d. h. ein Grünling mit Poren, lässt sich unter Verwendung des nicht zu weichen Metallpulvers leicht herstellen.

**[0087]** Das Rohpulver kann ein metallisches Pulver mit einer geeigneten Zusammensetzung umfassen, die von der Zusammensetzung der Grundphase des gesinterten Materials abhängt. Die Härte des metallischen Pulvers kann in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des metallischen Pulvers eingestellt werden. Die Härte des metallischen Pulvers kann durch Anpassung der Zusammensetzung, durch eine Wärmebehandlung des metallischen Pulvers oder durch Anpassung der Wärmebehandlungsbedingungen des metallischen Pulvers eingestellt werden. Auf die Zusammensetzung des metallischen Pulvers kann im obigen Abschnitt (Zusammensetzung) von [gesintertes Material] Bezug genommen werden.

**[0088]** Beispielsweise weist das Rohpulver zur Herstellung eines gesinterten Materials mit einer aus einem auf Eisen basierenden Material gebildeten Grundphase ein auf Eisen basierendes Pulver auf. Bei dem auf Eisen basierenden Material handelt es sich um reines Eisen oder eine auf Eisen basierende Legierung. Handelt es sich bei dem auf Eisen basierenden Material um eine auf Eisen basierende Legierung, so kann ein

hochfestes gesintertes Material wie oben beschrieben hergestellt werden. Das auf Eisen basierende Pulver kann z.B. durch ein Wasseratomisierungsverfahren oder ein Gasatomisierungsverfahren hergestellt werden.

**[0089]** Zur Herstellung eines gesinterten Materials mit einer aus einer auf Eisen basierenden Legierung gebildeten Grundphase kann das folgende Rohpulver verwendet werden.

(1) Das Rohpulver umfasst ein erstes Legierungspulver, das aus einer auf Eisen basierenden Legierung gebildet ist. Die Legierung auf Basis von Eisen, aus der das erste Legierungspulver gebildet ist, weist die gleiche Zusammensetzung auf wie die auf Eisen basierende Legierung, aus der die Grundphase des gesinterten Materials gebildet ist.

(2) Das Rohpulver umfasst ein zweites Legierungspulver, das aus einer auf Eisen basierenden Legierung gebildet ist, und ein drittes Pulver, das aus einem bestimmten Element gebildet ist. Die auf Eisen basierende Legierung, aus der das zweite Legierungspulver gebildet ist, umfasst einige der zusätzlichen Elemente, die in der auf Eisen basierenden Legierung enthalten sind, die die Grundphase des gesinterten Materials bildet. Das Element, aus dem das dritte Pulver gebildet ist, ist eines der verbleibenden zusätzlichen Elemente unter den zusätzlichen Elementen. Somit besteht das dritte Pulver aus einem einzigen Element.

(3) Das Rohpulver umfasst ein reines Eisenpulver, das zweite Legierungspulver und das dritte Pulver.

(4) Das Rohpulver umfasst ein reines Eisenpulver und ein drittes Pulver. Das dritte Pulver ist aus einem der zusätzlichen Elemente der auf Eisen basierenden Legierung der Ausgangsphase gebildet.

**[0090]** Wenn es sich bei der Grundphase des gesinterten Materials beispielsweise um eine auf Eisen basierende Legierung handelt, die mindestens ein Element aus der Gruppe gebildet aus Ni, Mo, B und C umfasst, während der Rest aus Fe und Verunreinigungen gebildet ist, kann das zweite Legierungspulver aus der folgenden auf Eisen basierenden Legierung gebildet ist. Die auf Eisen basierende Legierung umfasst kein C, aber mindestens ein Element aus der oben genannten Gruppe, und der Rest ist aus Fe und Verunreinigungen gebildet ist. Ein Beispiel der auf Eisen basierenden Legierung umfasst mindestens ein Element von 0,1 bis 2,0 Massenprozent Mo und 0,5 bis 5,0 Massenprozent Ni. Die auf Eisen basierende Legierung, die Mo und Ni in diesen Bereichen umfasst, weist verschiedene Zusammensetzungen mit einer Vickershärte Hv im Bereich von 80 bis 200 auf. Das Pulver aus der auf Eisen basierenden Legierung lässt sich daher leicht herstellen. Das dritte Pulver kann ein Kohlenstoffpulver oder ein Pulver sein, das aus einem Element aus der oben genannten Gruppe gebildet ist.

**[0091]** Ein Pulver aus einer auf Eisen basierenden Legierung mit einer Vickershärte Hv von 80 oder mehr ist nicht zu weich. Ein Grünling, der Poren in einem bestimmten Bereich, wie oben beschrieben, umfasst, kann unter Verwendung eines solchen Rohpulvers, das ein auf Eisen basierendes Pulver umfasst, hergestellt werden. Ein Pulver, das aus einem auf Eisen basierenden Material mit einer Vickershärte Hv von 200 oder weniger gebildet ist, ist nicht zu hart. Ein dichter Grünling kann wie oben beschrieben unter Verwendung eines solchen Rohmaterials, das ein auf Eisen basierendes Pulver umfasst, hergestellt werden. Die Vickershärte Hv kann im Bereich von 90 bis 190, 100 bis 180 oder 110 bis 150 liegen.

**[0092]** Die Größe des Rohpulvers kann in geeigneter Weise gewählt werden. Zum Beispiel kann das Legierungspulver oder das reine Eisenpulver eine durchschnittliche Teilchengröße im Bereich von 20 µm bis 200 µm oder 50 µm bis 150 µm aufweisen. Das dritte Pulver, ausgenommen Kohlenstoffpulver, weist eine durchschnittliche Teilchengröße im Bereich von z. B. 1 µm bis 200 µm auf. Das Kohlenstoffpulver weist eine durchschnittliche Teilchengröße im Bereich von z. B. etwa 1 µm bis 30 µm auf. Die „durchschnittliche Teilchengröße“ eines Pulvers bezieht sich gemäß der Verwendung hierin auf die Teilchengröße, bei der das kumulative Volumen 50% in einer volumetrischen Teilchengrößenverteilung beträgt, die mit einem Laserbeugungs-Teilchengrößenverteilungsanalysator (D50) gemessen wurde.

<Kompaktifizieren>

**[0093]** Ein Grünling mit einer höheren relativen Dichte neigt dazu, ein gesintertes Material mit einer höheren relativen Dichte und weniger Poren zu erzeugen. Das gesinterte Material tendiert auch dazu, kleine Poren aufzuweisen. Um die Anzahl und Größe der Poren zu verringern, kann der Grünling eine relative Dichte von 94% oder mehr, 95% oder mehr, 96% oder mehr, 96,5% oder mehr, 97% oder mehr oder 98% oder mehr aufweisen.

**[0094]** Der Verdichtungsdruck kann bei einem Grünling mit einer eher geringen relativen Dichte niedrig sein. Dies erhöht die Lebensdauer einer Matrize, erleichtert die Entnahme eines Grünlings aus der Matrize und verkürzt die Entformungszeit, wodurch die Massenproduktivität verbessert wird. Im Hinblick auf eine hohe Massenproduktivität kann der Grünling eine relative Dichte von 99,4% oder weniger oder sogar 99,2% oder weniger aufweisen.

**[0095]** Ein Grünling kann typischerweise mit einer Pressmaschine hergestellt werden, die mit einer einachsigen Pressmatrize ausgestattet ist. Die Form des Presswerkzeugs kann von der Form des Grünlings abhängen.

**[0096]** Die Form des Grünlings kann mit der endgültigen Form des gesinterten Materials übereinstimmen oder von der endgültigen Form des gesinterten Materials abweichen. Im letzteren Fall kann die Bearbeitung, wie z. B. Schneiden, entsprechend der endgültigen Form des gesinterten Materials in einem Schritt nach dem Verdichten erfolgen. Das Schneiden erfolgt vorzugsweise am Grünling vor dem Sintern, wie später beschrieben ist.

**[0097]** Auf die innere Umfangsfläche der Matrizenbaugruppe kann ein Schmiermittel aufgebracht werden. Das Schmiermittel verhindert tendenziell, dass das Rohpulver an der Matrize kleben bleibt. Dies führt tendenziell zu einem Grünling mit hoher Dichte sowie hoher Form- und Maßgenauigkeit. Das Schmiermittel ist z. B. eine höhere Fettsäure, Metallseife, Fettsäureamid oder höheres Fettsäureamid.

**[0098]** Ein höherer Verdichtungsdruck führt tendenziell zu einem dichteren Grünling. Der Verdichtungsdruck beträgt z. B. 1560 MPa oder mehr. Der Verdichtungsdruck kann auch 1660 MPa oder mehr, 1760 MPa oder mehr, 1860 MPa oder mehr, oder 1960 MPa oder mehr betragen.

(Zweiter Schritt: Sintern)

**[0099]** Die Sintertemperatur liegt gemäß der Beschreibung oben unterhalb der Temperatur der flüssigen Phase und ist relativ niedrig. Dadurch kann die thermische Energie im Vergleich zum Sintern bei hohen Temperaturen, bei denen sich eine flüssige Phase bildet, reduziert werden. Darüber hinaus ist im Vergleich zum Hochtemperatursintern eine Abnahme der Formgenauigkeit und der Maßgenauigkeit aufgrund der thermischen Kontraktion weniger wahrscheinlich. Dies erleichtert die Herstellung eines gesinterten Materials mit hoher Form- und Maßgenauigkeit und kann die Ausbeute des gesinterten Materials verbessern. So kann ein Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials durch Sintern eines dichten Grünlings bei einer relativ niedrigen Temperatur ein gesintertes Material mit weniger kleinen Poren und mit hoher Form- und Maßgenauigkeit bei hoher Produktivität herstellen.

**[0100]** Die Sintertemperatur und die Sinterzeit können in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Rohpulvers eingestellt werden. Bei dem Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials gemäß der Ausführungsform unter Verwendung eines auf Eisen basierenden Pulvers beträgt die Sintertemperatur 1000°C oder mehr und weniger als 1300°C.

**[0101]** Die thermische Kontraktion nimmt mit abnehmender Sintertemperatur tendenziell ab. So lässt sich ein gesintertes Material mit hoher Form- und Maßgenauigkeit leicht herstellen. Um die Energie zu reduzieren und die Form- und Maßgenauigkeit zu verbessern, beträgt die Sintertemperatur vorzugsweise 1250°C oder weniger, besonders bevorzugt weniger als 1200°C.

**[0102]** Die Sinterzeit nimmt mit steigender Sintertemperatur in diesen Bereichen tendenziell ab. Dadurch wird die Produktivität erhöht. Um die Sinterzeit zu verkürzen, kann die Sintertemperatur 1050°C oder mehr oder sogar 1100°C oder mehr betragen.

**[0103]** Im Hinblick auf eine Verringerung der Energie und die Balance zwischen hoher Genauigkeit und einer Verringerung der Sinterzeit beträgt die Sintertemperatur beispielsweise 1100°C oder mehr und weniger als 1200°C.

**[0104]** Die Sinterzeit liegt beispielsweise zwischen 10 und 150 Minuten.

**[0105]** Die Sinteratmosphäre ist z.B. eine Stickstoffatmosphäre oder eine Vakuumatmosphäre. Der Druck der Vakuumatmosphäre beträgt z. B. 10 Pa oder weniger. In einer Stickstoffatmosphäre oder einer Vakuum-

atmosphäre besteht aufgrund der geringen Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre eine geringere Wahrscheinlichkeit, dass der Grünling und das gesinterte Material oxidiert werden.

(Ein weiterer Schritt)

**[0106]** Das Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials kann ferner den Schritt des Schneidens des Grünlings vor dem Sintern des Grünlings umfassen. Das Schneiden kann durch Drehen oder Rotieren erfolgen.

**[0107]** Der Grünling vor dem Sintern hat bessere Schneideigenschaften als gesinterte Materialien nach dem Sintern oder geschmolzene Werkstoffe. Insbesondere sind Grünlinge mit einer relativen Dichte von 93% oder leichter zu schneiden als Grünlinge mit einer relativen Dichte von weniger als 93%. Das Schneiden kann zum Beispiel auch bei hohem Vorschub zufriedenstellend durchgeführt werden. So lässt sich leicht ein gesintertes Material mit hoher Form- und Maßgenauigkeit herstellen. Dies führt tendenziell zu einer hohen Ausbeute. Außerdem führt eine Erhöhung des Vorschubs zu einer Verkürzung der Schneidzeit. Wenn ein Grünling geschnitten wird, um einen Pressling in der endgültigen Form zu formen, kann der Grünling zum Beispiel ein einfach geformter Grünling sein, wie ein zylindrischer Körper, ein säulenförmiger Körper oder ein rechteckiges Parallelepipet. Aus einem einfach geformten Grünling lässt sich ein dichter Grünling auch bei einem etwas geringeren Verdichtungsdruck leicht und mit hoher Genauigkeit verdichten. Ein nicht zu hoher Pressdruck führt in der Regel zu einer langen Lebensdauer der Matrize. Darüber hinaus können bei einem einfach geformten Grünling die Kosten für die Montage der Matrize gesenkt werden. Somit trägt das Schneiden des Grünlings vor dem Sinterschritt zur Massenproduktion des gesinterten Materials bei.

**[0108]** Das Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials kann den Schritt der Wärmebehandlung des im zweiten Schritt hergestellten Sintermaterials umfassen. Bei dem Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials gemäß der Ausführungsform unter Verwendung des auf Eisen basierenden Pulvers kann die Wärmebehandlung beispielsweise ein Karbonisieren mit anschließendem Quenchen und Tempern oder ein Karbonisieren und Tempern mit anschließendem Anlassen sein. Die Bedingungen für die Wärmebehandlung können in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des gesinterten Materials entsprechend angepasst werden. Für die Bedingungen der Wärmebehandlung kann auf bekannte Bedingungen zurückgegriffen werden.

**[0109]** Das Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials kann den Schritt der Endbearbeitung des gesinterten Materials nach dem Sintern umfassen. Die Endbearbeitung ist zum Beispiel das Polieren. Durch die Nachbearbeitung kann ein gesintertes Material mit guten Oberflächeneigenschaften oder ein gesintertes Material mit höherer Form- und Maßgenauigkeit hergestellt werden.

(Wichtigste vorteilhafte Effekte)

**[0110]** Das Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials gemäß der Ausführungsform kann ein gesintertes Material mit einer hohen relativen Dichte, weniger Poren und kleinen Poren in einem Querschnitt, typischerweise das gesinterte Material 1 gemäß der Ausführungsform, mit hoher Produktivität herstellen.

[Testbeispiel 1]

**[0111]** Zur Herstellung von gesinterten Materialien wurden Grünlinge mit unterschiedlichen relativen Dichten bei verschiedenen Temperaturen gesintert. Es wurden die Mikrostruktur und die Festigkeit der gesinterten Materialien untersucht.

**[0112]** Die gesinterten Materialien wurden wie nachfolgend beschrieben hergestellt.

**[0113]** Aus einem Rohpulver wird ein Grünling hergestellt.

**[0114]** Der Grünling ist gesintert.

**[0115]** Das Sintern ist gefolgt von einem Karbonisieren und Quenchen und dann von einem Tempern.

**[0116]** Das Rohpulver ist ein gemischtes Pulver, das ein Legierungspulver aus der folgenden auf Eisen basierenden Legierung und ein Kohlenstoffpulver umfasst.

**[0117]** Die auf Eisen basierenden Legierung umfasst 2 Massenprozent Ni, 0,5 Massenprozent Mo, 0,2 Massenprozent Mn und der Rest ist aus Fe und Verunreinigungen gebildet. Die auf Eisen basierende Legierung weist eine Vickershärte Hv von 120 auf, was dem Bereich von 80 bis 200 entspricht.

**[0118]** Der Kohlenstoffpulveranteil beträgt 0,3 Massenprozent, bezogen auf 100 Massenprozent der gesamten Masse des Mischpulvers.

**[0119]** Das Legierungspulver weist eine durchschnittliche Teilchengröße (D50) von 100 µm auf. Das Kohlenstoffpulver weist eine durchschnittliche Teilchengröße (D50) von 5 µm auf.

**[0120]** Das Rohpulver wurde zu einem säulenförmigen Grünling verdichtet. Der Grünling weist einen Außendurchmesser von 75 mm und eine Dicke von 20 mm auf.

**[0121]** Der Grünling wurde durch Auswählen des Verdichtungsdrucks im Bereich von 1560 MPa bis 1960 MPa derart gebildet, dass der Grünling jeder Probe eine relative Dichte (%) im Bereich von etwa 85% bis 99% aufwies. Die relative Dichte des Grünlings nimmt mit dem Verdichtungsdruck zu. Tabelle 1 zeigt die Dichte (g/cm<sup>3</sup>) und die relative Dichte (%) des Grünlings jeder einzelnen Probe.

**[0122]** Die Dichte (g/cm<sup>3</sup>) des Grünlings wurde durch Messen der Masse des Grünlings und Teilen der Masse durch das Volumen des Grünlings bestimmt. Die so ermittelte Dichte ist die scheinbare Dichte des Grünlings. Die relative Dichte (%) des Grünlings wurde bestimmt, indem die scheinbare Dichte des Grünlings durch die wahre Dichte, 7,8 g/cm<sup>3</sup>, des Grünlings geteilt wurde. Die tatsächliche Dichte wurde aus der Zusammensetzung des verwendeten Rohpulvers bestimmt.

**[0123]** Der Grünling wurde unter den folgenden Bedingungen gesintert. Das Sintern ist gefolgt von einem Karbonisieren und Quenchen und dann einem Tempern unter den folgenden Bedingungen, um das gesinterte Material jeder Probe zu bilden.

**[0124]** (Sinterbedingungen) Die Sintertemperatur (°C) beträgt 1130°C, 1450°C oder 1480°C. Tabelle 1 zeigt die Sintertemperatur jeder einzelnen Probe. Die Haltezeit beträgt 20 Minuten. Die Atmosphäre ist eine Stickstoffatmosphäre.

(Karbonisieren und Quenchen) 930°C × 90 Minuten, Kohlenstoffpotenzial: 1,4 Massenprozent ⇒ 850°C × 30 Minuten ⇒ Ölkühlung

(Tempern) 200°C × 90 Minuten

**[0125]** Auf diese Weise wurde ein säulenförmiges gesintertes Material mit einem Außendurchmesser von 75 mm und einer Dicke von 20 mm hergestellt. Die Grundphase des gesinterten Materials ist aus der folgenden auf Eisen basierenden Legierung gebildet. Die auf Eisen basierende Legierung umfasst 2 Masse-% Ni, 0,5 Masse-% Mo, 0,2 Masse-% Mn, 0,3 Masse-% C und der Rest ist aus Fe und Verunreinigungen gebildet. Die Komponenten des gesinterten Materials wurden mittels ICP analysiert.

(Beschreibung der Proben)

**[0126]** Gesinterte Materialien der Proben Nr. 1 bis Nr. 3 werden durch Sintern eines Grünlings mit einer relativen Dichte von 93% oder mehr bei 1130°C, d. h. unterhalb der Temperatur der flüssigen Phase, hergestellt. **Fig. 2A** bis **Fig. 2C** sind rasterelektronenmikroskopische (SEM-) Bilder eines entsprechenden Querschnitts der gesinterten Materialien der Proben Nr. 1 bis Nr. 3.

**[0127]** Die gesinterten Materialien der Proben Nr. 101 bis Nr. 103 werden durch Sintern eines Grünlings mit einer relativen Dichte von weniger als 93% bei der Temperatur der flüssigen Phase von 1450°C oder 1480°C hergestellt. **Fig. 8A** bis **Fig. 8C** sind SEM-Bilder eines Querschnitts der gesinterten Materialien der Proben Nr. 101 bis Nr. 103. In **Fig. 8A** und **Fig. 8B** ist der obere schwarze Bereich der Hintergrund.

(Dichte und relative Dichte)

**[0128]** Es wurden die Dichte (g/cm<sup>3</sup>) und die relative Dichte (%) des gesinterten Materials jeder hergestellten Probe untersucht.

**[0129]** Die Dichte (g/cm<sup>3</sup>) des gesinterten Materials wurde nach dem archimedischen Prinzip bestimmt. Genauer gesagt wird die Dichte bestimmt, indem die Masse des gesinterten Materials an der Luft und die

Masse des gesinterten Materials in reinem Wasser gemessen und „(Dichte des Wassers × Masse des gesinterten Materials an der Luft)/(Masse des gesinterten Materials an der Luft - Masse des gesinterten Materials im Wasser)“ berechnet wird.

**[0130]** Die relative Dichte (%) des gesinterten Materials wird wie unten beschrieben bestimmt.

**[0131]** Dem gesinterten Material wird eine Mehrzahl von Querschnitte entnommen. Jeder Querschnitt wird mit einem Mikroskop, z. B. einem SEM oder Lichtmikroskop, betrachtet. Das beobachtete Bild wird einer Bildanalyse unterzogen und der prozentuale Flächenanteil einer Metallkomponente wird als relative Dichte betrachtet.

**[0132]** Handelt es sich bei dem gesinterten Material um einen rohrförmigen Körper wie im vorliegenden Beispiel oder um einen säulenförmigen Körper, wird ein Querschnitt von einem Bereich an jeder Stirnseite des gesinterten Materials und einem Bereich nahe der Mitte der Länge in axialer Richtung des gesinterten Materials genommen. Eine Endfläche des gesinterten Materials ist im vorliegenden Beispiel eine Kreisfläche.

**[0133]** Der Endflächenbereich kann ein Bereich mit einer Tiefe von bis zu 3 mm von der Oberfläche des gesinterten Materials sein, abhängig von der Länge, oder im vorliegenden Beispiel der Dicke, des gesinterten Materials. Der Bereich nahe der Mitte kann ein Bereich von bis zu 1 mm von der Mitte der Länge in Richtung jeder Endfläche sein, d. h. ein Bereich von insgesamt 2 mm, abhängig von der Länge des gesinterten Materials. Der Querschnitt kann eine Ebene sein, die die axiale Richtung kreuzt, typischerweise eine Ebene senkrecht zur axialen Richtung.

**[0134]** Aus jedem Querschnitt wird eine Mehrzahl von beispielsweise 10 oder mehr Beobachtungsfeldern ausgewählt. Die Fläche eines Beobachtungsfeldes beträgt z. B.  $500 \mu\text{m} \times 600 \mu\text{m} = 300.000 \mu\text{m}^2$ . Wenn mehrere Beobachtungsfelder aus einem Querschnitt ausgewählt werden, ist es vorteilhaft, den Querschnitt gleichmäßig zu unterteilen und aus jedem unterteilten Bereich ein Beobachtungsfeld auszuwählen.

**[0135]** Das beobachtete Bild von jedem Beobachtungsfeld wird einer Bildverarbeitung unterzogen, z. B. einer Binarisierungsverarbeitung, und aus dem verarbeiteten Bild wird ein aus Metall bestehender Bereich extrahiert. Die Fläche des so extrahierten Metallbereichs wird bestimmt. Außerdem wird das Verhältnis der Fläche des Metallbereichs zur Fläche des Beobachtungsfelds bestimmt. Dieses Flächenverhältnis wird als die relative Dichte jedes Beobachtungsfeldes betrachtet. Die relativen Dichten der Beobachtungsfelder werden gemittelt. Der Mittelwert wird als die relative Dichte (%) des gesinterten Materials definiert.

**[0136]** Zehn oder mehr Beobachtungsfelder werden aus jedem der beiden Endflächenbereiche ausgewählt. Zehn oder mehr Beobachtungsfelder werden aus dem Bereich nahe der Mitte ausgewählt. Dann wird die relative Dichte jedes Beobachtungsfeldes bestimmt, und es wird ein Mittelwert aus insgesamt 30 oder mehr relativen Dichten gebildet. Tabelle 1 zeigt diesen Durchschnitt als relative Dichte (%) des gesinterten Materials.

**[0137]** Die relative Dichte eines Grünlings kann auf die gleiche Weise bestimmt werden wie die relative Dichte eines gesinterten Materials. Wenn, wie im vorliegenden Beispiel, ein Grünling durch einachsiges Pressen verdichtet wird, kann ein Querschnitt des Grünlings aus einem Bereich nahe der Mitte der Länge des Grünlings in Pressrichtung oder aus einem Endflächenbereich an beiden Enden in Pressrichtung genommen werden. Der Querschnitt kann eine Ebene sein, die die Pressrichtung kreuzt, typischerweise eine Ebene, die zur Pressrichtung senkrecht steht.

(Mikrostrukturbeobachtung)

**[0138]** Von jeder hergestellten Probe wurde ein Querschnitt aus dem gesinterten Material entnommen und hinsichtlich der Porengröße untersucht.

**[0139]** Die Porengröße wird wie unten beschrieben bestimmt.

**[0140]** Aus dem gesinterten Material jeder Probe wird ein Querschnitt entnommen. Der Querschnitt wird mittels REM betrachtet und es wird mindestens ein Feld im Querschnitt ausgewählt. Zum Messen der Porengröße werden insgesamt 50 oder mehr Poren entnommen.

**[0141]** Die Vergrößerung wird in Abhängigkeit von der Porengröße so eingestellt, dass eine oder mehrere Poren in einem Feld vorhanden sind und die Porengröße genau gemessen werden kann. Wenn beispielsweise eine Pore in dem bei 100-facher Vergrößerung betrachteten Querschnitt einen maximalen Durchmesser von 70 µm oder weniger aufweist, wird die Vergrößerung auf 300-fach erhöht, um den Querschnitt erneut zu betrachten. Die Anzahl der Felder wird erhöht, bis insgesamt 50 oder mehr Poren beobachtet werden. Die Größe eines Feldes in den Proben Nr. 1 bis Nr. 3 beträgt etwa 355 µm × etwa 267 µm.

**[0142]** Die Poren werden aus dem Feld extrahiert. Gemäß der Darstellung in den **Fig. 2** und **Fig. 8** unterscheidet sich die Farbe der Grundphase 10 von der Farbe der Poren 11. Das REM-Bild wird daher einer Binarisierung oder einer ähnlichen Verarbeitung unterzogen, um die Poren zu extrahieren. Die Extraktion der Poren, die Messung der Porengröße, die Extraktion eines Bereichs, der aus Metall gebildet ist und zur Messung der relativen Dichte verwendet wird, die Messung der Fläche des Bereichs und dergleichen können leicht mit einem kommerziellen Bildanalysesystem, kommerzieller Software oder dergleichen durchgeführt werden.

#### <Querschnittsfläche>

**[0143]** Es wird die Querschnittsfläche einer jeden aus dem REM-Bild extrahierten Pore bestimmt. Außerdem wird der Durchschnitt der Querschnittsflächen der Poren bestimmt. Der Durchschnitt der Querschnittsflächen wird ermittelt, indem die Querschnittsflächen von 50 oder mehr extrahierten Poren summiert und die Gesamtsumme durch die Anzahl der Poren geteilt wird. Tabelle 1 zeigt den Durchschnitt der Querschnittsflächen als durchschnittliche Querschnittsfläche (µm<sup>2</sup>). In Tabelle 1 ist auch die Anzahl der Poren (N-Zahl) angegeben, die zur Messung der Querschnittsflächen verwendet wurden, und dergleichen.

#### <Perimeter>

**[0144]** Es wird der Umfang, d.h. die Länge der Kontur jeder aus dem REM-Bild extrahierten Pore, bestimmt. Außerdem wird der Durchschnitt der Porenumfänge bestimmt. Der Durchschnitt der Porenumfänge wird ermittelt, indem die Umfänge von 50 oder mehr extrahierten Poren addiert und die Gesamtsumme durch die Anzahl der Poren geteilt wird. Tabelle 1 zeigt den Durchschnitt der Umfänge als durchschnittlichen Umfang (µm).

#### <Maximaler Durchmesser>

**[0145]** Es wird der maximale Durchmesser von jeder aus dem REM-Bild extrahierten Pore bestimmt. Außerdem wird der Durchschnitt der maximalen Durchmesser bestimmt. Der Durchschnitt der maximalen Durchmesser wird ermittelt, indem die maximalen Durchmesser von 50 oder mehr extrahierten Poren addiert und die Gesamtsumme durch die Anzahl der Poren geteilt wird. Tabelle 1 zeigt den Durchschnitt der maximalen Durchmesser (µm). Der maximale Durchmesser jeder Pore wird wie unten beschrieben bestimmt. Auf dem REM-Bild wird der Umriss jeder Pore zwischen zwei parallelen Linien platziert und der Abstand zwischen den beiden parallelen Linien gemessen. Der Abstand ist der Abstand in der Richtung senkrecht zu den parallelen Linien. In jeder Pore werden mehrere Sätze von parallelen Linien in beliebiger Richtung ausgewählt und die Abstände gemessen. In jeder Pore wird der maximale Wert der gemessenen Intervalle als maximaler Durchmesser der Pore definiert.

**[0146]** Die Maximal- und Minimalwerte der maximalen Durchmesser der Poren wurden ebenfalls bestimmt. Tabelle 1 zeigt den Maximalwert (µm) der maximalen Durchmesser der 50 oder mehr Poren. In Tabelle 1 ist auch der Mindestwert (µm) der maximalen Durchmesser der 50 oder mehr Poren angegeben.

#### <Zirkularität>

**[0147]** Die Zirkularität jeder Pore wurde wie unten beschrieben bestimmt. Es werden der Umfang einer jeden aus dem REM-Bild extrahierten Pore und der Umfang eines Kreises mit einer Fläche, die der Querschnittsfläche einer jeden Pore entspricht, bestimmt. (Der Umfang einer jeden Pore/der Umfang des Kreises) wird als die Zirkularität der Pore definiert. Tabelle 1 zeigt den Durchschnitt der Zirkularität der 50 oder mehr Poren.

#### <Festigkeit>

**[0148]** Außerdem wurde die Zugfestigkeit (MPa) des gesinterten Materials einer jeden Probe untersucht. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse.

**[0149]** Die Zugfestigkeit wurde mit einem Allzweck-Zugprüfgerät im Zugversuch gemessen. Die Zugprobe entspricht der Norm JPMA M 04-1992 der Japan Powder Metallurgy Association für eine Zugprobe aus einem gesinterten Metallmaterial.

**[0150]** Bei der Probe handelt es sich um ein flaches Blech, das aus einem gesinterten Material ausgeschnitten wurde.

**[0151]** Die Probe ist aus einem schmalen Abschnitt und einem breiten Abschnitt gebildet, der sich an beiden Enden des schmalen Abschnitts befindet. Der schmale Abschnitt ist aus einem mittleren Abschnitt und einem Schulterabschnitt gebildet. Der Schulterabschnitt weist eine gebogene Seitenfläche auf, die sich vom mittleren Abschnitt bis zum breiten Abschnitt erstreckt.

**[0152]** Die Größe des Prüfmusters wird im Folgenden beschrieben. Die Messlänge beträgt 30 mm.

Dicke: 5 mm

Länge: 72 mm

Länge des mittleren Abschnitts: 32 mm

Breite des mittleren Abschnitts des schmalen Abschnitts: 5,7 mm

Breite des Schulterabschnitts am schmalen Abschnitt: 5,96 mm

Radius R der Seitenfläche des Schulterabschnitts: 25 mm

Breite des breiten Abschnitts: 8,7 mm

Probe Nr.		101	102	103	1	2	3
Grünling	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	6,85	7,09	7,09	7,33	7,56	7,70
	relative Dichte (%)	87,8	90,9	90,9	94,0	96,9	98,7
gesinterter Material	Sintertemperatur (°C)	1480	1480	1450	1130	1130	1130
	gesinterte Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	7,44	7,50	7,30	7,35	7,57	7,71
	relative Dichte (%)	95,4	96,2	93,6	94,2	97,1	98,8
	durchschnittliche Querschnittsfläche (µm <sup>2</sup> )	25373	6298	6933	424	298	259
	durchschnittlicher Umfang (µm)	526	202	260	64	53	45
	maximaler Durchmesser (Durchschnitt) (µm)	129	60	74	18	15	14
	maximaler Durchmesser (Maximalwert) (µm)	198	81	98	24	20	18
	maximaler Durchmesser (Minimalwert) (µm)	78	45	55	13	11	9
	Zirkularität	3,68	4,42	3,45	2,99	3,19	3,26
	N Anzahl (-)	59	60	173	169	212	162
Zugfestigkeit (MPa)	1082	1213	1105	1425	1523	1620	

**[0153]** Fig. 3 bis Fig. 7 stellen Graphen dar, die die durchschnittliche Querschnittsfläche ( $\mu\text{m}^2$ ), den durchschnittlichen Umfang ( $\mu\text{m}$ ), den durchschnittlichen maximalen Durchmesser ( $\mu\text{m}$ ), den Maximalwert ( $\mu\text{m}$ ) des maximalen Durchmessers und entsprechend den Minimalwert ( $\mu\text{m}$ ) des maximalen Durchmessers der Poren im gesinterten Material einer jeden Probe zeigen. Die horizontale Achse jedes Graphen gibt die Probennummer an. Die vertikale Achse jedes Graphen zeigt die durchschnittliche Querschnittsfläche ( $\mu\text{m}^2$ ) der Poren in Fig. 3, den durchschnittlichen Umfang ( $\mu\text{m}$ ) der Poren in Fig. 4, den durchschnittlichen maximalen Durchmesser ( $\mu\text{m}$ ) der Poren in Fig. 5, den Maximalwert ( $\mu\text{m}$ ) des maximalen Durchmessers der Poren in Fig. 6 und den Minimalwert ( $\mu\text{m}$ ) des maximalen Durchmessers der Poren in Fig. 7.

**[0154]** Gemäß der Darstellung in Tabelle 1 und Fig. 3 weisen die Poren in den gesinterten Materialien der Proben Nr. 1 bis Nr. 3 eine kleinere durchschnittliche Querschnittsfläche als die Poren in den gesinterten Materialien der Proben Nr. 101 bis Nr. 103 auf. Die gesinterten Materialien der Proben Nr. 1 bis Nr. 3 werden im Folgenden als hochverdichtete Proben bezeichnet. Die gesinterten Materialien der Proben Nr. 101 bis Nr. 103 werden im Folgenden als Hochtemperatur-Sinterproben bezeichnet.

**[0155]** Quantitativ gesehen beträgt die durchschnittliche Querschnittsfläche der Poren in den hochverdichteten Proben  $500 \mu\text{m}^2$  oder weniger, hier insbesondere  $450 \mu\text{m}^2$  oder weniger. In den gesinterten Materialien der Proben Nr. 2 und Nr. 3, die eine relative Dichte von 96,5% oder mehr aufweisen, beträgt die durchschnittliche Querschnittsfläche der Poren  $400 \mu\text{m}^2$  oder weniger, insbesondere  $300 \mu\text{m}^2$  oder weniger, und ist kleiner.

**[0156]** Gemäß der Darstellung in Tabelle 1 und Fig. 4 sind die durchschnittlichen Porenumfänge in den hochverdichteten Proben kleiner als in den Hochtemperatur-Sinterproben. Quantitativ gesehen liegen die durchschnittlichen Porenumfänge bei den hochverdichteten Proben bei  $100 \mu\text{m}$  oder weniger, hier insbesondere bei  $70 \mu\text{m}$  oder weniger. In den gesinterten Materialien der Proben Nr. 2 und Nr. 3 liegen die durchschnittlichen Porenumfänge bei  $55 \mu\text{m}$  oder weniger und sind kleiner.

**[0157]** In den bei Hochtemperatur-Sinterproben weist das gesinterte Material eine relative Dichte von 93% oder mehr auf und, wie in Tabelle 1 und den Fig. 8A bis Fig. 8C gezeigt, weisen die Poren 11 eine große Querschnittsfläche und einen großen Umfang auf. Ein möglicher Grund hierfür wird im Folgenden beschrieben. Die Grünlinge der Hochtemperatur-Sinterproben weisen eine geringere relative Dichte und eine größere Anzahl von Poren als die der hochverdichteten Proben auf. Wenn ein Grünling mit einer großen Anzahl von Poren bei einer hohen Temperatur, z. B. einer Temperatur einer flüssigen Phase, gesintert wird, werden die Poren bis zu einem gewissen Grad leicht entfernt, jedoch neigt eine Mehrzahl von Poren dazu, im Inneren zusammenzuwachsen und als große Poren zu verbleiben, wie in den Fig. 8A bis Fig. 8C gezeigt ist. Es bleiben also Poren mit einer großen Querschnittsfläche und einem großen Umfang zurück.

**[0158]** Im Gegensatz dazu sind die Poren 11 in den hochverdichteten Proben, wie in Tabelle 1 und den Fig. 2A bis Fig. 2C gezeigt, zahlenmäßig etwas größer, weisen aber eine kleine Querschnittsfläche und einen kleinen Umfang auf. Die Poren 11 im gesinterten Material der Probe Nr. 3 sind unter den gesinterten Materialien der Proben Nr. 1 bis Nr. 3 am wenigsten, weisen die kleinste Querschnittsfläche und den kleinsten Umfang auf. Ein möglicher Grund dafür wird im Folgenden beschrieben. Die grünen Presslinge der hochverdichteten Proben weisen eine große relative Dichte und weniger Poren auf. Außerdem neigt die Kompression dazu, die Porengröße zu verringern. Wenn ein solcher Grünling bei einer relativ niedrigen Temperatur gesintert wird, werden Poren weniger wahrscheinlich entfernt und bleiben eher zurück, aber jede Pore bleibt klein. Wie in den Fig. 2A bis Fig. 2C zu sehen ist, bleiben daher Poren mit einer kleinen Querschnittsfläche und einem geringen Umfang zurück. Ein Grünling mit einer geringeren Anzahl von Poren führt tendenziell zu Poren mit einer kleineren Querschnittsfläche und einem geringeren Umfang im gesinterten Material.

**[0159]** Die mit hoher Dichte verdichteten Proben weisen eine höhere Zugfestigkeit und eine höhere Festigkeit als die Hochtemperatur-Sinterproben auf. Die mit hoher Dichte verdichteten Proben weisen eine um wenigstens 15% höhere Zugfestigkeit als die Probe Nr. 102 auf, die die höchste Zugfestigkeit unter den Hochtemperatur-Sinterproben aufweist. Der Grund dafür ist wahrscheinlich, dass die kleinen Poren in den hochverdichteten Proben weniger wahrscheinlich Ausgangspunkte für Risse sind.

**[0160]** Dieser Test zeigt auch Folgendes.

(1) Wie in Tabelle 1 und Fig. 5 gezeigt, ist der durchschnittliche maximale Durchmesser der Poren in den hochverdichteten Proben kleiner als in den Hochtemperatur-Sinterproben. Quantitativ gesehen beträgt der durchschnittliche maximale Durchmesser in den hochverdichteten Proben  $30 \mu\text{m}$  oder weniger, hier insbesondere  $20 \mu\text{m}$  oder weniger. Der durchschnittliche maximale Durchmesser in den hoch-

verdichteten Proben beträgt 5 µm oder mehr, insbesondere 10 µm oder mehr. Diese Poren sind klein, aber nicht zu klein.

(2) Wie in Tabelle 1 und **Abb. 6** und **Abb. 7** gezeigt, sind die Maximal- und Minimalwerte der maximalen Durchmesser der Poren in den hochverdichteten Proben ebenfalls kleiner als in den Hochtemperatur-Sinterproben. Quantitativ gesehen liegt der Maximalwert der maximalen Durchmesser in den hochverdichteten Proben bei 30 µm oder weniger, hier insbesondere bei 25 µm oder weniger. Darüber hinaus ist die Differenz zwischen dem Mittelwert und dem Maximalwert der maximalen Durchmesser bei den hochverdichteten Proben kleiner als bei den Hochtemperatur-Sinterproben. Somit sind die maximalen Durchmesser der hochverdichteten Proben näher an der Einheitlichkeit. Der Mindestwert der maximalen Durchmesser in den hochverdichteten Proben beträgt 20 µm oder weniger, insbesondere 5 µm bis 15 µm. Dies zeigt auch, dass die Poren in den hochverdichteten Proben klein sind, jedoch nicht zu klein.

(3) Wie in Tabelle 1 gezeigt, weisen die hochverdichteten Proben eine geringere Zirkularität als die Hochtemperatur-Sinterproben auf. Quantitativ gesehen weisen die hochverdichteten Proben eine Zirkularität von 3,4 oder weniger auf, hier genauer gesagt 3,3 oder weniger.

**[0161]** Der Versuch hat auch gezeigt, dass durch Sintern eines Grünlings mit einer relativen Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% und mit kleinen Poren bei einer relativ niedrigen Temperatur unterhalb der Temperatur der flüssigen Phase ein gesintertes Material hergestellt werden kann. Es wurde auch gezeigt, dass ein Pulver aus einer auf Eisen basierenden Legierung mit einer Vickershärte Hv im Bereich von 80 bis 200 zur Herstellung eines dichten Grünlings wie oben beschrieben verwendet werden kann.

**[0162]** Wie oben beschrieben, sind Poren in einem dichten Sintermaterial mit einer relativen Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% und mit kleinen Poren weniger wahrscheinlich Ausgangspunkte für Risse und das gesinterte Material weist eine hohe Festigkeit auf. Es ist daher zu erwarten, dass ein solches gesintertes Material für verschiedene Teile geeignet ist, die eine hohe Festigkeit erfordern. Wenn mindestens eine Pore eine offene Pore ist, kann außerdem eine hohe Haltbarkeit und Geräuscharmheit durch ein gehaltenes Schmiermittel erwartet werden. Es ist daher zu erwarten, dass ein solches gesintertes Material für Gleitelemente, wie z. B. Zahnräder, die Schmierfähigkeit erfordern, und für Teile, die geräuscharm sein müssen, geeignet ist.

**[0163]** Die vorliegende Erfindung wird durch die beigefügten Ansprüche und nicht durch diese Ausführungsformen definiert. Alle Modifizierungen, die in den Anwendungsbereich der Ansprüche und deren Äquivalente fallen, sollen von den Ansprüchen erfasst werden.

**[0164]** So können beispielsweise im Versuchsbeispiel 1 die Zusammensetzung und die Herstellungsbedingungen des gesinterten Materials geändert werden. Ein gesintertes Material kann beispielsweise eine andere Zusammensetzung als der auf Eisen basierenden Materialien aufweisen. Die Produktionsbedingungen, z. B. die relative Dichte eines Grünlings, die Sintertemperatur und dergleichen, können geändert werden.

#### Bezugszeichenliste

1	gesintertes Material
10	Grundphase
11	Pore

#### Patentansprüche

1. Gesintertes Material, umfassend:  
eine Grundphase, die aus einem Metall gebildet ist; und  
eine Mehrzahl von Poren, die in der Grundphase vorhanden sind,  
wobei die Poren in einem Querschnitt eine durchschnittliche Querschnittsfläche von 500 µm<sup>2</sup> oder weniger aufweisen, und  
das gesinterte Material eine relative Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% aufweist.

2. Gesintertes Material, umfassend:  
eine Grundphase, die aus einem Metall gebildet ist; und  
eine Mehrzahl von Poren, die in der Grundphase vorhanden sind,  
wobei die Poren in einem Querschnitt einen durchschnittlichen Umfang von 100 µm oder weniger aufwei-

sen, und

das gesinterte Material eine relative Dichte im Bereich von 93% bis 99,5% aufweist.

3. Gesintertes Material nach Anspruch 1, wobei die Poren in einem Querschnitt einen durchschnittlichen Umfang von 100  $\mu\text{m}$  oder weniger aufweisen.

4. Gesintertes Material nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die relative Dichte 96,5% oder mehr beträgt.

5. Gesintertes Material nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Poren einen durchschnittlichen maximalen Durchmesser im Bereich von 5  $\mu\text{m}$  bis 30  $\mu\text{m}$  aufweisen.

6. Gesintertes Material nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Metall eine auf Eisen basierende Legierung ist, und die auf Eisen basierende Legierung mindestens ein Element umfasst, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus C, Ni, Mo und B besteht.

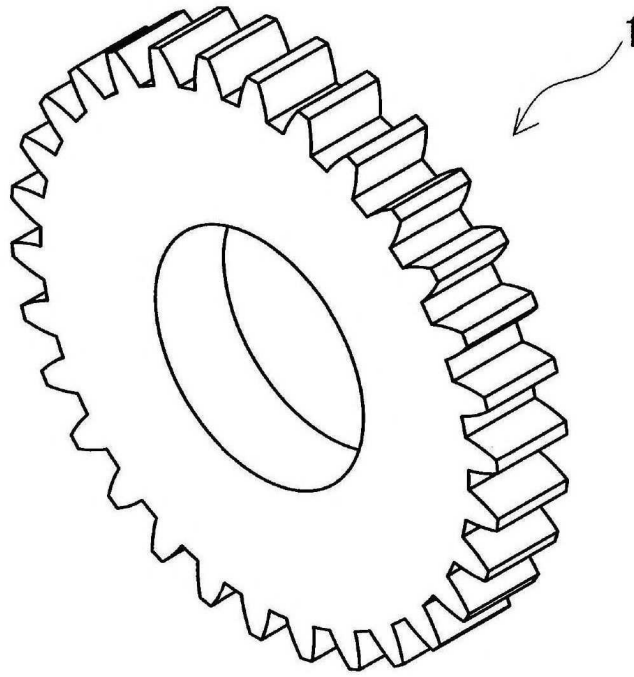
7. Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials, umfassend die Schritte:  
eines Komprimierens eines Rohpulvers zur Herstellung eines Grünlings mit einer relativen Dichte im Bereich von 93% bis 99,5%; und  
eines Sinterns des Grünlings,  
wobei das Rohpulver ein Pulver umfasst, das aus einem auf Eisen basierenden Material mit einer Vickershärte Hv im Bereich von 80 bis 200 gebildet ist, und  
eine Sinteremperatur in dem Schritt des Sinterns des Grünlings 1000°C oder mehr und weniger als 1300°C beträgt.

8. Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials nach Anspruch 7, ferner umfassend den Schritt eines Schneidens des Grünlings vor dem Sintern des Grünlings.

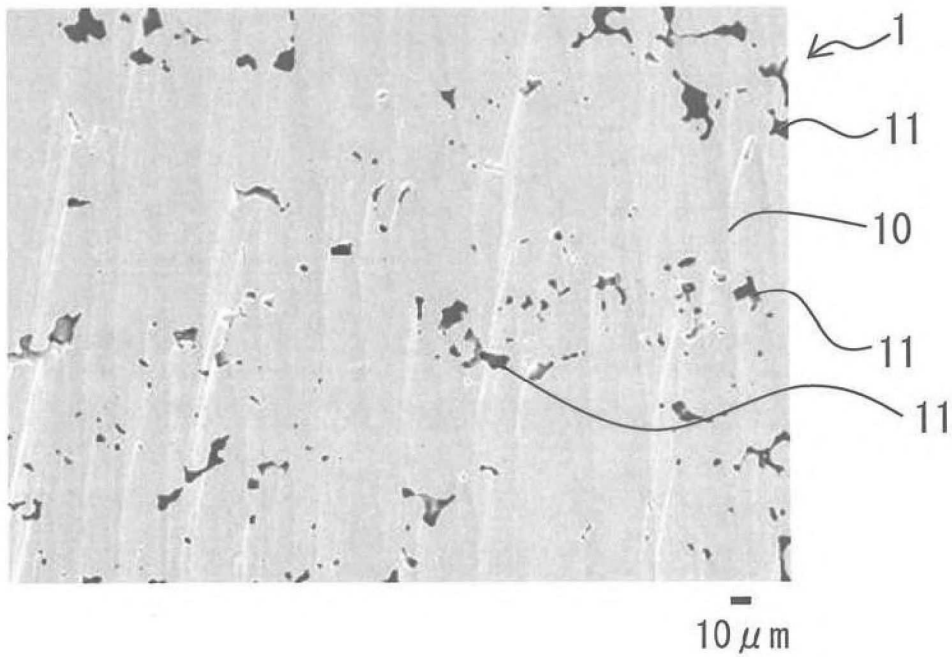
9. Verfahren zur Herstellung eines gesinterten Materials nach Anspruch 7 oder 8, wobei das aus dem auf Eisen basierenden Material gebildete Pulver ein aus einer auf Eisen basierenden Legierung gebildetes Pulver umfasst, und die auf Eisen basierende Legierung mindestens ein Element von 0,1 bis 2,0 Massenprozent Mo und 0,5 bis 5,0 Massenprozent Ni umfasst.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

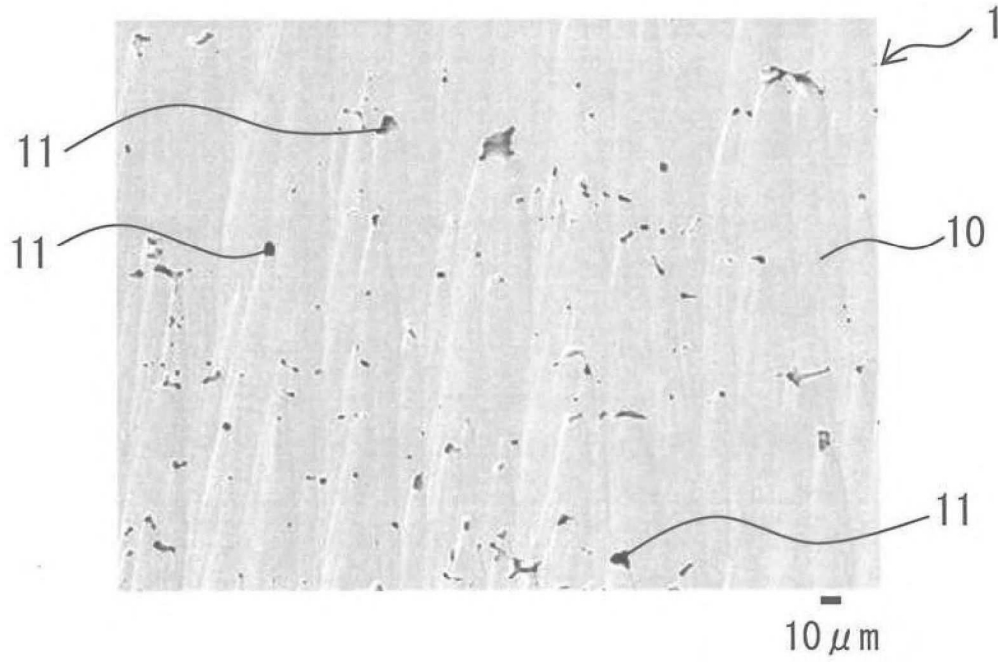
**FIG. 1**



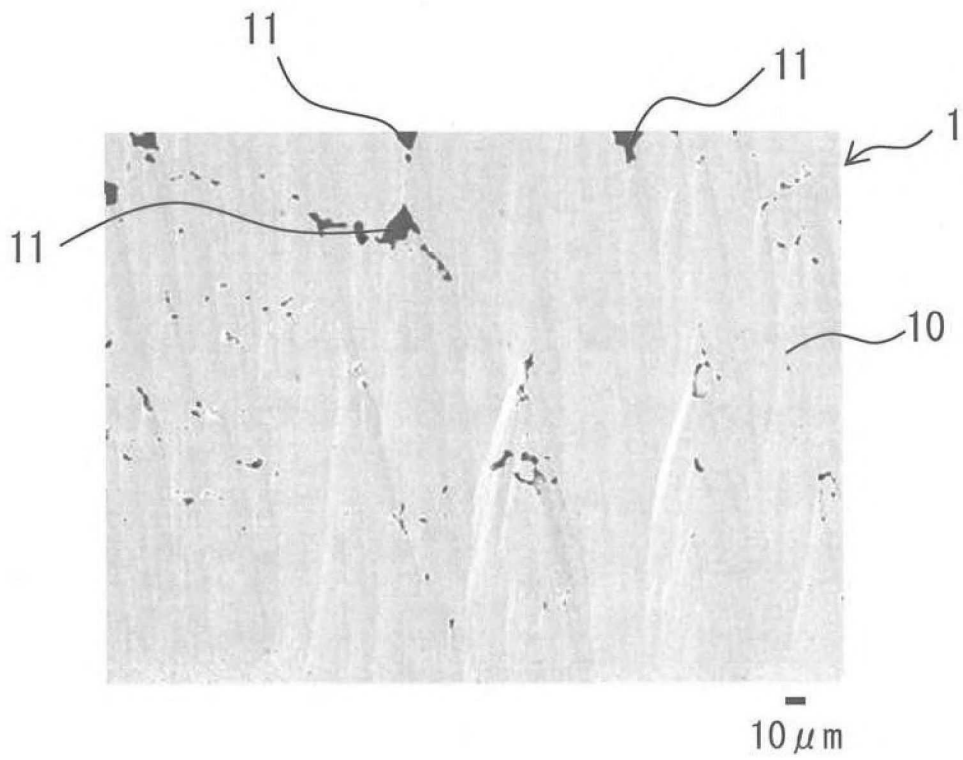
**FIG. 2A**



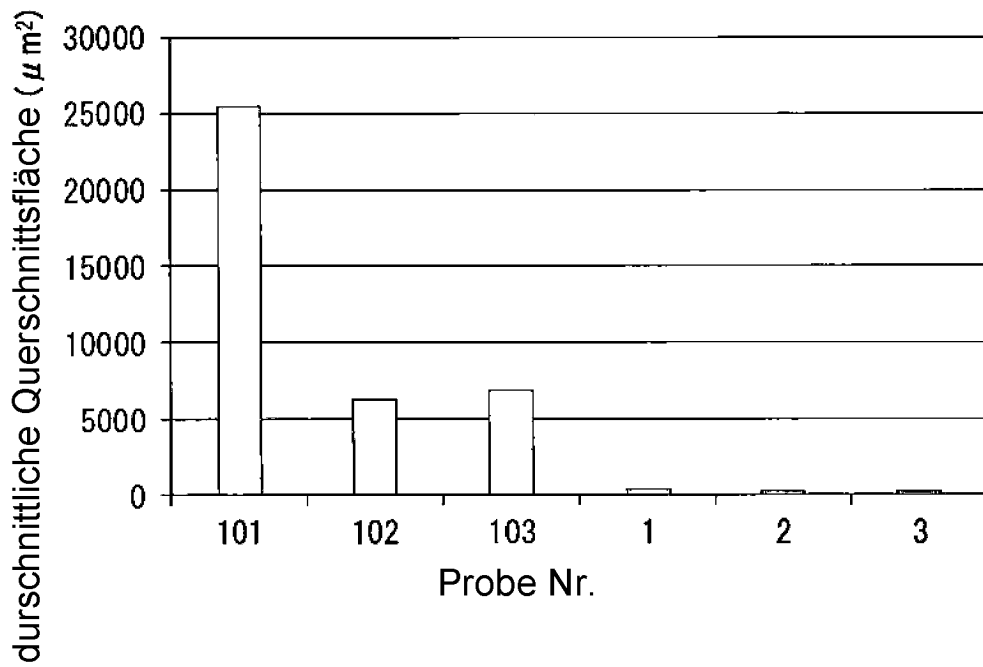
**FIG. 2B**



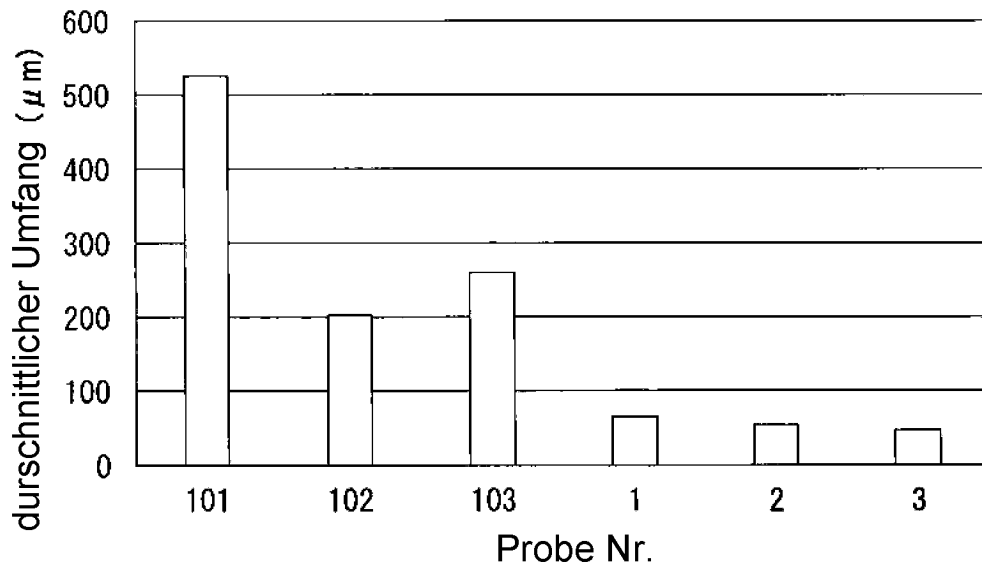
**FIG. 2C**



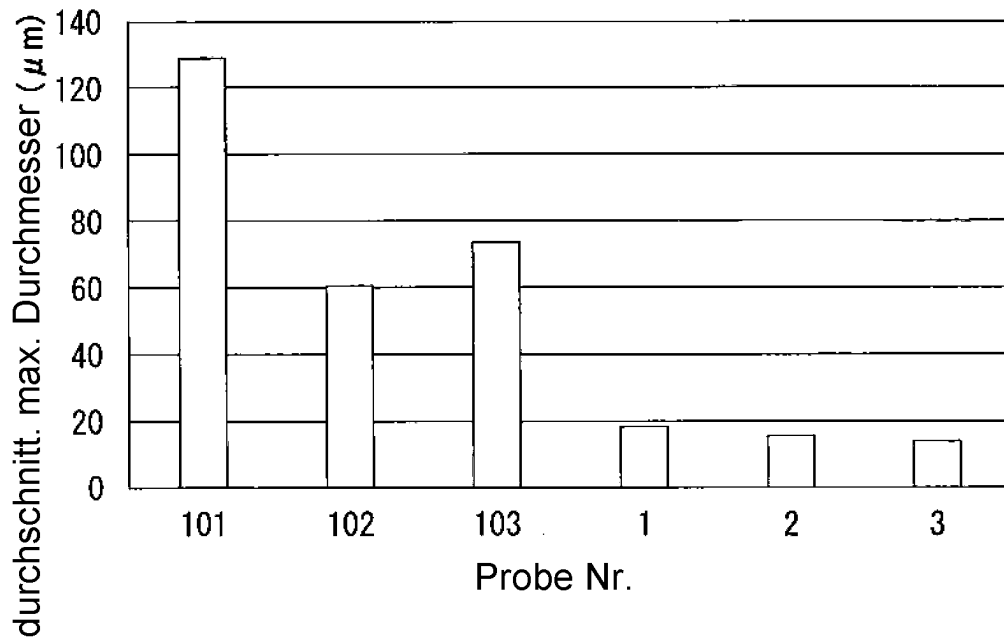
**FIG. 3**



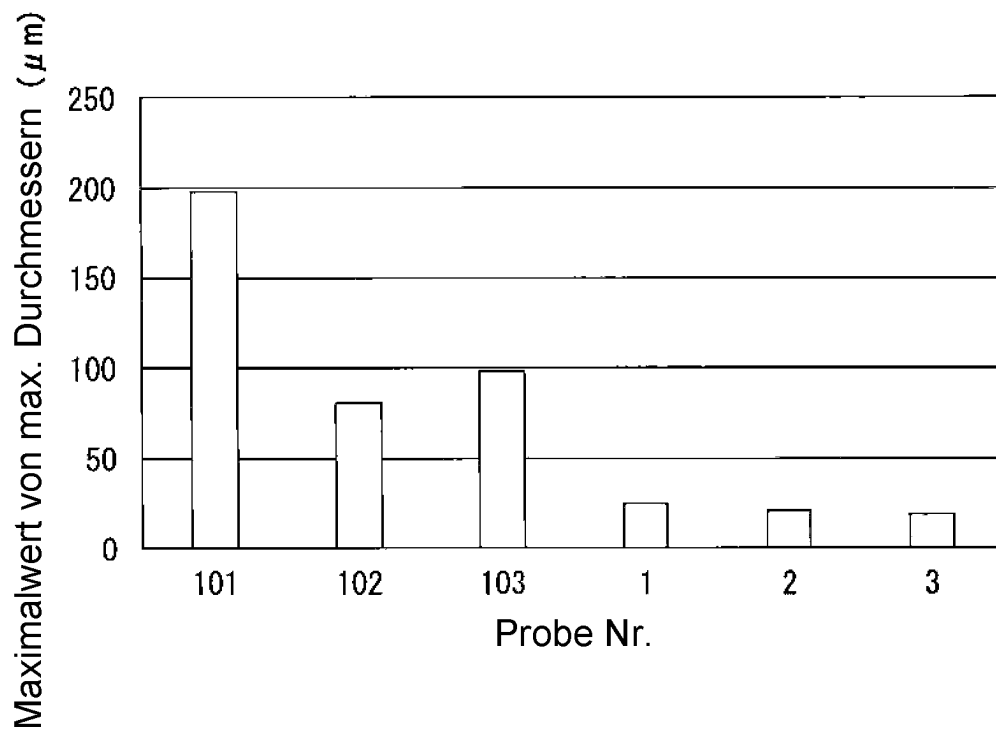
**FIG. 4**



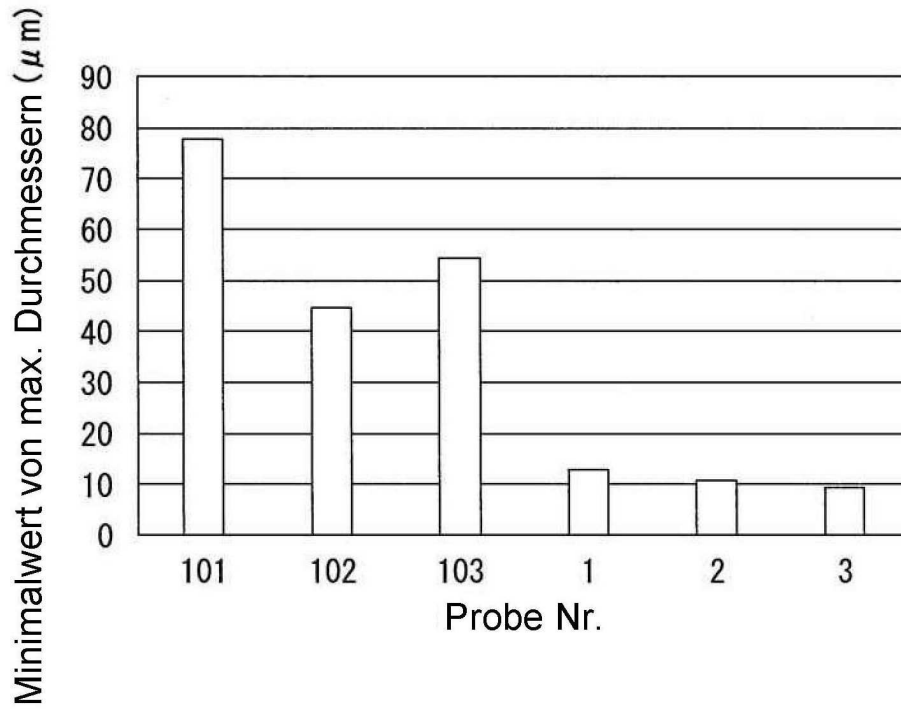
**FIG. 5**



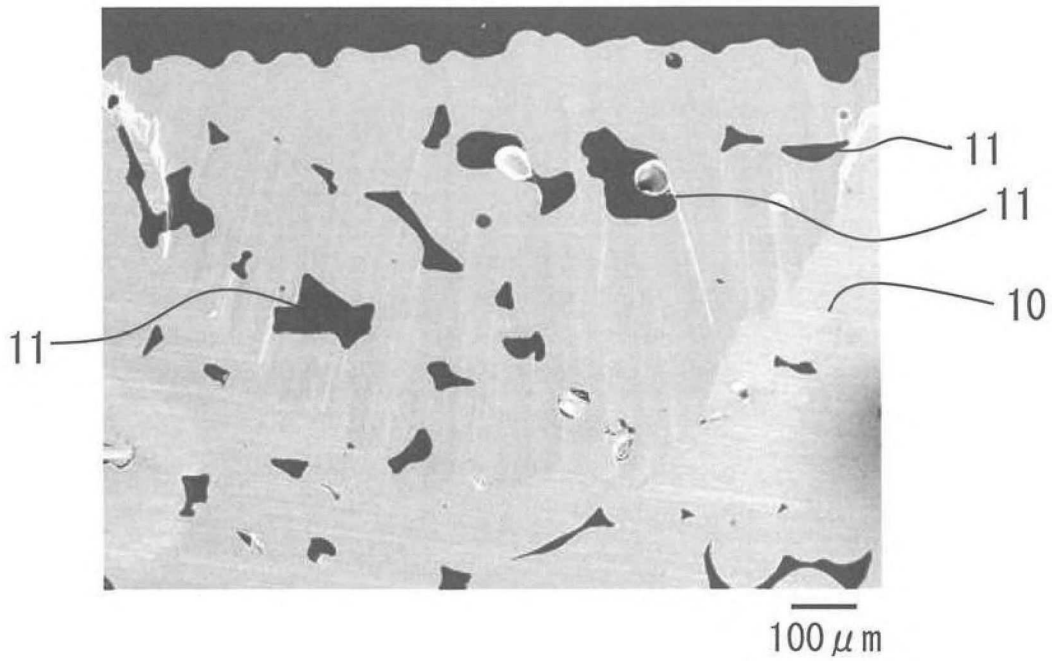
**FIG. 6**



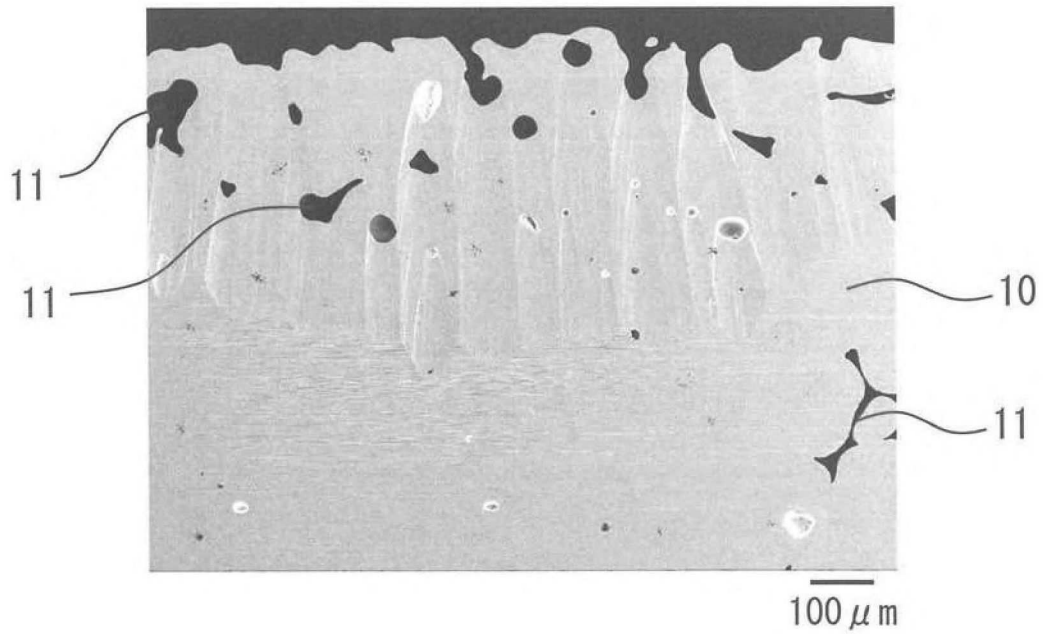
**FIG. 7**



**FIG. 8A**



**FIG. 8B**



**FIG. 8C**

