

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
13. Februar 2003 (13.02.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/011501 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B22F 9/20**

[DE/DE]; Wilhelmstrasse 67, 73433 Aalen-Wasseraltingen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/02692

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. Juli 2002 (22.07.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 35 485.1 20. Juli 2001 (20.07.2001) DE
01127413.1 23. November 2001 (23.11.2001) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SCHWÄBISCHE HÜTTENWERKE GMBH**

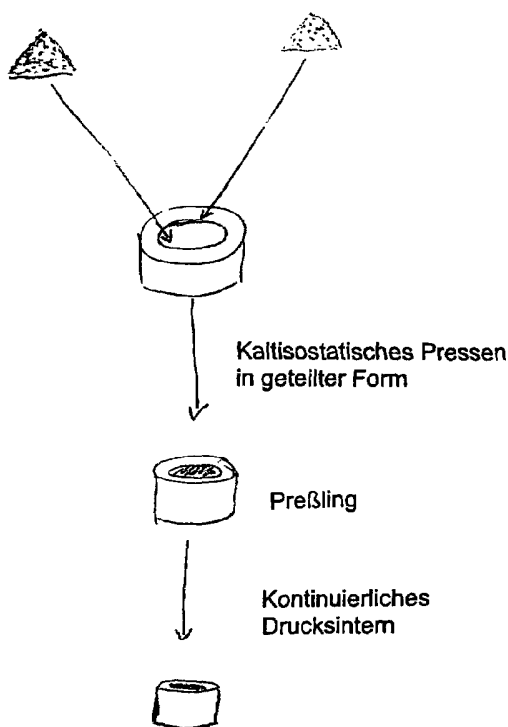
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **ARLT, Manfred** [DE/DE]; Kirchst. 31/1, 73092 Heiningen (DE). **BÖLSTLER, Alfred** [DE/DE]; Im Unteren Feld 15, 73463 Westhausen (DE). **EIBERGER, Anton** [DE/DE]; Johannesstr. 17, 73488 Ellenberg (DE). **HEINRITZ, Manfred** [DE/DE]; Schellingstrasse 98/1, 73431 Aalen (DE). **LAAG, Rainhard** [DE/DE]; Ringstr. 34, 73441 Bopfingen (DE). **POHL, Angelika** [DE/DE]; Zamenhofstr. 56, 70197 Stuttgart (DE). **SCHMID, Jochen** [DE/DE]; Klosterweg 30/1, 73072 Donzdorf (DE). **STOCK, Otto** [DE/DE]; Schulstr. 6, 73447 Oberkochen (DE). **SUBEK, Gerhard** [DE/DE]; Im Mühlfeld 17, 73433 Aalen (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SINTER METAL PARTS WITH HOMOGENEOUS DISTRIBUTION OF NON-HOMOGENEOUSLY MELTING COMPONENTS AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung: SINTERMETALLTEILE MIT HOMOGENER VERTEILUNG NICHT HOMOGEN SCHMELZENDER KOMPONENTEN, SOWIE VERFAHREN ZU IHRER HERSTELLUNG



(57) Abstract: The invention relates to a sinter metal part with a homogeneous distribution of non-homogeneously melting components, essentially comprising non-homogeneously melting non ferrous metal powder mixtures, produced in the following manner: continuous isostatic pressure sintering of the starting material to obtain densities which substantially correspond to the density of a high-temperature isostatically pressed solid having the same composition, using die in conditions avoiding the occurrence of a liquid phase in powder at temperatures of up to 70 % of the metal melting point, preferably up to 60 % of the metal melting point, forming a sinter profile substantially possessing a final contour.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Sintermetallteil mit homogen schmelzender Komponenten, im wstl. aus nicht homogen schmelzenden non-ferrom Metallpulvermischungen, herstellbar durch: kontinuierliches isostatisches Drucksintern des Ausgangsmaterials auf Dichten, die im wstl. der Dichte eines heissisostatisch gepressten Festkörpers gleicher Zusammensetzung entsprechen durch eine Matrize unter Bedingungen, die das Auftreten einer flüssigen Phase im Pulver vermeiden, bei Temperaturen bis zu 70% des Metallschmelzpunktes; bevorzugt bis zu 60% der Metallschmelztemperatur unter Ausbildung eines Sinterprofils, das im wesentlichen Endkontur besitzt.

S LOW- TEMPERATURE ISOSTATIC PRESSING
E PRESSED PART
C CONTINUOUS PRESSURE SINTERING

WO 03/011501 A2



(74) **Anwalt:** KANZLEI NEIDL-STIPPLER & COLL;
Rauchstrasse 2, 81679 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),

eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Sintermetallteile mit homogener Verteilung nicht homogen schmelzender Komponenten, sowie Verfahren zu ihrer Herstellung

Die Erfindung betrifft Sintermetallteile mit homogener Verteilung nicht homogen schmelzender Komponenten, im wstl. aus nicht homogen schmelzenden non-ferrum Metallpulvermischungen sowie Verfahren zu ihrer Herstellung.

Hier werden unter der Bezeichnung non-ferrum auch Metallmischungen verstanden, die Eisen in geringen Mengen, bis etwa 8 Gew.-% aufweisen - geringere Eisenmengen als Legierungszusätze sollen möglich sein.

Die Herstellung gesinterter Teile aus nicht homogen schmelzenden Metallpulvermischungen ist bekannt. Dazu bietet sich üblicherweise das Heißisostatische Pressen (HIP = Hot Isostatic Pressing), das Isostatische Pressen (CIP= Cold Isostatic Pressing) oder aber das Warmsintern an. Alle diese Verfahren vermeiden ein vollständiges Schmelzen der Metallpulvermischung, da sonst Entmischungsphänomene auftreten würden. Bei HIP und CIP müssen die Teile diskontinuierlich einzeln in Druckkammern gesintert werden, was für eine Serienproduktion nur in Ausnahmefällen tragbar ist.

Einen etwas geringeren Aufwand erfordert das drucklose Warmsintern. Dabei wird das zu sinternde Pulver, Granulat, Gries od. dgl. gemeinsam mit Preßhilfsstoffen in endkonturnahe Form in der Regel uniaxial gepreßt und der so hergestellte Grünling in einem Sinterofen bei Temperaturen bei 2/3 bis 4/5 der Schmelz- bzw. Solidustemperatur des Metallpulvers, ggf. unter Schutzatmosphäre, gesintert.

Eine weitere bekannte Technik zur Verdichtung von Metallpulver ist das Pulverschmieden. Es stellt ebenfalls ein diskontinuierliches Verfahren dar, bei dem einzelne Teile in Gesenken produziert werden.

Mehrphasige Pulver und Pulvermischungen werden im allgemeinen in der Nähe der Schmelz- oder Solidustemperatur des am niedrigsten schmelzenden Bestandteils der Mischung gesintert. Bei leicht oxidierenden Materialien findet das Sintern wegen der erhöhten Oxidationsgeschwindigkeit und der langandauernden Haltezeit bei

Sinter Temperatur häufig unter Schutzgasatmosphäre statt. An diese eigentliche Verdichtung des Grünteils schloß sich eine Wärmebehandlung an, die das so gebildete Gefüge verbessert. Danach schließt sich häufig noch eine Nachbearbeitung bzw. Kalibrierung an, bei der die gesinterten Teile in die Endform gebracht werden. Diese zusätzlichen Arbeitsschritte sind bei heißgesinterten Teilen, die beim Abkühlen zu Verzug neigen, kostenintensiv und aufwändig in eine Fertigungslinie zu integrieren.

Generell hatten die nach bekannten Verfahren hergestellten Sinterteile nicht homogen schmelzender Metallmischungen, insbesondere dann, falls nicht homogen schmelzende Pulvermischungen gesintert wurden, häufig durch die unterschiedliche Diffusionsgeschwindigkeit der Elemente bedingte poröse oder entmischte Bereiche, in denen einzelne Phasen der nichtmischbaren Bestandteile inhomogen auskristallisieren. Dies stört das Sintergefüge und dessen mechanisch technologische Eigenschaften nachhaltig. Die Eigenschaften der so hergestellten pulvergesinterten Teile waren demzufolge durch diese Störbereiche, deren Auftreten unvorhersagbar war, verschlechtert und es traten große Unterschiede einzelner hergestellter Sinterteile auf, was sich bspw. in einer erhöhten Neigung zu Materialbrüchen entlang der inhomogenen Bereiche und einer dadurch herabgesetzten Elastizität zeigte. Dies ist besonders dann, wenn die Sinterteile im Betrieb mit wechselnden Belastungen eingesetzt werden - bspw. als Zahnräder, Pumpenräder etc. - nachteilig und die herkömmlichen Verfahren führen aufgrund der hohen Ausschußquote zu hohen Kosten. Schließlich ist das herkömmliche Warmsintern auch energieaufwendig, da hohe Heizkosten für die verschiedenen Warmbehandlungsschritte und das Sintern selbst anfallen.

Es ist demgegenüber Aufgabe der Erfindung, Sinterteile herzustellen, die ein homogeneres, einheitlicheres Metallgefüge aufweisen und weniger aufwendig herstellbar sind.

Die Aufgabe wird durch ein Sintermetallteil mit homogener Verteilung nicht homogen schmelzender Komponenten, im wstl. aus nicht homogen schmelzenden non-ferrum Metallpulvermischungen, herstellbar durch: kontinuierliches isostatisches Drucksintern bei Temperaturen bis zu etwa 70% des Schmelzpunktes des Haupt-

bestandteils der Metallpulverausgangsmischung durch eine Matritze unter Bedingungen, die das Auftreten einer flüssigen Phase im Pulver vermeiden, unter Ausbildung eines endkonturnahen Sinterprofils, gelöst.

Ferner bezieht sich die Erfindung auf Verfahren zur Herstellung eines endkonturnahen Sintermetallteils, gekennzeichnet durch: Herstellen eines nicht endkonturnahen Pulverpreßlings, kontinuierliches isostatisches Drucksintern bei einem Druck gemäß der Formel

$$P_{\min} = \frac{2\sigma_y(T)}{3} \ln \left[\frac{1}{1-D} \right],$$

wobei $\sigma_y(T)$ die Fließspannung des Werkstoffs bei der vorgesehenen

Drucksintertemperatur darstellt und D die relative Dichte des kaltisostatisch vorgepreßten Ausgangsproduktes angibt. Die relative Dichte ist der Quotient aus der absoluten Dichte des vorgepreßten Ausgangsproduktes ρ_0 und der Dichte des massiven Legierung ρ_B .

Der Drucksintervorgang erfolgt durch eine einweiseitig offene Matritze zu einem Sinterprofil; ggf. Trennen des Sinterprofils in Sinterprodukte, Warmbehandeln der Sinterprodukte oder des Sinterprofils und ggf. Nachbearbeiten derselben.

Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Das typische kontinuierliche isostatische Drucksintern bei Temperaturen bis zu etwa 70% des Schmelzpunktes des Hauptbestandteils der Metallpulverausgangsmischung wird bevorzugt auf einer für die Verfahrensparameter angepaßten hydraulischen Strangpresse betrieben - wobei das übliche Strangpressen, das bei homogen schmelzenden Materialien bei Temperaturen in der Nähe des Schmelzpunktes durchgeführt wird, aufgrund von übermäßiger Erwärmung des Preßstranges zu wenig maßhaltigen Produktsträngen führt, die dann bspw. durch Pressen, Schmieden etc. weiterbearbeitet werden müssen.. Das hier verwendete kontinuierliche isostatische Drucksintern bei sehr hohen Drücken gemäß obiger Formel erlaubt es zusätzlich eine Temperatur zu wählen in der die Erwärmung des Pressstranges durch Reibung mit berücksichtigt wird. Die tatsächliche

Vorwärmtemperatur T_v des geCIPten Ausgangsmaterials wird nach folgender Formel bestimmt:

$$T_v = T - \frac{Q_B - Q_\lambda}{\frac{\pi}{4} \rho_0^2 l \rho_B c_B}$$

Darin bedeuten T die Temperatur für die gewählte Warmstreckgrenze des Werkstoffs, Q_B die dem Ausgangsmaterial zugeführte Wärmemenge, Q_λ die an die Werkzeugoberfläche abgegebene Wärmemenge, l die aktive Werkzeuglänge und c_B die Verdichtungsgeschwindigkeit.

Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß durch die mögliche Reduzierung der Vorwärmtemperatur das Pulvermaterial nur wenig und kurzzeitig erwärmt wird - im Gegensatz zum üblichen Strangpressen, bei dem eine durchgängige und höhere Erwärmung des gepreßten Materials erwünscht ist.

Dadurch, daß erfindungsgemäß nun relativ kalt unter weitgehendster Vermeidung der Flüssigphase bei hohen Drücken gepreßt wird, konnte in überraschender Weise Metallpulver zu einem Profil kontinuierlich relativ kalt gesintert werden, von dem bisher angenommen wurde, daß dies nur bei Verfahren möglich sei, die die Grünlinge bei Temperaturen in der Größenordnung von 80 - 90 % des Schmelzpunktes des Hauptbestandteils lange sintern. Es war völlig unerwartet, daß dieses isostatische kontinuierliche Drucksintern bei diesen relativ niedrigen Temperaturen erfolgen kann, wobei unter Verwendung von feinen Ausgangspulvern mit mittleren Korngrößen von 50 bis 150 μm zusätzliche vom heißisostatischen Pressen her bekannte Verdichtungsmechanismen, wie z.B. das Nabarro-Herring-Kriechen von Versetzungen genutzt werden kann.

Es zeigte sich, dass dieses Verfahren Sinterteile mit einer überlegenen Kornstruktur lieferte, die sich durch äußerst homogene Verteilung der nicht mischbaren Bestandteile auszeichnen und daher gegenüber Sinterteilen nach den herkömmlichen Verfahren und auch dem Pulverschmieden bessere elastische Eigenschaften und Duktilität aufweisen. Dieses wurde erreicht, da die stark temperaturabhängige Volumendiffusion, die eine Vergrößerung und Entmischung einzelner Phasen bewirkt, nahezu vollständig unterdrückt wird.

Erfindungsgemäß wird bevorzugt ein Pulverpreßling - durch bekannte Preßverfahren zur Pulververdichtung - ohne Gleitmittel, Schmiermittel oder Sinterhilfsmittel - als Ausgangsmaterial für das kontinuierliche isostatische Pressen eingesetzt. Dieser Pulverpreßling kann bereits eine inhomogene Materialverteilung - insbesondere falls inhomogene Sinterteile - also Verbundteile - erstellt werden sollen, aufweisen.

Typisch ist z.B. eine Außenmaterialschiicht aus anderem, chemisch oder physikalisch widerstandsfähigerem Material - falls bspw. ein bestimmtes Korrosionsverhalten in einer Außen- oder Innenschicht verlangt wird - wie bei pulvermetallurgischen Rohren oder Scheiben - aufweisen. In einer Presse mit Matrize wird dann der Pulverpreßling isostatisch relativ kalt gepresst/gesintert und erfährt durch die Scherkräfte während des Pressens eine Verbindungsreaktion an den Korngrenzen der Bestandteile, ohne daß eine Flüssigphase, die das Entmischen bewirken könnte, auftritt. So kann ein homogenes Sinterprodukt mit überlegenen Materialeigenschaften erhalten werden.

In einer anderen Ausführungsvariante kann dieses durch die Matritze gebildete kontinuierlich erstellte Sinterprodukt durch geregelte Abkühlung bspw. durch Besprühen mit Wasser so abgekühlt werden, dass einmal ein feinkristalliner Zustand durch Abschrecken erzeugt wird oder dass eine definierte Wärmebehandlung, z.B. bei Aluminiumlegierungen eine T4-Wärmebehandlung erfolgen kann. Der abgekühlte Strang kann mechanisch nachbearbeitet werden. So wird üblicherweise das kontinuierlich hergestellte profilartige Sinterprodukt auf Produkthöhe getrennt - durch Sägen, Wasserstrahlschneiden, Laserschneiden oder andere, dem Fachmann geläufige Verfahren. Diese Abschnitte definierter Länge des kontinuierlich hergestellten Sinterprodukts können dann als solche oder nach Nachbearbeitung - wie Oberflächenvergütung oder aber Kalibrieren - verwendet werden. Das so auf Produktlänge abgelängte Sinterteil kann auch bei Bedarf einer Wärmebehandlung unterworfen werden, um das Materialgefüge zu verändern oder zu vergüten. Dazu muß die Wärmebehandlung so ausgelegt werden, daß keine flüssigen Phasen entstehen können.

Eine typische Nachbearbeitung des erfindungsgemäßen Sinterprodukts stellt Kalibrieren auf einer Presse dar, um die maßlich sehr eng tolerierte Endform des Produkts zu erhalten. Ein spanendes Nachbearbeiten oder „machining“ ist üblicherweise nicht notwendig.

Tatsächlich besitzt das bei Temperaturen bis 70% des Schmelzpunktes des Hauptbestandteils gesinterte Produkt bereits fertige Endkontur - dies bedeutet, daß die Nachbehandlungsschritte nur geringfügigen Aufwand erfordern.

Dadurch, daß das Verfahren kontinuierlich gestaltet ist, ist die Herstellungsgeschwindigkeit der überlegene Eigenschaften aufweisenden Sinterteile erheblich höher, als bisher bei den diskontinuierlichen uniaxialen oder isostatischen Pressverfahren zur Erzeugung von Sinterteilen möglich war. Dadurch, daß nun isostatisch kontinuierlich druckgesintert wird, können Phänomene der Entmischung, die bei höheren Sintertemperaturen durch Diffusion der Pulverbestandteile in flüssigen Phasen auftreten können, vermieden werden. Es wird ein feineres und homogeneres Gefüge der nicht homogen schmelzenden Mischungen erhalten als bei den klassischen heißisostatischen Preßverfahren, bei denen noch erhebliche Diffusionsvorgänge, insbesondere die Volumendiffusion im Endstadium der Verdichtung zu einer starken Kornvergrößerung führen und Kristallisationsphänomene mit Entmischung ablaufen können. Die erfindungsgemäß hergestellten Sinterteile aus nicht homogen schmelzenden Metallmischungen zeigen eine bessere Bearbeitbarkeit und höhere Duktilität und höhere Dehnung als solche, die mit Verfahren nach dem Stand der Technik hergestellt wurden. Das zeigt sich im weiteren Fertigungsverlauf in der besseren Nacharbeitbarkeit. Für die Anwendung solcher Bauteile werden die mechanisch, technologischen Kennwerte der Sinterteile, die Elastizität, Zugfestigkeit, und Dehnung sehr günstig beeinflusst. So hat bspw. ein drucklos gesintertes Bauteil aus einer Aluminiumlegierung mit 13 Gew.% Silizium eine Bruchdehnung von unter 0,5%, während ein Bauteil aus der gleichen Legierung, das nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurde, typische Werte in der Bruchdehnung von 7 bis 12% aufweist. Das wird durch Unterdrückung der Bildung von Schmelzphase erreicht, sodass das Gefüge nicht inhomogen teilkristallisieren kann

Prozesstechnisch zeigt sich, daß die Streuung der Materialkennwerte von erfindungsgemäß hergestellten Sinterteilen sehr viel geringer ist, als diejenige warmgesinterter Teile gleicher Zusammensetzung - also engere Materialwertgrenzen aufweisen, als es nach dem herkömmlichen HIP oder dem Warmsintern der Fall ist. Dadurch, daß das Auftreten von Schmelzphasen vermieden wird, können nicht-mischbare Bestandteile, wie Hartphasen, homogen verteilt eingearbeitet werden sowie Materialien, die nach klassischen Sinterverfahren nur sehr schwierig oder gar nicht zugänglich sind. Typischerweise ist das eingesetzte Materialpulver eine Pulvermischung von Metallen bzw. deren Legierungen und weiteren Materialien, wie Hartteilen, Fasern, bzw. Verschleißträgern wie Borcarbid, BN.

Man kann so Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe herstellen, (Metal Matrix Composite), wobei die zweite Komponente faserig oder aber teilchenförmig sein kann.

Als Fasern können Kurz- oder Langfasern bzw. Teilchen in Anteilen zwischen 5 - 30 Vol% zugesetzt sein. Kurzfasern od. Whisker haben eine Länge, die wstl. kleiner als das 100-fache des Faserdurchmessers ist. Lang-, Endlos- od. kontinuierliche Fasern sind solche, deren Faserlänge größer als das 100fache ihres Durchmessers ist. Fasern können zu verbesserter Festigkeit der Sinterteile dienen.

Teilchenverstärkte Materialien (particle reinforced materials) können so ebenfalls hergestellt werden. Also solche mit SiC, Borcarbid etc.

Aufgrund der durch das Verfahren gewährleisteten großen Homogenität können auch andere, typischerweise gesinterte Legierungen, wie Ti-Legierungen, insbesondere Ti/Nb Legierungen, TiAl, und TiAl Nb sowie Co-Ti-B Mg + SiC, Borcarbid, Al₂O₃ oder aber AlPb-Legierungen mit hohem Wärmespeichervermögen, die schmelzmetallurgisch nicht herstellbar sind, verarbeitet werden - also gesinterte Kompositwerkstoffteile kontinuierlich hergestellt werden oder aber Berylliumteile - Magnesiumteile, etc. Typische Zusammensetzungen sind bspw. Aluminium mit Si, Mg, Cu, Zn und ggf. Fe bspw. mit 10 - 40% Si, Mg 0-3%, Cu 0-5%, Zn und Fe 0-7% sowie andere Leichtmetalllegierungen, wie solche von Magnesium, Calcium, Beryllium etc.. Bei Aluminiumsinterteilen bieten sich unter anderem AlSi, AlSiCu, Aluminium-Sinterwerkstoffe: AlCuMg, mit - Al Cu 3.8-4.4, Mg 0,5-1,0; AlMgSi mit Al Si

0.4-0.8 Mg 0.5 - 1.0, AlZnMgCu 0.05 0.6 Cu 0.25-1.6 Mg 0.1 - 1.5 Zn 1.5 8.0, AlSi mit mehr als etwa 7 % Si, an Insbesondere betrifft die Erfindung Leichtmetallsinterteile aus schwer zerspanbaren Leichtmetalllegierungen. Es sind auch übereutektische Legierungen herstellbar, wobei dem Fachmann aufgrund seines Fachwissens weitere Vorteile offensichtlich sind.

Als Vorteile der erfindungsgemäß hergestellten Sinterteile sind unter anderem aufzuführen: Feinste und gleichmäßige Korngrößen von Verschleißträgern, deutlich feinere Verschleißträgerverteilung, keine Seigerungen und Entmischungen, vollkommen homogene Gefüge sowie eine extrem hohe Maßgenauigkeit - die beim Warmsintern auftretenden Verzüge treten beim erfindungsgemäßen Verfahren nicht auf und so werden sehr maßhaltige Teile hergestellt. Die ehemaligen Pulverteilchen sind nach dem erfindungsgemäßen Verfahren im Mikroskop nicht mehr zu erkennen, während die sehr feine Kornstruktur des Gefüges außerdem eine längliche Verformung aufweist, was die Festigkeit des so hergestellten Sinterverbundes auch mechanisch verbessert. Schließlich zeichnen sich die erfindungsgemäßen Sinterteile durch eine mindestens 150% höhere Dehnung als solche gleicher Materialzusammensetzung, die durch Pulverschmieden, Sintern oder Guß hergestellt sind.

Typisch ist das Einarbeiten von Verschleißträgern. Es kann eine feinste und gleichmäßige Korngröße der Verschleißträger und eine deutlich feinere Verteilung derselben gegenüber anderen Verfahren erzielt werden. Es treten keine Seigerungen und Entmischungen auf und es wie ein homogenes Gefüge erhalten. Er handelt sich um ein äußerst einfaches Verfahren zur Herstellung auch hochverschleißfester Sintermetallbauteile mit extrem hoher Maßgenauigkeit. Es können auch übereutektische Legierungen hergestellt werden.

Durch das Einsintern von Fasern, wie Keramikfasern, Kohlenstofffasern oder aber Hartstofffasern werden: höhere Festigkeiten - Steigerung der Zugfestigkeit, Erhöhung des Streckgrenze, Steigerung des Elastizitäts-Moduls, bessere Warmfestigkeit und Kriechbeständigkeit - eine Reduktion des thermischen Ausdehnungskoeffizienten erhalten. Als Verschleißträger oder Hartstoffe sind

typisch SiC-Partikel, AlN, BN, TiB₂, Borcarbid, SiO₂, WC: Fasern, wie Kohlenstofffasern, Metallfasern, Keramik - oder Glasfasern.

Geeignete Metallphasen können ausgewählt sein aus Aluminium, Titan, Kupfer, Beryllium, Magnesium, Calcium, Nickel, Lithium, Chrom, Molybdän, Wolfram, Bronzen, Niob, Blei, Zink und Cobalt .

Es ist auch möglich, das kontinuierliche isostatische Drucksintern bei Temperaturen bis zu etwa 70% des Schmelzpunktes des Hauptbestandteils der Metallpulverausgangsmischung unter Inertgas, wie ein Edelgas, Stickstoff, Kohlendioxid, durchzuführen, falls leicht oxidierbare Materialien, wie Mg, bei Temperaturen bis 70% des Schmelzpunktes des Hauptbestandteils gesintert werden. .

Durch das Verfahren kann auch ein aus mehreren Bereichen unterschiedlicher Zusammensetzung - also ein Sinterteil mit Schichten, Ringen, Streifen etc. bestehender Verbund (bevorzugt Pulverpreßling) gesintert werden. Dies kann bspw. dann interessant sein, falls als Außenmaterial eine Hartschicht benötigt wird - bspw. für Trennscheiben oder dgl. - als Innenmaterial aber ein preiswerteres, duktileres und elastischeres Material gewünscht wird. Bisher mußten derartige Teile separat erstellt und zusammengefügt werden - das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die Herstellung in einem Schritt durch gemeinsames kontinuierliches isostatisches Pressen wodurch dann mehrere Materialien zusammengesintert werden. Ebenso lassen sich Sinterteile mit einer harten Schneidkante aus einer anderen Materialzusammensetzung als andere Bereiche, herstellen.

Weitere Ziele, Merkmale und Vorteile ergeben sich aus der Betrachtung der nachfolgenden Beschreibung und den Ansprüchen gemeinsam mit den begleitenden Zeichnungen. Zum vollständigeren Verständnis der Natur und Ziele der Erfindung wird auf die Zeichnungen bezug genommen, in denen zeigt:

Fig.1 eine schematische Darstellung der Verfahrensschritte im Vergleich mit herkömmlichem Sinterpressen von Aluminium-Siliziumlegierung;

Fig.2 eine mikroskopische Aufnahme von Festkörperschliffen aus der Legierung AlSi14% - hergestellt durch schmelzmetallurgischen Guß, nach dem erfindungsgemäßen Verfahren und nach dem herkömmlichen Sintern.

Fig. 3: Warndruckversuch erfindungsgemäßer Teile

Fig. 4: Reibungszahlkurven von AlSi14% gegen 100 Cr6 - nach dem erfindungsgemäßen Verfahren und durch Sintern hergestellter Teile

Fig. 5: Sinterprodukte mit inhomogenen Abschnitten - schematisch dargestellt.

Fig. 6: Schematischer Verfahrensablauf der Herstellung von Sinterprodukten mit inhomogenen Abschnitten

Nachfolgend wird eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung anhand der Herstellung von AlSi14% Formteilen, die bisher üblicherweise warm gesintert werden, beschrieben - diese ist aber keineswegs auf diese Anwendung beschränkt - es kann nach diesem Verfahren ebenso anderes sinterfähiges metallisches Pulver, wie Ti, Ta, Mg, Be, Cs, Cu bearbeitet werden.

In Fig. 1 ist der Verfahrensablauf gemäß der Lehre der Erfindung schematisch dargestellt. Wie gezeigt, umfaßt das Verfahren die Herstellung eines kontinuierlich gesinterten Teils, das durch kontinuierliches isostatisches Pressen einer sinterfähigen Materialmischung ohne Gleitmittel aus einer durch eine Matrize geschlossenen Sinterform entsteht.

Ausführungsbeispiele:

Beispiel 1:

Herstellung von AlSi14%-Sinterscheiben

Das Ausgangsmaterial - hier eine nicht homogen schmelzende Mischung von Aluminiumpulver mit 13 Gew.-% Siliziumpulver (AlSi schmilzt nur im Bereich 5 - 7% homogen) wird innig gemischt und sodann in eine Pulverpresse zur Herstellung von

nicht endkonturnahen Pulverbolzen überführt. Dort wird es kalt unter hohem Druck zu einem bolzenartigen Grünling gepreßt. Der bolzenartige Grünling wird in eine Anlage zum kontinuierlichen isostatischen Sintern - hier eine Strangpresse - überführt und durch die Matritze unter Sintern gepreßt. Das AlSi14 Sinterteil tritt aus der Matritze bei Temperaturen bis 70% des Schmelzpunktes des Hauptbestandteils als gesintertes kontinuierliche Profil aus, deren Außenkontor endformnah ist. Das kontinuierlich gesinterte Profil wird nun mechanisch entsprechend der erwünschten Scheibenhöhe getrennt und die Materialscheiben bei 250°C über 30 min. warmbehandelt. Die aus der Warmbehandlung stammenden gesinterten Scheiben werden sodann in einer Kalibrierpresse bei einer Kraft von 150. KN kalibriert - d.h. die endgültige, maßlich sehr eng tolerierte Form erzielt. Die so hergestellten Sinterteile müssen im Gegensatz zu herkömmlich heißisostatisch gepreßten Teilender gleichen Zusammensetzung nicht mehr entkapselt werden und weisen ein für das Kalibrieren ausreichendes Fließverhalten auf. Sie können dann ohne weitere Nachbearbeitung als Fertigteile eingesetzt werden.

Beispiel 2 (Vergleichsversuch):

Es wurden AlSi14%-Sinterteile, herkömmlich durch Sintern hergestellt, indem aus Aluminiumpulver mit 14 Gew.-% Silizium Si ein Grünling mit Presshilfsmittel Hoechst Wachs C zu einer Scheibe gepreßt, diese Scheibe sodann in einem Warmbehandlungsschritt .20 min mit 410 °C behandelt, nachfolgend im Sinterofen , 30 min mit 590°C gesintert und nachfolgend nochmals über 240 min bei .400°C warmbehandelt, als Vergleichsprodukte hergestellt.

In Fig. 2 ist ein Vergleich der Mikrostrukturen der Sinteraluminiumscheiben aus AlSi14, hergestellt mit herkömmlichem Warmsintern gemäß Vergleichsversuch und nach dem erfindungsgemäßen isostatischen Pressen hergestellt, gezeigt. Deutlich zeigt sich, daß das erfindungsgemäß hergestellte Teil eine geringere Korngröße und weniger entmischte Bereiche aufweist - das erfindungsgemäß hergestellte Sinterteil also homogener in seinen Eigenschaften ist.

In Fig. 3 sind Reibungszahlkurven von heißisostatisch gepressten AlSi14% Formkörpern und kontinuierlich isostatisch druckgesinterten erfindungsgemäßen AlSi14% Formkörpern gegen 100Cr6 gezeigt.

Deutlich erkennt man, daß das isostatische druckgesinterte Material zunächst eine größere Oberflächenrauigkeit aufweist, die aber schnell ausgewalzt wird, sodaß die Reibungszahl im späteren Verlauf des Reibungsversuches für das isostatisch druckgesinterte Material geringer ist, als für das heißisostatisch gepreßte Produkt. Dies spricht für eine höhere -Duktilität des isostatisch druckgesinterten Materials.

TABELLE 1

Materialkennwertbereiche für AlSi14%

(bei Raumtemperatur, falls nicht anders angegeben)

<u>Zusammensetzung</u>	<u>HIP-AlSi14</u>	<u>erfindungsgem. AlSi14</u>
Dichte g/cm ³	2,65	2,7
Härte HB	95 - 150	80-105
Zugfestigkeit N/mm ²	210 - 250	260 - 280
Streckgrenze N/mm ²	130-210	160-180
Dehnung %	0,5	3-12
E-Modul GPa	<80	<80
Si-Korngröße in µm	10-20	5-10
Si-Verteilung im Gefüge	rel. homogen	vollst. homogen
Flächenpressung N/mm ² bei 150°C	780	550

Deutlich ist aus Tabelle 1 ersichtlich, daß die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Sinterkörper eine geringere Streuung aufweisen -also genauer einstellbar sind und somit auch weniger Fehlteile liefern. Die Sinterteile sind homogener und auch dehnbarer wodurch ein verbessertes elastisches Verhalten, wie es insbesondere von mechanisch beanspruchten Teilen, wie Kettenräder gegen Stahlketten, Rotor und Stator in einem Nockenwellenverstellungssystem oder Ölpumpenteilen, Lagerteilen, Pumpenrädern etc. verlangt wird.

Schließlich wurde ein Warndruckversuch mit dem isostatisch druckgesinterten Teil durchgeführt - es zeigte sich, daß nach Auslagerung der hergestellten AlSi14-Pro-

ben über 500 und 1000h in Luft bei 150°C praktisch keine Änderung in der Warmdruckfestigkeit, Druckdehnung oder der Druckstreckgrenze auftritt. (Tabelle 1)

Aus Tabelle 1 ergibt sich, daß die Festigkeit des isostatisch kontinuierlich gesinterten erfindungsgemäßen AlSi14% Teils deutlich besser ist, als des heißisostatisch gepressten Teils.

In Fig. 5 ist das Ergebnis der Herstellung erfindungsgemäßer Sinterteile mit unterschiedlichen Materialbereichen gezeigt - hier in Fig. 5a ein geschnittenes rundes Sinterteil mit anderer Außenschicht - in Fig. 5b ein zweischichtiges eckiges Sinterteil; in Fig. 5c ein rohrförmiges Sinterteil mit verschiedenen Schichten; in Fig. 5d eine streifenförmige Verteilung in Sinterteilen. Ein Verbinden verschiedener Sintermaterialien ist somit gleichzeitig mit der Herstellung des Sinterteils möglich - bspw. das Aufbringen einer mit Hartstoffen verstärkten Außenschicht kann so durch direktes „Mitansintern“ als getrennter Verfahrensschritt vermieden werden - etc.

Beispiel 3:

Herstellung einer Sintermaterialscheibe mit hartem Außenmaterial und leicht bearbeitbarem Innenmaterial

Es wird eine Pulvermischung aus legiertem AlMg1-Pulver und 2 Gew.-% Silizium-Pulver für die Mischung des Innenmaterials und eine Pulvermischung aus Aluminiumpulver mit 40% SiC für das Außenmaterial innig gemischt und in einer geteilten Preßform, die einen entsprechenden Pulverbolzen mit AlSi als Kern und AlSiC als Mantel herstellt, gepreßt. Dieser Pulverbolzen wird in eine kontinuierliche isostatische Presse mit einer runden Matritze eingebracht und unter hohem Druck bei Temperaturen bis 70% des Schmelzpunktes des Hauptbestandteils gesinterten runden Sinterprofil verarbeitet. Das so hergestellte Sinterprofil wird mittels Wasserstrahl in Scheiben von 15 mm Höhe geschnitten. Diese Scheiben eignen sich als Pumpenräder für Öl- und Wasserpumpen, die eine leicht bearbeitbare Innenzone für das Einbringen von Bohrungen aufweisen, während der Außenbereich mit der SiC-Hartteilphase widerstandsfähig gegenüber Abrieb ist.

Selbstverständlich ist diese Erfindung nicht auf die exakte Konstruktion oder die aufgeführten oder beschriebenen Ausführungsbeispiele begrenzt ist, sondern es sind unterschiedliche Abänderungen ohne Abweichen von Kern- und Schutzzumfang der Erfindung für den Fachmann offensichtlich.

PATENTANSPRÜCHE

1. Sintermetallteil mit homogener Verteilung nicht homogen schmelzender Komponenten, im wstl. aus nicht homogen schmelzenden non-ferrum Metallpulvermischungen, herstellbar durch:
kontinuierliches isostatisches Drucksintern des Ausgangsmaterials auf Dichten, die im wstl. der Dichte eines heißisostatisch gepressten Festkörpers gleicher Zusammensetzung entsprechen durch eine Matrize unter Bedingungen, die das Auftreten einer flüssigen Phase im Pulver vermeiden, bei Temperaturen bis zu 70% des Metallschmelzpunktes; bevorzugt bis zu 60% der Metallschmelztemperatur unter Ausbildung eines Sinterprofils, das im wesentlichen Endkontur besitzt.
2. Sintermetallteil nach Anspruch 1, ferner gekennzeichnet durch: mechanische Bearbeitung des Sinterprofils, wie durch Trennen auf Produktlänge bzw. -höhe unter Herstellung von Sinterprodukten.
3. Sintermetallteil nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch Warmbehandeln der Sinterrohprodukte.
4. Sintermetallteil nach Anspruch 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, daß das eine um mindestens etwa 150% höhere Dehnung, bevorzugt etwa 120% höhere Dehnung als warmgesinterte Sinterteile aufweist
5. Sintermetallteile nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsmischung des zu sinternden Materialpulvers im wesentlichen Metalle und Metallegierungen, sowie geringere Mengen an Legierungsbestandteilen, Hartstoffen, Verschleißträgern, Fasern aufweist.
6. Sintermetallteile nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Metall ausgewählt ist aus Al, Ti, Cu, Mg, Be, Ni, Cr, Mo, W, Bronzen, Nb, Pb Co, Zn.
7. Sintermetallteil nach Anspruch 6, gekennzeichnet dadurch, daß das kontinuierliche Drucksintern unter Inertgas, wie ein Edelgas, Stickstoff, Kohlendioxid, durchgeführt wird.

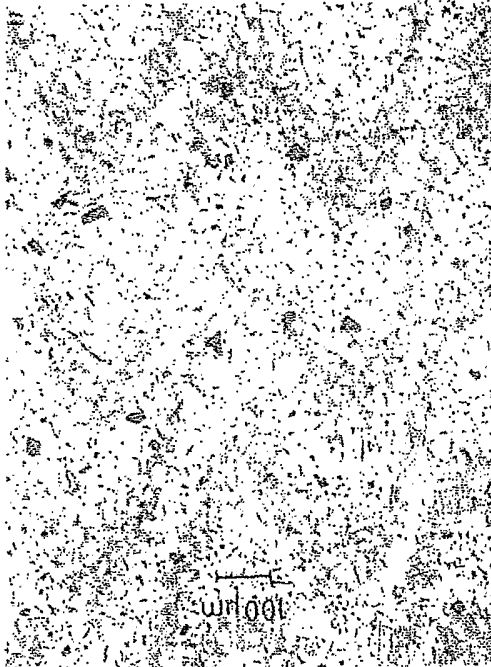
8. Sintermetallteil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der als Ausgangsprodukt des kontinuierlichen kaltisostatischen Pressens eingesetzte Preßling Bereiche unterschiedlicher Materialzusammensetzung aufweist.
9. Sintermetallteil nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß es definierte Bereiche unterschiedlicher Zusammensetzung aufweist, wie Schichten, Streifen, runde geschlossene Formen, Polygone.
10. Verfahren zur Herstellung eines endkonturnahen Sintermetallteils nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch: Herstellen eines Pulverpreßlings, kontinuierliches kaltisostatisches Sintern desselben durch eine zweiseitig offene Matrize zu einem Sinterprofil auf Dichten, die der Dichte des Festkörpers entsprechen; ggf. Trennen des Sinterprofils in Sinterprodukte, ggf. Warmbehandeln der Sinterprodukte oder des Sinterprofils und ggf. Nachbearbeiten derselben.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Nachbearbeiten Kalibrieren in einer Kalibrierpresse aufweist.

Verfahrensvergleich Aluminiumsinter- ERFINDUNG

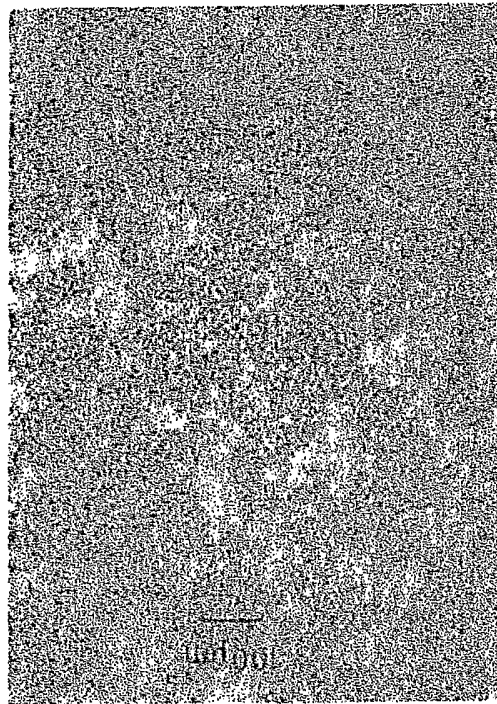
Aluminiumsinter	SHW ERFINDUNG
Pressen	CIP
Sintern 500°C Stickstoff - Vakuum	Drucksintern und Trennen
Warmbehandlung	
Kalibrieren	Kalibrieren / Facettieren
Warmbehandlung	Warmbehandlung optional
Endkontrolle und Versand	Endkontrolle und Versand

FIG.1

Schmelzmetallurgisches
Aluminium 14% Si



Sinteraluminium
14% Si



Erfindungsgemässes
Aluminium CISE-
Verfahren 14% Si

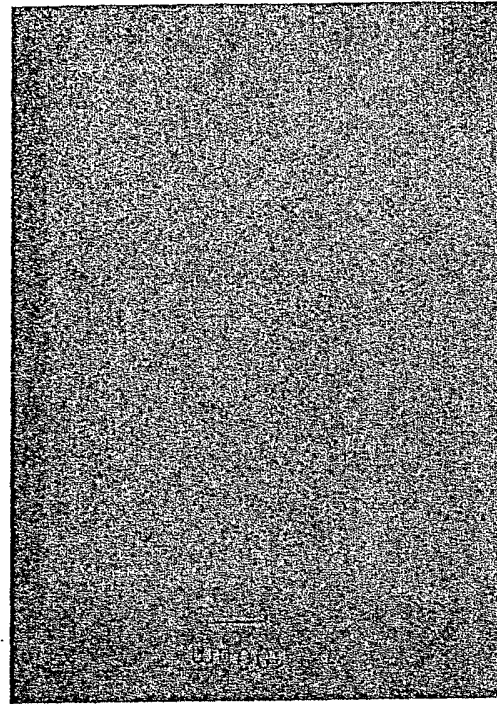
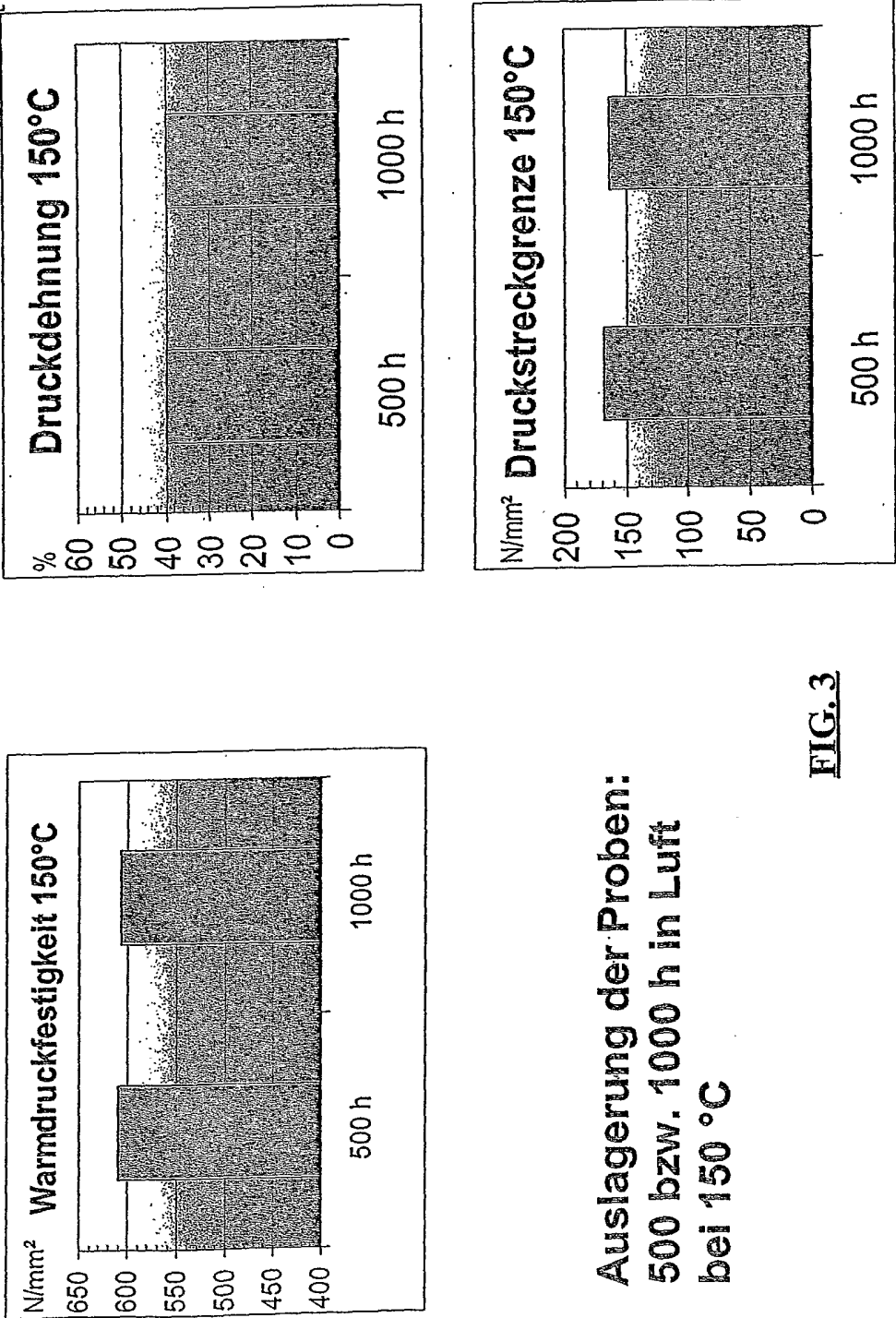


FIG. 2

Warmdruckversuch 150°C erfindungsgem. SHW-CISIZE Sinteraluminium

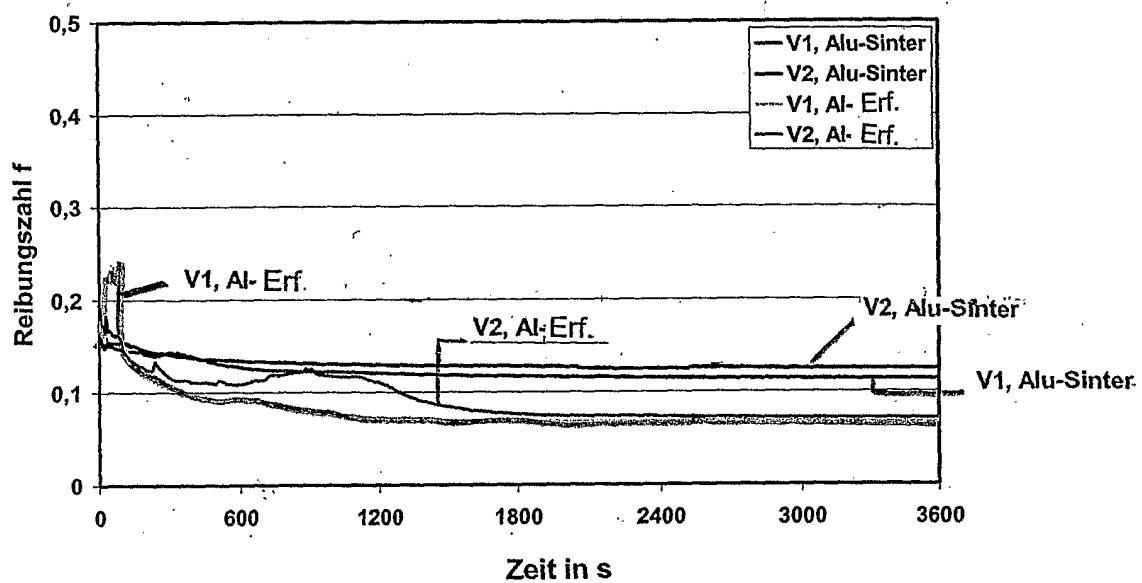
Erfindungsgem. SHW-CISIZE Sinteraluminium



Auslagerung der Proben:
500 bzw. 1000 h in Luft
bei 150 °C

FIG. 3

Reibungszahlkurven gegen 100Cr6



**Reibungszahl-Kurven gegen
100Cr6 bei 40°C / 90 N:
Anfänglich erhöhter Reibwert
bei erf. Al-CISIZE, danach stabiles
Verhalten.**

FIG. 4

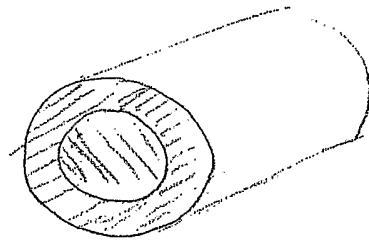


FIG. 5a

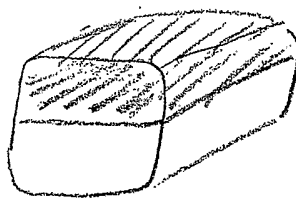


FIG. 5b

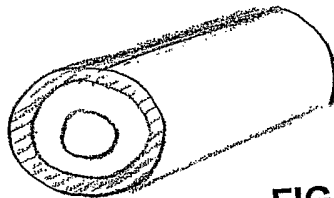


FIG. 5c

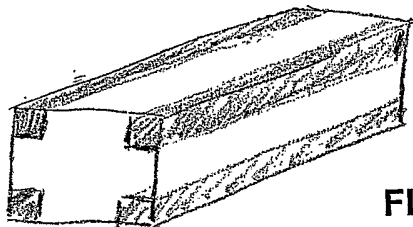


FIG. 5d

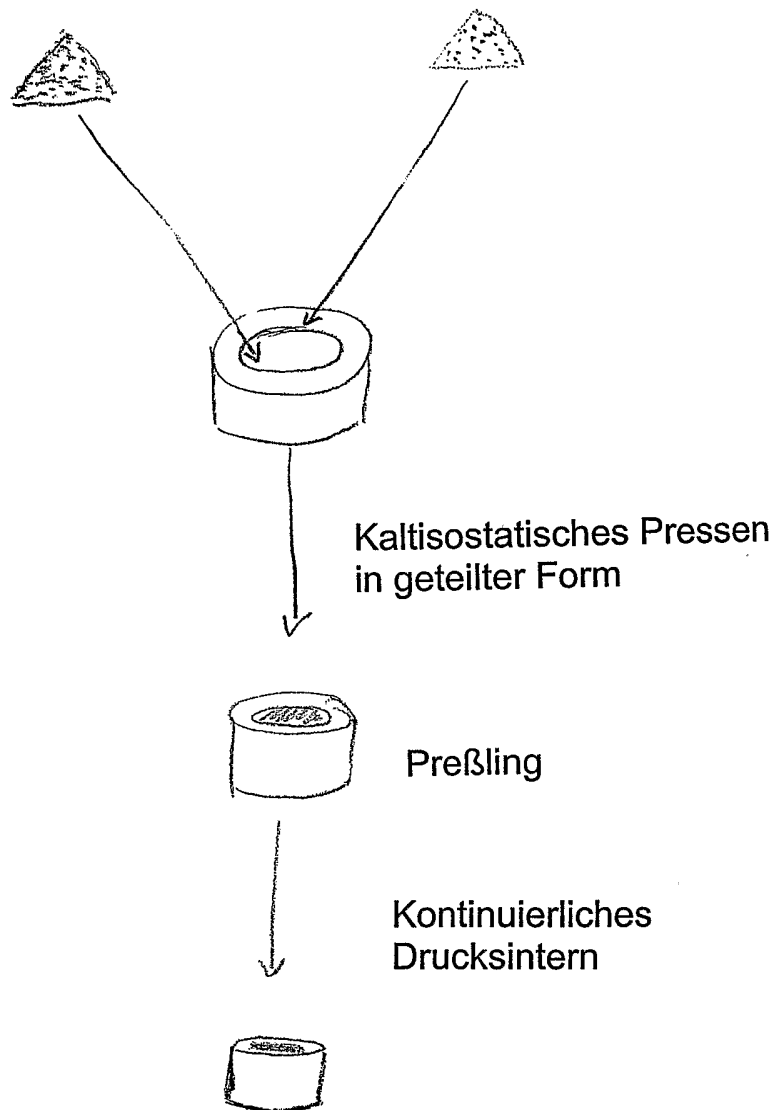


FIG. 6