(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
15. Oktober 2015 (15.10.2015)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/154201 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B22F 3/15 (2006.01) *F16C 35/00* (2006.01)
B22F 7/06 (2006.01) *B22F 7/00* (2006.01)
C22C 1/04 (2006.01) *C22C 29/08* (2006.01)
C22C 29/10 (2006.01) *C22C 32/00* (2006.01)
C22C 33/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH2015/000052

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. April 2015 (01.04.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
14405029.1 7. April 2014 (07.04.2014) EP

(71) Anmelder: **BUSS AG** [CH/CH]; Hohenrainstrasse 10, CH-4133 Pratteln (CH).

(72) Erfinder: **WALTER, Wolfgang**; Rotfeldstrasse 16, 73434 Aalen (DE). **TROST, Martin**; Sonnhalde 36, 79713 Bad Säckingen (DE). **SUTER, André**; Waldhofstrasse 15, CH-4210 Rheinfelden (CH). **HOFER, Beat**; Steinmattstrasse 25, CH-4552 Derendingen (CH).

(74) Anwalt: **R. A. EGLI & CO., PATENTANWÄLTE**; Horneggstrasse 4, Postfach, 8034 Zürich (CH).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SELF-LUBRICATING COMPOSITE MATERIAL AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung : SELBSTSCHMIERENDER VERBUNDWERKSTOFF UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG

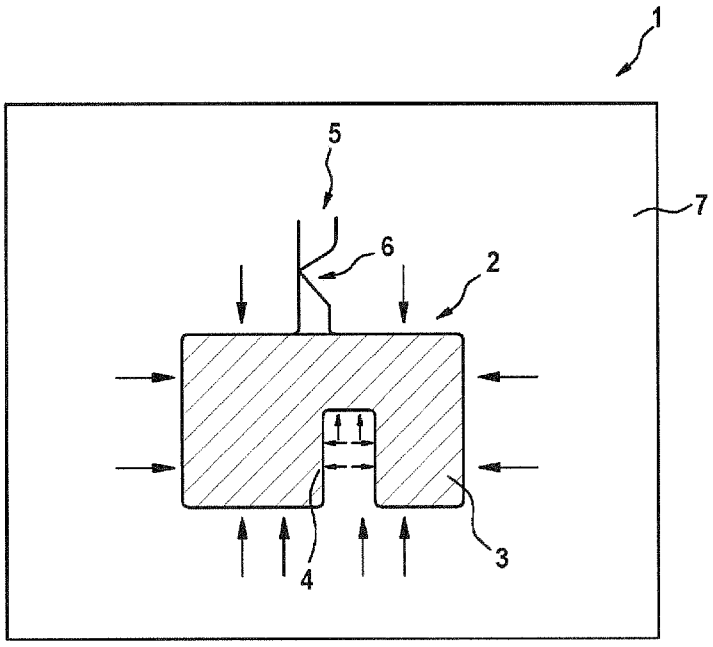


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method (21) for producing a self-lubricating composite material, wherein a powdery primary metal material is mixed with a likewise powdery secondary material, and the mixture (3) is subjected to a hot-isostatic pressing process (28). In order to do so, the mixture of the primary material and secondary material is filled into a shaping mold, and the mold is evacuated, whereupon the actual hot-isostatic pressing process is carried out. This makes it possible to obtain a substantially compact desired material.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren (21) zur Herstellung eines selbstschmierenden Verbundwerkstoffs, bei dem ein in Pulverform vorliegender metallischer Primärwerkstoff mit einem ebenfalls in Pulverform vorliegenden Sekundärwerkstoff vermischt wird und das Gemisch (3) einem heiss-isostatischen Pressverfahren (28) unterzogen wird. Dabei wird das Werkstoffgemisch aus Primärwerkstoff und Sekundärwerkstoff in eine formgebende Form gefüllt, die Form wird evakuiert und anschliessend wird das eigentliche heiss-isostatische Pressverfahren durchgeführt. Auf diese Weise ergibt sich ein im Wesentlichen kompakter Zielwerkstoff.

WO 2015/154201 A1

GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Selbstschmierender Verbundwerkstoff und Verfahren zu dessen Herstellung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines selbstschmierenden Verbundwerkstoffs. Weiterhin betrifft die Erfindung einen selbstschmierenden Verbundwerkstoff, die Verwendung eines selbstschmierenden Verbundwerkstoffs sowie eine mechanische Vorrichtung.

Die Verwendung von Festschmierstoffen (Feststoffschmierstoffen) ist im Stand der Technik in manchen Bereichen üblich geworden. Ein Beispiel für einen Festschmierstoff ist beispielsweise Graphit oder Molybdänsulfid. Derartige Festschmierstoffe wirken grundsätzlich ähnlich wie die allgemein bekannten flüssigen Schmierstoffe, wie insbesondere Schmieröle. Ein Vorteil bei Festschmierstoffen ist jedoch, dass diese insbesondere in bestimmten Umgebungsbedingungen eine grössere Langlebigkeit aufweisen, da sie nicht oder zumindest in geringerem Ausmass von der zu schmierenden Oberfläche abdampfen bzw. von dieser beispielsweise durch Lösevorgänge abgetragen werden. Zum Teil werden Festschmierstoffe auch anstatt zur Schmierung ganz im Gegenteil zur Herstellung kontrollierter Reibungsbedingungen verwendet. Dies wird beispielsweise bei Kraftfahrzeugbremsen genutzt.

Grundsätzlich ist es möglich, dass Festschmierstoffe beispielsweise „per Hand" in den betreffenden, zu schmierenden Bereich eingebracht werden. Ein Nachteil bei einem derartigen Verfahren besteht darin, dass von Zeit zu Zeit ein „Nachschmieren" erforderlich ist. Mit anderen Worten erweist es sich als erforderlich, dass beispielsweise fortgeschwemmter

Festschmierstoff (beispielsweise durch Abtragungsvorgänge) ersetzt werden muss.

Zwischenzeitlich hat sich auch die Idee etabliert, Festschmierstoffe als integralen Teil von Materialgemischen zu verwenden. In einem derartigen Fall werden die betreffenden Festschmierstoffe als kleine partikelhafte Beimengungen dem eigentlichen Werkstoff (beispielsweise ein metallischer Werkstoff) hinzugefügt. In einem derartigen Fall erfolgt durch einen verschleissbedingten Abtrag des betreffenden Materials eine selbstständige Schmierung. Vorrichtungen, die mithilfe derartiger Materialien aufgebaut sind, weisen eine typischerweise sehr hohe Standzeit auf und sind insbesondere für Anwendungen geeignet, die vergleichsweise schwer zugänglich sind (sodass ein Wartungseingriff problematisch ist) und/oder die beispielsweise aufgrund grosser vorherrschender Kräfte einen vergleichsweise hohen Verschleiss aufweisen.

Ein Beispiel für einen, ein Feststoffschmiermittel aufweisenden metallischen Werkstoff ist in der Deutschen Offenlegungsschrift DE 1 533 222 A1 beschrieben. Ebenso findet sich dort ein für die Herstellung eines derartigen Werkstoffs geeignetes Verfahren. Das dort vorgeschlagene Verfahren ist ein sogenanntes Sinterverfahren, bei dem die unterschiedlichen Ausgangsmaterialien in Pulverform vorliegen, miteinander vermischt werden und in einem Ofen über eine längere Zeitdauer hinweg erhitzt werden. Beim in DE 1 533 222 A1 vorgeschlagenen Sinterverfahren erfolgt der eigentliche Sintervorgang (Erhitzung im Ofen) unter Standard-Atmosphäre, gegebenenfalls auch unter einer Schutzgasatmosphäre, jedoch unter Standard-Atmosphärendruck. Dies hat zur Folge, dass der resultierende Werkstoff eine typischerweise nicht unerhebliche Restporosität aufweist. Dies führt zu einer verminderten Festigkeit des

erzeugten Werkstoffs.

Ein neuartiger Festschmierstoff sowie eine unter Verwendung des dort vorgeschlagenen Festschmierstoffs hergestellte festschmierstoffhaltige Bremsbelagrezeptur sind der Europäischen Patentschrift EP 1 070 109 B1 zu entnehmen. Auch hier wird vorgeschlagen, den Festschmierstoff durch ein Sinterverfahren zu erzeugen. Es wird vorgeschlagen, metallisches Zinn in feinverteilter Form mit Schwefel und Kohlenstoff unter Inertgas- oder Luftatmosphäre für eine Zeitdauer von 0,1 bis 6 Stunden Temperaturen von 200 °C bis 1500 °C auszusetzen. Auch hier erfolgt der Sintervorgang unter Standard-Atmosphärendruck. Dementsprechend kommt es auch hier zu einem Werkstoff mit einer nicht unerheblichen Restporosität.

In der europäischen Patentanmeldung EP 1 652 608 A1 wird ein Verfahren zum Herstellen einer Hartstoffschicht sowie ein mit einer derartigen Hartstoffschicht beschichtetes Produkt vorgeschlagen. Dabei wird auf der gesamten Oberfläche eines Gegenstandes aus einem Material mit einem relativ hohen Ausdehnungskoeffizienten, wie beispielsweise Stahl (wobei die Oberfläche auch diffizile Zonen wie scharfe Ecken aufweisen kann), eine den Hartstoff enthaltende Schicht durch heiss-isostatisches Pressen aufgebracht. Um dem Abplatzen, Aufbrechen usw. insbesondere der kritischen Zonen vorzubeugen werden als Hartstoffe Karbide und/oder Boride verwendet, da diese einen Ausdehnungskoeffizienten von mindestens 6 aufweisen.

In der japanischen Offenlegungsschrift JP 2008-298258 A1 wird ein Gleitkontaktaufbau mit einem ersten Element und einem zweiten Element vorgeschlagen, bei dem eines der Elemente in Bezug auf das andere Element gleitfähig gehalten wird. Dabei

enthält das erste Element 5 bis 40 Vol.-% Festschmierstoffteilchen und 5 bis 40 Vol.-% harte Teilchen in einer Metallbasis, die eine Matrix bildet. Das zweite Element enthält 5 bis 50 Vol.-% Bornitridteilchen in einer Basis mit Siliziumnitrid als Grundmaterial. Für die Herstellung der Elemente werden unterschiedliche, alternativ verwendbare Heissformverfahren vorgeschlagen, wie beispielsweise Heisspressen (heiss-isostatisches Drucksintern oder dergleichen) oder eine Heissextrusionsverarbeitung. Darüber hinaus werden weitere Alternativverfahren vorgeschlagen, wie Verfahren, bei denen das zusammengesetzte Pulver zunächst pressgeformt wird (einachsige Presse, kalt-isostatische Druckformung oder dergleichen) und der Presspulverkörper anschliessend bei Normaldruck gesintert oder vakuumgesintert wird.

Gerade bei Anwendungen, bei denen grosse Kräfte und/oder ein damit einhergehender grosser Verschleiss der betreffenden Oberflächen einhergeht, ist das Vorhandensein einer Restporosität unerwünscht. Versuche haben nämlich gezeigt, dass speziell eine Restporosität im Werkstoff zu einem erhöhten Verschleiss im Bereich der Lagerflächen infolge von Zerrüttung führen kann, was naturgemäss unerwünscht ist. Darüber hinaus kann die Porosität zu hygienischen Problemen führen. Dies ist insbesondere im Bereich der Lebensmitteltechnik, aber auch im medizinischen Bereich ein unter Umständen gravierendes Problem.

Dementsprechend besteht nach wie vor ein Bedarf an selbstschmierenden Werkstoffen, die gegenüber im Stand der Technik bekannten selbstschmierenden Werkstoffen verbesserte Materialeigenschaften aufweisen. Insbesondere ist es erwünscht, dass der resultierende selbstschmierende Werkstoff eine be-

sonders hohe Festigkeit und Standzeit aufweist. Darüber hinaus sollte der resultierende selbstschmierende Werkstoff auch hygienisch möglichst einwandfrei sein.

Die vorgeschlagene Erfindung löst die Aufgabe.

Es wird vorgeschlagen, dass ein Verfahren zur Herstellung eines selbstschmierenden Verbundwerkstoffs, bei dem ein Primärwerkstoff, der als vorzugsweise harter, metallischer Werkstoff in Pulverform vorliegt, mit einem Sekundärwerkstoff, der als im Verhältnis zum Primärwerkstoff weicherer Werkstoff in Pulverform vorliegt, vermischt wird und das Gemisch einem heiss-isostatischen Pressverfahren unterzogen wird, derart durchgeführt wird, dass das heiss-isostatische Pressverfahren in einer formgebenden Form durchgeführt wird, wobei die mit dem heiss-isostatisch zu pressenden Werkstoffgemisch befüllte formgebende Form vor dem heiss-isostatischen Pressverfahren evakuiert wird, und das Werkstoffgemisch im Laufe des heiss-isostatischen Pressverfahrens in der formgebenden Form druckbeaufschlagt wird, sodass sich ein zumindest im Wesentlichen kompakter Zielwerkstoff ergibt. Die Eigenschaft einer Selbstschmierung des Werkstoffs (Verbundwerkstoffs) wird insbesondere dadurch realisiert, dass der resultierende Werkstoff („Zielwerkstoff"; Verbundwerkstoff) einen Anteil an zumindest einem Typ von Schmierstoff aufweist, insbesondere zumindest einem Typ von Festschmierstoff. Dementsprechend kann anstelle eines „selbstschmierenden (Verbund-)Werkstoffs" auch von einem „schmierstoffhaltigen (Verbund-)Werkstoff", insbesondere von einem „festschmierstoffhaltigen (Verbund-)Werkstoff" gesprochen werden. Bei dem Primärwerkstoff handelt es sich - wie bereits erwähnt - um einen insbesondere metallischen Werkstoff, der in Pulverform bereitgestellt wird. Insbesondere handelt es sich um einen harten Werkstoff. Hierbei ist nicht

nur an „Reinmetalle" zu denken (wie beispielsweise Eisen), sondern auch an insbesondere metallische Werkstoffmischungen (beispielsweise Legierungen). Rein beispielhaft ist hier an diverse Stähle und/oder an jegliche Form von kommerziell erhältlichen harten Materialmischungen zu denken. Bei „hart" kann man insbesondere an eine Härte von ≥50, ≥51, ≥52, ≥53, ≥54, ≥55, ≥56, ≥57, ≥58, ≥59, ≥60, ≥61, ≥62, ≥63, ≥64, ≥65, ≥66 oder ≥67 HRC denken (HRC steht für die sogenannte Rockwellhärte). Insbesondere im Falle von Härten ≥ 60 wird typischerweise von verschleissfesten Sonderlegierungen gesprochen. (Wobei auch andere Grenzwerte, insbesondere die vorab genannten Werte, genutzt werden können.) Der weichere Sekundärwerkstoff liegt ebenfalls in Pulverform vor. Unter „weicher" kann grundsätzlich jede beliebige Härtepaarung verstanden werden. Es kann also insbesondere auch der Fall sein, dass beispielsweise ein „normal fester Stahl" (als weicheres Sekundärmaterial) mit einem hochfesten Stahl oder einer anderen hochfesten Sonderlegierung (als Primärmaterial) vermischt wird. Wesentlich ist, dass die Härte des Sekundärmaterials geringer ist als die Härte des Primärmaterials (wobei bereits ein Härteunterschied von beispielsweise einer, zwei, drei, vier, fünf, sechs, sieben, acht, neun oder zehn (und mehr) HRC-Stufen ausreichend sein kann). Als bevorzugt kann es sich erweisen, wenn als Sekundärwerkstoff ein „klassischer" im Stand der Technik bekannter Festschmierstoff verwendet wird, wie beispielsweise Graphit oder dergleichen. Die zur Verfügung zu stellenden Pulver können grundsätzlich jede beliebige Formgebung aufweisen (wie beispielsweise kugelige, spratzige, eckige, gebrochene oder verformte Pulverpartikel aufweisen). Ebenso ist es möglich, dass die Pulver durch jegliche, im Stand der Technik bekannte Verfahren erzeugt werden, wie insbesondere durch Verdüsen, Materialzerstäubung, Granulation oder mechanischen Spanabtrag. Dabei können die verwendeten

Pulver auf gleiche Weise hergestellt werden und/oder eine gleichartige Formgebung aufweisen. Ebenso ist es auch möglich, dass unterschiedliche Herstellungsverfahren und/oder Formgebungen genutzt werden. Dies ist nicht nur im Verhältnis Primärwerkstoff zu Sekundärwerkstoff möglich. Auch das Pulver des Primärwerkstoffs bzw. das Pulver des Sekundärwerkstoffs kann gegebenenfalls ein Gemisch aus Pulvern mit unterschiedlicher Formgebung und/oder Pulvern, die auf unterschiedliche Weise hergestellt wurden, sein. Die miteinander vermischten Pulver (wobei grundsätzlich jegliches im Stand der Technik bekannte Mischverfahren genutzt werden kann) werden anschliessend einem heiss-isostatischen Pressverfahren unterzogen. Das heiss-isostatische Pressverfahren wird derart durchgeführt, dass das heiss-isostatische Pressen (gegebenenfalls auch weitere Verfahrensschritte) in einer formgebenden Form durchgeführt wird. „Heiss-isostatisch" bedeutet dabei, dass der Pressvorgang einerseits unter einer Druckbeaufschlagung, und zusätzlich in aller Regel auch unter einer erhöhten Temperatur erfolgt. Das heiss-isostatische Pressverfahren kann im Übrigen in mehreren „zeitlichen Abschnitten" erfolgen. Es kann sich als ausreichend erweisen, wenn lediglich ein „Zeitabschnitt" des eigentlichen heiss-isostatischen Pressverfahrens wie vorgeschlagen druckbeaufschlagt (und in aller Regel bei erhöhter Temperatur) durchgeführt wird. Vorteilhaft ist es, wenn ein „zeitlich möglichst grosser Anteil" des heiss-isostatischen Pressverfahrens (bevorzugt im Wesentlichen der gesamte Pressvorgang) wie vorgeschlagen druckbeaufschlagt erfolgt. Mithilfe einer formgebenden Form ist es möglich, dass der Zielwerkstoff bereits „grob" in der schlussendlich erwünschten Form vorliegt. Auf diese Weise können anschliessende Materialbearbeitungsvorgänge reduziert werden (was insbesondere in einer Verkürzung der Nachbearbeitungs-

zeitdauer resultieren kann). Darüber hinaus kann „Abfallmaterial" bei anschliessenden Materialbearbeitungsvorgängen (insbesondere bei abtragenden Materialbearbeitungsvorgängen) reduziert werden. Selbstverständlich ist es auch möglich, dass weniger Pulvergemisch eingesetzt werden muss (was insbesondere kostenreduzierend wirken kann). Durch ein verringertes Nachbearbeitungserfordernis kann aber auch das Werkstück in einem zeitlich geringeren Ausmass Vibrationen (welche im Rahmen einer Nachbearbeitung in aller Regel auftreten) ausgesetzt sein, was wiederum die Standzeit erhöhen kann. Der Vollständigkeit halber sollte darauf hingewiesen werden, dass eine Formgebung mithilfe einer formgebenden Form auch unabhängig von der Form eines zu realisierenden Werkstücks erfolgen kann. Insbesondere ist in diesem Zusammenhang an „Standardformen" zu denken, wie beispielsweise barrenartige Formen, quaderartige Formen, würfelförmige Formen, zylindrische Formen und dergleichen. Wie bereits erwähnt, wird das heiss-isostatische Pressverfahren derart durchgeführt, dass die mit dem zu pressenden Werkstoffgemisch (also in der Regel ein Gemisch aus zumindest einem Primärwerkstoff sowie einem Sekundärwerkstoff) befüllte formgebende Form vor dem „eigentlichen Pressvorgang" im Rahmen des heiss-isostatischen Pressverfahrens evakuiert wird. Dies erfolgt typischerweise nach dem Einfüllen der Pulver in die formgebende Form. Möglich ist es auch, dass „mehrfach" Pulver zugeführt wird. Es ist also möglich, dass Pulver eingefüllt wird, anschliessend evakuiert wird, danach eine neue Charge Pulver nachgefüllt wird, danach erneut evakuiert wird usw. Durch das vorgeschlagene Evakuieren ist es einerseits möglich, dass bereits vor dem eigentlichen heiss-isostatischen Pressvorgang allfällige Hohlräume verkleinert werden und/oder deren Anzahl verringert wird. Darüber hinaus ist es möglich, dass die (verbleibende) Menge an Gas (Luftatmosphäre und/oder Schutzgas) verringert wird.

Es ist bekannt, dass derartige „Restgasmengen" mit den Oberflächen der Pulverpartikel reagieren können, was in verschlechterten Werkstoffeigenschaften des Zielwerkstoffs (also des zu erzeugenden Verbundwerkstoffs) resultieren kann. Überraschenderweise erweisen sich bereits relativ schlechte Vakua als ausreichend, um deutlich verbesserte Werkstoffeigenschaften des Zielwerkstoffs realisieren zu können. Insbesondere ist an Vakua mit Drücken von ≤ 200 mbar, ≤ 150 mbar, ≤ 100 mbar, ≤ 75 mbar, ≤ 50 mbar, ≤ 25 mbar, ≤ 10 mbar, ≤ 5 mbar, ≤ 2,5 mbar, ≤ 1 mbar, ≤ 0,5 mbar, ≤ 0,25 mbar oder ≤ 0,1 mbar zu denken. Das vorzusehende Vakuum kann dabei durchaus auch in Abhängigkeit von den erforderlichen Werkstoffeigenschaften geeignet gewählt werden. Es kann sich auch als sinnvoll erweisen, wenn nicht „beliebig gut" evakuiert wird, sondern im Gegenteil ein definierter Minimaldruck, insbesondere von einem Schutzgas, verbleibt. Als geeignete Minimalwerte können die bereits vorab genannten Werte (bislang als obere Grenzwerte genannt) verwendet werden. Auch eine Kombination aus „Untergrenze" und „Obergrenze" ist denkbar. Vorteilhaft ist es im Übrigen, wenn es sich bei der formgebenden Form um eine (vakuumdicht) verschliessbare Form handelt, in die die Ausgangsmaterialen gefüllt werden, die anschliessend evakuiert wird und anschliessend (vakuumdicht) verschlossen wird, sodass diese „auf einfache Weise unabhängig" gehandhabt und transportiert werden kann. Ein besonderer Vorteil bei einer derartigen (vakuumdicht) verschliessbaren Form ist, dass der eigentliche Ofen-Hohlraum, in dem der heiss-isostatische Pressvorgang durchgeführt wird, unter einem (im Wesentlichen) beliebigen Druck stehen kann. Im Rahmen des heiss-isostatischen Pressverfahrens wird das Werkstoffgemisch in der formgebenden Form druckbeaufschlagt. Insbesondere ist an Drücke von ≥ 200 bar, ≥ 300 bar, ≥ 400 bar, ≥ 500 bar, ≥ 600 bar, ≥ 700 bar, ≥ 800 bar, ≥ 900 bar,

≥ 1000 bar, ≥ 1100 bar, ≥ 1200 bar, ≥ 1300 bar ≥ 1400 bar, ≥ 1500 bar, ≥ 1600 bar, ≥ 1700 bar, ≥ 1800 bar, ≥ 1900 bar oder ≥ 2000 bar zu denken. Durch die Druckbeaufschlagung ist es möglich, dass Hohlräume im zu pressenden/gepressten Werkstoffgemisch hinsichtlich ihres Volumens und/oder hinsichtlich ihrer Anzahl verringert werden können. Besonders grosse Vorteile ergeben sich in der Regel, wenn die Druckbeaufschlagung mit der Verwendung einer vakuumdicht verschlossenen, unter Vakuum stehenden, formgebenden (gegebenenfalls auch verformbaren) Form kombiniert wird, sodass insbesondere ein beispielsweise in einem Ofen (Autoklaven) befindlicher Gasdruck das Werkstoffgemisch nicht „direkt" erreicht. Wenn also vorliegend davon die Rede ist, dass die mit dem heiss-isostatisch zu pressenden Werkstoffgemisch befüllte formgebende Form vor dem heiss-isostatischen Pressverfahren evakuiert wird, und das Werkstoffgemisch im Laufe des heiss-isostatischen Pressverfahrens in der formgebenden Form (in der Regel mechanisch und/oder extern) druckbeaufschlagt wird, so bedeutet dies in aller Regel auch, dass das Vakuum auch während der Druckbeaufschlagung vorhanden ist/aufrechterhalten wird. Unter einer „externen" Druckbeaufschlagung wird in der Regel eine von ausserhalb der formgebenden Form ausgeübte („erzeugte"), auf das in der formgebenden Form befindliche Werkstoffgemisch wirkende Druckbeaufschlagung (Kraftbeaufschlagung) verstanden. Dabei kann es sich um ein Vakuum mit (im Wesentlichen) identischem Druck wie während der Befüllung der formgebenden Form mit dem Werkstoffgemisch handeln. Denkbar ist es aber auch, dass das Vakuum nach der Befüllung der formgebenden Form mit dem Werkstoffgemisch erhöht (verbessert; niedrigerer Restdruck) oder erniedrigt (verschlechtert; höherer Restdruck) wird. Zusätzlich oder alternativ ist auch an einen (teilweisen) „Gasaustausch", beispielsweise durch Spülung mit einem Schutzgas oder dergleichen zu denken (insbesondere im

Sinne der vorherigen und nachfolgenden Beschreibung). Mit anderen Worten ist es möglich, dass die mit dem heiss-isostatisch zu pressenden Werkstoffgemisch befüllte formgebende Form vor dem heiss-isostatischen Pressverfahren evakuiert wird, und das Werkstoffgemisch im Laufe des heiss-isostatischen Pressverfahrens im Wesentlichen unter Beibehaltung des (oder eines gegebenenfalls hinsichtlich Druckhöhe oder Gaszusammensetzung „veränderten") Vakuums in der formgebenden Form (mechanisch und/oder extern) druckbeaufschlagt wird. Auch könnte man formulieren, dass die mit dem heiss-isostatisch zu pressenden Werkstoffgemisch befüllte formgebende Form während zumindest eines Teils des heiss-isostatischen Pressverfahren evakuiert ist (wird, bleibt oder dergleichen), und das Werkstoffgemisch im Laufe des heiss-isostatischen Pressverfahrens in der formgebenden Form (trotz eines zumindest zeitweise/teilweise verbliebenen/vorhandenen/erzeugten Vakuums) druckbeaufschlagt wird. Die Druckbeaufschlagung erfolgt dabei natürlich in aller Regel nicht „unmittelbar durch Anlegen eines Gasdrucks"/durch„direkte Druckbeaufschlagung mit einem Gas" (dies schliesst allerdings nicht aus, dass mittelbar ein Gasdruck zur Druckbeaufschlagung genutzt wird, beispielsweise durch eine flexibel ausgebildete Sinterformwand hindurch). Selbstverständlich ist es denkbar, dass die Vakuumbeaufschlagung nur während eines Teils (insbesondere zeitlichen Anteils) der Druckbeaufschlagung vorhanden ist. Zusätzlich oder alternativ ist es grundsätzlich auch denkbar, dass das Vakuum (Druck, Gaszusammensetzung oder dergleichen) während der Druckbeaufschlagung geändert wird. Um die vorliegende Idee nochmals zu verdeutlichen: im Stand der Technik existieren durchaus Sinterverfahren, bei denen das zu sinternde Materialgemisch insbesondere während einer Befüllungsphase und/oder während einer Erhitzungsphase mit einem von

der Standard-Atmosphäre abweichenden Druck (und/oder Gaszusammensetzung) beaufschlagt wird. So wurde beispielsweise vorgeschlagen, eine Sinterform unter vermindertem Druck zu befüllen, um die Entstehung von „Lufttaschen" zu vermeiden. Auch existiert grundsätzlich die Idee eines Vakuum-Sinterns bzw. eines Sinterns unter Schutzgasatmosphäre. Hier wird allerdings (abweichend zum vorgeschlagenen Verfahren) während der Erhitzungsphase kein (mechanischer und/oder externer) Druck auf das Materialgemisch ausgeübt. Umgekehrt gibt es auch Sinterverfahren, bei denen während (eines Grossteils) der Erhitzungsphase ein Druck auf das Materialgemisch ausgeübt wird (beispielsweise durch Prozessführung in einem Autoklaven). Dabei steht das Materialgemisch allerdings nicht unter einem Vakuum (bzw. nicht unter einem von der umgebenden Atmosphäre abweichenden Druck). Durch die vorgeschlagene Verfahrensführung unter Verwendung eines heiss-isostatischen Pressverfahrens „unter Vakuum" (bezogen auf das zu pressende/gepresste Werkstoffgemisch) kann ein kompakter Zielwerkstoff (Endprodukt oder Zwischenprodukt des vollständigen Fertigungsvorgangs) erhalten werden. Es wird also anders als im Stand der Technik bei Sinterverfahren ein Zielwerkstoff erzeugt, der keine (oder allenfalls eine geringe) Restporosität aufweist. Diese „Zielvorgabe" erscheint widersinnig, da es befremdlich erscheint, ein herstellungstechnisch vergleichsweise aufwändiges heiss-isostatisches Pressverfahren (was ja grundsätzlich eine Art „spezielles Sinterverfahren" darstellt) durchzuführen, um schlussendlich einen kompakten Zielwerkstoff (Verbundwerkstoff) zu erhalten. Denn bislang ging man davon aus, dass kompakte Zielwerkstoffe durch andere Herstellungsverfahren bedeutend einfacher herzustellen sind und/oder Sinterverfahren gerade den Vorteil haben, besonders poröse Materialien herstellen zu können. Die Erfinder haben jedoch

festgestellt, dass sich mithilfe des vorgeschlagenen Verfahrens erstaunlich vorteilhafte Werkstoffeigenschaften (Verbundwerkstoffeigenschaften) realisieren lassen, die das vergleichsweise aufwändige Herstellungsverfahren unter Verwendung eines heiss-isostatischen Pressverfahrens mehr als gerechtfertigt erscheinen lassen. Insbesondere können auf diese Weise Werkstoffe (Verbundwerkstoffe) hergestellt werden, welche eine besonders hohe Festigkeit bei gleichzeitig selbstschmierenden Eigenschaften aufweisen. Die Neigung zu Verschleiss, insbesondere zu Verschleiss infolge von Zerrüttung, kann gegenüber „klassischen Materialien" (insbesondere „klassischen Sintermaterialien", aber auch „klassisch heiss-isostatisch gepressten Materialien") zum Teil deutlich verringert werden. Darüber hinaus kann mithilfe des vorgeschlagenen Verfahrens ein hygienisch einwandfreier Werkstoff (Verbundwerkstoff) erzielt werden, was insbesondere im Lebensmittelbereich und/oder im medizinischen Bereich ausschlaggebend sein kann.

Insbesondere wird vorgeschlagen, das Verfahren derart durchzuführen, dass der Zielwerkstoff eine Porosität von ≤ 2,5 %, ≤ 2 %, ≤ 1,5 %, ≤ 1 %, ≤ 0,5 %, ≤ 0,25 %, ≤ 0,2 %, ≤ 0,1 %, ≤ 0,05 % oder ≤ 0,025 % aufweist. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass der Zielwerkstoff eine Dichte aufweist, die höher als die Dichte des Ausgangswerkstoffs mit der geringeren Dichte, bevorzugt höher als die gewichtete mittlere Dichte der Ausgangswerkstoffe und insbesondere höher als die Dichte des Ausgangswerkstoffs mit der höheren Dichte ist. Unter den Ausgangswerkstoffen ist insbesondere der Primärwerkstoff und der Sekundärwerkstoff zu verstehen (gegebenenfalls aber auch Zuschlagsbeimengungen, wie beispielsweise keramische Pulver, Bindemittel oder dergleichen). In diesem Zusammenhang wird speziell darauf hingewiesen, dass es mit dem

vorgeschlagenen Verfahren in der Tat möglich ist, dass die Dichte gegenüber dem (unpulverisierten) Ausgangsmaterial bzw. Ausgangsmaterialien sogar erhöht werden kann. Es ist leicht einsichtig, dass dadurch ein Material mit besonders grosser Standzeit realisiert werden kann.

Insbesondere wird vorgeschlagen, das Verfahren derart durchzuführen, dass als formgebende Form eine sich unter Druckeinwirkung verformende formgebende Form verwendet wird. Wenn sich die formgebende Form unter Druckeinwirkung verformen kann, ist es möglich, dass während der Durchführung des Verfahrens die Form sich besonders einfach ändernden Volumenverhältnissen anpassen kann (beispielsweise Ausdehnungseffekte, insbesondere aber bei bei heiss-isostatischen Pressverfahren übliche Schrumpfungsvorgänge). Auch ist es möglich, dass „durch die Form hindurch" ein, insbesondere auch ein fluidisch ausgeübter, Druck auf den Werkstoff ausgeübt werden kann. Als sich verformende, formgebende Form eignen sich beispielsweise vergleichsweise dünnwandige Metallformen (dosenartige Behältnisse, die typischerweise mit einer Art Einfüllöffnung versehen sind; die Einfüllöffnung kann dabei vorteilhafterweise mechanisch, insbesondere auch fluiddicht verschlossen werden; insbesondere ist beim Verschliessen der Form an eine Art „Abquetschen" einer rohrartigen Durchführung zu denken, wobei zusätzlich beispielsweise durch Beaufschlagung des Quetschbereichs mit einem starken Stromstoss ein Verschweissen realisiert werden kann).

Besonders bevorzugt ist es, wenn das Verfahren derart durchgeführt wird, dass die Druckbeaufschlagung mittels eines Fluids erfolgt. Eine derartige Druckbeaufschlagung kann beispielsweise durch eine Prozessierung in einem Autoklaven, in

dessen Innenraum ein hoher Gasdruck (bzw. Fluiddruck) vorherrscht, erfolgen. Insbesondere ist an (fluidisch ausgeübte) Drücke mit den bereits vorab genannten Werten zu denken.

Weiterhin wird vorgeschlagen, das Verfahren derart durchzuführen, dass der Primärwerkstoff mit einem minimalen Anteil von 45 Gewichtsprozent und einem maximalen Anteil von 99 Gewichtsprozent vorliegt. Erste Versuche haben ergeben, dass sich in diesem Intervall ein (Ziel-)Werkstoff mit besonders vorteilhaften Eigenschaften ergeben kann. Einerseits kann durch die Untergrenze ein besonders festes Material realisiert werden. Erste Versuche haben ergeben, dass ein zu hoher Volumenanteil bzw. Gewichtsanteil an „Zuschlagstoffen" (insbesondere an Feststoffschmiermitteln) zu Brüchen im Bauteil führen kann und darüber hinaus eine einwandfreie Diffusion zwischen den Pulverkörnern vermindert werden kann. Die Obergrenze andererseits gewährleistet üblicherweise ausreichende Schmiereigenschaften des resultierenden (Verbund-)Werkstoffs. Selbstverständlich sind auch andere Mengenverhältnisse denkbar. Insbesondere kann als Untergrenze für den Primärwerkstoff auch 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 oder 95 Gewichtsprozent verwendet werden. In analoger Weise ist als Obergrenze ein maximaler Anteil von 80, 85, 90, 95, 96, 97, 98 oder 98,5 Gewichtsprozent denkbar. Allfällige Zuschlagstoffe (beispielsweise Bindemittel) können in beliebiger Weise dem Primärwerkstoff oder dem Sekundärwerkstoff (gegebenenfalls auch unter Berücksichtigung des Mengenverhältnisses der miteinander vermischten Stoffe) „zugerechnet" werden.

Es hat sich in ersten Versuchen als vorteilhaft erwiesen, wenn bei dem Verfahren als Primärwerkstoff zumindest ein Werkstoff verwendet wird, welcher der Gruppe entnommen ist, die M390, ASP 60, X 260, HIP65-WC, Stellite 12, Wolframcarbid, Eisen,

Eisenlegierungen, Stahl, Kobalt, Kobaltlegierungen, Nickel und Nickellegierungen umfasst. Derartige Materialien weisen eine üblicherweise herausragende Härte auf und sind daher besonders geeignet zur Vermischung mit Sekundärmaterialien (Feststoffschmiermitteln) zur Realisierung eines besonders vorteilhaften Zielwerkstoffs. Die genannten Materialien sind kommerziell erhältliche, besonders verschleissfeste Metalle bzw. Sonderlegierungen. Im Falle von Wolframcarbiden (WC) liegt üblicherweise ein stöchiometrisch abgebundenes Gemisch aus 93,9 Gewichtsprozent Wolfram und 6,13 Gewichtsprozent Kohlenstoff vor. Es ist jedoch möglich, durch ein Übersintern dieses Verhältnis zu ändern und dadurch freien Kohlenstoff auszuscheiden. Das kann jedoch dazu führen, dass dem Wolframcarbid dadurch Kohlenstoff fehlt und sich die Sprödigkeit erhöhen kann. Dies kann jedoch durch einen erhöhten Binderanteil, beispielsweise durch Kobalt- oder Nickelanteile abgefangen werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, zusätzlichen Kohlenstoff in das System einzubringen und dadurch das stöchiometrische Verhältnis nicht zu verändern. Der frei als Graphit vorliegende Kohlenstoff wirkt als Feststoffschmiermittel und verringert den Verschleiss.

Von Vorteil ist es, wenn bei dem Verfahren als Sekundärwerkstoff ein Material verwendet wird, welches einen Festschmierstoff (Feststoffschmierstoff) aufweist oder welches ein Festschmierstoff (Feststoffschmierstoffen) ist. Derartige Materialien sind in Kombination mit dem vorliegend vorgeschlagenen Verfahren besonders geeignet (insbesondere im Hinblick auf den heiss-isostatischen Pressschritt). Darüber hinaus sind derartige Schmierstoffe auch in der Verwendung oftmals besonders vorteilhaft, weil diese beispielsweise in geringerem Masse vom späteren „Einsatzort" weggeschwemmt werden (im

Verhältnis zu flüssigen Schmierstoffen). Unter einem Festschmierstoff können grundsätzlich beliebige, im Stand der Technik bekannte, festkörperartige Schmierstoffe/Festschmierstoffe verwendet werden. Möglich ist es aber auch, dass beispielsweise eine Art von „verkapselter Flüssigkeit" verwendet wird, so dass der Schmierstoff „zunächst als Feststoff" vorliegt, nach Aufbruch der Kapselhülle jedoch als Flüssigkeit vorliegt.

Insbesondere kann es sich als vorteilhaft erweisen, wenn bei dem Verfahren als Sekundärwerkstoff zumindest ein Werkstoff verwendet wird, welcher der Gruppe entnommen ist, die GJSA-XNiSiCr 35-5-2, X120Mn12, X2NiCoMo1895, x53CrMnMoVNb2-9, X2NiCoMo1895, Nitronic 60, Graphit, Bornitrid, Molybdänsulfid, Graphitsulfid, Wolframsulfid, Talkum und Glimmer umfasst. Derartige Materialien sind an sich im Stand der Technik als Feststoffschmiermittel bekannt. Gerade in Kombination mit dem vorgeschlagenen Verfahren und insbesondere auch mit den vorgenannten Primärwerkstoffen können sich jedoch besonders vorteilhafte Effekte ergeben.

Lediglich der Vollständigkeit halber wird darauf hingewiesen, dass es selbstverständlich auch möglich ist, weitere Primärwerkstoffe und/oder sonstige Sekundärmaterialien zu verwenden.

Vorteilhaft ist es, wenn das Verfahren derart ausgeführt wird, dass die Pulverkorngrösse zumindest eines der Ausgangswerkstoffe (bevorzugt der beiden bzw. sämtlicher Ausgangswerkstoffe) $\geq$ 0,001 mm und/oder $\leq$ 1 mm ist. Selbstverständlich sind als Untergrenze und/oder als Obergrenze auch andere Zahlenwerte denkbar, wie insbesondere 0,002 mm, 0,005 mm, 0,01 mm, 0,02 mm, 0,05 mm, 0,1 mm, 0,2 mm und/oder 0,5 mm.

Derartige Pulver können prozesstechnisch vergleichsweise einfach, verschleissarm und in ausreichend grossen Mengen (sowie unter Verwendung handelsüblicher Maschinen) durch Verdüsen hergestellt werden.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens kann sich ergeben, wenn das heiss-isostatische Pressverfahren bei einer Temperatur durchgeführt wird, die unterhalb der Schmelztemperatur des niedriger schmelzenden Ausgangswerkstoffs liegt und/oder über eine Zeitdauer zwischen einer und zwölf Stunden hinweg durchgeführt wird. Als Temperatur wird bevorzugt eine Temperatur gewählt, die in Abhängigkeit vom Schmelzpunkt des niedriger schmelzenden Ausgangswerkstoffs durch Multiplikation mit einem bestimmten Faktor ermittelt wird. Insbesondere kann ein Temperaturintervall zwischen 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 0,95, 0,97 oder 0,98 mal der Schmelztemperatur des Produkts mit dem niedrigsten Schmelzpunkt gewählt werden (die genannten Zahlenwerte können dabei sowohl als Untergrenze bzw. als Obergrenze verwendet werden). Als Schmelzpunkt kann dabei sowohl die Solidus-Temperatur als auch die Liquidus-Temperatur verwendet werden. Auch können für die Zeitdauer des eigentlichen heiss-isostatischen Pressverfahrens andere zeitliche Grenzen gewählt werden. Rein beispielhaft können als Untergrenze bzw. Obergrenze auch 0,25, 0,5, 1, 2, 5, 10, 15, 20 oder 24 Stunden gewählt werden.

Ein weiterer Vorteil kann sich ergeben, wenn bei dem Verfahren zumindest ein Teil der Partikel (Pulverteilchen) des Sekundärwerkstoffs, insbesondere zumindest ein Teil der Festschmierstoffpartikel, mit einer diffusionshemmenden Schicht versehen wird, wobei die diffusionshemmende Schicht bevorzugt aus Nickel, Kobalt, Wolfram oder Mobybdän besteht. Die Dif-

fusionshemmung bezieht sich dabei insbesondere auf einen Diffusiongrad gegenüber dem verwendeten Schmierstoff (Festschmierstoff) bzw. den verwendeten Schmierstoffen (Festschmierstoffen). Hierdurch kann eine besonders grosse Haltbarkeit/Lagerbeständigkeit des resultierenden Verbundwerkstoffs resultieren, ohne dass die Schmierstoffeigenschaften im (späteren) Betrieb nennenswert vermindert werden. Insbesondere ist es gewissermassen möglich, dass der betreffende Schmierstoff erst durch einen „Reibvorgang" unmittelbar benachbart zur „Reibungsstelle" freigesetzt wird. Davor kann der Schmierstoff im Materialverbund „zusätzlich festgehalten" werden und dadurch beispielsweise nicht „ausgasen" oder dergleichen. Die Diffusionshemmung kann sich zusätzlich oder alternativ auch beispielsweise auf Luftsauerstoff (oder sonstige nachteiligen Materialien/Substanzen, insbesondere solche Materialien/Substanzen, die beispielsweise bei einem Mischer oder Kneter in diesem prozessiert werden sollen) beziehen. Hier kann der betreffende Schmierstoff (können die betreffenden Schmierstoffe) vor dem betreffenden Material/der betreffenden Substanz geschützt werden, so dass eine nachteilige Verschlechterung desselben verhindert werden kann, bevor „die eigentliche Schmierung erfolgt".

Weiterhin wird ein Verbundwerkstoff vorgeschlagen, der durch das vorab beschriebene Verfahren herstellbar ist bzw. der durch das vorab beschriebene Verfahren hergestellt wurde. Der Verbundwerkstoff kann die gleichen Eigenschaften und Vorteile in zumindest analoger Weise aufweisen. Selbstverständlich sind auch Weiterbildungen des Verbundwerkstoffs möglich, insbesondere im Sinne der vorherigen Beschreibung.

Vorteilhaft ist es, wenn ein derartiger Verbundwerkstoff als

selbstschmierender (Verbund-)Werkstoff und/oder in einem Lagerbereich einer mechanischen Vorrichtung verwendet wird. In diesem Fall kann der Verbundwerkstoff die ihm innewohnenden Eigenschaften in besonders vorteilhafter Weise erfüllen.

Schliesslich wird auch eine mechanische Vorrichtung vorgeschlagen, die zumindest bereichsweise einen Verbundwerkstoff vom vorab vorgeschlagenen Typ aufweist. Dieser Verbundwerkstoff kann insbesondere in zumindest einem Lagerbereich der mechanischen Vorrichtung genutzt werden. Eine derartige mechanische Vorrichtung kann ebenfalls die bereits vorab beschriebenen Eigenschaften und Vorteile zumindest in analoger Weise aufweisen. Darüber hinaus ist es möglich, die mechanische Vorrichtung zumindest in analoger Weise wie vorab beschrieben weiterzubilden. Insbesondere ist es denkbar das Teile der mechanischen Vorrichtung (beispielsweise ein Gehäuse oder eine Schneckenwelle) segmentartig aufgebaut sind, wobei die einzelnen Segmente aus unterschiedlichen Werkstoffen gefertigt sind (bzw. unterschiedliche Werkstoffe aufweisen) und/oder einzelne Segmente einzelnen austauschbar ausgeführt sind.

Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn die mechanische Vorrichtung eine Welle und/oder eine Wellenaufnahmegehäusung aufweist, insbesondere eine Schneckenwelle und/oder eine Schneckenwellenaufnahmegehäusung aufweist und bevorzugt eine Extrusionsvorrichtung aufweist bzw. wenn die mechanische Vorrichtung als eine derartige Vorrichtung ausgebildet ist. Gerade in diesen technischen Einsatzgebieten können sich selbstschmierende Lagerbereiche der mechanischen Vorrichtung, die mithilfe des vorgeschlagenen Verbundwerkstoffs auf vorteilhafte Weise realisiert werden können, als besonders vorteilhaft erweisen. Im Übrigen ist es egal, ob es sich um

Einwellenkneter, Zweiwellenkneter oder Mehrwellenkneter handelt.

Im Übrigen kann es auch besonders vorteilhaft sein, wenn die mechanische Vorrichtung derart ausgebildet ist, dass sie ausserhalb eines Lagerbereichs (der typischerweise aus dem vorgeschlagenen selbstschmierenden Verbundwerkstoff besteht bzw. einen derartigen Verbundwerkstoff aufweist) einen anderen Werkstoff aufweist, wie insbesondere einen Werkstoff, der nach einem anderen Verfahren als dem vorab beschriebenen Verfahren ausgebildet ist. Insbesondere kann es sich dabei um „klassische Materialien", insbesondere auch um „klassische Sintermaterialien" handeln. Rein beispielhaft könnte in diesem Bereich ein üblicher Stahl oder eine verschleissfeste Sonderlegierung Anwendung finden. Hierdurch kann der Aufwand für die Gesamtvorrichtung üblicherweise deutlich verringert werden, ohne dass auf die Vorteile einer selbstschmierenden Lagerung verzichtet werden muss.

Insbesondere im letztgenannten Fall kann es sich als vorteilhaft erweisen, wenn die „sonstigen normalen Bauteile" (wie beispielsweise Mischflügel auf der Welle und/oder Knetbolzen entlang der Wellengehäusung) im Verhältnis zum Lagerungsbereich ein gegebenenfalls deutliches Spiel (bis hin zu mehreren Millimetern) aufweisen. Auf diese Weise kann der Lagerungsbereich über eine gewisse Zeitdauer „verschlissen werden", bevor die sonstigen Bereiche der Vorrichtung ebenfalls durch gegenseitige Kontaktierung in Mitleidenschaft gezogen werden könnten. Als „relatives Spiel" sind insbesondere Spiele von 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 7,5 mm oder 10 mm (sowohl als Ober- als auch als Untergrenze) denkbar.

Weitere Einzelheiten der Erfindung und insbesondere beispielhafte Ausführungsformen der vorgeschlagenen Vorrichtung und des vorgeschlagenen Verfahrens werden im Folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Prinzipansicht einer in einem Autoklaven befindlichen, mit einem Pulvergemisch gefüllten Formbauteilform;

Fig. 2 einen schematischen Querschnitt durch einen Schneckenwellenextruder mit zwei Lagerungsbereichen;

Fig. 3 ein mögliches Verfahren zur Herstellung eines selbstschmierenden Verbundwerkstoffs als schematisches Flussdiagramm.

In Fig. 1 ist dargestellt, wie sich eine mit einem geeigneten Pulvergemisch 3 gefüllte HIP-Form 2 („HIP" für „heiss-isostatisches Pressen"; eine Art Sinterform) zur Durchführung des eigentlichen HIP-Pressvorgangs des Pulvergemischs 3 in einem Autoklaven 1 befindet. Die HIP-Form 2 ist von ihrer Formgebung her so gestaltet, dass das Werkstück (bei dem sich durchaus auch um eine „Zwischenstufe", also eine Art Rohling, handeln kann), welches aus dem HIP-gepressten Zielwerkstoff (ausgehend vom Pulvergemisch 3) erzeugt wird, die gewünschte Formgebung mit einem gewissen „Übermass" erhält. Dadurch ist es möglich, dass das resultierende Werkstück mit vergleichsweise geringem Aufwand in seine endgültige Form gebracht werden kann. Insbesondere ist es möglich, dass (im Falle abrasiver Bearbeitungsverfahren) vergleichsweise geringe Materialabträge ausreichen, um das schlussendliche Werkstück herzustellen (beispielsweise durch Drehen, Schleifen und dergleichen). Die Formgebung durch die HIP-Form 2 mit einem gewissen Übermass ist dahingehend von Vorteil, dass bei HIP-Verfahren oft-

mals gewisse Grössentoleranzen nicht zu vermeiden sind. Mittels des gewissen Übermasses kann in der Regel der Ausschuss an Werkstücken (insbesondere solche, die zu stark geschrumpft sind und dadurch durch materialabtragende Umformverfahren nicht mehr in die gewünschte Form gebracht werden können) deutlich verringert werden, was (wie leicht einsichtig) von Vorteil ist. Neben der Reduktion der Nachbearbeitungsvorgänge kann ein weiterer Vorteil darin bestehen, dass weniger Pulvergemisch 3 erforderlich ist, was ebenfalls zu einer Kostenreduzierung führen kann.

Im in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel weist die HIP-Form 2 einen zylindrisch geformten Rücksprung 4 auf, welcher beim fertigen Werkstück ein Sackloch ausbildet.

Die HIP-Form 2 wird über eine verschliessbare Einfüllöffnung 5 mit einem Pulvergemisch 3 befüllt. Nach der Befüllung der HIP-Form 2 mit dem Pulvergemisch 3 wird die HIP-Form 2 evakuiert (Absaugung von Luft) und durch einen Abquetschbereich 6 luftdicht verschlossen. Der Abquetschbereich wird beispielsweise bei einem rohrartigen Werkstück durch Aufeinanderzubewegen zweier Werkzeugteile realisiert. Vorzugsweise kann es sich hierbei um eine Schweisselektrode und einen Schweissamboss (Schweisssonotrode) handeln. In einem derartigen Fall ist es möglich, dass nach dem Abquetsch-Vorgang ein „zusätzlicher Verschluss" durch „Setzen eines Schweisspunkts" (hierzu wird beispielsweise ein kurzer, starker Stromimpuls zwischen Schweisselektrode und Schweissamboss angelegt) realisiert wird, so dass eine (im Wesentlichen) dauerhafte (vakuumdichte) Fluiddichtigkeit realisiert werden kann (zumindest für Zeitdauern, die für HIP-Verfahren relevant sind).

Die derartig hergestellte HIP-Form wird in der HIP-Anlage auf die gewünschte Dichte gebracht.

In Fig. 2 ist ein sogenannter Ko-Extruder 8 in einem schematischen Querschnitt dargestellt. Wie allgemein bei Ko-Extrudern 8 üblich, weist dieser ein Gehäuse 9 sowie eine innenliegende Schneckenwelle 10 auf. Bei Ko-Extrudern 8 wird die Schneckenwelle 10 nicht nur gedreht, sondern auch linear in Längsrichtung der Schneckenwelle 10 (bzw. des Gehäuses 9) bewegt, was in Fig. 2 durch entsprechende Pfeile angedeutet wird. Der Antrieb erfolgt dabei über eine Antriebswelle 11, die auf einer Seite das Gehäuse 9 durchdringt (in Fig. 2 auf der linken Seite). Auf der Seite, an der die Antriebswelle 11 vorgesehen ist, weist das Gehäuse 9 darüber hinaus eine Einfüllöffnung 12 auf, über die das zu durchmischende Material zugeführt wird (es existieren auch Bauformen, bei denen mehrere Einfüllöffnungen 12 vorgesehen sind, welche teilweise auch entlang der Länge des Gehäuses 9 ausgebildet sind). Auf der der Antriebswelle 11 entgegengesetzten Seite des Gehäuses 9, ist die Ausgabeöffnung 13 im Gehäuse 9 vorgesehen. Um die Ausgabe des durchmischten Materials durch die Ausgabeöffnung 13 nicht zu blockieren, ist es bevorzugt, dass die Schneckenwelle 10 vor der Ausgabeöffnung 13 „endet", mithin kein Teil der Schneckenwelle 10 das Gehäuse 9 an dieser Seite durchdringt oder sich in unmittelbarer Nachbarschaft zur Ausgabeöffnung 13 befindet. Aufgrund der zum Teil beachtlichen Längen von Ko-Extrudern 8 (typisch sind Längen von 1 m bis 5 m) und der bei bestimmten Materialien auftretenden Kräfte, ist es meist unabdingbar, dass an zumindest einem Punkt innerhalb des Gehäuses 9, welcher von der Antriebswelle 11 beabstandet ist, ein Lagerungsbereich 14 vorgesehen ist, in dem eine Lagerung der Schneckenwelle 10 erfolgt. In der Regel werden

jedoch mehrere Lagerungsbereiche 14 vorgesehen). Im vorliegend dargestellten Ausführungsbeispiel sind zwei Lagerungsbereiche 14 vorgesehen.

Wie ebenfalls bei Ko-Extrudern 8 üblich, sind entlang der Schneckenwelle 10 mehrere Schneckenelemente 19, 20 mit Mischflügeln 15, 17 sowie entlang der Innenseite des Gehäuses 9 mehrere Knetbolzen 16 vorgesehen, die eine innige Durchmischung der zu vermischenden Materialien bewirken.

Um einerseits eine möglichst grosse Standzeit des Ko-Extruders 8 bei gleichzeitig vertretbaren Kosten zu realisieren, wird vorliegend vorgeschlagen, dass ausserhalb von Lagerungsbereichen 14 die Schneckenelemente 19 mit Mischflügeln 15 (der Schneckenwelle 10) sowie die Knetbolzen 16 (des Gehäuses 9) derartig dimensioniert werden, dass ein Spiel zwischen den Schneckenelementen 19 mit den Mischflügeln 15 („normale Mischflügel") und dem Gehäuse 9 vorhanden ist. Vorliegend wird beispielsweise ein Spiel von 3 mm vorgesehen. In derartigen Bereichen wird darüber hinaus ein konventionelles Material verwendet, wie beispielsweise ein hochfester Stahl (derartige Materialien sind handelsüblich und kostengünstig kommerziell erhältlich).

Demgegenüber sind in den Lagerungsbereichen 14 die Schneckenelemente 20 mit den Mischflügeln 17 der Schneckenwelle 10 („vorspringende Mischflügel")derartig dimensioniert, dass es hier zu einem Reibkontakt mit den hierzu korrespondierenden Lagerungsbereichen 14 des Gehäuses 9 kommt.

Es wird vorgeschlagen, dass in den Lagerungsbereichen 14 ein

selbstschmierender Verbundwerkstoff eingesetzt wird. Vorliegend wird dies dadurch realisiert, dass die Teilbereiche (beispielsweise einzelne Segmente) des Gehäuses 9, die im Bereich der Lagerungsbereiche 14 liegen, aus einem selbstschmierenden Verbundwerkstoff gefertigt sind. Entsprechendes gilt für die Schneckenwelle 10. Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die entsprechenden Bauteile/Bauteilbereiche (Schneckenelement 20 mit Mischflügel 17, Bereiche der Schneckenwelle 10 und/oder Bereiche des Gehäuses 9) (jeweils separat) austauschbar gestaltet sind.

Durch den Reibkontakt zwischen Mischflügeln 17 und Gehäuse 9 im Bereich der Lagerungsbereiche 14 wird aufgrund der speziellen Eigenschaften des selbstschmierenden Verbundwerkstoff eine Schmierung in den Lagerungsbereichen 14 dauerhaft gewährleistet. Darüber hinaus ist aufgrund der nach wie vor vorhandenen grossen Härte des selbstschmierenden Verbundwerkstoffs eine hohe Standzeit des Ko-Extruders 8 gewährleistet.

Im Betrieb kommt es in den Lagerungsbereichen 14 unvermeidlich zu einem Abtrag der miteinander in Kontakt stehenden Bereiche von Gehäuse 9 und Schneckenelement 20 mit Mischflügel 17. Aufgrund der Beabstandung der „normalen Mischflügel 15" zum Gehäuse 9 bzw. der „Knetbolzen 16" zur Schneckenwelle 10 ist dies jedoch so lange unschädlich (d.h., es kommt ausserhalb der Lagerungsbereiche 14 zu keinen unmittelbaren Kontakten von Gehäuse 9 und Schneckenelement 19 mit Mischflügeln 15, bis der „Verschleiss-Toleranzbereich" erschöpft ist (also der Verschleiss in den Lagerungsbereichen 14 so weit fortgeschritten ist, dass dieser im Wesentlichen dem ursprünglich vorgesehenen Spiel ausserhalb der Lagerungsbereiche 14 entspricht).

Bevor dieser Fall eintritt, kann nun eine Wartung des Ko-Extruders 8 erfolgen. Im Rahmen der Wartung können die betreffenden Schneckenelemente 20 von Schneckenwelle 10 und Lagerungsbereiche 14 von Gehäuse 9 ausgetauscht werden. Ein derartiger Austausch von nur Teilen der „Gesamtanordnung" des Ko-Extruders 8 ist vergleichsweise kostengünstig. Anschliessend kann der Ko-Extruder 8 einen neuen „Verschleisszyklus" durchlaufen.

Es wird darauf hingewiesen, dass es bei einem geeignet gewählten Betrieb des Ko-Extruders 8 (zum Beispiel Einhalten der vorgesehenen Wartungsintervalle) ausserhalb der Lagerungsbereiche 14 zu keinem Zeitpunkt zu einem Kontakt zwischen den „normalen" Mischflügeln 15 von Schneckenwelle 10 und dem Gehäuse 9 kommt. Ebenso kommt es zu keinem Zeitpunkt zu einem Kontakt zwischen den Knetbolzen 16 und der Schneckenwelle 10. Dennoch kommt es auch ausserhalb der Lagerungsbereiche 14 zu einem gewissen Verschleiss der Mischflügel 15 sowie der Knetbolzen 16, der in der Reibung mit dem zu durchmischenden Material begründet ist. Dieser Verschleiss ist jedoch vergleichsweise klein, sodass ein Austausch der Schneckenelemente 19 mit den „normalen" Mischflügeln 15 sowie der Knetbolzen 16 erst nach dem Durchlaufen einer üblicherweise grösseren Anzahl von „Verschleisszyklen" erfolgen muss.

In Fig. 3 wird in einem schematischen Flussdiagramm 21 ein mögliches Verfahren zur Herstellung eines selbstschmierenden Verbundwerkstoffs dargestellt. In einem ersten Schritt 22 werden die Ausgangsmaterialien, insbesondere der Primärwerkstoff und der Sekundärwerkstoff, zerkleinert oder aus der Schmelze verdüst, sodass diese in Pulverform vorliegen. Im

nächsten Schritt werden die nunmehr in Pulverform vorliegenden Ausgangswerkstoffe miteinander vermischt 23. Das nunmehr vorliegende Pulvergemisch wird in einem weiteren Schritt 24 in eine HIP-Form eingebracht. Im anschliessenden Schritt 25 wird die HIP-Form evakuiert, das heisst mit einem Unterdruck beaufschlagt.

Gegebenenfalls kann der Schritt des Einbringens von Pulvergemisch in die HIP-Form 24 und der Verfahrensschritt der Evakuierung 25 auch wiederholt werden, was durch den rückspringenden Pfeil 26 angedeutet ist.

Anschliessend wird die HIP-Form luftdicht verschlossen 27 und anschliessend, beispielsweise in einem Autoklaven, einem hohen Druck und einer hohen Temperatur ausgesetzt. Dies ist der eigentliche HIP-Verfahrensschritt 28.

Nach einem Abkühlschritt 29 wird der gewonnene Verbundwerkstoff der Form entnommen 30. Dies kann beispielsweise durch eine Zerstörung der Form (sogenannte „verlorene Form") erfolgen.

Das gewonnene Werkstück kann gegebenenfalls noch nachbearbeitet werden (vorliegend nicht gesondert dargestellt).

Nachfolgend werden nunmehr noch einige exemplarische Materialpaarungen näher erläutert, mit denen das vorliegend vorgeschlagene Verfahren zur Herstellung eines selbstschmierenden Verbundwerkstoffs erfolgreich durchgeführt wurde.

Referenzmaterial

Um eine Vergleichsmöglichkeit zu schaffen, wurde zunächst für eine festgelegte Definition eines Schneckenextruders mit jeweils identischen, massstäblichen Verhältnissen von Druck, Geschwindigkeit, Masse, Schale und Schnecke, eine im Stand der Technik gebräuchliche Materialpaarung gewählt. Hierbei wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Materialpaarungen verwendet. Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften dieser Werkstoffe sind in Tabelle 2 aufgeführt, während die Zusammensetzungen der betreffenden Werkstoffe in Tabelle 3 zu finden sind.

Insbesondere im Hinblick auf Tabelle 3 ist zu erwähnen, dass ein Wolframcarbid (WC) mit Nickel und Kohlenstoff-Zuschlag aufgeführt ist (Ni+C). Das Wolframcarbid besteht im Normalfall aus 93,9 Gewichtsprozent Wolfram und 6,13 Gewichtsprozent Kohlenstoff und liegt stöchiometrisch genau abgebunden vor. Durch ein Übersintern ist es möglich, dieses Verhältnis zu ändern und freien Kohlenstoff auszuscheiden. Dem Wolframcarbid fehlt nun aber Kohlenstoff und die Sprödigkeit erhöht sich. Dies kann durch einen erhöhten Binderanteil, wie durch die Zugabe von Kobalt oder Nickel abgefangen werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, zusätzlichen Kohlenstoff in das System einzubringen und dadurch das stöchiometrische Verhältnis nicht zu verändern. Der nunmehr frei als Graphit vorliegende Kohlenstoff wirkt als Feststoffschmiermittel (Festschmierstoff) und verringert den Verschleiss.

Tabelle 1

Scheibe-Schale	M390	M390	M390	M390	ASP 2060	ASP 2060	ASP 2060
Stift-Schnecke	M390	Nitronic 60	GJSA-XNiSiCr35-5-2	1.6354 LW	1.6354 LW	1.4882	1.3401
Scheibe-Schale	HIP 65 – WC	HIP 65 – WC	WC mit Ni	WC mit Ni	Stellit 12 Mo	ASP 2060	
Stift-Schnecke	M390	ASP 2060	M390	1.6354 LW	M390	M390	

Tabelle 2

		Wärme-leitfähig-keit λ	**Elastizitäts-modul E**	**Zugfes-tigkeit R_m**	**Streck-grenze $Rp_{0.2}$**	**Druck-festig-keit**	**Stauch-grenze$_{0.2}$ %**	**Biege-fes-tigkeit (20° C)**	**Härte (HRC) nach WB**
Material	**DIN**	**(W/mK)**	**(Gpa)**	**(N/mm²)**	**(N/mm²)**	**(Mpa)**	**(Mpa)**	**(Mpa)**	Teilweise umgerech-net
Nitronic 60		15.9	180	655	345				22
X 260		14	220			3'946	3'177		63
M390		14	215	ca. 950					62.4
ASP 2060	1.3241	24	250			4'353	3'831	4300	64
X2NiCoMo1895	1.6354 LW	16	193	>1720	>1620				55
X53CrMnMoVNbN2-9	1.4882	14.5	205	>1000	550				55
X120Mn12	1.3401	13	190	800	350				60
GSJA-XNiSiCr35-5-2		12.6	130 – 150	380	210				58
Stellite 12 Mo		10				1'933		1700	56
HIP 65 - WC		15	198			1'965		1100	58 – 65
WC mit Ni		100	580			5'200		2000	1500 HV

Tabelle 3

Richtanalysen der eingesetzten Werkstoffe														
Name	Werkstoff Nr.	WC	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Co	Nb	Ni	Son-stiges	Bemerkung
M390			1.90	0.7	0.3	20.0	1.0	0.6	4.0					
ASP 60	1.3241		2.30	0.00	0.0	4.2	7.0	6.5	6.5	10.5	0.0			
X 260 Cr			2.70	0.55	0.4	26.0	1.1	0.2	2.4	0.1	1.3			
GJSA-XNiSiCr35-5-2			2	5	1	1.85						35		
X120Mn12	1.3401		1.23	0.4	12.5									
X53CrMnMoVNbN2-9	1.4882		0.53	0.13	8.8	20.8							N=0.45	
X2NiCoMo1895	1.6354 LW		0.03	0.1	0.1		5.3			9		18.5	Ti+Al	
Nitronic 60			0.07	3.85	7.8	16.5	0.75	0.15	0.2			8.2		
Stellite 12 Mo			1.20	1.50			3.50	8.50		78.35			3	
HIP 65 – WC			1.15	4.30		17.0						74.25	B=3.3	
WC mit Ni+C		85										15		W:C=93.9:6.13
WC mit Ni+C		85										Binder		W:C=90:10

Ausführungsbeispiele des vorgeschlagenen schmiermittelhaltigen Verbundwerkstoffs

In einem ersten Versuchsdurchgang wurden vierzehn Referenzversuche durchgeführt, wobei sich die Materialpaarungen, die verwendeten Korngrössen sowie die Massen- (bzw. Volumenanteile), einschliesslich der jeweils genutzten Mischzeit, aus der beigefügten Tabelle 4 ergeben. Die Dichte der jeweils verwendeten Materialien ergibt sich aus der ebenfalls beigefügten Tabelle 5.

Tabelle 4

	Grundmaterial			Metallische Beimischungen				
Beispiel	Name	Korngrösse (mm)	Gew.-%	Name	Korngrösse (mm)	Gew.-%	Vol.-%	Mischzeit (h)
1	X 260	0.005-0.5	70	X120Mn12	0.005-0.5	30	28.9	1
2	X 260	0.005-0.5	70	X2NiCoMo1895	0.005-0.2	30	28.2	1
3	ASP 60	0.005-0.5	70	X53CrMnMoVNbN2-9	0.005-0.5	30	30.5	1
4	ASP 60	0.005-0.5	70	Nitronic 60	0.005-0.5	30	30.8	1
	Grundmaterial			Feststoffschmiermittel als Beimischungen				
5	X260	0.005-0.5	90	Graphit	0.05-0.2	10	27.5	1
6	X260	0.005-0.5	90	Graphit mit Ni	0.05-0.2	10	27.5	1
7	X260	0.005-0.5	90	Bornitrid	0.05-0.2	10	27.5	1
8	X260	0.005-0.5	86	Glimmer	0.05-0.2	14	30.4	1
9	ASP 60	0.005-0.5	90	Graphit mit Ni	0.05-0.2	10	28.5	1
10	Stellite 12 Mo	0.02-0.3	90	Bornitrid	0.05-0.2	10	30	1
11	Stellite 12 Mo	0.02-0.3	86	Wolframsulfid	0.05-0.2	14	15.6	1
12	HIP 65 – WC	0.02-0.2	90	Graphitfluorid	0.05-0.2	10	30.9	1
13	WC mit Ni	<0.005	96	Graphit mit Ni	0.05-0.2	4	21.5	1
	Grundmaterial			Keramik				
14	X 260	0.005-0.5	70	ZrO_2	0.05-0.2	20	23.7	1

Tabelle 5

Material	Dichte (kg/dm³)
ASP 60	7.9
X 260	7.5
HIP 65 – WC	7.9
Stellite 12 Mo	8.49
GJSA-XNiSiCr35-5-2	7.9
X120Mn12	7.9
X53CrMnMoVNbN2-9	7.7
X2NiCoMo1895	8.2
Nitronic 60	7.62
Graphit	2.1 – 2.3
Molybdänsulfid	5.06
Wolframsulfid	7.5
Graphitfluorid	1.96
Bornitrid hexagonal	2.25
Bornitrid kubisch	3.45
Talkum	2.58 – 2.83
Glimmer	2.7 – 2.88
ZrO_2	6.05

In allen durchgeführten Beispielen wurden die jeweils in Pulverform vorliegenden Ausgangsmaterialien in einem Turbula-Mischer über jeweils eine Stunde hinweg miteinander vermischt. Das derart gewonnene Pulvergemisch wurde in eine Stahlkapsel gefüllt, evakuiert und anschliessend verschlossen. Danach wurde die Kapsel heiss-isostatisch bis auf eine Dichte von 100 % verdichtet, geprüft und mechanisch auf die gewünschte Form bearbeitet. Bei sämtlichen der genutzten Materialpaarungen konnte im Vergleich zum Verschleissverhalten der Referenz-Messungen (siehe oben) der Verschleiss reduziert werden. Der heiss-isostatische Pressvorgang wurde dabei bei einem Druck von grösser 400 bar über jeweils drei Stunden hinweg durchgeführt. Als HIP-Verfahrenstemperatur („Sintertemperatur") wurde 0,8 x $T_{Solidus}$ des verwendeten Materials mit dem niedrigsten Schmelzpunkt verwendet.

Gemäss weiterer durchgeführter erster Versuche erscheint es im Übrigen auch als vorteilhaft, wenn neben dem Grundmaterial (Primärwerkstoff) anstelle eines einzelnen beigemischten Materials (Sekundärmaterial) eine Mehrzahl an Beimischungen verwendet wird. Erste Versuche wurden bei den in Tabelle 6 aufgeführten Materialpaarungen durchgeführt.

Tabelle 6

Grundmaterial	Metallische Beimischungen					
ASP 60	GJSA-XNiSiCr35-5-2	X120Mn 12	X53CrMnMoVNbN2-9	X2NiCoMo1895	Nitronic 60	Wolframsulfid
X 260	GJSA-XNiSiCr35-5-2	X120Mn	X53CrMnMoVNbN2-9	X2NiCoMo1895	Nitronic	Wolframsulfid
HIP 65 - WC	GJSA-XNiSiCr35-5-2	X120Mn	X53CrMnMoVNbN2-9	X2NiCoMo1895	Nitronic	Wolframsulfid
Stellite 12 Mo	GJSA-XNiSiCr35-5-2	X120Mn	X53CrMnMoVNbN2-9	X2NiCoMo1895	Nitronic	Wolframsulfid
Grundmaterial	**Feststoffschmiermittel und Keramik als Beimischungen**					
ASP 60	Graphit	Bornitrid	Molybdänsulfid	Graphitsulfid	Talkum	Glimmer
X 260	Graphit	Bornitrid	Molybdänsulfid	Graphitsulfid	Talkum	Glimmer
HIP 65 – WC	Graphit	Bornitrid	Molybdänsulfid	Graphitsulfid	Talkum	Glimmer
Stellite 12 Mo	Graphit	Bornitrid	Molybdänsulfid	Graphitsulfid	Talkum	Glimmer

Dabei erscheint es als sinnvoll, wenn die Mischverhältnisse wie folgt gewählt werden: Grundmaterial = 45 bis 95 Gewichtsprozent und metallische Beimischungen = 5 bis 55 Gewichtsprozent (im Falle metallischer Beimischungen) bzw. Grundmaterial = 70 bis 99 Gewichtsprozent und Feststoffschmiermittel = 1 bis 30 Gewichtsprozent (im Falle von Feststoffschmiermitteln). Die Versuche deuten darauf hin, dass insbesondere im Falle von Feststoffschmiermitteln der Volumenanteil auf maximal 60 % festzulegen ist, da Feststoffschmiermittel eine geringere Dichte aufweisen. Die geringere Dichte kann nämlich ansonsten zu Brüchen im Bauteil führen und darüber hinaus kann eine einwandfreie Diffusion zwischen den Pulverkörnern gegebenenfalls behindert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren (21) zur Herstellung eines selbstschmierenden Verbundwerkstoffs, bei dem ein Primärwerkstoff, der als vorzugsweise harter, metallischer Werkstoff in Pulverform vorliegt, mit einem Sekundärwerkstoff, der als im Verhältnis zum Primärwerkstoff weicherer Werkstoff in Pulverform vorliegt, vermischt wird und das Gemisch (3) einem heiss-isostatischen Pressverfahren (28) unterzogen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das heiss-isostatische Pressverfahren (28) in einer formgebenden Form (2) durchgeführt wird, wobei die mit dem heiss-isostatisch zu pressenden Werkstoffgemisch (3) befüllte formgebende Form (2) vor dem heiss-isostatischen Pressverfahren (28) evakuiert (25) wird, und das Werkstoffgemisch im Laufe des heiss-isostatischen Pressverfahrens in der formgebenden Form (2) druckbeaufschlagt wird, sodass sich ein zumindest im Wesentlichen kompakter Zielwerkstoff ergibt.

2. Verfahren (21) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zielwerkstoff eine Porosität von ≤2,5%, ≤2%, ≤1,5%, ≤1%, ≤0,5%, ≤0,25%, ≤0,2%, ≤0,1%, ≤0,05% oder ≤0,025% aufweist und/oder eine Dichte aufweist, die höher als die Dichte des Ausgangswerkstoffs mit der geringeren Dichte, bevorzugt höher als die gewichtete mittlere Dichte der Ausgangswerkstoffe, insbesondere höher als die Dichte des Ausgangswerkstoffs mit der höheren Dichte ist.

3. Verfahren (21) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als formgebende Form (2) eine sich unter Druckeinwirkung verformende formgebende Form (2) verwendet wird.

4. Verfahren (21) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckbeaufschlagung mittels eines Fluids erfolgt.

5. Verfahren (21) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Primärwerkstoff mit einem minimalen Anteil von 45 Gewichtsprozent und einem maximalen Anteil von 99 Gewichtsprozent vorliegt.

6. Verfahren (21) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Primärwerkstoff zumindest ein Werkstoff verwendet wird, welcher der Gruppe entnommen ist, die M390, ASP 60, X 260, HIP65-WC, Stellite 12, Wolframcarbid, Eisen, Eisenlegierungen, Stahl, Kobalt, Kobaltlegierungen, Nickel und Nickellegierungen umfasst.

7. Verfahren (21) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Sekundärwerkstoff ein Material verwendet wird, welches einen Festschmierstoff aufweist oder welches ein Festschmierstoff ist.

8. Verfahren (21) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Sekundärwerkstoff zumindest ein Werkstoff verwendet wird, welcher der Gruppe entnommen ist, die GJSA-XNiSiCr 35-5-2, X120Mn12, X2NiCoMo1895, X53CrMnMoVNb2-9, X2NiCoMo1895, Nitronic 60, Graphit, Bornitrid, Molybdänsulfid, Graphitsulfid, Wolframsulfid, Talkum und Glimmer umfasst.

9. Verfahren (21) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pulverkorngrösse zumindest eines der Ausgangswerkstoffe ≥0,001 mm und/oder ≤1 mm ist.

10. Verfahren (21) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das heiss-isostatische Pressverfahren (28) bei einer Temperatur durchgeführt wird, die unterhalb der Schmelztemperatur des niedriger schmelzenden Ausgangswerkstoffs liegt und/oder über eine Zeitdauer zwischen 1 und 12 Stunden hinweg durchgeführt wird.

11. Verfahren (21) nach einem der vorangehenden Ansprüche, insbesondere nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Teil der Partikel des Sekundärwerkstoffs, insbesondere zumindest ein Teil der Festschmierstoffpartikel, mit einer diffusionshemmenden Schicht versehen ist, wobei die diffusionshemmende Schicht bevorzugt Nickel, Kobalt, Wolfram und/oder Molybdän aufweist.

12. Verbundwerkstoff, herstellbar durch ein Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche und/oder hergestellt durch ein Verfahren (21) nach einem der vorangehenden Ansprüche.

13. Verwendung eines Verbundwerkstoffs nach Anspruch 12, als selbstschmierender Werkstoff und/oder in einem Lagerbereich (14) einer mechanischen Vorrichtung (8).

14. Mechanische Vorrichtung (8), **dadurch gekennzeichnet, dass**

sie zumindest bereichsweise einen Verbundwerkstoff nach Anspruch 12 aufweist, insbesondere in zumindest einem Lagerbereich (14) einen Verbundwerkstoff nach Anspruch 12 aufweist.

15. Mechanische Vorrichtung (8) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mechanische Vorrichtung (8) eine Welle (10, 11) und/oder um eine Wellenaufnahmegehäusung (9) aufweist, insbesondere eine Schneckenwelle (10) und/oder um eine Schneckenwellenaufnahmegehäusung (9) aufweist, bevorzugt eine Extrusionsvorrichtung (8) aufweist bzw. dass die mechanische Vorrichtung (8) als derartige Vorrichtung ausgebildet ist.

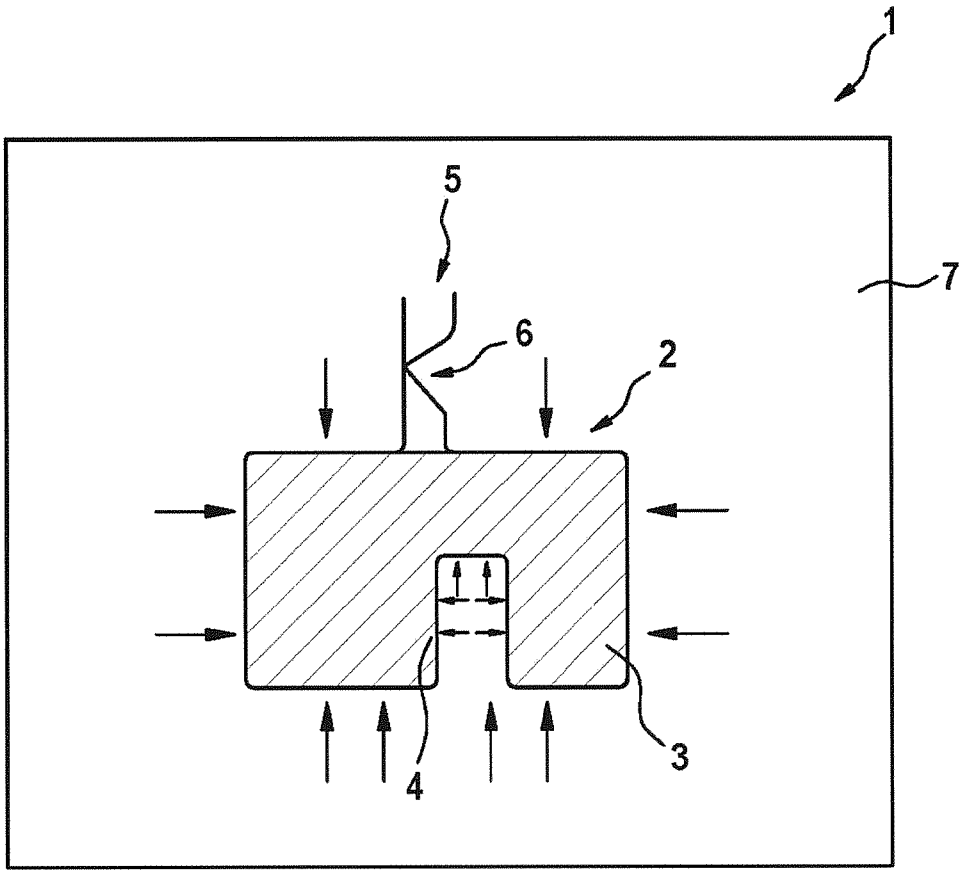
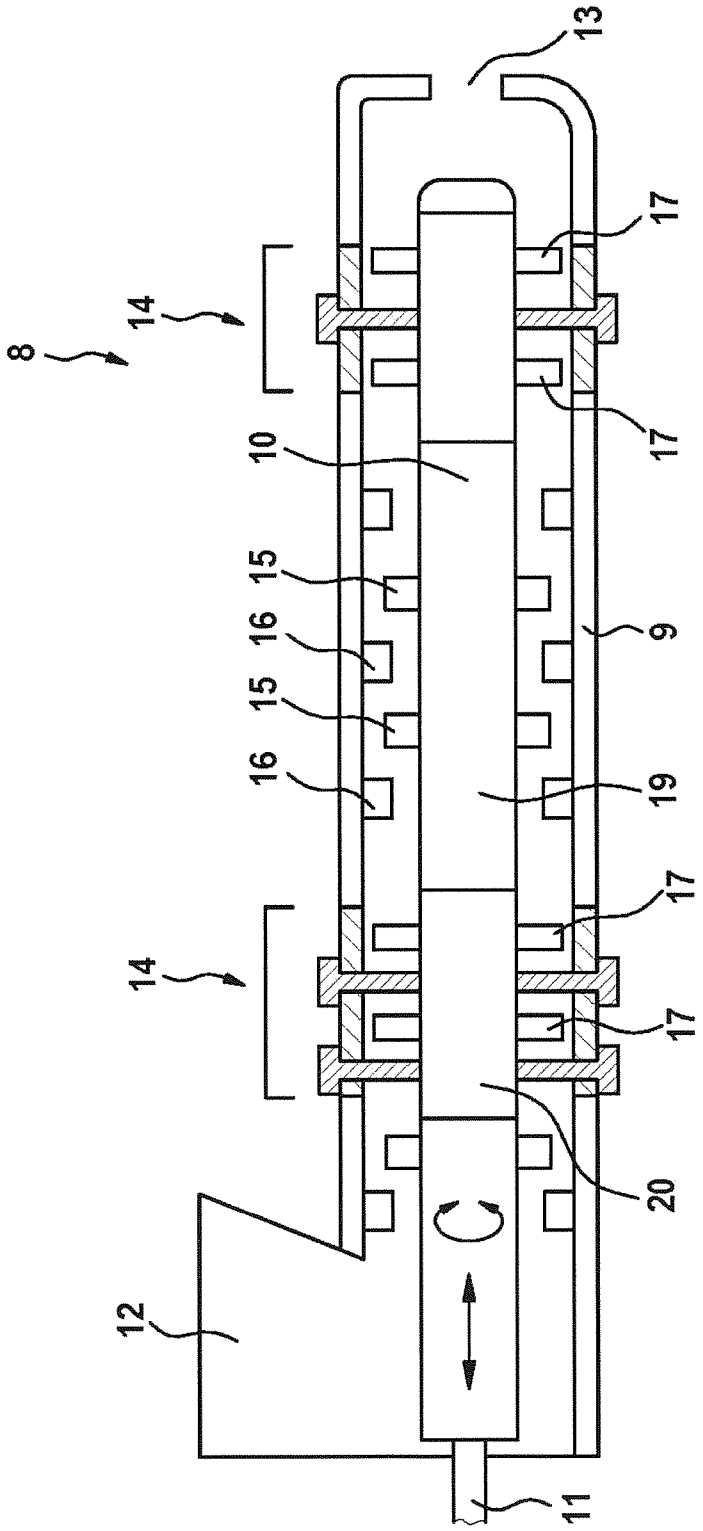


Fig. 1

Fig. 2



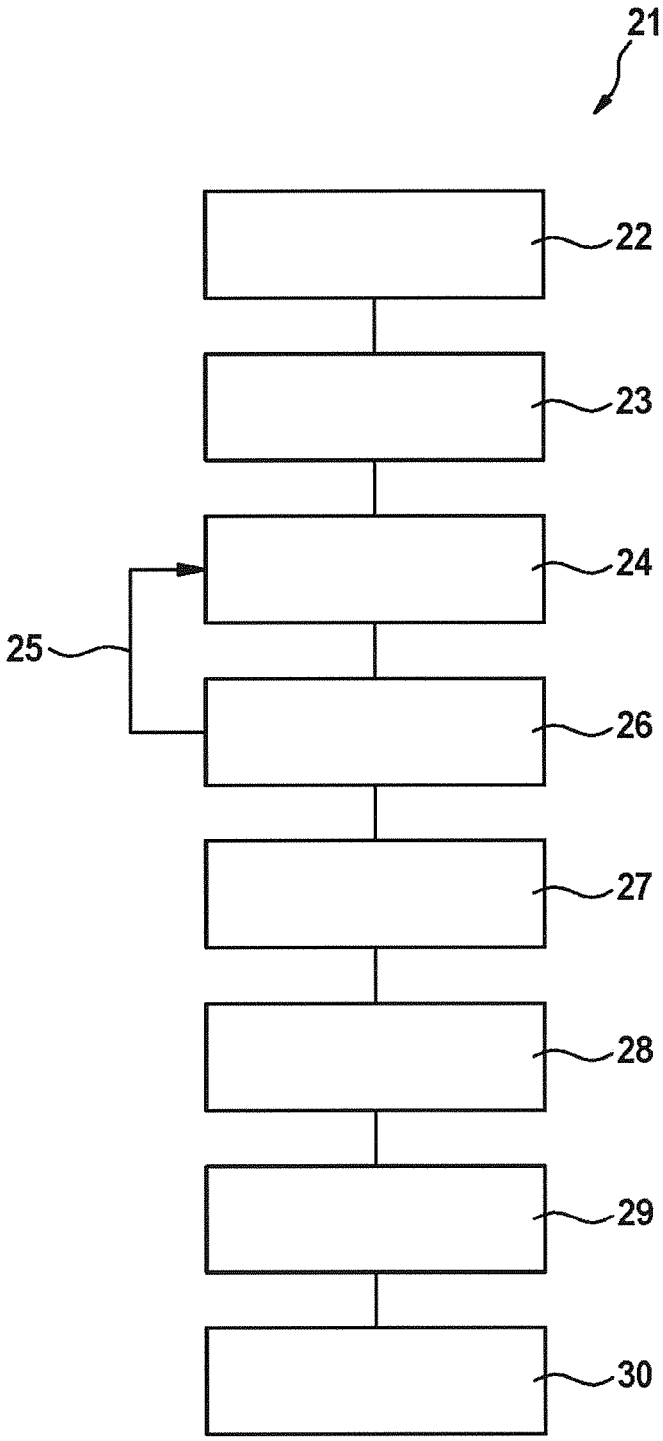


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/CH2015/000052

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B22F3/15 B22F7/06 C22C1/04 C22C29/10 C22C33/02
F16C35/00 B22F7/00 C22C29/08 C22C32/00
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B22F C22C F16C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2008 298258 A (KUBOTA KK) 11 December 2008 (2008-12-11) paragraphs [0022] - [0027], [0030] - [0032], [0044] figure 2 -----	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
22 June 2015	30/06/2015

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Forestier, Gilles

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/CH2015/000052

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2008298258 A	11-12-2008	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/CH2015/000052

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B22F3/15 B22F7/06 C22C1/04 C22C29/10 C22C33/02
F16C35/00 B22F7/00 C22C29/08 C22C32/00
ADD.
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B22F C22C F16C

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP 2008 298258 A (KUBOTA KK) 11. Dezember 2008 (2008-12-11) Absätze [0022] - [0027], [0030] - [0032], [0044] Abbildung 2 -----	1-15

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
22. Juni 2015	30/06/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Forestier, Gilles

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/CH2015/000052

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2008298258 A	11-12-2008	KEINE	