(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. Oktober 2016 (13.10.2016)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/162111 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F16B 1/00 (2006.01) *F16B 4/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/000524

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. März 2016 (29.03.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
15000975.1 4. April 2015 (04.04.2015) EP

(71) Anmelder: **ESM ENERGIE- UND SCHWINGUNGSTECHNIK MITSCH GMBH** [DE/DE]; Auf der Rut 5, 64668 Rimbach-Mitlechtern (DE).

(72) Erfinder: **MITSCH, Franz**; Im Rosengarten 16, 64646 Heppenheim (DE). **HEINZ, Frank**; Im Rosengarten 12, 64646 Heppenheim (DE).

(74) Anwalt: **BENZ, Juergen**; Heumann, Rechts- und Patentanwälte, Spessartring 63, 64287 Darmstadt (DE).

(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, 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).

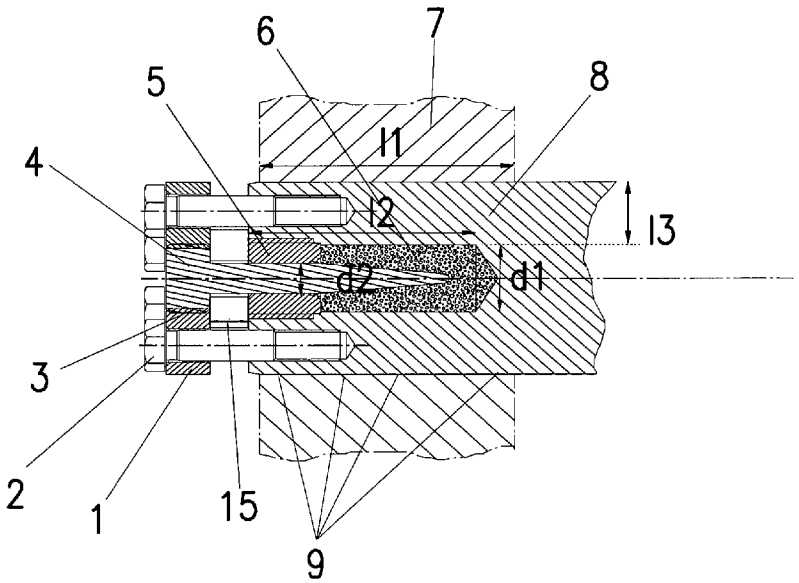
Veröffentlicht:

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

(54) **Title**: REVERSIBLE CONNECTING OF MACHINE COMPONENTS

(54) **Bezeichnung** : REVERSIBLE VERBINDUNG VON MASCHINENBAUTEILEN

Abb. 2



(57) **Abstract**: The invention relates to workpieces that generate pressure by means of extrusion media (6, 6a) and are deformed in this way, for the secure connection of components (7, 8). The invention relates in particular to an extrusion billet, which comprises an extrudable material or material mixture in the interior thereof, which can be reversibly compressed by a compression die (4) penetrating into the material, such that billet can expand in diameter through increasing the internal pressure in the billet, which leads to a very secure, reversible press fitting of the different types of components to be connected, in particular of shaft-hub connections in mechanical engineering.

(57) **Zusammenfassung**: Die Erfindung betrifft durch Verdrängungsmedien 6, 6a Druck erzeugende und sich dadurch verformende Werkstücke zur festen Verbindung von Bauteilen 7, 8. Die Erfindung betrifft insbesondere einen Pressbolzen, der in seinem Inneren ein verdrängbares Material oder Materialgemisch aufweist, welches durch einen in das Material eindringenden Druckstempel 4 reversibel komprimiert werden kann, so dass der Bolzen in seinem Durchmesser durch Erhöhung des Innendrucks im Bolzen aufweiten kann, was zu einer sehr festen, reversiblen Presspassung der zu verbindenden Bauteile unterschiedlicher Art, insbesondere aber von Wellen-Nabenverbindungen im Maschinenbau führt.

WO 2016/162111 A1

Reversible Verbindung von Maschinenbauteilen

Die Erfindung betrifft durch ein Verdrängungsmedium sich verformende Werkstücke zur festen reversiblen Verbindung von Bauteilen.
Die Erfindung betrifft insbesondere einen Pressbolzen oder ein gleichwirkendes Werkstück, der bzw. das in seinem Inneren ein verdrängbares Material oder Materialgemisch aufweist, welches durch einen in das Material eindringenden Druckstempel reversibel unter hohem Druck komprimiert werden kann, so dass der Bolzen in seinem Außendurchmesser durch Erhöhung des Innendrucks im Bolzen aufgeweitet wird, wodurch eine sehr feste reversible Presspassung mit zu verbindenden Bauteilen unterschiedlicher Art, insbesondere aber von Wellen-Nabenverbindungen im Maschinenbau erreicht wird.

Das feste Verbinden von Bauteilen / Maschinenteilen ist eine grundsätzliche und immer wieder auftretende Aufgabe im Maschinenbau, die es entsprechend der jeweiligen technischen Aufgabe zu lösen gilt. Dabei ist es häufig erforderlich, dass Bolzen mit einer Presspassung so fest eingepresst werden, dass diese durch den Vorspanndruck und der dadurch entstehenden Reibung miteinander verbunden sind, so dass in der Presspassung so hohe Reibungskräfte entstehen, dass sich die Bolzen nicht von selbst lösen und somit axiale Kräfte und Torsions-Momente übertragen werden können.

Dies geschieht nach dem Stand der Technik durch Einpressen des Bolzens mit großen axialen Kräften in eine Bohrung.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Bolzen abzukühlen und/oder das Bauteil mit der entsprechenden Bohrung aufzuheizen. Durch das Schrumpfen des Bolzens bei Kälte bzw. das Weiten der Bohrung durch Wärme entsteht zwischen Bolzen und Bohrung ein Spalt, so dass der Bolzen eingeführt werden kann. Sobald die Bauteile ihre gemeinsame Temperatur erreicht haben entsteht damit eine Presspassung. Diese Presspassung ist nicht oder nur bedingt lösbar.

Es ist weiterhin bekannt, dass man Rohre unter hohem Innendruck "aufblasen" kann. Bisher wird dieses Verfahren tatsächlich nur im Rohrbereich angewendet. Das Aufblasen oder Weiten massiver Bolzen ist bislang nicht beschrieben worden.

Die bisherigen bekannten Methoden zur Verbindung von Bauteilen mittels Bolzen oder Dübeln haben in der Regel den Nachteil, dass die Verbindung, wenn einmal hergestellt, nicht ohne Zerstörung wieder gelöst werden kann. Oft werden dabei die Bauteile selbst in

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Mitleidenschaft gezogen. Ein Lösen der Verbindungen im Zusammenhang mit Austausch- oder Wartungsarbeiten in einer Anlage ist aber in vielen Fällen wünschenswert, insbesondere in Anlagen, wie z.B. Windkraftanlagen, die hohen Kräften ausgesetzt sind.

Es bestand somit die Aufgabe eine Verbindungsvorrichtung in Form eines Pressbolzens oder eines gleichwirkenden Bauteils zur Verfügung zu stellen, der in Bezug auf seine Verbindung nicht nur gegebenenfalls sehr fest, und somit sehr widerstandsfähig gegenüber hohen Kräften ist, sondern auch reversibel ist.

Die Aufgabe wurde durch Zurverfügungstellung eines Bauteils gemäß der Erfindung, wie sie im Folgenden und in den Ansprüchen näher beschrieben wird, gelöst.

Das erfindungsgemäße Bauteil ist ein unter Druck reversibel aufweitbares oder verformbares Werkstück, im einfachsten Fall ein Pressbolzen oder Hochdruckdübel. Es kann aber auch Teil einer Welle oder Achse sein, beispielsweise an einem Ende der Welle oder Achse, es kann aber auch ein integrierter Bestandteil eine Nabe, eines Planetengetriebes, bzw. Planetenanordnung sein mit den beschriebenen Merkmalen.

Das erfindungsgemäße Bauteil bzw. Werkstück umfasst im Wesentlichen einen im Wesentlichen zylindrischen oder ggf. konischen Grundkörper bzw. Bolzenkörper (8), der in seinem Inneren einen oder mehrere Hohlräume in Form einer oder mehrerer Bohrungen vorzugsweise in Richtung seiner Längsachse aufweist.

Diese Bohrung oder Bohrungen dienen erfindungsgemäß als Verdrängungsräume für Verdrängungsmedien. Der Verdrängungsraum oder die Verdrängungsräume können verschiedene Gestalt haben, vorzugsweise sind sie zylindrisch oder konisch mit spitzem oder flachem Ende oder aber auch ringförmig, beispielsweise versetzt nach innen entlang des Umfangs des Querschnitts des Grundkörpers. Die entsprechend geformte(n) parallel zur Längsachse des Grundkörpers angeordnete(n) Bohrung(en) ist / können konzentrisch oder auch regelmäßig oder unregelmäßig um die gedachte zentrale Achse des Grundkörpers oder Bolzens platziert sein, und sind zur Oberseite hin offen zur Einführung eines Druckstempels, welcher den jeweiligen Hohlraum, bzw. die Bohrung ganz oder teilweise ausfüllen kann und dabei das Verdrängungsmedium zusammenzupressen vermag. Der Druckstempel (4) wird mit entsprechenden Spann- und Druckmitteln, die den Abschluss der Bohrung bilden und mechanischer oder hydraulischer Art sein können, betätigt.

Der Druckstempel ist so gestaltet, dass er in den vorgesehenen Verdrängungsraum eingeführt und in diesen durch Verdrängung des vorhandenen Verdrängungsmediums

zumindest teilweise ausfüllen kann. Der Druckstempel kann vorzugsweise zylindrisch geformt sein mit einem spitzen oder flachen Ende analog zu einem zylindrischen Verdrängungsraum oder aber ringförmig, so dass er in einen entsprechenden ringförmigen Verdrängungsraum passt. Der Druckstempel kann einen Durchmesser (d_2) aufweisen der maximal dem Durchmesser (d_1) des Verdrängungsraumes entspricht, jedoch muss in diesem Fall eine relative hohe Kraft ausgeübt werden, um im Inneren des Verdrängungsraumes einen bestimmten hohen Druck zu erzeugen. Vorteilhaft ist daher ein Druckstempel mit einem Durchmesser, der kleiner ist, als der Durchmesser des Verdrängungsraumes, für den der Druckstempel vorgesehen ist. Generell kann das Verhältnis d_1/d_2 1 – 5, vorzugsweise 2.0 – 3.0 betragen.

Es ist, wie bereits erwähnt, denkbar, dass mehrere Verdrängungsräume bzw. Bohrungen oder Hohlräume entlang der, bzw. parallel zur Grundkörperachse vorhanden sind. In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Grundkörper oder Bolzen mit einem konzentrisch angeordneten, im Wesentlichen zylindrischen Hohlraum oder Verdrängungsraum versehen, welcher mit einem entsprechenden Verdrängungsmedium gefüllt ist.

Über den Druckstempel und die Druckmittel kann somit das in den Hohlräumen befindliche Medium elastisch zusammengepresst, bzw. verdrängt werden, so dass der dabei entstehende Druck im Inneren der Bohrung radial gleichmäßig nach außen auf die Außenwand des Werkstückes. bzw. Bolzens übertragen wird, und dieses bzw. diesen durch Vergrößerung des Umfangs des bolzenförmigen Werkstücks verformt, welcher als Pressfläche (9) gegenüber dem umgebenden zu verbindenden Bauteil, beispielsweise eine Nabe (7), fungiert.

Erfindungsgemäß sind an die Materialeigenschaften des Grundkörpers (8) sowie des Verdrängungsmedium (6) spezielle Anforderungen zu stellen, damit aufgabegemäß eine sehr feste aber reversible und über einen großen Temperaturbereich verlässliche Verbindung mit dem zu verbindenden Bauteil sichergestellt werden kann.

Der Grundkörper oder Bolzenkörper sollte so beschaffen sein, dass er hohen Drücken mit einer gewissen Elastizität begegnet, damit bei Entspannung des Systems, also Verringerung des Druckes im Verdrängungsraums durch Herausziehen des Druckstempels, die ursprüngliche Form, bzw. der ursprüngliche Umfang des Grundkörpers und somit ein Lösen der festen Verbindung wieder erreicht wird.

Am besten eigenen sich Materialien oder Werkstoffe mit einem Elastizitätsmodul > 50.000 N/mm^2, vorzugsweise > 100.000 N/mm^2 , > 150.000 N/mm^2, > 200.000 N/mm^2, > 250.000 N/mm^2, oder > 300.000 N/mm^2. Insbesondere sind Materialien mit einem Elastizitätsmodul zwischen 150.000 N/mm^2 und 300.000 N/mm^2 geeignet, wie beispielsweise Stähle oder Stahllegierungen oder Materialien, welche solche aufweisen, insbesondere zwischen 150.000 N/mm^2 und 250.000 N/mm^2, vorzugsweise zwischen 180.000 N/mm^2 und 220.000 N/mm^2.

Das Verdrängungsmedium, welches den Raum der Bohrungen (22) bzw. Hohlräume ausfüllt, sollte erfindungsgemäß ein deutlich geringeres Elastizitätsmodul und damit höhere Elastizität besitzen als der Grundkörper/Bolzenkörper selbst. Das Elastizitätsmodul des Verdrängungsmedium sollte erfindungsgemäß weniger als 20% des E-Moduls des Materials des Grundkörpers/Pressbolzens betragen, vorzugsweise jedoch weniger 15%, 10%, 5%, 1% oder 0.001% sein. Das ideale E-Modul des Verdrängungsmediums gemäß der Erfindung liegt zwischen 0.001% und 20%, insbesondere zwischen 0.001 und 10% des E-Moduls des umgebenden Grundkörpers.

Ein zur Lösung der gestellten Aufgabe geeignetes Verdrängungsmedium muss jedoch auch einen Wärme-Ausdehnungskoeffizienten besitzen, der von dem Ausdehnungskoeffizienten des Grundkörpers, also beispielsweise Stahl, idealerweise möglichst nicht oder nicht wesentlich abweicht, da sich sonst die bei einer bestimmtem Temperatur hergestellte Verbindung bei später eintretenden Temperaturunterschieden in der Anlage (zwischen -40°C und +60°C) wieder lösen oder lockern kann, bzw. im umgekehrten Fall in dem zu verbindenden Bauteil eine unzulässig hohe Flächenpressung entsteht, dass diese „aufgesprengt" wird, wodurch die Verbindung nicht mehr sichergestellt ist oder nur schwer wieder gelöst werden kann, falls dies, wie beispielsweise bei Austausch von Bauteilen, notwendig werden könnte.

Übliche Materialien, die gemäß der ersten Forderung ein deutlich geringeres E-Modul (< 30.000 N/mm^2, vorzugsweise < 10.000 N/mm^2, < 1.000 N/mm^2) als der Grundkörper (8) aufweisen sollen, besitzen jedoch im Allgemeinen einen sehr viel höheren Ausdehnungskoeffizienten als die geeigneten Grundkörper-Materialen mit den geforderten E-Moduln zwischen 50.000 und 300.000 N/mm^2. Im Regelfall werden für den erfindungsgemäßen Grundkörper Stähle eingesetzt.

Daher war es auch Aufgabe der Erfindung solche Materialien als Verdrängungsmedium zur Verfügung zu stellen, welche ein deutlich kleineres E-Modul als das umgebende Material des Grundkörpers oder Bolzens (beispielsweise aus Stahl oder Stahllegierung) besitzen jedoch

gleichzeitig einen insgesamt wirksamen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen, der mit dem Ausdehnungskoeffizienten des Bolzens/Grundkörpers (z.B. Stahl oder Stahllegierung) vergleichbar ist, also von letzteren um lediglich 0 – 10%, vorzugsweise 0 – 5%, abweicht. Solche Materialen als Verdrängungsmedium, welche erfindungsgemäß eingesetzt werden können, können auch Gemische verschiedener Materialien sein und werden weiter unter ausführlich offenbart und beschrieben.

Gegenstand der Erfindung ist somit ein durch Druck reversibel verformbares Werkstück, insbesondere in Form eines Pressbolzens, eines Dübels, einer Welle, einer Achse, einer Nabe, eines Teils einer Welle oder Achse , eines Teils einer Nabe, oder eines Bauteils im Zusammenhang mit einer Kupplung oder einem Planetenträger oder Planetengetriebe, zum festen reversiblen Verbinden von Maschinenbauteilen umfassend:

(i) einen im Wesentlichen zylindrischen Grundkörper (8), der auf seinem Umfang eine Pressfläche (9) zu einer Fläche des zu verbindenden Maschinenbauteils (7) aufweist,

(ii) mindestens einen Verdrängungsraum (22) (23) im inneren des Grundkörpers, welcher mit einem flüssigen bzw. fließfähigen und / oder festen in Pulverform *oder granulierter Form vorliegenden Verdrängungsmedium (6)(6a) ganz oder* teilweise ausgefüllt ist,

(iii) Druck- und Spannmittel (1) (2) (3) (5) (14) – (20), sowie

(iv) mindestens einen Druckstempel (4) der in Form und Größe so gestaltet ist, dass er mittels der Druck- und Spannmittel in den Verdrängungsraum ganz oder teilweise eingeschoben werden kann, um das dort befindliche Verdrängungsmedium zusammenzupressen, wodurch eine Aufweitung des Umfangs des Grundkörpers über die Pressfläche (9) erfolgt und so eine sehr feste reversible Verbindung mit dem zu verbindenden Maschinenbauteil entsteht,

wobei das in einem oder mehreren Verdrängungsräumen eingesetzte Verdrängungsmedium ein insgesamt wirksames Elastizitätsmodul von maximal 25%, vorzugsweise von maximal 20% des Elastizitätsmoduls des Materials des Grundkörpers (8) aufweist, bzw. vorzugsweise 0.001% - 15% des E-Moduls des Grundkörpers beträgt, und einen insgesamt wirksamen Ausdehnungskoeffizienten besitzt, der von dem Ausdehnungskoeffizienten des Grundkörpers um maximal 10% , vorzugsweise um 0 – 5% abweicht.

Um der Forderung nach einem geeigneten Ausdehnungskoeffizienten des Verdrängungsmediums gerecht zu werden, ist es erfindungsgemäß auch möglich mehrere Verdrängungsräume zur Verfügung zu stellen, welche, mit Materialien mit unterschiedlichen

Ausdehnungskoeffizienten gefüllt sind, wobei der gesamt wirkende Ausdehnungskoeffizient die oben genannte Bedingung erfüllen muss, nämlich nicht mehr als 10% vom Ausdehnungskoeffizienten des Materials des Grundkörpers bzw. Bolzens abzuweichen. Somit ist auch Gegenstand der Erfindung ein entsprechendes Werkstück, bei dem der Grundkörper (8) einen ersten Verdrängungsraum (22) mit einem Verdrängungsmedium (6) und mindestens einen zweiten Verdrängungsraum (23) mit einem Verdrängungsmedium (6a) aufweist, wobei das erste Verdrängungsmedium einen anderen Ausdehnungskoeffizienten aufweist als das zweite, insbesondere aber einen höheren Ausdehnungskoeffizienten aufweist als der Grundkörper (8) und das zweite Verdrängungsmedium einen niedrigeren Ausdehnungskoeffizienten besitzt als der Grundkörper. In diesem Fall wurde gefunden, dass die besten Ergebnisse erzielt wurden, wenn das Verdrängungsmedium mit dem niedrigeren Ausdehnungskoeffizienten einen Wert von $<11.0 \times 10^{-6}$ / K , vorzugsweise $< 2.0 \times 10^{-6}$ / K aufweist.

In einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist der Grundkörper mit einem ersten Verdrängungsraum (22) von ringförmiger Gestalt ausgestattet, der entlang des Umfangs des Grundkörpers (8) im Inneren angeordnet ist, und mit einen zweiten Verdrängungsraum (23) ausgestattet, der die Form eines Hohlzylinders besitzt und konzentrisch platziert ist, wobei der erste ringförmigen Verdrängungsraums (22) um den zweiten Verdrängungsraum (23) herum angeordnet ist. Es ist aber auch denkbar, dass der Grundkörper mit einem ersten äußeren Ring von Hohlzylindern die radial im zylindrischen Grundkörper angeordnet sind, und einen zweiten inneren Ring von Hohlzylindern oder einen einzigen konzentrischen Hohlzylinder ausgestattet ist. Durch entsprechende Wahl der Verdrängungsmedien kann somit eine größere Flexibilität an E-Moduln und Ausdehnungskoeffizienten erreicht werden, um die gewünschten Resultate zu erzielen.

Bei Verwendung mehrere Verdrängungsräume können auch mehrere Druckstempel bzw. als Druckstempel fungierende Vorrichtungen eingesetzt werden, was sich positiv auf die Druckverteilung und somit auf die gleichmäßige Aufweitung des Bolzens/Grundköpers auswirken kann.

Auch an die Geometrie der Bohrungen/Hohlräume/Verdrängungsräume in Bezug auf den sie umgebenden Grundkörper oder Bolzen sind erfindungsgemäß bestimmte Anforderungen gestellt.

So ist eine Bohrung im Inneren des Werkstückes bzw. Pressbolzens entlang der Längsachse des Bauteils vorzugsweise kürzer als der Pressbolzen bzw. der Grundkörper selbst und

besitzt eine Länge (l_2), die größer, gleich oder auch kürzer als die Länge (l_1) ist, welche der gemeinsamen Fläche von Bolzen bzw. Grundkörper und umgebenden zu verbindenden Bauteil entspricht. Nur so kann eine gleichmäßige Druckverteilung auf die Verbindungsfläche erreicht werden. Optimale Ergebnisse können erzielt werden, wenn besagte Längenverhältnisse im folgenden Bereich vorliegen: $l_2 = 0.75\ l_1$ bis $1.25\ l_1$. Idealerweise ist l_2 etwa 13 – 15% größer als l_1. Des Weiteren ist es vorteilhaft, den Auslauf der Bohrung spannungsoptimiert zu gestalten.

Weist das Werkstück nur eine Bohrung auf, so ist diese vorzugsweise konzentrisch angeordnet. Das Werkstück kann aber, wie bereits erwähnt, auch mehrere Bohrungen mit Druckstempeln und Spann-/Druckvorrichtungen aufweisen. In diesem Fall sind die Bohrungen entlang des Umfangs des zylindrischen Werkstückes radial vorzugsweise gleichmäßig oder gleichwirkend verteilt.

Eine weitere wichtige geometrische Anforderung an das erfindungsgemäße Werkstück ist, dass die durch den Druckstempel und das Verdrängungsmedium übertragenen Drücke ausreichend auf die Pressfläche (9) übertragen werden können, so dass die entsprechende Außenfläche reversibel geweitet wird. Nur dadurch kann eine feste, auf Reibspannung basierende Verbindung mit der entsprechenden Fläche des umgebenden Bauteils erzielt werden.

Um dies zu gewährleisten, ist es erfindungsgemäß notwendig, dass der Durchmesser der vorzugsweise zylindrischen Bohrung (d_1) und der Abstand der Bohrung (= Außenfläche des Verdrängungsraumes (22) (23)) zur Außenfläche des vorzugsweise zylindrischen Grundkörpers (l_3) in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen. Es wurde gefunden, dass, wenn das Verhältnis (l_3) / (d_1) 0.05 bis 3, vorzugsweise 0.125 bis 1,5 beträgt, die reversible Aufweitung für ein bestimmtes mit einer definierten Kraft gepressten Verdrängungsmedium, optimal ist.
Gegenstand der Erfindung ist somit ein entsprechendes Werkstück, bzw. ein entsprechender Bolzen usw. bei dem das Verhältnis Entfernung (l_3) zwischen Pressfläche (9) und Außenfläche Verdrängungsraum (22)(23) zu Durchmesser (d_1) des Verdrängungsraums (22)(23) 0.05 bis 3 , vorzugsweise 0.125 bis 1.5 beträgt.

Eine weitere geometrische Anforderung ist, dass der Durchmesser des Druckstempels (d_2), welcher Verdrängungsmedium verdrängen soll, in einem bestimmten Verhältnisbereich zum Durchmesser des Verdrängungsraums (d_1) stehen sollte, um optimale Ergebnisse erzielen zu können.

Gegenstand der Erfindung ist somit auch ein entsprechendes Werkstück, bzw. ein entsprechender Bolzen usw. bei dem das Verhältnis Durchmesser (d_1) des Verdrängungsraums (22)(23) zu Durchmesser (d_2) des Druckstempels (4) 1.01 bis 5.0, vorzugsweise 2 bis 3.5 beträgt.

Der Grundköper (8) muss starke Drücke aushalten aber prinzipiell nicht unelastisch sein. Daher sollte er aus einem Material mit einem Elastizitätsmodul in einem Bereich zwischen 70.000 und 300.000 N/mm^2 bestehen. Vorzugsweise besteht er aus Stahl oder einer Stahllegierung oder einem Material, welches Stahl oder Stahllegierung enthält mit einem E-Modul zwischen 180.000 und 220.000 N/mm^2.

Das für die beschriebenen Hohlräume / Verdrängungsräume verwendete Verdrängungsmedium (6) (6a) sollte, wie eingangs definiert, ein insgesamt wirksames Elastizitätsmodul von maximal 20% des Elastizitätsmoduls des Materials des Grundkörpers (8) aufweisen, gleichzeitig aber auch einen Ausdehnungskoeffizienten, der dem des Grundkörpers sehr ähnlich ist, und nicht mehr als 10% davon abweicht.

Dies kann durch eine einzige Materialkomponente nur selten erreicht werden, wie aus Tab. 1 zu entnehmen ist.

Tab. 1: Elastizitätsmodule und Wärmeausdehnungskoeffizienten von verschiedenen Werkstoffen

Material	**E-Modul (N/mm^2= MPa)**	(Längen)-**Ausdehnungskoeffizient (10^{-6}/K)**
Stähle	180.000 – 215.000	11 - 16
Invar (Eisen-Nickel L.)	140.000 – 150.000	1.5 – 2.5
Eisen	195.000	12 - 13
Aluminium	70.000	23 - 24
Kupfer	140.000	16 - 17
Nickel	215.000	13
Graphit	27.000	2
Quarzglas	95.000	0.5
Gläser, Porzellan	40.000 – 90.000	3 – 9
Glaskeramik	90.000 – 100.000	< 0.5
Beton, Zement	22.000 – 45.000	12
Silizium	107.000	2 – 3
Kunststoffe	1.000 – 5.000	50 – 180
Gummi (Naturkautschuk)	10 – 100	160 – 220
Holz	500 – 16.000	7 – 9
Carbonfasern	70.000 - 300.000	-0.1
Glasfasern	7.000 – 90.000	5

Daher sind Gegenstand der Erfindung auch entsprechende Werkstücke bei dem das Verdrängungsmedium (6) (6a) ein Gemisch aus mindestens zwei Komponenten mit jeweils unterschiedlichen Elastizitätsmoduln und / oder Ausdehnungskoeffizienten ist, wobei diese jeweils so gewählt sind, dass das Gesamt-E-Modul und der Gesamt-Ausdehnungskoeffizient die oben und in den Ansprüchen genannten Werte bzw. Bereiche annimmt.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Verdrängungsmedium (6) (6a) ein binäres oder ternäres Gemisch. Alternativ besteht die Möglichkeit, zwei oder drei verschiedene Verdrängungsmedien mit unterschiedlichen E-Moduln und / oder Wärmeausdehnungskoeffizienten in entsprechenden zwei oder drei Verdrängungsräumen (22) (23) einzusetzen.

Es hat sich gezeigt, dass besonders gute Ergebnisse erzielt werden können, wenn zumindest ein Verdrängungsmedium oder zumindest eine Komponente eines Verdrängungsmedium ein Material oder Werkstoff ausgewählt aus der folgenden Gruppe ist: Graphit, Quarzglas, Glasfaser, Eisen-Nickel-Legierung, ein Kunststoff, ein Kunststoffgemisch oder ein Elastomer.

Es hat sich weiter gezeigt, dass besonders gute Ergebnisse erzielt werden können, wenn zumindest ein erstes Verdrängungsmedium oder zumindest eine Komponente davon Graphit, Quarzglas, Glasfaser oder Eisen-Nickel-Legierung aufweist, und ein zweites Verdrängungsmedium oder eine zweite Komponente des ersten Verdrängungsmediums ein Kunststoff, ein Kunststoffgemisch oder ein Elastomer ist, und der Grundkörper (8) im Wesentlichen aus einem Material mit einem E-Modul zwischen 70.000 und 300.000 N/mm^2 besteht. In einer bevorzugten Ausführungsform hierzu besteht der Grundkörper im Wesentlichen aus Stahl oder Stahllegierung mit einem E-Modul zwischen 180.000 und 220.000 N/mm^2 und einem Ausdehnungskoeffizienten zwischen 10 und 20 x 10^{-6} / K.

In einer weiteren Ausführungsform ist das Verdrängungsmedium ein binäres Gemisch, wobei die beiden Komponenten ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus:

(i) Polyester, PVC oder Elastomer	und	Quarzglas oder Glasfaser
(ii) Polyester, PVC oder Elastomer	und	Eisen-Nickel-Legierung
(iii) Polyester, PVC oder Elastomer	und	Graphit
(iv) Epoxidharz	und	Graphit
(v) Glykole oder Öle	und	Graphit.

Die beiden Komponenten können auch, wie geschildert, in getrennten Verdrängungsräumen untergebracht sein.

Besonders vorteilhaft haben sich Verdrängungsmedien erwiesen, die Graphit und / oder Quarzglas enthalten in einem Bereich von 60 – 98%, vorzugsweise 75 – 90% Graphit oder Quarzglas oder Eisen-Nickel-Legierung.

Die erfindungsgemäßen Werkstücke sind vor allem vorgesehen für:
(i) die feste Montage und zerstörungsfreie Demontage von Maschinenbauteilen in Vorrichtungen und Anlagen, welche mittleren bis großen Kräften ausgesetzt sind,
(ii) Herstellung von Wellen-Naben-Verbindungen,
(iii) den Einbau in Windkraftanlagen.

Somit sind auch Gegenstand der Erfindung Windkraftanlagen oder andere technische, großen Kräften ausgesetzte Maschinen oder Anlagen.

Im Folgenden wird die Erfindung näher beschrieben.

1	Druckring
2	Spannschraube
3	Befestigung Druckstempel
4	Druckstempel
5	Verschluss Element
6	Erstes Verdrängungsmedium, hydraulischer Verdrängungswerkstoff
6a	Zweites Verdrängungsmedium, hydraulischer Verdrängungswerkstoff
7	Nabe
8	Bolzen, Grundkörper
9	Pressfläche
10	Druckring für Umfangs Pressbolzen
11	Klemmeinheit pro Achse
12	Achse mit mehreren Mehrere Klemmeinheiten
13	Dichtung für dünnflüssige Medien
14	Druckschraube
15	Vorspann-Weg
16	Vorspannhülse
17	Sicherungsblech
18	Sicherungsschraube
19	Hydraulikzylinder
20	Befestigungsschraube
21	Montagehilfe
22	Erster Verdrängungsraum
23	Zweiter Verdrängungsraum

Abb. 1 bis Abb. 9 zeigen einen typischen Bolzen gemäß der Erfindung im Schnitt.

In einen Bolzen wird beispielsweise eine Bohrung mit einem Durchmesser-Verhältnis von etwa 1,25-4 (Verhältnis Außendurchmesser zu Bohrungsdurchmesser) eingebracht. Dies entspricht bei einem Außendurchmesser des Bolzens von 100 mm einer Bohrung, die in

einem Bereich von 25 mm bis 80 mm liegt. In diese Bohrung wird ein Medium (hydraulischer Verdrängungs-Werkstoff Position 6) eingebracht. Dieses Medium wird mit dem Druckstempel Position 4 soweit verdichtet, dass in dem Bolzen ein hoher Druck entsteht. Der Durchmesser des Druckstempels Position 4 ist idealerweise kleiner als der Durchmesser (d1), in dem der hydraulische Verdrängungs-Werkstoff eingebracht ist (Durchmesser-Verhältnis 2,5-3,75). Denn je kleiner der Durchmesser (d2) des Druckstempels gewählt wird, desto höher ist der sich einstellende Druck im Inneren des Bolzens, bei gleichbleibender Kraft mit der der Druckstempel in das Medium eingepresst wird. Es sind aber durchaus Bohrungen mit einem Durchmesser Verhältnis von 1-5 denkbar. Dies entspricht bei einem Bohrungsdurchmesser von 60 mm einem Durchmesser des Druckstempels von 12 bis 60 mm. Bei der Verwendung eines Druckstempels mit kleinem Durchmesser entsteht ein großes Druckverhältnis, so dass der Druckstempel aus festem Material mit größer 1000 N/mm² bestehen muss.

Es ergeben sich Größenänderungen des Außendurchmessers je nach Bedingungen von bis zu 0,25% . Das heißt, dass sich bei einem Ausgangsdurchmesser von 100 mm nach der Aufweitung ein Außendurchmesser von 100,25 mm einstellt. Die Aufweitung kann hierbei über den Eintauchweg genau gesteuert werden. Die erreichbaren Größenordnungen der Aufweitung sind für eine Presspassung ausreichend.

In den Zeichnungen sind unterschiedliche Möglichkeiten dargestellt. So ist zum Beispiel der Druckstempel Position 4 in den Abbildungen 1 - 5 und 8 mit einer Spitze ausgeführt, während in Abb. 6 ein stumpfer Stempel verwendet wird. Der stumpfe Stempel hat den Nachteil, dass nach Herausziehen des Stempels die Rückstellung der Ausdehnung nur teilweise erfolgt. Deshalb ist es vorteilhaft, den Druckstempel mit einer Spitze oder einer gerundeten Spitze zu versehen oder am unteren Ende konisch zu verjüngen. Dadurch wird beim Herausziehen des Stempels das Verdrängungsmedium (6) stärker zurückgedrückt als bei Verwendung eines stumpfen Stempels analog Abb. 6.

Der Druckstempel (4) wird entweder mit mehreren kleineren Schrauben über eine Druckplatte Position 1 eingepresst oder aber wie in Abb. 4 dargestellt mit einer einzelnen Schraube größeren Durchmessers.

Abb. 7 und Abb. 8 zeigt eine Variante mit einem größeren Bohrungsdurchmesser.. Bei dieser Variante sind die Gewindebohrungen nicht mehr im Bolzen, sondern in der Vorspannhülse, Position 16, eingebracht. Die Vorspannhülse ist mit dem Bolzen verschraubt. Der Auslauf der Bohrung ist so ausgelegt, dass die Spannungen, die infolge der Aufweitung entstehen, auf ein Mindestmaß reduziert werden.

Eine weitere Möglichkeit ist, den Druckstempel hydraulisch über einen Rundblockzylinder, wie in Abb. 9 gezeigt, in das Medium einzupressen und den Druckstempel über mehrere kleine Schrauben mit einem Sicherungsblech Position 17 gegen Herauswandern zu sichern. Der Rundblockzylinder wird über ein Außengewinde an der Vorspannhülse, Position 16 befestigt. Ein Vorteil dieser Variante ist die vereinfachte und kürzere Montage.

Für den Fall, dass der Druckstempel (4) nicht von alleine aus dem Medium (6) herauskommt, ist eine Befestigung an dem Druckstempels Position 3 vorgesehen, mit welcher der Stempel aus dem Medium herausgezogen werden kann, um die Ausdehnung rückgängig machen zu können.

Idealerweise ist das Medium ein Werkstoff, der einen deutlich geringeren Elastizitätsmodul als Stahl hat. Leider haben solche Werkstoffe im Allgemeinen einen sehr viel höheren Wärme-Ausdehnung-Koeffizienten als Stahl. Das hat zur Folge, dass die Presspassung durch die unterschiedliche Ausdehnung gestört wird, so dass bei besonders niederen Temperaturen der Bauteile die Pressung versagen würde. Durch den größeren Wärmeausdehnungskoeffizienten schrumpft das Medium stärker als der Bolzen selbst, sodass durch dieses Verhalten der Druck im Inneren der Bohrung nachlässt und somit die Aufweitung zurückgeht und dementsprechend die Presspassung versagen würde.

Infrage kommen fließfähige Werkstoffe mit möglichst geringer Wärmeausdehnung wie zum Beispiel Polyester oder PVC.

Solche Werkstoffe haben einen Ausdehnungskoeffizienten von 50-80 x 10^{-6} / K (Gummi beispielsweise hat einen Ausdehnungskoeffizienten von etwa 200 x 10^{-6} / K). Stahl hat zum Vergleich einen Ausdehnungskoeffizienten der in einem Bereich von 11-13 x 10^{-6} / K liegt. Somit sind auch solche Werkstoffe noch nicht geeignet, die Verbindung bei Temperatur-schwankungen zu gewährleisten.

Die erfindungsgemäße Lösung ist jetzt, einen zweiten Werkstoff mit besonders geringem Temperatur-Ausdehnungskoeffizient zu verwenden und diesen mit einem fließfähigen Werkstoff im entsprechenden Verhältnis zu mischen.

Ein Beispiel ist Quarz-Glas-Mehl, welches einen Ausdehnungskoeffizienten von etwa 0,5 x 10^{-6} / K aufweist. Wird dieses Quarz-Glas-Mehl in Polyester mit dem entsprechenden Verhältnis eingerührt, so kann der Wärmeausdehnungskoeffizient des Polyester-Glas-Gemisches auf den Wert von Stahl korrigiert werden.

Weiterhin ist es möglich einen zusätzlichen Hohlraum mit einem Werkstoff mit besonders geringer Wärmeausdehnung aufzufüllen. Dazu kann ebenso Quarzglas verwendet werden,

sowie annähernd jedes Material welches einen sehr kleinen Wärmeausdehnungskoeffizient aufweist.

Darüber hinaus kann auch der Werkstoff Invar® verwendet werden, der aus 64 % Eisen und 36 % Nickel besteht, oder ähnliche Werkstoffe. Dieser hat einen Ausdehnungskoeffizienten von etwa null. Auch ist es möglich, Invar Staub oder Pulver zu den Medien mit höheren Ausdehnungskoeffizienten beizumischen und damit den Ausdehnungskoeffizienten des umgebenden Stahls zu erreichen.

Als sehr geeignete Werkstoffkombination hat sich erfindungsgemäß eine Elastomer-Graphit-mischung erwiesen. Wie Invar® oder Glas hat auch Graphit einen sehr niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten (2×10^{-6} / K) und eignet sich aus diesem Grund wie auch Invar oder Glas besonders gut zur Mischung mit einem fließfähigen Werkstoff, der einen hohen Wärmeausdehnungskoeffizient besitzt.

Ein großer Vorteil von Graphit gegenüber Glas und Invar® ist die sehr gute Selbstschmierung. Dieses Verhalten führt zu einer deutlichen Reduktion der Reibkräfte. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass sich Graphit bereits im ungemischten verdichteten Zustand als hydraulischer Verdrängungs-Werkstoff eignet. Die Tatsache, dass sich Graphit bereits ohne Zumischung eines fließfähigen Werkstoffes als hydraulischer Verdrängungs-Werkstoff eignet, stellt einen weiteren Vorteil des Werkstoffes Graphit dar. So dass bei diesem Werkstoff, ein Material benötigt wird, dass dem Graphit im entsprechendem Verhältnis zugemischt wird, um den Wärmeausdehnungskoeffizient von Graphit zu erhöhen. Bei den anderen genannten Werkstoffkombinationen hingegen, wird ein Material mit niedrigem Wärmeausdehnungskoeffizient benötigt, um den Ausdehnungskoeffizient herabzusetzten. So kann beispielsweise ein Gummi oder ein synthetisches Elastomer dem Graphit zugemischt werden.

Neben Gummi sind aber auch andere Elastomere mit Wärmeausdehnungskoeffizienten, die in einem Bereich von 100-230 x 10^{-6} / K liegen geeignet.

Versuche haben gezeigt, dass neben Graphit alle Materialien möglich sind, die einen niedrigen Ausdehnungskoeffizienten und hohe Gleit- bzw. Schmiereigenschaften aufweisen. Auch ist es möglich, das Medium aus Graphit und Epoxidharz im entsprechenden Verhältnis herzustellen.

Eine weitere Möglichkeit den Wärmeausdehnungskoeffizient von Graphit auf den Wert von Stahl zu korrigieren, ist die Zugabe von Flüssigkeiten sowie Ölen wie zum Beispiel Hydrauliköl oder Glykol, Paraffin (Paraffinöl), Petroleum, Terpentinöl oder Silikonöl.

Durch die einfache Handhabung bezüglich Montage und zerstörungsfreier Demontage und dem geringen Bauraum ist die hier vorgestellte Erfindung, mit der Axialkräfte sowie Torsionsmomente übertragen werden können, für nahezu alle Welle-Nabenverbindungen im Maschinenbau einsetzbar.

Abbildungen 1-9 zeigen Elemente, die einen Bolzen mit überschaubarem Durchmesser aufblähen. Eine weitere Methode ist in Abb. 10 und Abb.11 beschrieben. Bei dieser Methode werden mehrere Klemm-Einheiten (11) in Abb. 5 am Umfang angeordnet. Diese bewirken ein radiales Ausdehnen der Achse, so dass auch hiermit eine Fixierung des Bolzens (8) in der Nabe (7) ermöglicht wird. Dabei entsteht auf der Achse ein welliger Außendurchmesser, der im Bereich der Elemente größer ist als zwischen den Elementen. Diese Welligkeit wird durch den Widerstand der Nabe (7) reduziert

Abbildungen 12 und 13 zeigen weitere Einsatzfelder der Elemente.

In Abb. 12 ist eine Kupplung dargestellt, bei der die einzelnen Elemente mit einer Klemm-Einheit pro Achse mehrfach am Umfang angeordnet sind. In der gleichen Abbildung ist der innere Bolzen mit mehreren Elementen am Umfang in der Nabe (7) fixiert.

Abb. 13 zeigt die Anwendung beim Einsatz in einem Planetenträger / Planetenlager, wie dies beispielsweise der EP13004936. 4beschrieben wurde. Die Fixierung des Bolzens mit den oben beschriebenen Elementen ist hierbei ein sehr großer Vorteil, da der gesamte Planetenträger mit dieser Konstruktion zerlegbar wird, so dass die Wälzlager und die in besagter Anmeldung beschriebenen Elastomerlager einfacher getauscht werden können. Nach dem bisherigen Stand der Technik werden derartige Bolzen mit einer Kalt-warm-Press-Verbindung montiert und sind somit nicht mehr zerstörungsfrei lösbar.

Abbildungen 14 und 15 zeigen einen erfindungsgemäßen Pressbolzen, welcher einen ringförmigen Verdrängungsraum (22) im Außenbereich des Bolzens bzw. Grundkörpers(8) aufweist. Dieser ist mit einem Verdrängungsmedium ganz oder teilweise gefüllt. Abb. 15 stellt somit eine Alternative zu Abb. 1 oder Abb. 2 dar, bei denen der Verdrängungsraum (22) ein konzentrisch positionierter Hohlzylinder ist. Abb. 14 stellt einen Pressbolzen dar, bei dem zusätzlich ein zweiter Verdrängungsraum (23) vorhanden ist, der hier als konzentrisch angeordneter Hohlzylinder ausgebildet ist. Bei dieser Ausführungsform wird vorzugsweise der Druckstempel (4) für die ringförmige Öffnung des ersten Verdrängungsraumes vorgesehen und mit der entsprechenden Geometrie versehen. Es kann auch umgekehrt der mittige Hohlraum als Pressraum für den Druckstempel vorgesehen werden.

Patentansprüche:

1. Durch Druck reversibel verformbares Werkstück zum festen reversiblen Verbinden von Maschinenbauteilen umfassend:
   (i) einen im Wesentlichen zylindrischen Grundkörper (8), der auf seinem Umfang eine Pressfläche (9) zu einer Fläche des zu verbindenden Maschinenbauteils (7) aufweist
   (ii) mindestens einen Verdrängungsraum (22) (23) im inneren des Grundkörpers, welcher mit einem flüssigen bzw. fließfähigen und / oder festen in Pulverform oder granulierter Form vorliegenden Verdrängungsmedium (6)(6a) ganz oder teilweise ausgefüllt ist,
   (iii) Druck- und Spannmittel (1) (2) (3) (5) (14) – (20), sowie
   (iv) mindestens einen Druckstempel (4) der in Form und Größe so gestaltet ist, dass er mittels der Druck- und Spannmittel in den Verdrängungsraum ganz oder teilweise eingeschoben werden kann, um das dort befindliche Verdrängungsmedium zusammenzupressen, wodurch eine Aufweitung des Umfangs des Grundkörpers über die Pressfläche (9) erfolgt und so eine sehr feste reversible Verbindung mit dem zu verbindenden Maschinenbauteil entsteht

   wobei das in einem oder mehreren Verdrängungsräumen eingesetzte Verdrängungsmedium ein insgesamt wirksames Elastizitätsmodul von maximal 20% des Elastizitätsmoduls des Materials des Grundkörpers (8) aufweist, und einen insgesamt wirksamen Ausdehnungskoeffizienten besitzt, der von dem Ausdehnungskoeffizienten des Grundkörpers um maximal 10% abweicht.

2. Werkstück nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausdehnungskoeffizient des Verdrängungsmediums (6) um 0 - 5% von dem des Grundkörpers (8) abweicht.

3. Werkstück nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Elastizitätsmodul des Verdrängungsmediums (6) 0.001% - 15% des Elastizitätsmoduls des Grundkörpers (8) beträgt.

4. Werkstück nach einem der Ansprüche 1 – 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Verdrängungsraum (22)(23) ein Länge l_2 in axialer Richtung aufweist, welche maximal 25% größer oder maximal 25% kleiner ist als die Länge l_1, welche der Länge der gemeinsamen Pressfläche (9) entspricht.

5. Werkstück nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass l_2 10 – 15% größer als l_1.

6. Werkstück nach einem der Ansprüche 1 – 5, dadurch gekennzeichnet, dass Verhältnis (l_3) / (d_1) 0.05 bis 3 beträgt, wobei (l_3) der Abstand zwischen Pressfläche (9) und Außenfläche Verdrängungsraum (22)(23) und (d_1) der Durchmesser des Verdrängungsraums (22) (23) ist.

7. Werkstück nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass (l_3) / (d_1) = 0.125 bis 1.5.

8. Werkstück nach einem der Ansprüche 1 – 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis Durchmesser (d_1) des Verdrängungsraums (22) zu Durchmesser (d_2) des Druckstempels (4) 1.01 bis 5.0 beträgt.

9. Werkstück nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass besagtes Verhältnis 2 bis 3.5 beträgt.

10. Werkstück nach einem der Ansprüche 1 – 9, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Verdrängungsraum (22) (23) in dem sich das Verdrängungsmedium (6) (6a) befindet, im Wesentlichen eine zylindrische, konische oder ringförmige Gestalt aufweist.

11. Werkstück nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckstempel so gestaltet ist, dass er passgenau in den zylindrischen, konischen oder ringförmigen Verdrängungsraum ganz oder teilweise Platz findet.

12. Werkstück nach einem der Ansprüche 1 – 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckstempel (4) mit beliebiger stirnseitiger Kontur ausgeführt ist.

13. Werkstück nach einem der Ansprüche 1 – 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckstempel (4) durch hydraulische Mittel (19) betrieben wird.

14. Werkstück nach einem der Ansprüche 1 – 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (8) einen ersten Verdrängungsraum (22) mit einem Verdrängungsmedium (6) und mindestens einen zweiten Verdrängungsraum (23) mit einem Verdrängungsmedium (6a) aufweist, wobei ein Verdrängungsmedium einen höheren Ausdehnungskoeffizienten und das andere Verdrängungsmedium einen niedrigeren Ausdehnungskoeffizienten besitzt als der Grundkörper (8).

15. Werkstück nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass eines der beiden Verdrängungsmedien (6)(6a) einen Ausdehnungskoeffizienten von $<11 \times 10^{-6}$ / K aufweist.

16. Werkstück nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Verdrängungsraum (22) von ringförmiger Gestalt ist und entlang des Umfangs des Grundkörpers (8) in dessen Inneren angeordnet ist, und der zweite Verdrängungsraum (23) ein Hohlzylinder ist, der konzentrisch platziert ist, wobei der erste ringförmige Verdrängungsraum um den zweiten zylindrischen Verdrängungsraums (23) angeordnet ist.

17. Werkstück nach einem der Ansprüche 1 – 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (8) aus einem Material besteht mit einem Elastizitätsmodul in einem Bereich zwischen 70.000 und 300.000 N/mm^2.

18. Werkstück nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Material Stahl oder eine Stahllegierung ist oder ein Material, welches Stahl oder Stahllegierung aufweist mit einem E-Modul zwischen 180.000 und 220.000 N/mm^2.

19. Werkstück nach einem der Ansprüche 1 – 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Verdrängungsmedium (6)(6a) eine einzige Komponente ist.

20. Werkstück nach einem der Ansprüche 1 – 18, dadurch gekennzeichnet, dass Verdrängungsmedium (6) (6a) ein Gemisch aus mindestens zwei Komponenten mit jeweils unterschiedlichen Elastizitätsmoduln und / oder Ausdehnungskoeffizienten ist.

21. Werkstück nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Verdrängungsmedium (6) (6a) ein binäres oder ternäres Gemisch ist.

22. Werkstück nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, dass eine Komponente des Verdrängungsmediums (6)(6a) Graphit, Quarzglas, Glasfaser oder Eisen-Nickel-Legierung aufweist.

23. Werkstück nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass eine Komponente des Verdrängungsmediums (6) ein Kunststoff, ein Kunststoffgemisch oder ein Elastomer ist.

24. Werkstück nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass eine Komponente des Verdrängungsmediums (6) Graphit, Quarzglas, Glasfaser oder Eisen-Nickel-Legierung aufweist, und eine weitere Komponente ein Kunststoff, ein Kunststoffgemisch oder ein Elastomer ist, und der Grundkörper (8) im wesentlich aus einem Material mit einem E-Modul zwischen 70.000 und 300.000 N/mm^2 besteht.

25. Werkstück nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass das Verdrängungsmedium (6) ein binäres Gemisch ist, wobei die beiden Komponenten ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus:

(i) Polyester, PVC oder Elastomer	und	Quarzglas oder Glasfaser
(ii) Polyester, PVC oder Elastomer	und	Eisen-Nickel-Legierung
(iii) Polyester, PVC oder Elastomer	und	Graphit
(iv) Epoxidharz	und	Graphit
(v) Glykole oder Öle	und	Graphit.

26. Werkstück nach einem der Ansprüche 20 – 25, dadurch gekennzeichnet, dass das Verdrängungsmedium zu 60 – 98% Graphit oder Quarzglas oder Eisen-Nickel-Legierung aufweist.

27. Werkstück nach einem der Ansprüche 1 – 26, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück ein Pressbolzen, ein Dübel, eine Welle, eine Achse, eine Nabe oder ein Bauteil im Zusammenhang mit einer Kupplung oder einem Planetenträger ist.

28. Verwendung eines Werkstückes gemäß einen der Ansprüche 1 – 27 für die feste Montage und zerstörungsfreie Demontage von Maschinenbauteilen in Vorrichtungen und Anlagen, welche mittleren bis großen Kräften ausgesetzt sind, insbesondere Windkraftanlagen.

29. Verwendung nach Anspruch 28 zur Herstellung von Wellen-Naben-Verbindungen.

30. Windkraftanlage, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Werkstück gemäß einem der Ansprüche 1 – 27 aufweist.

Abb. 1

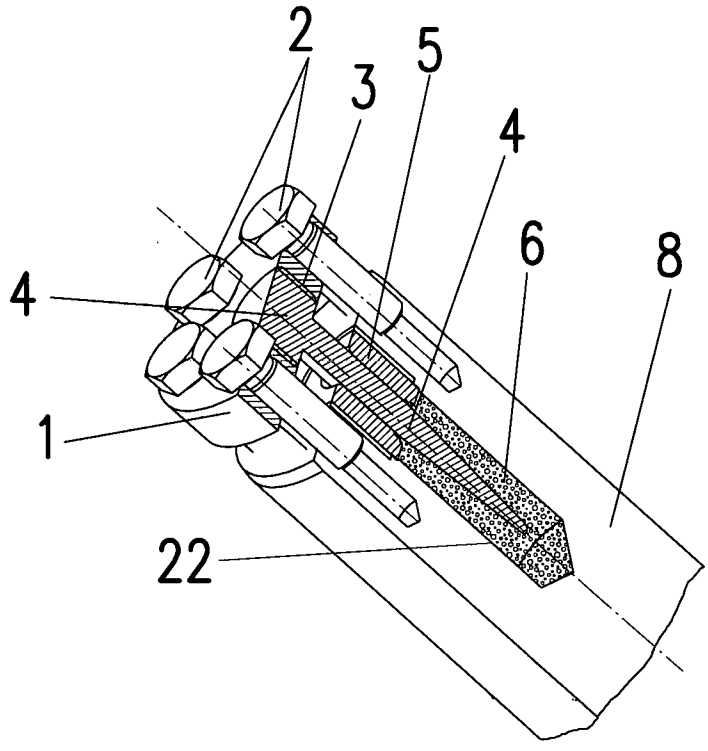


Abb. 2

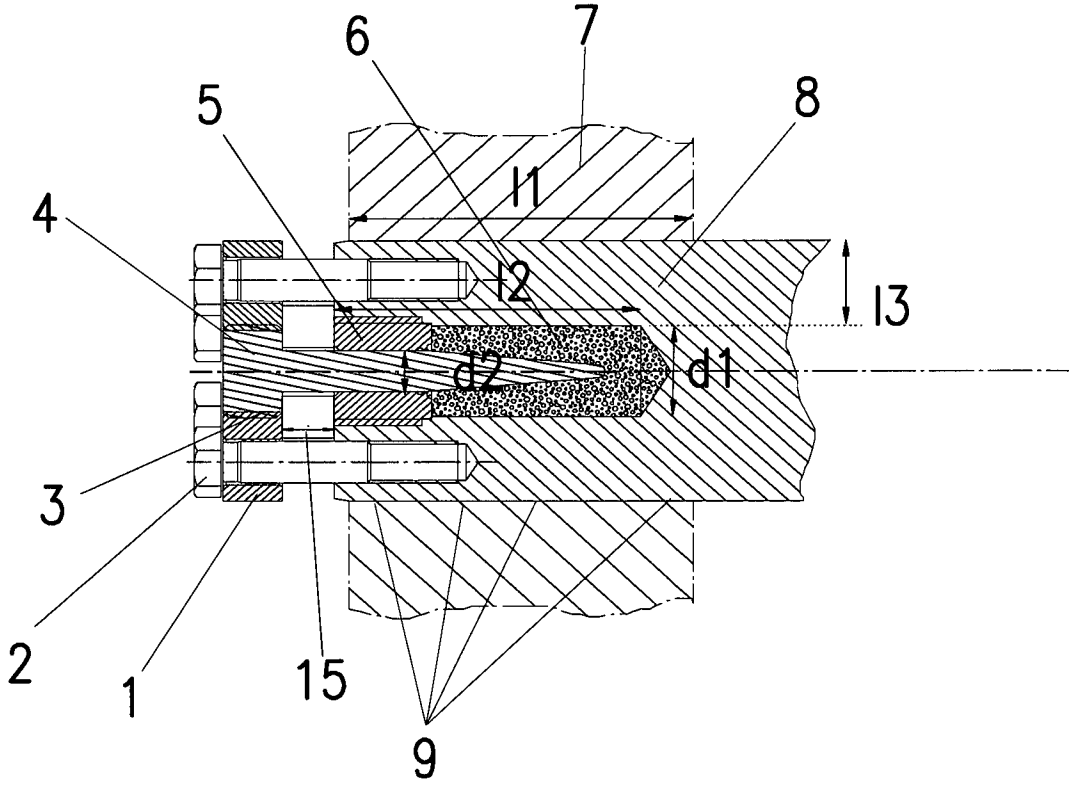


Abb. 3

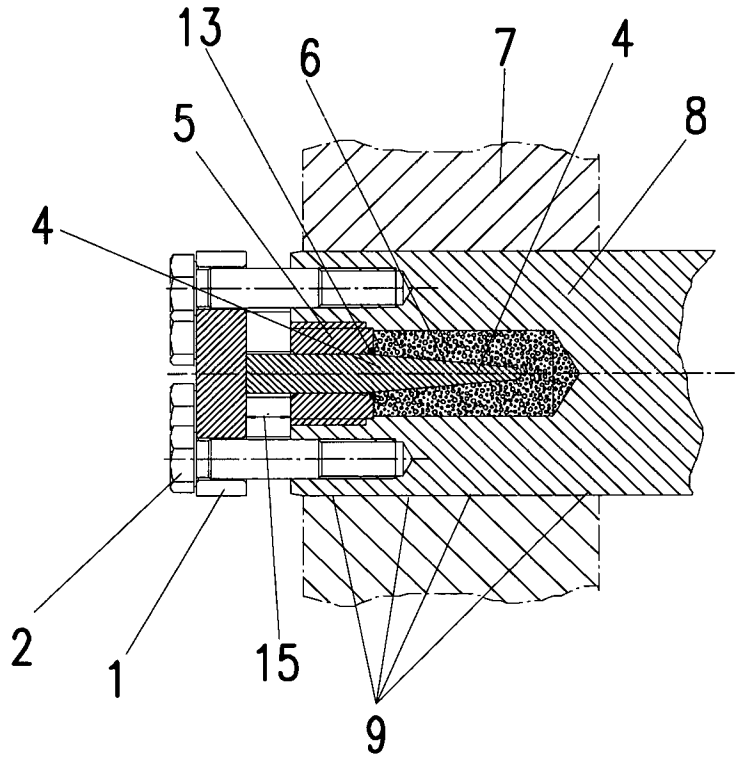


Abb. 4

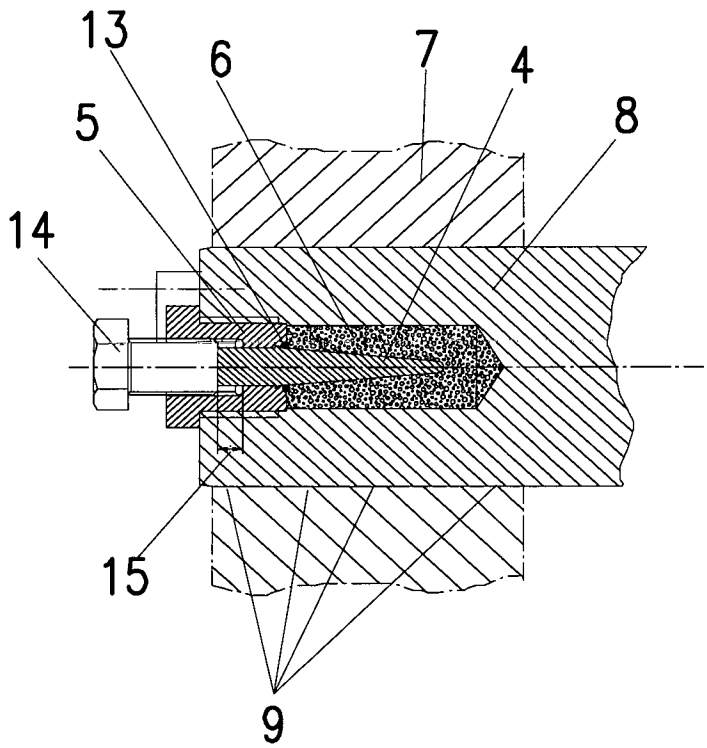


Abb. 5

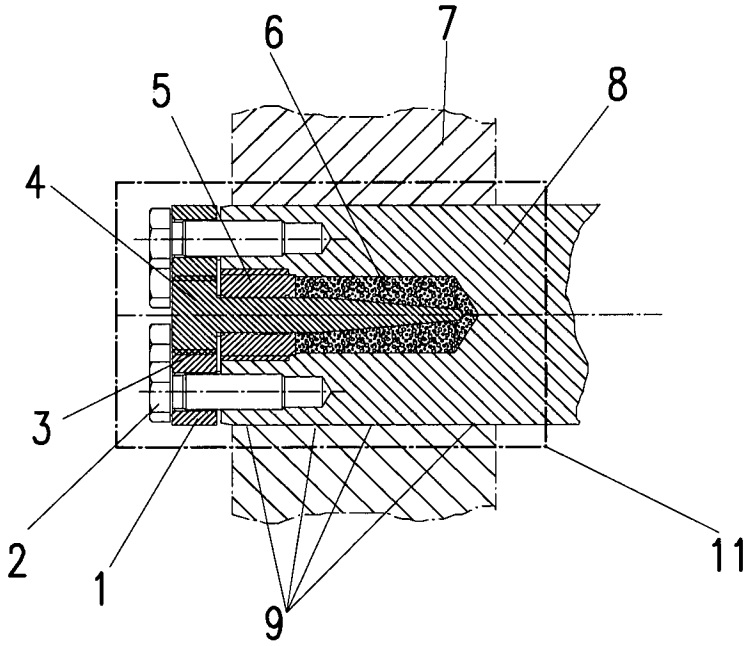


Abb. 6

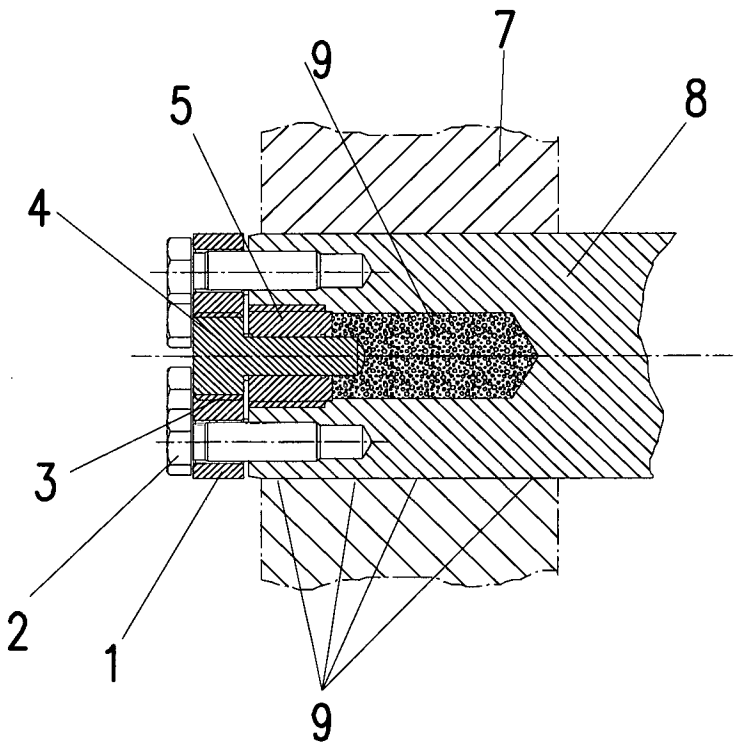


Abb. 7

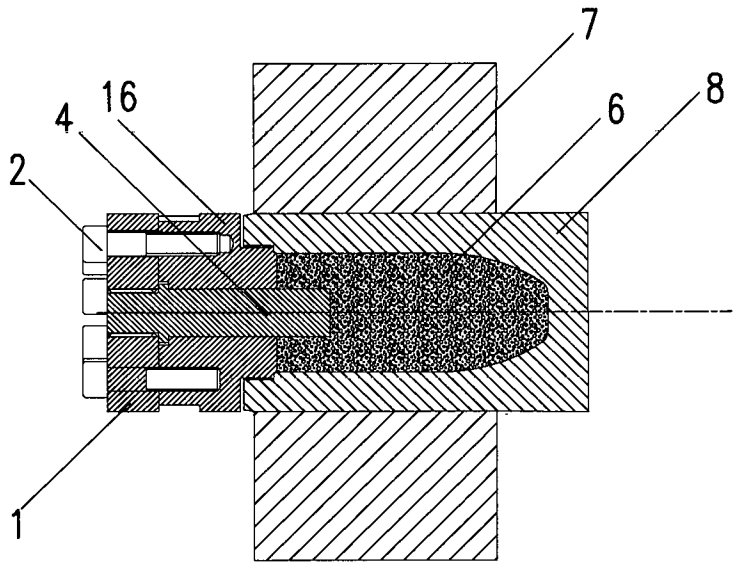


Abb. 8

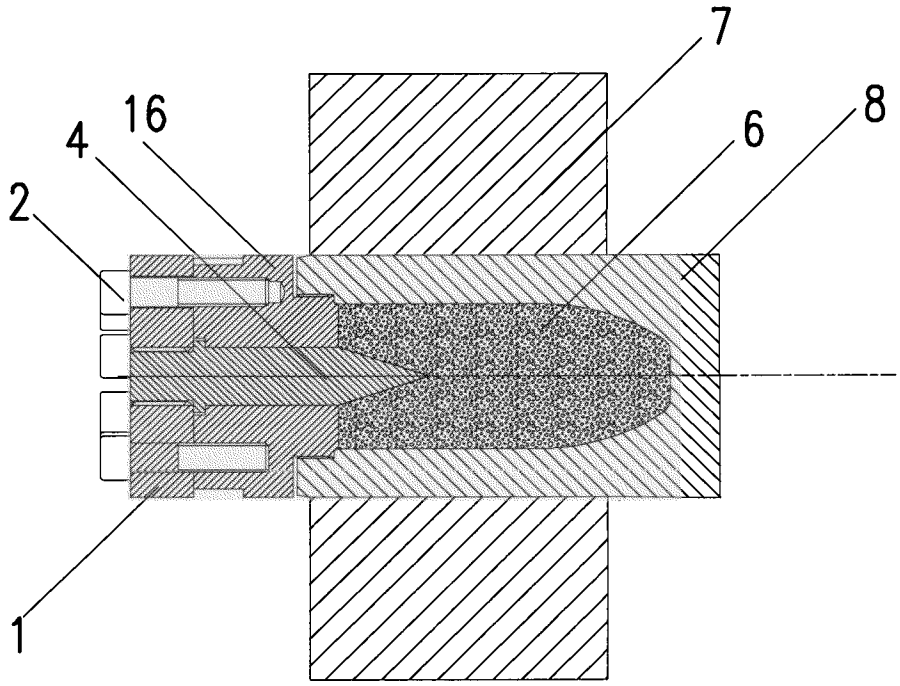


Abb. 9

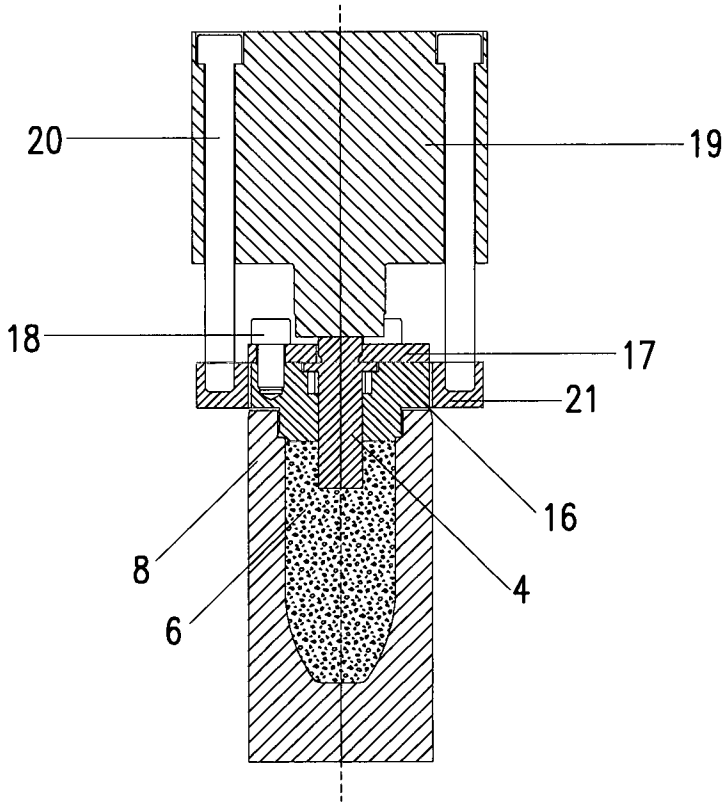


Abb. 10

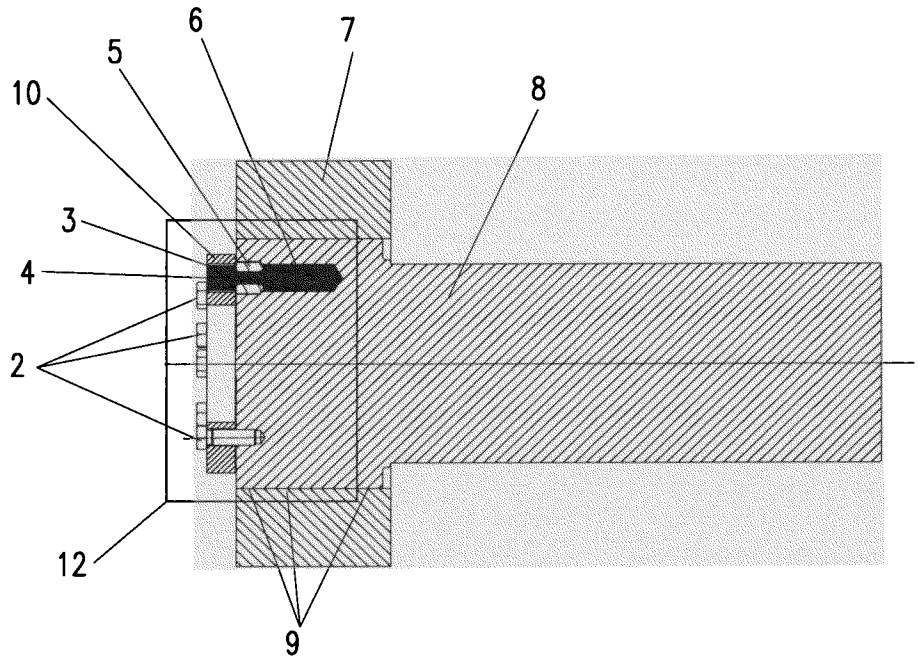


Abb. 11

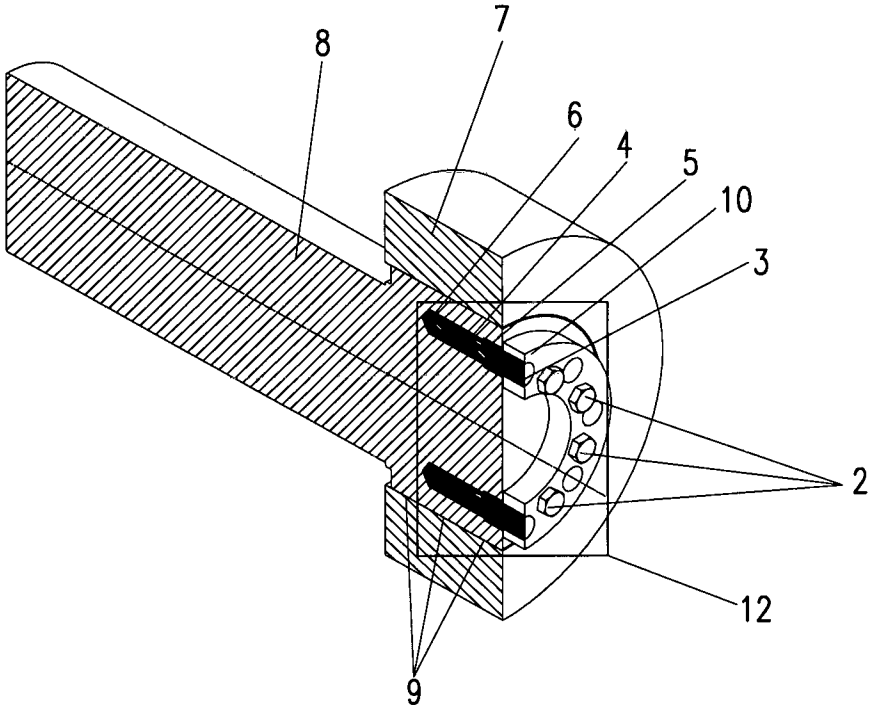


Abb. 12

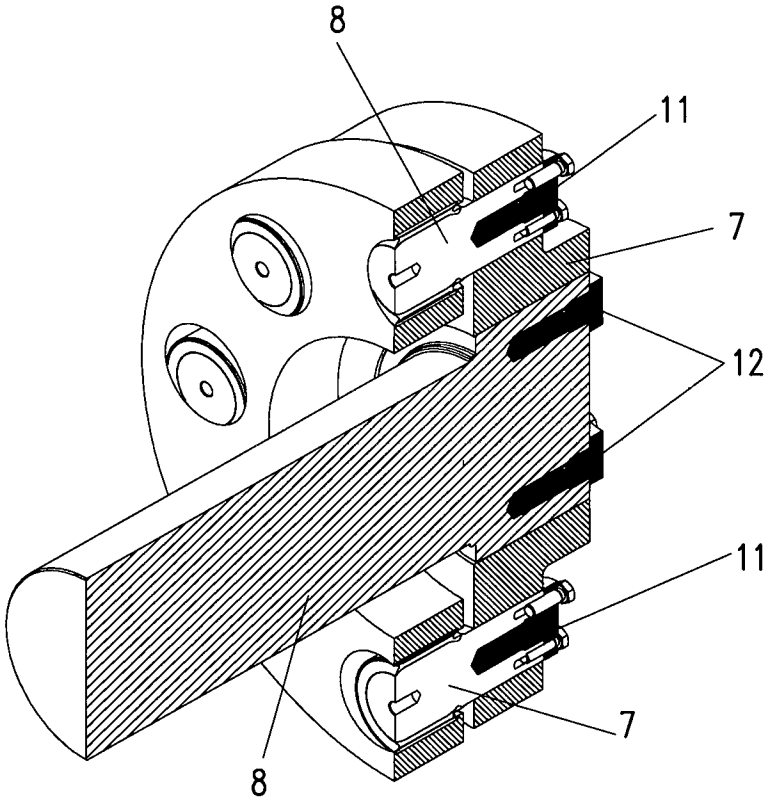


Abb. 13

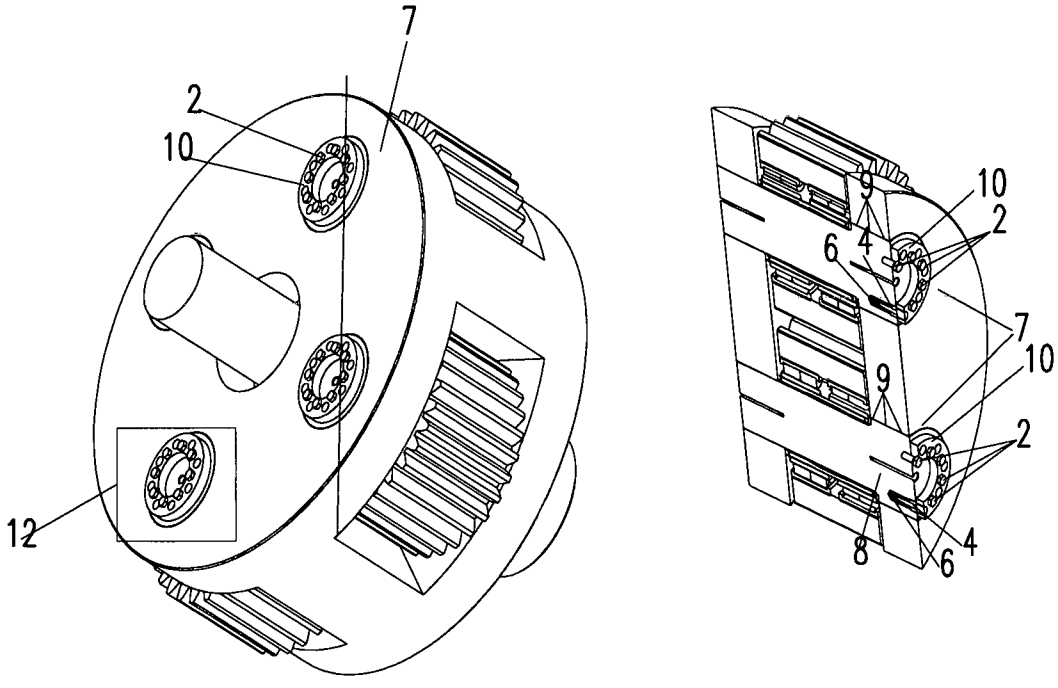


Abb. 14

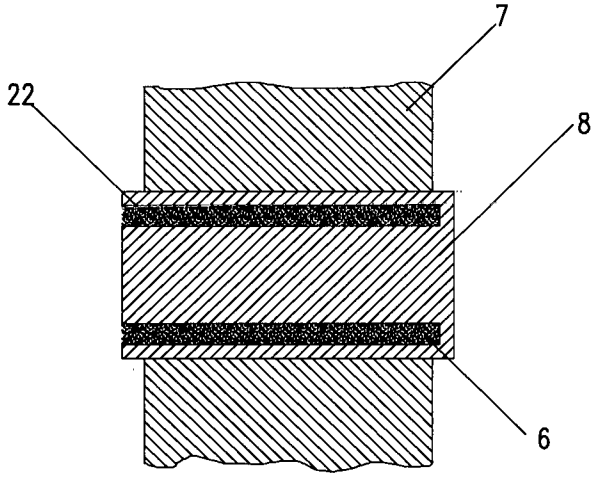
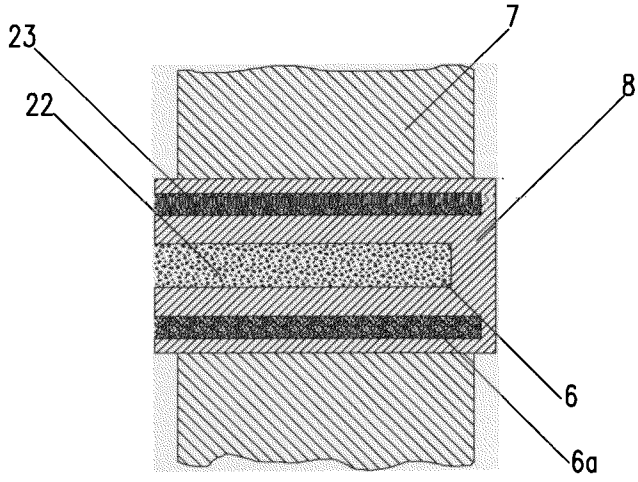


Abb. 15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/000524

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F16B1/00 F16B4/00
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)
F16B

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2007 049901 A1 (SCHAEFFLER KG [DE]) 23 April 2009 (2009-04-23) paragraphs [0021], [0022], [0024]	1-30
A	FR 1 315 136 A (MION HENRI LOUIS) 18 January 1963 (1963-01-18) page 1, right-hand column, line 25	1-30
A	DE 94 08 956 U1 (KUPPLUNGSTECHNIK GMBH [DE]) 10 November 1994 (1994-11-10) claim 10	1-30

☐ 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
8 June 2016	16/06/2016

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	Rochus, Johann

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2016/000524

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102007049901 A1	23-04-2009	DE 102007049901 A1	23-04-2009
		EP 2207972 A1	21-07-2010
		ES 2391800 T3	30-11-2012
		WO 2009050150 A1	23-04-2009
FR 1315136 A	18-01-1963	NONE	
DE 9408956 U1	10-11-1994	DE 4410623 A1	28-09-1995
		DE 9408956 U1	10-11-1994

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/000524

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F16B1/00 F16B4/00
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F16B

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2007 049901 A1 (SCHAEFFLER KG [DE]) 23. April 2009 (2009-04-23) Absätze [0021], [0022], [0024]	1-30
A	FR 1 315 136 A (MION HENRI LOUIS) 18. Januar 1963 (1963-01-18) Seite 1, rechte Spalte, Zeile 25	1-30
A	DE 94 08 956 U1 (KUPPLUNGSTECHNIK GMBH [DE]) 10. November 1994 (1994-11-10) Anspruch 10	1-30

☐ 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
8. Juni 2016	16/06/2016

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	Rochus, Johann

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/000524

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102007049901 A1	23-04-2009	DE 102007049901 A1	23-04-2009
		EP 2207972 A1	21-07-2010
		ES 2391800 T3	30-11-2012
		WO 2009050150 A1	23-04-2009
FR 1315136 A	18-01-1963	KEINE	
DE 9408956 U1	10-11-1994	DE 4410623 A1	28-09-1995
		DE 9408956 U1	10-11-1994