

(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
02. April 2020 (02.04.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/064622 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 20/12 (2006.01) B23K 20/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/075511

(22) Internationales Anmeldedatum:

23. September 2019 (23.09.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2018 216 339.1

25. September 2018 (25.09.2018) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG**

E.V. [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) **Erfinder: MÄDER, Thomas**; c/o Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Reichenhainer Str. 88, 09126 Chemnitz (DE). **KRANZ, Burkhard**; c/o Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Reichenhainer Str. 88, 09126 Chemnitz (DE). **HAMM, Martin**; c/o Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Reichenhainer Str. 88, 09126 Chemnitz (DE). **WAGNER, Guntram**; Glashütter Str. 45 a, 67697 Otterberg (DE). **THOMÄ, Marco**; Heimgarten 110, 09127 Chemnitz (DE). **GESTER, Andreas**; Grenzgraben 11, 09126 Chemnitz (DE).

(74) **Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER MBB**; An der Frauenkirche 20, 01067 Dresden (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, DJ, DK, DM,

(54) **Title:** METHOD FOR PRODUCING A MATERIAL BOND BETWEEN WORKPIECES BY MEANS OF FRICTION STIR WELDING

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER STOFFSCHLÜSSIGEN VERBINDUNG VON WERKSTÜCKEN MITTELS RÜHRREIBSCHWEIßEN

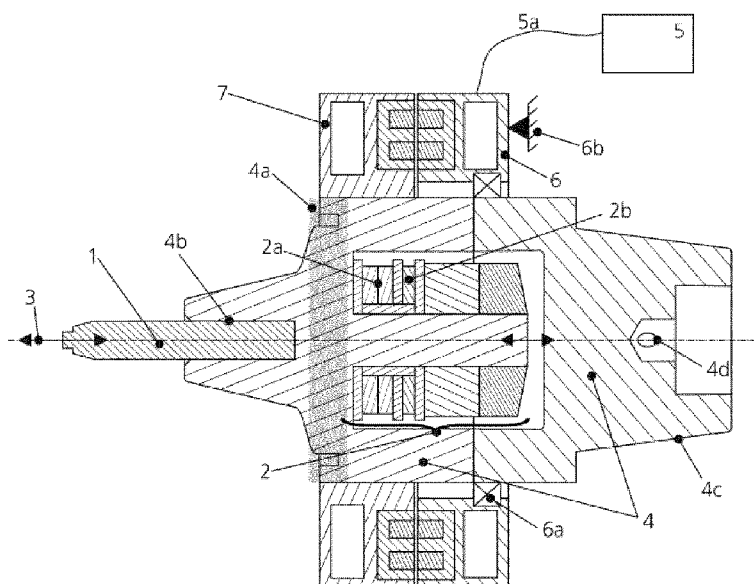


Fig. 1

(57) **Abstract:** In the method for producing a material bond between workpieces by means of friction stir welding, during the rotation and performance of the feed movement, vibrations are introduced by at least one device (2) into the workpieces (8), into the joining zone of the workpieces (8), via the holder of the pin-like tool (1, 11), the holder of a shoulder (10, 16d) not connected to the pin-like tool, and/or a counterholder (9) arranged on the side of the workpieces (8) opposite from the holder of the pin-like tool (1, 11), at a frequency that corresponds to a natural resonant frequency of the device used for introducing the vibration. A device that is designed for carrying out a thermal pulse method can be used on its own or in addition for introducing vibrations at a frequency that corresponds to the natural resonant frequency of the holder of the pin-like tool (1, 11) with the pin-like tool (1, 11) into the workpieces (8), the



WO 2020/064622 A1



DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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)

holder of the pin-like tool, a shoulder (10) of the pin-like tool and/or the counterholder (9).

(57) Zusammenfassung: Bei dem Verfahren zum Herstellen einer stoffschlüssigen Verbindung von Werkstücken mittels Rührreißschweißen werden während der Rotation und der Durchführung der Vorschubbewegung mit mindestens einer Einrichtung (2) Schwingungen in die Fügenzone der Werkstücke (8) über die Halterung des stiftförmigen Werkzeugs (1, 11), die Halterung einer nicht mit dem stiftförmigen Werkzeug verbundenen Schulter (10, 16d) und/oder einem an der der Halterung des stiftförmigen Werkzeugs (1, 11) gegenüberliegenden Seite der Werkstücke (8) angeordneten Gegenhalter (9) in die Werkstücke (8) mit einer Frequenz, die einer Eigenresonanzfrequenz der zur Einkoppelung genutzten Einrichtung entspricht, eingekoppelt. Allein oder zusätzlich können mit einer Einrichtung, die zur Durchführung eines Wärmepulsverfahrens ausgebildet ist, Schwingungen mit einer Frequenz, die der Eigenresonanzfrequenz der Halterung des stiftförmigen Werkzeugs (1, 11) mit dem stiftförmigen Werkzeug (1, 1) entspricht, in die Werkstücke (8), die Halterung des stiftförmigen Werkzeugs, einer Schulter (10) des stiftförmigen Werkzeugs und oder den Gegenhalter (9) eingekoppelt werden.

VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER STOFFSCHLÜSSIGEN VERBINDUNG VON
WERKSTÜCKEN MITTELS RÜHRREIBSCHWEIßEN

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer stoffschlüssigen Verbindung von Werkstücken mittels Rührreibschweißen.

10 Das Rührreibschweißverfahren hat sich in der jüngeren Vergangenheit in vielen Bereichen etabliert. Dabei wirken sehr hohe Schweißkräfte in vertikaler als auch horizontaler Richtung auf die zu fügenden Werkstücke und damit auf die Schweißeinrichtung inklusive Spanneinrichtung. Die Erzeugung von nicht-schmelzscheißbaren Mischverbünde geht trotz der vergleichsweise geringen
15 Prozesstemperaturen mit der Bildung spröder intermetallischer Phasen einher. Diese wirken sich nachteilig auf die mechanischen Eigenschaften der stoffschlüssigen Verbindung aus, was insbesondere die statischen und zyklischen Verbundfestigkeiten betrifft.

Es ist bekannt diesen Nachteilen durch Einkopplung von Schwingungen oft im

Ultraschallbereich entgegen zu treten. Mit diesen Ultraschallwellen kann auch eine Beeinflussung der Fügezone bzw. der zu fügenden Oberflächen der Werkstücke und dabei insbesondere Oxidschichten und andere Ablagerungen beseitigt werden.

5

Es hat sich aber gezeigt, dass wegen des relativ kleinen Energieeintrages in die Fügezone und der eigentlich nicht ausgebildeten Schmelze des Werkstückwerkstoffs in Summe große Energiemengen erforderlich sind, um diese vorteilhaften Effekte zu erreichen. Unter Umständen kann mit eingekoppelten Ultraschallwellen sogar gar kein vorteilhafter Effekt erreicht werden.

10

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, die Effektivität beim Rührreibschweißverfahren mit eingekoppelten Schwingungen zu erhöhen bzw. zu verbessern.

15

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einem Verfahren, das die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist, gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung können mit in untergeordneten Ansprüchen bezeichneten Merkmalen realisiert werden.

20

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Herstellen einer stoffschlüssigen Verbindung von Werkstücken mittels Rührreibschweißen werden zwei Werkstücke mit ihren miteinander zu fügenden Flächen so zueinander positioniert, dass sie in berührenden Kontakt stehen. Ein rotierendes stiftförmiges Werkzeug führt zwischen den zu fügenden Flächen der Werkstücke eine Vorschubbewegung durch. Mit der dabei eingebrachten Energie und auf die Werkstücke ausgeübte Druckkräfte wird die stoffschlüssige Verbindung ausgebildet, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist.

25

30

Während der Rotation und der Durchführung der Vorschubbewegung werden mit mindestens einer Einrichtung Schwingungen in die Halterung des stiftförmigen Werkzeugs, die Werkstücke und/oder eine Spannvorrichtung für die Werkstücke, die Halterung einer nicht mit dem stiftförmigen Werkzeug verbundenen Schulter und/oder einem an der der Halterung des stiftförmigen Werkzeugs gegenüberliegenden Seite der Werkstücke angeordneten Gegenhalter in die Werkstücke mit einer Frequenz, die einer Eigenresonanzfrequenz der zur Einkoppelung genutzten Einrichtung entspricht, eingekoppelt.

35

Allein oder zusätzlich dazu können mit einer Einrichtung, die zur Durchführung eines Wärmepulsverfahrens ausgebildet ist, Schwingungen mit einer Frequenz, die der Eigenresonanzfrequenz der Halterung des stiftförmigen Werkzeugs mit dem stiftförmigen Werkzeug entspricht, in die Werkstücke, die Halterung des stiftförmigen Werkzeugs, einer Schulter des stiftförmigen Werkzeugs und oder den Gegenhalter eingekoppelt werden. In diesem Fall sollten die Schwingungen mit einem Sensor an den Werkstücken detektiert werden können.

Besonders vorteilhaft ist an mindestens einem Werkstück, einer Spannvorrichtung für die Werkstücke und/oder der Halterung des stiftförmigen Werkzeugs ein Schwingungssensor angeordnet, mit dem die Amplitude der in den Fügebereich der Werkstücke eingekoppelten Schwingungen erfasst wird. Der mindestens eine Schwingungssensor ist mit einer elektronischen Regeleinrichtung verbunden, mit der die Frequenz, mit der Schwingungen mit der mindestens einen Einrichtung eingekoppelt werden, auf die Eigenresonanzfrequenz der Halterung des stiftförmigen Werkzeugs mit dem stiftförmigen Werkzeug geregelt wird.

Die mindestens eine Einrichtung mit der Schwingungen eingekoppelt werden und/oder der mindestens eine Schwingungssensor sollten mit der Vorschubbewegung des stiftförmigen Werkzeugs mit bewegt werden. Dadurch können auf die eingekoppelten Schwingungen wirkende Dämpfungseffekte vermieden und/oder die Messgenauigkeit bei der Amplitudenbestimmung erhöht werden.

Es können longitudinale entlang der Werkzeugdrehachse und/oder torsionale um die Werkzeugdrehachse Schwingungen eingekoppelt werden, worauf nachfolgend noch eingegangen werden soll.

Es kann/können eine piezoelektrische, magnetostriktive, elektromechanische, hydraulische, pneumatische Einrichtung und/oder eine Einrichtung, die zur Durchführung eines Wärmepulsverfahrens ausgebildet ist, für die Einkopplung von Schwingungen eingesetzt werden. Eine Einrichtung, die zur Durchführung

eines Wärmepulsverfahrens ausgebildet ist, kann ein gepulst betriebener Laser mit veränderbarer Pulsfrequenz sein.

5 Es können Schwingungen mit einer Frequenz im Bereich 10 Hz bis 100 kHz, mit einer Amplitude longitudinal im Bereich 1 μ m bis 1 mm und/oder torsional im Bereich 0,1 mrad bis 20 mrad eingekoppelt werden.

10 Schwingungen können auch in eine Schulter des stiftförmigen Werkzeugs eingekoppelt werden. Dabei kann eine Schulter starr befestigt oder mit dem stiftförmigen Werkzeug mitrotierend sein. Schwingungen können auch auf der der Halterung des stiftförmigen Werkzeugs gegenüberliegende Seite der Werkstücke, beispielsweise über einen Gegenhalter eingekoppelt werden.

15 Schwingungen können vorteilhaft auch so eingekoppelt werden, dass ein Schwingungsknoten in einem Bereich der Halterung des stiftförmigen Werkzeugs ausgebildet wird. Im Bereich des Schwingungsknotens sollte eine Schwingungsamplitude eingehalten sein, die mindestens 50 % kleiner als die maximale Schwingungsamplitude ist.

20 Die Anregung der Schwingungen sollte auf eine geeignete resonante Schwingungsmoden des mechanischen Koppelsystems bestehend aus der Halterung für das stiftförmige Werkzeug mit dem stiftförmigen Werkzeug und ggf. Aktorkomponenten, die für die Einkopplung von Schwingungen an der Halterung für das stiftförmige Werkzeug vorhanden oder darin integriert sind, geregelt sein.

30 Für eine effiziente Einkopplung von Schwingungen in eine Fügezone ist die Anregung mit einer Eigenresonanzfrequenz des Einkopplungssystems besonders vorteilhaft. Bei einer Resonanzfrequenz der gesamten zur Einkoppelung genutzten Einrichtung kann das System effektiv aufschwingen. Bei einer solchen Einrichtung gibt es eine Mehrzahl von Resonanzfrequenzen, unabhängig davon was für ein Einkoppelsystem genutzt wird.

35 Jeder Resonanzfrequenz ist eine Schwingform/Eigenmode zugeordnet. Es sollte also mit einer der vielen möglichen Eigenresonanzfrequenzen gearbeitet werden, bei der das Einkoppelsystem mit einer günstigen Mo-

de/Eigenschwingform schwingt. Eine günstige Mode ist eine solche, bei der die gewollte Schwingung an der Spitze des stiftförmigen Werkzeugs auftritt. Das Einkoppelsystem bzw. die Einrichtung mit der Schwingungen eingekoppelt werden, sollte mit einer Frequenz oder Eigenresonanzfrequenz betrieben werden, bei der eine maximale Amplitude am stiftförmigen Werkzeug mit einer möglichst geringen Leistung bei der Einkopplung von Schwingungen erforderlich ist, betrieben werden können. Dies kann mit einer entsprechend ausgebildeten elektronischen Regeleinrichtung erreicht werden, die so ausgebildet ist, dass sie die Eigenfrequenzen der Einrichtung zur Einkopplung von Schwingungen bzw. des Einkoppelsystems berücksichtigen kann.

Im Fall der Einkopplung der Schwingungen über eine nicht mit dem stiftförmigen Werkzeug verbundene Schulter sollte die Anregung der Schwingung auf eine geeignete resonante Schwingungsmode des mechanischen Koppelsystems bestehend aus Halterung für die nicht mit dem stiftförmigen Werkzeug verbundenen Schulter mit der Schulter und ggf. Aktorkomponenten, die für die Einkopplung von Schwingungen an der Halterung für die nicht mit dem stiftförmigen Werkzeug verbundene Schulter vorhanden oder darin integriert sind, erfolgen. Bei der Einkopplung der Schwingung über einen Gegenhalter sollte die Anregung der Schwingung auf eine geeignete resonante Schwingungsmode des mechanischen Koppelsystems bestehend aus Gegenhalter und ggf. Aktorkomponenten, die für die Einkopplung von Schwingungen in den Gegenhalter vorhanden oder darin integriert sind, erfolgen.

Die Regelung der Anregungsfrequenz der eingekoppelten Schwingungen dient dabei zur Nachführung auf die energetische effizienteste Schwingungserregung infolge von Änderungen der Schwindeigenschaften durch Erwärmung, Eintauchtiefe und Anpresskraft. Zudem ist es von Vorteil die Schwingungsübertragung über die maschinenseitige Werkzeugaufnahme zu entkoppeln, sodass nur ein geringer Anteil der Schwingungen auf die Spindel übergehen kann.

Es sollten Möglichkeiten zur Kühlung des stiftförmigen Werkzeugs und ggf. einer vorhandenen Schulter vorhanden sein.

Mit den in Resonanz eingekoppelten Schwingungen können Diffusionsprozesse und die Tribologie bei der Ausbildung der Fügeverbindung in hohem Maß positiv beeinflusst werden. Es kann so auch die für den Werkzeugantrieb erforderliche Energie reduziert bzw. die Lebensdauer der Werkzeuge erhöht werden. Prozesskräfte und Prozesstemperaturen können weiter reduziert werden.

Im ausgebildeten Fügebereich kann eine homogenere Gefügeverteilung erreicht und Oxidbestandteile können dort entfernt bzw. vermieden werden.

Mit der Erfindung können folgende Effekte erreicht werden:

- Konturunabhängigkeit durch Schwingungseinleitung in der Wirkstelle des Prozesses;
- keine zusätzlichen Einrichtungen durch Integration in Werkzeug/Werkzeughalter;
- Aus- und Einwechselbarkeit des Systems durch standardisierte Kupplungen am System;
- zielgenaue Positionierbarkeit eines Schwingungsbauches in der Wirkstelle und eines Schwingungsknotens im Bereich der Halterung für das stiftförmige Werkzeug oder für die Schulter oder für den Gegenhalter;
- kontinuierliche, synchrone und homogene Schwingungseinleitung;
- Reduzierung intermetallischer Phasen bei Mischverbunden und dadurch Steigerung der Lebensdauer sowie der Festigkeit der Fügeverbindung;
- Vermeidung von Oxidlinien und Steigerung der Lebensdauer;
- Reduzierung der Prozesskräfte;
- Reduzierung der benötigten Leistung bei der Schwingungseinleitung direkt an der Wirkstelle und geregelter Resonanzbetrieb;
- Schwingungseinleitung unabhängig der Werkstückeinspannung und Geometrie und
- definierte Regelung der Schwingungsparameter durch Amplituden- und Frequenznachführung/-Regelung.

Nachfolgend soll die Erfindung weiter beispielhaft erläutert werden.

Dabei zeigen:

5 Figur 1 ein Beispiel mit Möglichkeiten zur Einkopplung von Schwingungen in eine Halterung für ein stiftförmiges Werkzeug;

10 Figur 2 ein Beispiel mit Möglichkeiten zur Einkopplung von Schwingungen in eine nicht mit dem stiftförmiges Werkzeug verbundene und nicht rotierende Schulter;

Figur 3 Beispiele bei denen ein Fügen mittels eines rotierenden stiftförmigen Werkzeugs und mitrotierenden Schultern und eingekoppelten unterschiedlichen Schwingungen erfolgt;

15 Figur 4 Beispiele bei denen ein Fügen mittels eines rotierenden stiftförmigen Werkzeugs und feststehender Schulter und eingekoppelten unterschiedlichen Schwingungen erfolgt;

20 Figur 5 Beispiele bei denen ein Fügen, bei dem in eine stehende Schulter eines stiftförmigen Werkzeugs mit Schulter Schwingungen eingekoppelt werden;

25 Figur 6 Beispiele, bei denen Schwingungen mittels eines rotierenden Bobbin-Tools eingekoppelt werden.

Figur 7 Beispiele bei denen ein Fügen mittels in zwei zu fügende Werkstücke Schwingungen über einen Gegenhalter eingekoppelt werden und

30 Figur 8 weitere Beispiele bei denen ein Fügen mittels in zwei zu fügende Werkstücke Schwingungen über einen Gegenhalter eingekoppelt werden.

35 In Figur 1 ist ein Ausführungsbeispiel zum Rührreibschweißen mit Schwingungsunterstützung gezeigt. Die Schwingungen des stiftförmigen Werkzeugs 1 mit rotierender Schulter werden mittels inversem Piezoeffekt der Piezoaktoren 2a im Schwingungswandler 2 der Einrichtung, die zur

Einkopplung von Schwingungen ausgebildet ist, eingekoppelt. Die Schwingungsanregung erfolgt in longitudinaler Richtung entlang der Drehachse 3 des stiftförmigen Werkzeugs 1. Die Anregungsfrequenz liegt in Bereich einer mechanischen Resonanz der Anordnung aus stiftförmigem Werkzeug 1, dessen Halterung 4 und dem Schwingungswandler 2. Mit der Anregungsfrequenz wird eine Schwingform (Eigenmode) angeregt in der die Schwingungsmaxima am vorderen Ende des stiftförmigen Werkzeugs 1 und am hinteren Ende des Schwingungswandlers 2 auftreten. Bei der angeregten Schwingform liegt ein nahezu stillstehender Schwingungsknoten im Bereich 4a der Halterung 4 des stiftförmigen Werkzeugs 1. Die Lage des Schwingungsknotens gewährleistet die Schwingungsentkopplung des schwingenden Systems gegenüber den äußeren Bereichen des Halters 4. Durch die bestimmte geometrische Gestaltung der schwingenden Bestandteile des Systems erfolgt eine Amplitudenverstärkung vom Schwingungswandler 2 in Richtung des stiftförmigen Werkzeuges 1. Im Bereich des Schwingungsknotens liegt eine möglichst kleine Schwingungsamplitude vor.

Zur Schwingungsanregung werden die Piezoaktoren 2a mit einer, der Anregungsfrequenz entsprechenden, elektrischen Wechselspannung gespeist. Erzeugt wird diese elektrische Wechselspannung mit dem Frequenzgenerator 5. Sie wird mit der Kabelverbindung 5a auf den nicht rotierenden Übertrager 6 für elektrische Energie geleitet. Die elektrische Wechselspannung wird induktiv vom stehenden Übertrager 6 auf den mit dem Halter 4 rotierenden Übertrager 7 für elektrische Energie und von diesem mittels elektrischer Leiterbahnen auf die Piezoaktoren 2a übertragen. Der nicht rotierende Übertrager 6 wird mittels der Drehlagerung 6a auf dem Halter 4 drehbar gelagert und positioniert und mit der Abstützung 6b gegen verdrehen gesichert. Möglich ist auch eine Ausführung ohne drehbare Lagerung des nicht rotierenden Übertragers 6 und gleichzeitiger Abstützung und Positionierung über die Abstützung 6b.

Der im Schwingungswandler 2 integrierte Sensor 2b detektiert während des Betriebs Informationen über die aktuelle Schwingungsamplitude und die Lage der Resonanzfrequenz in Bezug zur aktuellen Anregungsfrequenz mit der Schwingungen eingekoppelt werden. Im Ausführungsbeispiel ist der Sensor 2b als zusätzliche Piezokeramik ausgeführt, es sind allerdings auch andere Sen-

sorvarianten denkbar. Die gewonnenen Sensorsignale werden von einer Auswerteelektronik aufbereitet und kabellos zwischen rotierendem und stehendem Übertrager 7 und 6 übermittelt. Am Frequenzgenerator 5 dienen die Sensordaten zur Regelung der Frequenz der elektrischen Wechselspannung zur Speisung der Aktoren 2a des Schwingungswandlers 2.

Die Halterung 4 des stiftförmigen Werkzeugs 1 ist mit einer Kupplung 4b zum stiftförmigen Werkzeug 1 und einer Kupplung 4c zum Drehantrieb des stiftförmigen Werkzeugs 1 ausgerüstet. Die Kupplungen 4b und 4c können dabei herkömmlichen und teils genormten Standards von Werkzeugmaschinen entsprechen und so universelle Kompatibilität des Systems schaffen. Die Halterung 4 kann mit einem Kühlmittel durchströmt und damit gekühlt werden. Die dafür notwendigen Anschlüsse 4d sind an der antriebsseitigen Kupplung der Halterung 4 vorgesehen.

Dieses Ausführungsbeispiel kann aber auch so betrieben werden, dass Schwingungen torsional um die Rotationsachse des stiftförmigen Werkzeugs 1 eingekoppelt werden. Diese Schwingungsrichtung des stiftförmigen Werkzeugs 1 kann unmittelbar durch eine torsionale Schwingungsanregung im Schwingungswandler 2 erzeugt werden. Es ist auch eine longitudinale Schwingungsanregung im Schwingungswandler 2 und eine zum stiftförmigen Werkzeug 1 wirkende mechanische Übersetzung in eine torsionale Schwingung realisierbar. Vorzugsweise erfolgt eine torsionale Anregung über eine stehende Schulter oder eine zusätzliche stehende Schulter am stiftförmigen Werkzeug 1. Auf diese Weise kann die Einleitung einer ausreichend großen Schwingungsamplitude sichergestellt werden.

In Figur 2 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel zum Rührreibschweißen mit Schwingungsunterstützung gezeigt. Das stiftförmige Werkzeug 11 rotiert mit der Halterung 14 und kann mit oder ohne Schulter ausgeführt sein. Um das stiftförmige Werkzeug 11 ist die Halterung 16 für die nicht rotierende starre Schulter 16d angeordnet und wird mittels der Drehlagerung 16a in der Halterung 14 drehbar gelagert, positioniert und mit der Abstützung 16b gegen verdrehen gesichert. Möglich ist auch eine Ausführung ohne drehbare Lagerung des Halters 16 und gleichzeitiger Abstützung und Positionierung über die Abstützung 16b.

Die Schwingungen der Schulter 16d werden mittels inversem Piezoeffekt der Piezoaktoren 12a im Schwingungswandler 12 der Einrichtung, die zur Einkopplung von Schwingungen ausgebildet ist, eingekoppelt. Die Schwingungsanregung erfolgt in longitudinaler Richtung 13 entlang der Drehachse des stiftförmigen Werkzeugs 11. Die Anregungsfrequenz liegt in Bereich einer mechanischen Resonanz der Anordnung aus nicht rotierender starrer Schulter 16d, deren Halters 16 und dem Schwingungswandler 12. Mit der Anregungsfrequenz wird eine Schwingform (Eigenmode) angeregt in der die Schwingungsmaxima am vorderen Ende nicht rotierende starre Schulter 16d und am hinteren Ende des Schwingungswandlers 12 auftreten. Bei der angeregten Schwingform liegt ein nahezu stillstehender Schwingungsknoten im Bereich 16c der Halterung 14 der nicht rotierenden starren Schulter 16d. Die Lage des Schwingungsknotens gewährleistet die Schwingungsentkopplung des schwingenden Systems gegenüber den äußeren Bereichen des Halters 16. Durch die bestimmte geometrische Gestaltung der schwingenden Bestandteile des Systems erfolgt eine Amplitudenverstärkung vom Schwingungswandler 12 in Richtung der nicht rotierenden starren Schulter 16d. Im Bereich des Schwingungsknotens liegt eine möglichst kleine Schwingungsamplitude vor.

Zur Schwingungsanregung werden die Piezoaktoren 12a mit einer, der Anregungsfrequenz entsprechenden, elektrischen Wechselspannung gespeist. Erzeugt wird diese elektrische Wechselspannung mit dem Frequenzgenerator 15. Sie wird mit der Kabelverbindung 15a auf den Halter 16 und von diesem mittels elektrischer Leiterbahnen auf die Piezoaktoren 12a übertragen.

Der im Schwingungswandler 12 integrierte Sensor 12b detektiert während des Betriebs Informationen über die aktuelle Schwingungsamplitude und die Lage der Resonanzfrequenz in Bezug zur aktuellen Anregungsfrequenz mit der Schwingungen eingekoppelt werden.

Entsprechend des Beispiels aus Figur 1 detektiert der im Schwingungswandler 12 integrierte Sensor 12b während des Betriebs Informationen über die aktuelle Schwingungsamplitude und die Lage der Resonanzfrequenz in Bezug zur aktuellen Anregungsfrequenz mit der Schwingungen eingekoppelt werden.

Die Halterung 14 des stiftförmigen Werkzeugs 11 ist mit einer Kupplung 14b zum stiftförmigen Werkzeug 11 und einer Kupplung 14c zum Drehantrieb des stiftförmigen Werkzeugs 11 ausgerüstet und können denen des Beispiels aus Figur 1 entsprechen.

5

Die Ausführungsbeispiele gemäß den Figuren 1 und 2 können aber auch so betrieben werden, dass Schwingungen torsional um die Rotationsachse des stiftförmigen Werkzeugs 1 bzw. 11 eingekoppelt werden. Diese Schwingungsrichtung des stiftförmigen Werkzeugs 1 bzw. der nicht rotierenden Schulter 16d kann unmittelbar durch eine torsionale Schwingungsanregung im Schwingungswandler 2 bzw. 12 erzeugt werden. Es ist auch eine longitudinale Schwingungsanregung im Schwingungswandler 2 bzw. 12 und eine zum stiftförmigen Werkzeug 1 bzw. zur nicht rotierenden Schulter 16a wirkende mechanische Übersetzung in eine torsionale Schwingung realisierbar. Vorzugsweise erfolgt eine torsionale Anregung über eine stehende Schulter oder eine zusätzliche stehende Schulter am stiftförmigen Werkzeug 1. Auf diese Weise kann die Einleitung einer ausreichend großen Schwingungsamplitude sichergestellt werden.

10

15

20

In den Figuren 3 bis 8 sind Beispiele für Möglichkeiten zur Einkopplung von Schwingungen gezeigt. Mit den Pfeilen sind verschiedene Einkopplungsmöglichkeiten sowie die Drehung des stiftförmigen Werkzeugs 1 verdeutlicht.

25

Beim den in Figur 3 gezeigten Möglichkeiten handelt es sich bei der linken Darstellung um die Einkopplung von longitudinalen Schwingungen parallel zur Rotationsachse des stiftförmigen rotierenden Werkzeugs 1 sowie um die Rotationsachse torsional in das stiftförmige Werkzeug 1 eingekoppelte Schwingungen. Das stiftförmige Werkzeug 1 verfügt über eine sich mitdrehende Schulter

30

Bei der mittleren Darstellung werden Schwingungen torsional in das stiftförmige Werkzeug 1 und die mitrotierende Schulter des stiftförmigen Werkzeugs 1 eingekoppelt.

35

Die Möglichkeit der Kombination der in der linken und mittleren Darstellung

gezeigten Einkopplungsmöglichkeiten ist in der rechten Darstellung gezeigt.

Figur 4 zeigt Möglichkeiten zur Einkopplung von Schwingungen bei einem stiftförmigen Werkzeug 1, bei dem die Schulter nicht rotiert. Die linke Darstellung verdeutlicht die Möglichkeit der longitudinalen Schwingungseinkopplung über die Schulter.

Bei der mittleren Darstellung werden über die Schulter torsionale Schwingungen eingekoppelt. Die rechte Darstellung verdeutlicht die Kombination der beiden anderen Beispiele von Figur 4.

Figur 5 zeigt Möglichkeiten bei denen Schwingungen direkt in die Werkstücke 8 über eine stehende Schulter eingekoppelt werden. Links werden in die Werkstücke 8 longitudinal Schwingungen parallel zur Rotationsachse des stiftförmigen Werkzeugs 1 in die Werkstücke 8 eingekoppelt.

In der mittleren Darstellung ist das Einkoppeln torsionaler Schwingungen um die Rotationsachse in die Werkstücke 8 gezeigt. Die rechte Darstellung verdeutlicht die Möglichkeit der Kombination der beiden anderen Beispiele von Figur 5.

Figur 6 zeigt Möglichkeiten der Einkopplung von Schwingungen mit einem rotierenden Bobbin-Tool, hier links als longitudinale Schwingungen, mittig als torsionale Schwingungen und rechts die Kombination dieser Möglichkeiten.

Figur 7 zeigt Beispiele bei denen die Einkopplung von Schwingungen in die zwei zu fügenden Werkstücke 8 von der Rückseite mittels des stiftförmigen Werkzeugs 1 gegenüberliegend angeordnetem Gegenhalter 9 eingekoppelt werden. Bei der linken Darstellung werden longitudinal ausgerichtete Schwingungen parallel zur Rotationsachse des Werkzeugs 1 in die beiden Werkstücke 8 eingekoppelt. Bei der mittleren Darstellung sind dies torsionale Schwingungen um die Rotationsachse und die rechte Darstellung verdeutlicht wieder die Kombination der beiden anderen Möglichkeiten.

Figur 8 zeigt Möglichkeiten zur Schwingungseinkopplung in größerem Abstand vom Fügebereich, als dies beim Beispiel nach Figur 7, der Fall ist. Dazu ist ein

Gegenhalter 9 beim Beispiel nach Figur 7 so ausgebildet, dass die Schwingungen über einen inneren Teil eingekoppelt werden, der von einem äußeren fest gehaltenen, bevorzugt hülsenförmig ausgebildeten Bereich umgeben ist.

5 Bei dem in Figur 8 gezeigten Beispiel werden die Schwingungen über einen äußeren Bereich des Gegenhalters eingekoppelt, wohingegen der innere Bereich des Gegenhalters 9 fest gehalten wird.

10 Bei den Beispielen gemäß den Figuren 7 und 8 zeigen die linken Darstellungen wieder eine longitudinale Schwingungseinkopplung, die mittlere eine torsionale Schwingungseinkopplung und die rechte Darstellung die Kombination beider Möglichkeiten.

Patentansprüche

5

1. Verfahren zum Herstellen einer stoffschlüssigen Verbindung von Werkstücken mittels Rührreibschweißen, bei dem

10

zwei Werkstücke (8) mit ihren miteinander zu fügenden Flächen so zueinander positioniert werden, dass sie in berührenden Kontakt stehen und

15

ein rotierendes stiftförmiges Werkzeug (1, 11) zwischen den zu fügenden Flächen der Werkstücke (8) eine Vorschubbewegung durchführt und durch die dabei eingebrachte Energie und auf die Werkstücke (8) ausgeübte Druckkräfte eine Fügezone und die stoffschlüssige Verbindung ausgebildet wird; wobei

20

während der Rotation und der Durchführung der Vorschubbewegung mit mindestens einer Einrichtung (2) Schwingungen in die Fügezone der Werkstücke (8) über die Halterung des stiftförmigen Werkzeugs (1, 11), die Halterung einer nicht mit dem stiftförmigen Werkzeug verbundenen Schulter (10, 16d) und/oder einem an der der Halterung des stiftförmigen Werkzeugs (1, 11) gegenüberliegenden Seite der Werkstücke (8) angeordneten Gegenhalter (9) in die Werkstücke (8) mit einer Frequenz, die einer Eigenresonanzfrequenz der zur Einkoppelung genutzten Einrichtung entspricht, eingekoppelt werden

25

und/oder

30

mit einer Einrichtung, die zur Durchführung eines Wärmepulsverfahrens ausgebildet ist, Schwingungen mit einer Frequenz, die der Eigenresonanzfrequenz der Halterung des stiftförmigen Werkzeugs (1, 11) mit dem stiftförmigen Werkzeug (1, 11) entspricht, in die Werkstücke (8), die Halterung des stiftförmigen Werkzeugs, einer Schulter (10) des

stiftförmigen Werkzeugs und oder den Gegenhalter (9) eingekoppelt werden.

- 5 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass an mindestens einem Werkstück (8), einer Spannvorrichtung für die Werkstücke (8), der Halterung des stiftförmigen Werkzeugs (1, 11), einer nicht rotierenden Schulter (1, 11), der Halterung einer nicht rotierenden Schulter (10), dem Gegenhalter (9) und/oder in dem zur
- 10 Schwingungseinkopplung genutzten Schwingungswandler ein Schwingungssensor (2b, 12b) angeordnet ist, mit dem die Amplitude der momentan in die Fügezone eingekoppelten Schwingungen erfasst und der mindestens eine Schwingungssensor (2b, 12b) mit einer elektronischen Regeleinrichtung verbunden ist, mit der die Frequenz, mit der Schwingungen mit der mindestens einen Einrichtung eingekoppelt werden, auf eine Eigenresonanzfrequenz dieser Einrichtung geregelt wird.
- 15 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Einrichtung mit der Schwingungen eingekoppelt werden und/oder der mindestens eine Schwingungssensor (2b, 12b) mit der Vorschubbewegung des stiftförmigen Werkzeugs mit bewegt werden.
- 20 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass longitudinale und/oder torsionale Schwingungen eingekoppelt werden.
- 25 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine piezoelektrische, magnetostriktive, elektromechanische, hydraulische, pneumatische Einrichtung und/oder eine Einrichtung, die zur Durchführung eines Wärmepulsverfahrens ausgebildet ist, für die Einkopplung von Schwingungen eingesetzt wird.
- 30 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Schwingungen mit einer Frequenz im Bereich 10 Hz bis 100 kHz, mit einer Amplitude longitudinal im Bereich 1 μ m bis 1

mm und/oder torsional im Bereich 0,1 mrad bis 20 mrad eingekoppelt werden.

- 5 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Schwingungen in eine Schulter des stiftförmigen Werkzeugs (1, 11) eingekoppelt werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als eine Einrichtung, die zur Durchführung eines Wärmepulsverfahrens ausgebildet ist, ein gepulst betriebener Laser mit veränderbarer Pulsfrequenz eingesetzt wird.
- 10 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Schwingungen an der der Halterung (1, 14) für das stiftförmige Werkzeug (1, 11) gegenüberliegenden Oberflächen der Werkstücke (8) in die Werkstücke (8) eingekoppelt werden.
- 15 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Schwingungen so eingekoppelt werden, dass ein Schwingungsknoten in einem Bereich (4a) der Halterung (1, 14) des stiftförmigen Werkzeugs (1, 11) ausgebildet wird.

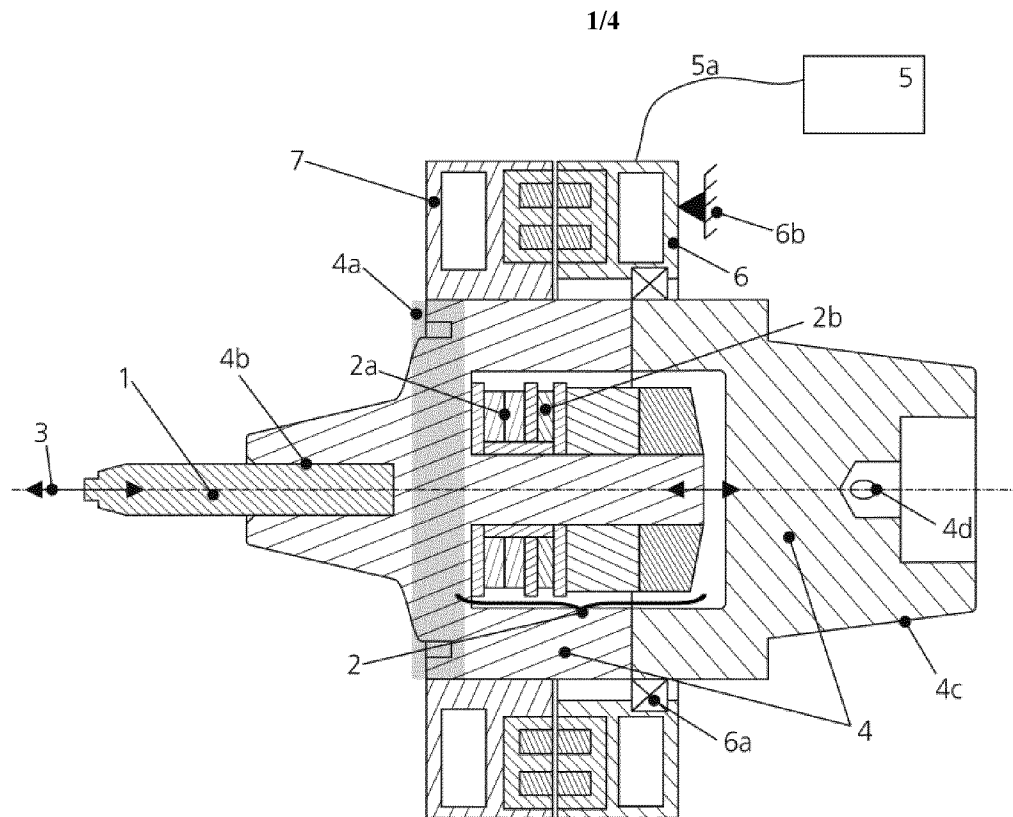


Fig. 1

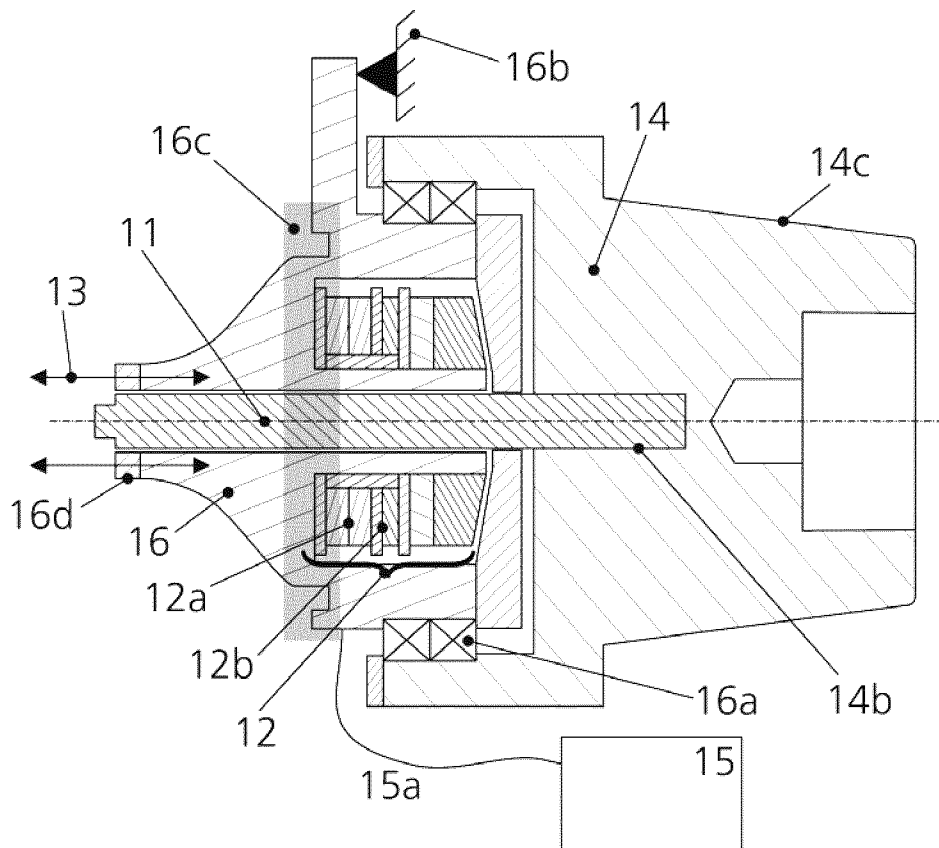


Fig. 2

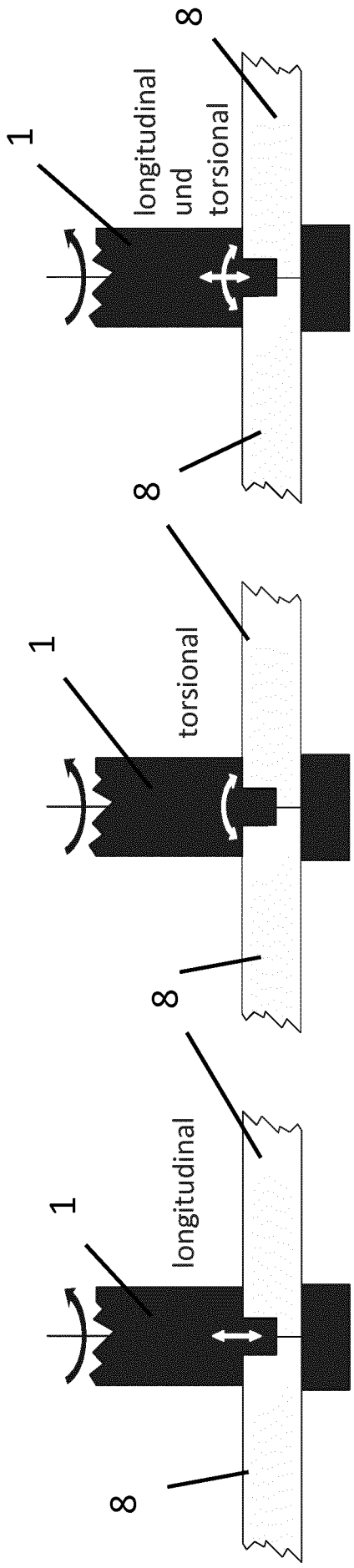


Fig. 3

rotierender Pin und rotierende Schulter

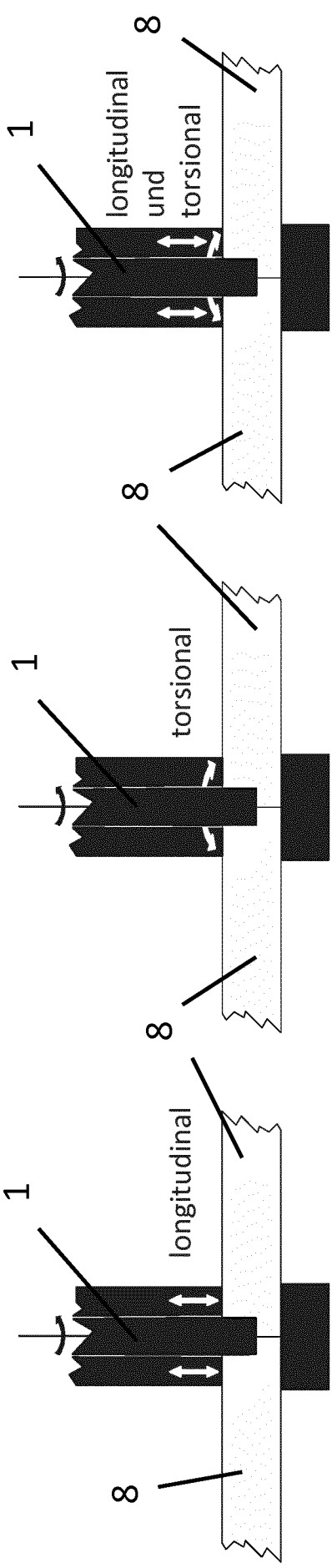


Fig. 4

rotierender Pin und stehende Schulter

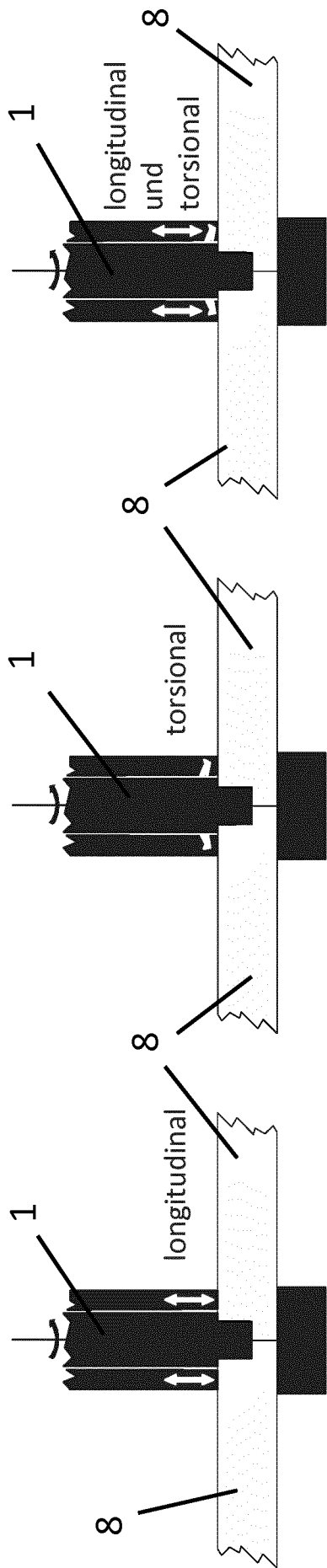


Fig. 5

rotierender Pin mit Schulter und stehende Schulter

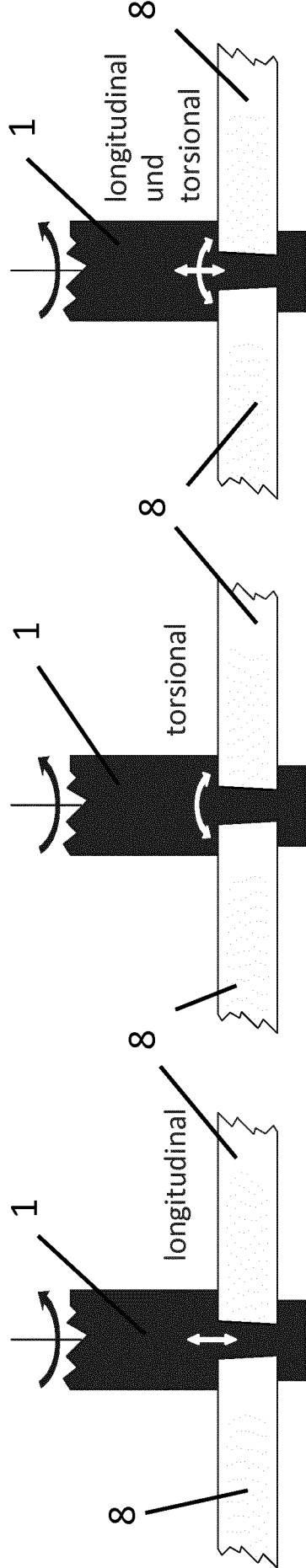
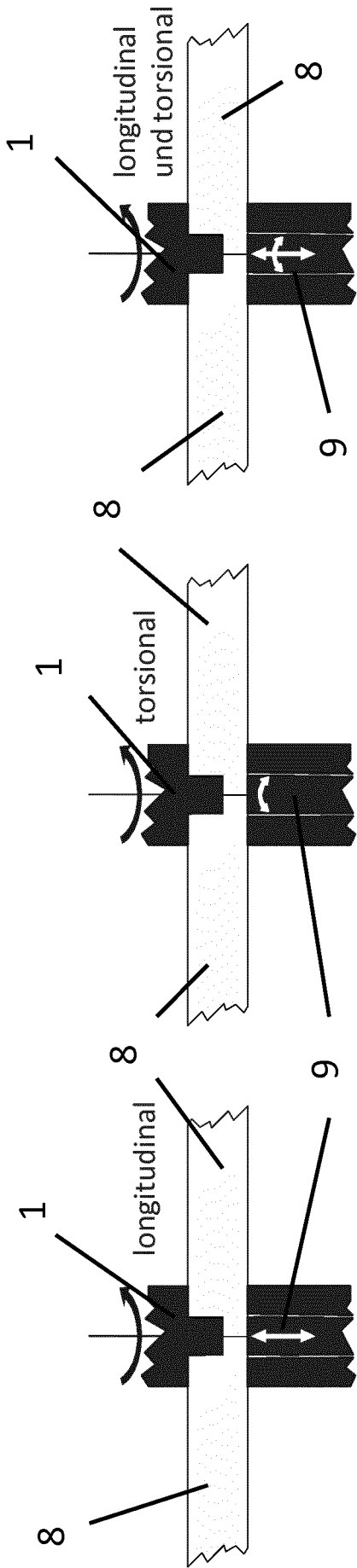


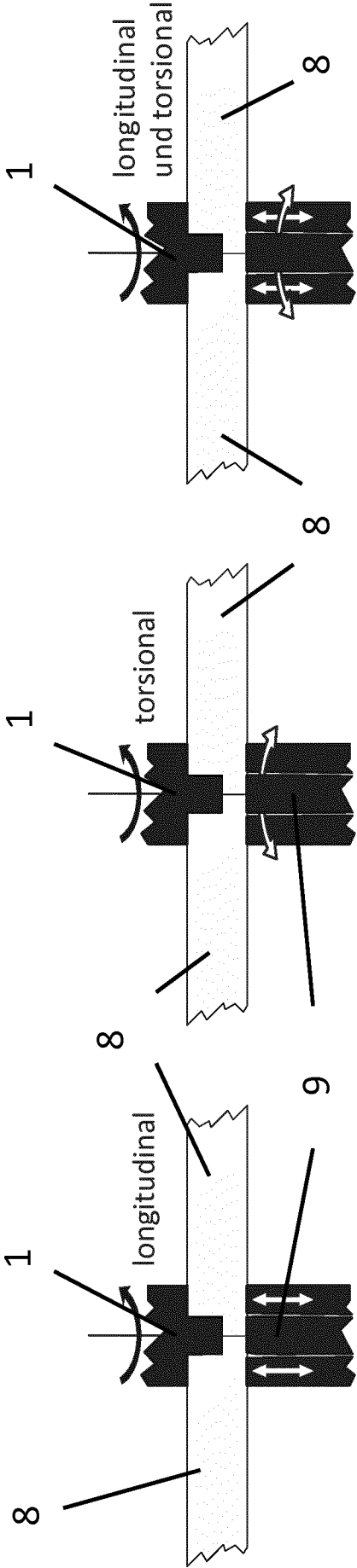
Fig. 6

rotierendes Bobbin-Tool



fügezonen-nahe Anregung

Fig. 7



fügezonen-ferne Anregung

Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/075511

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER B23K 20/12(2006.01)i; B23K 20/10(2006.01)i 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) B23K 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.
X	S. AMINI ET AL. "Study of ultrasonic vibrations' effect on friction stir welding" <i>THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY</i> , London, Vol. 73, No. 1-4, 09 April 2014 (2014-04-09), pages 127-135 DOI: 10.1007/s00170-014-5806-7 ISSN: 0268-3768, XP055647400 the whole document	1-10
X	AMINI SAEID ET AL. "Bending vibrational tool for friction stir welding process" <i>THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY</i> , SPRINGER, LONDON, Vol. 84, No. 9, 22 September 2015 (2015-09-22), pages 1889-1896, [retrieved on 2015-09-22] DOI: 10.1007/S00170-015-7834-3 ISSN: 0268-3768, XP035976215 the whole document	1-10
☐ 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 28 November 2019		Date of mailing of the international search report 11 December 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Perret, William Telephone No.

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B23K20/12 B23K20/10
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B23K

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.
X	S. AMINI ET AL: "Study of ultrasonic vibrations' effect on friction stir welding", THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, Bd. 73, Nr. 1-4, 9. April 2014 (2014-04-09), Seiten 127-135, XP055647400, London ISSN: 0268-3768, DOI: 10.1007/s00170-014-5806-7 das ganze Dokument ----- -/--	1-10



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

28. November 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/12/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Perret, William

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	AMINI SAEID ET AL: "Bending vibrational tool for friction stir welding process", THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, SPRINGER, LONDON, Bd. 84, Nr. 9, 22. September 2015 (2015-09-22), Seiten 1889-1896, XP035976215, ISSN: 0268-3768, DOI: 10.1007/S00170-015-7834-3 [gefunden am 2015-09-22] das ganze Dokument -----	1-10