

(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
18. Januar 2007 (18.01.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/006669 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B23K 20/12 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/063758

(22) Internationales Anmeldedatum:
30. Juni 2006 (30.06.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2005 032 170.4 9. Juli 2005 (09.07.2005) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU** [DE/DE]; Ehrenbergstrasse 29, 98693 Ilmenau (DE).

(72) Erfinder; und

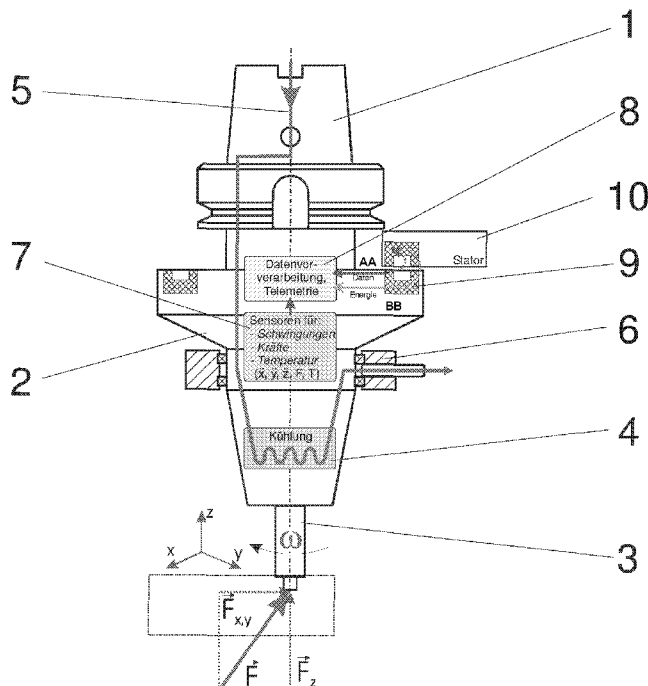
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BERGMANN, Jean Pierre** [DE/DE]; Schulze-Delitzsch-Strasse 10, 99096 Erfurt (DE). **WILDEN, Johannes** [DE/DE]; Clara-Viebig-Strasse 50, 52152 Simmerath (DE). **BARTHELMÄ, Frank** [DE/DE]; Bahnhof 6, 98587 Altersbach (DE). **ASCHENBACH, Bernd** [DE/DE]; Ebersbach 28, 98593 Kleinschmalkalden (DE).

(74) Anwalt: **ENGEL, Christoph K.**; Engel Patentanwalt-skanzlei, Marktplatz 6, 98527 Suhl (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: FRICTION STIR WELDING TOOL AND METHOD AND ASSEMBLY FOR THE REAL-TIME CONTROL OF A FRICTION STIR WELDING PROCESS

(54) Bezeichnung: RÜHRREIBSCHWEISSWERKZEUG SOWIE VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ECHTZEIT-KONTROLLE EINES RÜHRREIBSCHWEISSPROZESSES DURCH ERFASSUNG DER BESCHLEUNIGUNGSKRÄFTE UND/ODER SCHWINGUNGEN AN DEM WERKZEUGKÖRPER



10... STATOR
8... DATA PRE-PROCESSING,
TELEMETRY
AA... DATA
BB... ENERGY
7... SENSORS FOR:
OSCILLATIONS
FORCES
TEMPERATURE
4... COOLING SYSTEM

(57) Abstract: The invention relates to a friction stir welding tool and to a method and an assembly for the real-time control of a friction stir welding process. The aim of the invention is to provide a compact friction stir welding tool for universal application and a method and an assembly for the real-time control of a friction stir welding process, in order to produce a weld seam that conforms to quality standards without the need for subsequent finishing and to minimise the stress exerted on the friction stir welding installation. To achieve this, the oscillations of a friction stir welding tool are recorded in the x-, y- and z-directions and the processing forces that emanate from the friction stir welding tool, together with the working temperatures that occur directly at the welding point, are recorded during the friction stir welding process with the aid of appropriate sensors. The recorded data is then telemetrically transmitted to an evaluation unit, where said data is prepared by computer. The process parameters processing speed, processing force and working temperature are regulated by a control unit.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/006669 A1



(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

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

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Rührreibschweißwerkzeug sowie ein Verfahren und eine Anordnung zur Echtzeit-Kontrolle eines Rührreibschweißprozesses. Mit der vorliegenden Erfindung soll ein kompaktes, universell einsetzbares Rührreibschweißwerkzeug sowie ein Verfahren und eine Anordnung zur Echtzeit-Kontrolle eines Rührreibschweißprozesses bereitgestellt werden, so dass in seinem Ergebnis eine qualitätsgerechte Fügenaht ohne notwendige Nachbearbeitung entsteht, wobei die Belastungen der Rührreibschweißanlage minimiert werden. Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die Schwingungen eines Rührreibschweißwerkzeuges in x-, y- und z- Richtung, die vom Rührreibschweißwerkzeug aus wirkenden Bearbeitungskräfte und die Arbeitstemperaturen, die unmittelbar an der Schweißstelle auftreten, während des Rührreibschweißprozesses mit geeigneten im Werkzeuggrundkörper (1) Sensoren (7) erfasst werden, die erfassten Daten telemetrisch durch Einheit (8) an eine Auswerteeinheit übertragen und von dieser rechnergestützt aufbereitet werden und über eine Steuereinheit die Prozessparameter Bearbeitungsgeschwindigkeit, Bearbeitungskraft und Arbeitstemperatur geregelt werden.

RÜHRREIBSCHWEISSWERKZEUG SOWIE VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ECHTZEIT-KONTROLLE
EINES RÜHRREIBSCHWEISSPROZESSES DURCH ERFASSUNG DER BESCHLEUNIGUNGSKRÄFTE
UND/ODER SCHWINGUNGEN AN DEM WERKZEUGKÖRPER

Die Erfindung betrifft ein Rührreibschweißwerkzeug sowie ein Verfahren und eine Anordnung zur Echtzeit-Kontrolle eines Rührreibschweißprozesses.

Reibschweißen wird seit einigen Jahrzehnten industriell für eine Vielzahl von Fügeaufgaben eingesetzt, bei denen rotationssymmetrische oder flächige Werkstücke gefügt werden. Beim konventionellen Reibschweißen entsteht die Wärme durch Reibung der Fügeflächen, die durch die Relativbewegung der Fügepartner zueinander erzeugt wird.

Das Rührreibschweißen (FSW - Friction Stir Welding) stellt eine Weiterentwicklung der Reibschweißtechnik dar und ist Anfang der 90er Jahre patentiert (GB 2 270 864) worden. Dieses Verfahren zeichnet sich auf Grund der niedrigen Füge-temperaturen und des hervorragenden Eigenschaftsprofils der Verbindungen aus. Beim FSW werden sowohl die Reibungswärme als auch der Druck durch verschleißfeste Werkzeugrührbolzen erzeugt. Diese bestehen aus einer Schulter und einem Stift und werden rotierend im Fügebereich in den Werkstückstoff hineingedrückt, bis die Schulter in Kontakt mit der Werkstückoberfläche ist. Durch die Reibung zwischen Werkstückstoff und Schulter entsteht die erforderliche Wärme zur Plastifizierung des Werkstückstoffes. Bei der Bewegung des Rührreibwerkzeuges entlang des Fügebereiches wird das plastifizierte Material durch den Stift im Inneren der Naht verrührt und an seine Rückseite transportiert. Grundlegende Erläuterungen zu dieser Technik finden sich in Dalle Donne, C.; Braun, R.; Staniek, G.; Jung, A.; Kaysser, W. A.: Mikro-

strukturelle, mechanische und korrosive Eigenschaften reibrührgeschweißter Stumpfnähte in Aluminiumlegierungen; in: Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 29, (1998), 609-617.

5 Jedoch stellen die beim Rührreibschweißen in der Phase des Tauchens auftretenden Kräfte besondere Anforderungen an die verwendeten Werkzeugmaschinen und Anlagen. Diese müssen ausreichend steif sein, da auftretende Schwingungen während des Rührreibschweißprozesses zu einer unregelmäßigen Nahtaus-
10 bildung führen und die Prozesssicherheit sowie seine Reproduzierbarkeit dadurch stark beeinflusst werden. In Blach, O.; Senne, F.: Reibrührschweißen aus der Sicht eines Anwenders im Schienenfahrzeugbau; in: 2. GKSS Workshop, (2002), 85-94; wird als Grund für die mangelnde Reproduzierbarkeit die Über-
15 belastung der verwendeten Bearbeitungszentren angegeben. An der Nahtoberfläche sind trotz angezeigter konstanter Werte der Höhenposition (z-Position) des Werkzeugrührbolzen Schwankungen in der Eintauchtiefe erkennbar. Aufgrund einer unzureichenden Steifigkeit der Maschine kommt es während des
20 Prozessesablaufes zum „Rucken“. Daneben bewirken die im Bearbeitungsprozess auftretenden Axialkräfte von bis zu 30 kN eine Lebensdauerreduzierung der Werkzeugrührbolzen und der Wälzlager der Schweißanlage.

25 Alle diese negativen Erscheinungen treten vermehrt beim Bearbeiten zäher Werkstoffklassen, wie beispielsweise Stähle oder Mischverbindungen, auf. Um FSW-Verbindungen aus artgleichen und/oder unterschiedlichen Werkstoffen in einem größeren Umfang prozesssicher herstellen zu können, ist daher eine
30 Echtzeit-Prozesskontrolle erforderlich. Um darüber hinaus konstante Rührbedingungen gewährleisten zu können, muss der Verschleiß des Werkzeugrührbolzens (Stift und Schulter)

ständig überwacht werden. Die Kontrolle des Schweißprozesses ist jedoch sehr problematisch, da die Fugestelle nur sehr schwer zugänglich ist. In der Literatur wird an vereinzelten Stellen über online-Prozesskontrollsysteme berichtet. So z.B. werden in Kallee, S.; Nicholas, D.E.; Thomas, W.: Friction Stir Welding: Invention, Innovations and Applications; in: 2.GKSS Workshop, (2002), 9-22; die auftretenden Kräfte durch einen Dynamometer und eine Kraftmessdose erfasst, wobei eine Rückkopplung mit der Maschinensteuerung nicht erfolgt. Diese Messung ermöglicht lediglich das Erfassen der Kraftkomponenten F_x , F_y und F_z und kann zur Überwachung der Eintauchtiefe bei Prozessbeginn eingesetzt werden.

In Kleiner, D.; Bird, C.R.: Signal Processing for quality assurance in friction stir welds; in: 42nd Annual British Conference on NDT, (2003), 169-174; werden Schallkörperemissionen während des laufenden Prozesses gemessen und ausgewertet. Durch die Transformation dieser Signale ist es möglich, eine Regelung des Prozesses vorzunehmen. So kann z.B. das Auftreten von Kavitäten und Unregelmäßigkeiten in der Schweißnaht (Kissing Bonds) mit Hilfe eines Verarbeitungs-Algorithmus aus diesen auf diese Weise gewonnenen Signalen sicher abgeleitet werden. Das Monitoring durch Schallkörperemissionen wird jedoch durch die in einer Fertigungshalle auftretenden Nebengeräusche stark beeinträchtigt.

Eine weitere Anordnung zur Steuerung des FSW-Prozesses mit einem doppelschulterigen Bolzen wird in der WO 00/2699 A1 dargestellt. Auch in diesem Fall werden nur integrierte Informationen über Wegänderung und Druckbeaufschlagung ermittelt. Die Regelung erfolgt dann über einen Aktuator.

In der WO 03/064100 A1 wird die Kraft zwischen den Schultern als prozessregelnde Größe angenommen und über das Antriebsmoment gemessen.

- 5 In der DE 101 39 687 C1 wird eine Lösung zur Messung der Temperatur im Werkzeug und somit zur Bestimmung des auftretenden Zeit-Temperatur-Regime im Prozess beschrieben.

10 Eine deutliche Weiterentwicklung dieses Kontrollprozesses liefert die erst am 12.01.2006 veröffentlichte Patentschrift DE 10 2004 030 381 B3. Hier wird der Einsatz geeigneter Messmethoden und Anordnungen zur Ermittlung der Druckbeaufschlagung (z.B. mittels Dehnungsmesssensor, piezoelektrischem oder magnetostriktivem Element oder mittels einer Druckfolie)

15 sowie der auftretenden Schwingungen (Mikrowellensensor) vorgestellt. Insbesondere werden die Schwingungen über die Lageänderung der am Prozess beteiligten Maschinenteile mit einem Laser oder Mikrowellensensor gemessen. Diese Messelemente können extern oder an der Halterung (Werkzeugfutter)

20 angebracht sein. Die dargestellte Lösung ist eine Weiterentwicklung des bisher bekannten Standes der Technik. Der Nachteil dieser Lösung besteht jedoch darin, dass in allen Fällen die Information über die Vorgänge aus dem Zustand des Rührbolzen, also unterhalb der Kontaktfläche Schulter/Bauteil

25 ermittelt wird. Es ist mit diesem Verfahren zum Beispiel nicht möglich, gezielt den Materialfluss um den Stift herum, sowie Verschleißerscheinungen des Stiftes selbst zu ermitteln. Die Prozesssicherheit sowie das Auftreten von sogenannten Kissing Bonds beim Rührreibschweißen werden jedoch

30 maßgeblich vom Materialfluss um den Stift herum bestimmt. Ist dieser kontinuierlich, dann ist auf eine gleichmäßige Durchmischung (im festen Zustand, ähnlich wie beim Kneten)

zwischen den Fügepartnern zu schließen (vgl. Fig. 1). Tritt dabei eine Diskontinuität auf, wie z.B. das kurzfristige Ablösen eines Materialfilmes in der drehenden Bewegung um den Stift herum, dann ergibt sich eine zeitlich begrenzte Geschwindigkeitsänderung. Diese kann mit den in DE 10 2004 030 381 B3 dargestellten Messmethoden nicht präzise erfasst werden, da hierbei immer eine von mehreren Einflussfaktoren (Nachgiebigkeit der Werkstoffe, des Rührbolzens, Übertragung an der Grenzfläche im Fall der Messung der Dehnung sowie der Lageänderung) abhängige Information ermittelt wird. Eine direkte Ermittlung des sich im Materialfluss ändernden Geschwindigkeitsfeldes wird nicht realisiert. Eine eindeutige Aussage über die materialspezifischen Gegebenheiten der Füge-naht ist somit nicht möglich. Darüber hinaus ergibt sich gerade bei artfremden Werkstoffpaarungen die Situation, dass auf Grund der unterschiedlichen Fliesseigenschaften ein untypisches Geschwindigkeitsfeld vorliegt. Dieses kann durch die derzeitige Sensorik nicht sicher definiert werden.

Die im Stand der Technik zur Verfügung stehenden Prozesskontrollsysteme eignen sich daher für die Einzelfertigung auf CNC-Universalmaschinen sowie für die Serienfertigung nur bedingt. Insbesondere liefern die bekannten Messmethoden keine verwertbare Aussage über den Werkzeugverschleiß sowie über Veränderungen des Materialflusses an der Grenzfläche Stift / plastifizierter Werkstückstoff, welche maßgeblich für die Güte der Verbindung sowie für die Auslegung des Stiftes und des Prozesses ist.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, ein kompaktes, universell einsetzbares Rührreibschweißwerkzeug sowie ein Verfahren und eine Anordnung zur Echtzeit-Kontrolle

eines Rührreibschweißprozesses bereitzustellen, mit denen es gelingt, den Fügeprozess einfach und kostengünstig zu optimieren, so dass in seinem Ergebnis eine den Qualitätsanforderungen entsprechende Fügenaht ohne notwendige Nachbearbeitung entsteht und die Belastung der Rührreibschweißanlage minimiert wird.

Erfindungsgemäß gelingt die Lösung dieser Aufgabe mit den Merkmalen des ersten, neunten bzw. zwölften Patentanspruchs.

Vorteilhafte erfindungsgemäße Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 - Darstellung des Geschwindigkeitsfeldes während eines Rührreibschweißprozesses
- Fig. 2 - schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Rührreibschweißwerkzeuges
- Fig. 3 - schematische Darstellung eines Regelkreises für den Rührreibschweißprozess

Fig. 1 verdeutlicht die Komponenten eines Geschwindigkeitsfeldes, wie es in einem gewöhnlichen Rührreibschweißprozess auftritt.

Fig. 2 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes Rührreibschweißwerkzeug, welches an einer nicht näher dargestellten Maschinenspindel über eine Standardschnittstelle 1, wie z.B. ein Hohlchaftkegel, montiert wird. Bekannte Rührreibschweiß-

werkzeuge bestehen im wesentlichen aus einem Werkzeuggrundkörper 2 aus vergütetem Werkzeugstahl und einem Werkzeugrührbolzen 3, wobei letzterer aus einer Schulter und einem Stift zusammengesetzt ist, die miteinander festverbunden sind. Die Befestigung des Werkzeugrührbolzens 3 an dem Werkzeuggrundkörper 2 erfolgt in einer Werkzeugaufnahme, z.B. einer Spannzange oder einem Spannfutter für Zylinderschäfte nach DIN 1835 Teil 1 und 2.

Die im Rührreibschweißprozess anfallende Wärme wird über ein geschlossenes Kühlsystem 4 abgeführt. Das Kühlmittel wird dem Werkzeug über die innere Kühlmittelzufuhr (IKZ) 5 der Maschinenspindel zu- und über einen radial drehbar am Außenumfang des Werkzeuges gelagerten Kühlmittelring 6 abgeleitet. Bei Spindeln ohne IKZ kann die Zu- und Abfuhr über einen modifizierten Kühlmittelring ausgeführt werden.

Erfindungsgemäß ermöglicht eine entsprechend ausgelegte Sensoranordnung 7 die Erfassung ausgewählter, prozessbedingter Unregelmäßigkeiten die im wesentlichen auf Veränderungen im Materialfluss oder im Reibverhalten an der Grenzfläche Stift / Substratoberfläche zurückzuführen sind. Diese Unregelmäßigkeiten, die sich ursprünglich aus einer Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit ergeben, können durch die Messung der im Werkzeug auftretenden Beschleunigung ermittelt werden. Die Beschleunigung kann mehrachsrig z.B. mittels eines handelsüblichen Triaxialbeschleunigungssensors auf Piezobasis gemessen werden. Nach einer Weiterverarbeitung und Auswertung dieser Messwerte kann dann eine Aussage über die auftretenden Schwingungen und Belastungen auf die Maschine getroffen werden.

Eine weitere Instrumentalisierung des Rührreibschweißkopfes, basierend auf den bereits erwähnten Methoden zur Ermittlung der statischen und dynamischen Komponenten der auf die zu schweißenden Werkstücke wirkenden Kraft, wird mit geeigneten Kraftmesssensoren, wie z.B. Dehnmessstreifen oder Piezokraftsensoren, in geeigneter Anordnung realisiert. Bedingt durch die thermischen Besonderheiten des Rührreibschweißprozesses kann die zum Schutz der Sensorik notwendige Temperaturüberwachung auch als Prozessgröße aufgenommen werden. Dabei wird durch die im Rührreibschweißwerkzeug befindliche Sensorik notwendige aktive Kühlung des Elektronikbereiches auch als Prozessparameter berücksichtigt. Zur Temperaturmessung befindet sich ein Sensor mit geringer Wärmekapazität nahe der Wirkstelle bzw. nahe dem Werkzeugrührbolzen 3.

Mit der erfindungsgemäßen Lösung kann eine Separierung der Effekte erfolgen und die Wichtung der Materialflussänderung, die sich beispielsweise auf Grund der materialspezifischen Eigenschaften, der Temperatur der Werkstoffe (Fließsgrenze) aber auch insbesondere der Anordnung zum Stift (Positionierung), der Geometrie des Stiftes sowie dessen Zustand ergeben, erfolgen. Darüber hinaus bietet die hier dargestellte Lösung die einzigartige Möglichkeit, aktiv bei artfremden Werkstoffpaarungen (z.B. Stahl/Aluminium, Titan/Aluminium etc.) Informationen über den sich einstellenden Materialfluss zu gewinnen. In diesem Fall führen die unterschiedlichen Fließeigenschaften der verwendeten Werkstoffe zu einem untypischen Geschwindigkeitsfeld, das nur durch eine Messung der sich ergebenden Geschwindigkeitsänderungen (Beschleunigungen) definiert werden kann.

Der erfindungsgemäße kompakte Aufbau und die intelligente Anordnung der Sensorik im Rührreibschweißkopf stellt ein wesentliches Merkmal der Erfindung dar, da somit dem Anwender eine ganzheitliche Echtzeit-Prozessregelung „in einer Hand“
5 angeboten werden kann.

Die Energie für die werkzeuginterne Elektronik wird induktiv über eine Koppelstelle 9 eingespeist.

10 Mit Hilfe der auf diese Weise erfassten Daten kann man auf veränderte Prozessbedingungen rückschließen und mit auftretenden Schweißunregelmäßigkeiten korrelieren.

Um den Einsatz des Rührreibschweißwerkzeuges auf konventionellen Bearbeitungszentren mit automatischem Werkzeugwechsler sicherzustellen und um Kollisionen mit diesem zu vermeiden,
15 hat ein Stator 10 vorzugsweise die Form eines Kreisringausschnittes.

20 In Fig. 3 ist schematisch der Regelkreis einer erfindungsgemäßen Rührreibschweißanlage dargestellt. Sobald während des Schweißprozesses infolge von Instabilitäten, z.B. Eintauchtiefe, Werkzeugverschleiß, Kavitäten usw. Änderungen der Beschleunigung und / oder des Kraftverlaufes und / oder der
25 Temperatur am Rührreibschweißwerkzeug auftreten, werden die entsprechenden Sensorsignale über eine Datenvorverarbeitung und eine bidirektionale Telemetrieinheit zu einer Auswerteeinheit übertragen. Dort werden die Daten aufbereitet und Befehle zur Steuerung der Handlungslogik in der Schweißanlage
30 generiert. Über geeignete Schnittstellen werden die generierten Befehle zur Anlagensteuerung übertragen, die ihrerseits die relevanten Prozessparameter, wie Bearbeitungsgeschwindig-

keit, Bearbeitungskraft und Arbeitstemperatur, regelt. Damit wird sichergestellt, dass die Prozessparameter während des Schweißprozesses an die sich ändernden Prozessbedingungen angepasst werden und der Schweißprozess qualitätsgerecht ausgeführt werden kann.

Vorteilhaft wirkt sich hierbei der Einsatz von geeigneten kompakten Sensoren kleinster Bauform aus, zur Ermittlung der Beschleunigung, der Kraft und der Temperatur. Dies ermöglicht die Integration dieser Sensoren vorzugsweise im Werkzeuggrundkörper, also nahe der Wirkstelle. Mit dem erfindungsgemäßen Rührreibschweißwerkzeug können insbesondere Veränderungen des Materialflusses und beispielsweise Verschleißerscheinungen am Werkzeugrührbolzen erkannt werden. Die Regulierung der Bearbeitungskraft und der Arbeitstemperatur ermöglicht einen werkzeug- und anlagenschonenden, verschleißarmen Prozessablauf.

Des weiteren erweist sich die kompakte und mit verschiedenen Schweißanlagen oder Bearbeitungszentren kompatible Bauweise des erfindungsgemäßen Rührreibschweißwerkzeuges als sehr vorteilhaft, da es universell einsetzbar ist und insbesondere kleinen Unternehmen die Möglichkeit bietet, sehr flexibel auf entsprechende Marktanforderungen zu reagieren.

Bezugszeichenliste

5	1	-	Standardschnittstelle
	2	-	Werkzeuggrundkörper
	3	-	Werkzeugrührbolzen
	4	-	geschlossenes Kühlsystem
	5	-	innere Kühlmittelzufuhr (IKZ)
10	6	-	äußerer Kühlmittelring
	7	-	Beschleunigungs-, Kraft- und Temperatursensoren
	8	-	Datenvorverarbeitung
	9	-	Koppelstelle
	10	-	Stator der Werkzeugmaschine
15			

Patentansprüche

1. Rührreibschweißwerkzeug bestehend aus einem Werkzeug-
grundkörper und einem Werkzeugrührbolzen mit einer Schul-
ter und einem Stift, **dadurch gekennzeichnet, dass** im
Werkzeuggrundkörper mindestens ein Sensor zur Erfassung
der auf den Werkzeuggrundkörper wirkenden Beschleuni-
gungskräfte integriert ist.
2. Rührreibschweißwerkzeug nach Anspruch 1, **dadurch gekenn-
zeichnet, dass** der integrierte Sensor angepasst ist, um
Beschleunigungskräfte zu bestimmen, die aus Veränderungen
im Materialfluss oder Reibverhalten an der Grenzfläche
zwischen Stift und zu schweißender Werkstückoberfläche
resultieren.
3. Rührreibschweißwerkzeug nach Anspruch 2, **dadurch gekenn-
zeichnet, dass** mit dem integrierten Sensor weiterhin die
an der Grenzfläche Stift/Werkstückoberfläche auftretenden
Bearbeitungskräfte und/oder Arbeitstemperaturen bestimm-
bar sind.
4. Rührreibschweißwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass der integrierte Sensor einen
oder mehrere Beschleunigungssensoren umfasst, mit denen
die Schwingungen des Rührreibschweißwerkzeuges orthogonal
zueinander in x-, y- und z-Richtung erfassbar sind.
5. Rührreibschweißwerkzeug nach Anspruch 4 **dadurch gekenn-
zeichnet, dass** der Sensor ein Triaxialbeschleunigungssen-
sor ist.

6. Rührreibschweißwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 5
dadurch gekennzeichnet, dass der integrierte Sensor
mindestens einen Kraftmesssensor umfasst, vorzugsweise
als Dehnmessstreifen oder Piezokraftsensor, mit dem die
5 Bearbeitungskräfte, mit denen das Rührreibschweißwerkzeug
auf die zu schweißenden Werkstücke wirkt, erfassbar sind.
7. Rührreibschweißwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 6
dadurch gekennzeichnet, dass der integrierte Sensor
10 mindestens einen Temperatursensor umfasst, mit dem die
Arbeitstemperaturen, die unmittelbar an der Wirkstelle
auftreten, erfassbar sind.
8. Rührreibschweißwerkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 7
15 **dadurch gekennzeichnet, dass** im Werkzeuggrundkörper (2)
des Rührreibschweißwerkzeuges Mittel zur Kühlung (4, 5
und 6) des integrierten Sensors (7) und des Werkzeugrühr-
bolzens (3) vorgesehen sind.
- 20 9. Verfahren zur Echtzeit-Kontrolle eines Rührreib-
schweißprozesses **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schwin-
gungen eines Rührreibschweißwerkzeuges in x-, y- und z-
Richtung während des Rührreibschweißprozesses mit im
Rührreibschweißwerkzeug integrierten Sensoren erfasst
25 werden, die erfassten Daten an eine Auswerteeinheit über-
tragen und von dieser aufbereitet werden und über eine
Steuereinheit die Prozessparameter geregelt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** weiterhin die Bearbeitungskräfte, mit denen das Rührreibschweißwerkzeug auf die zu schweißenden Werkstücke wirkt, und die Arbeitstemperaturen, die unmittelbar an der Schweißstelle auftreten, mit den im Rührreibschweißwerkzeug integrierten Sensoren erfasst werden, die erfassten Daten an die Auswerteeinheit übertragen und von dieser aufbereitet werden und über die Steuereinheit als Prozessparameter geregelt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Prozessparameter zumindest Bearbeitungsgeschwindigkeit, Bearbeitungskraft und Arbeitstemperatur bestimmt und geregelt werden, wobei die Prozessparameter jeweils an die sich während des Rührreibschweißprozesses ändernden Bedingungen angepasst werden.

12. Anordnung zur Echtzeit-Kontrolle eines Rührreibschweißprozesses gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie aus einer Werkzeugmaschine mit einem Rührreibschweißwerkzeug gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, Mitteln zur telemetrischen Übertragung der erfassten Daten, einer Auswerteeinheit zu deren Aufbereitung und einer Steuereinheit zur Einstellung der Prozessparameter besteht.

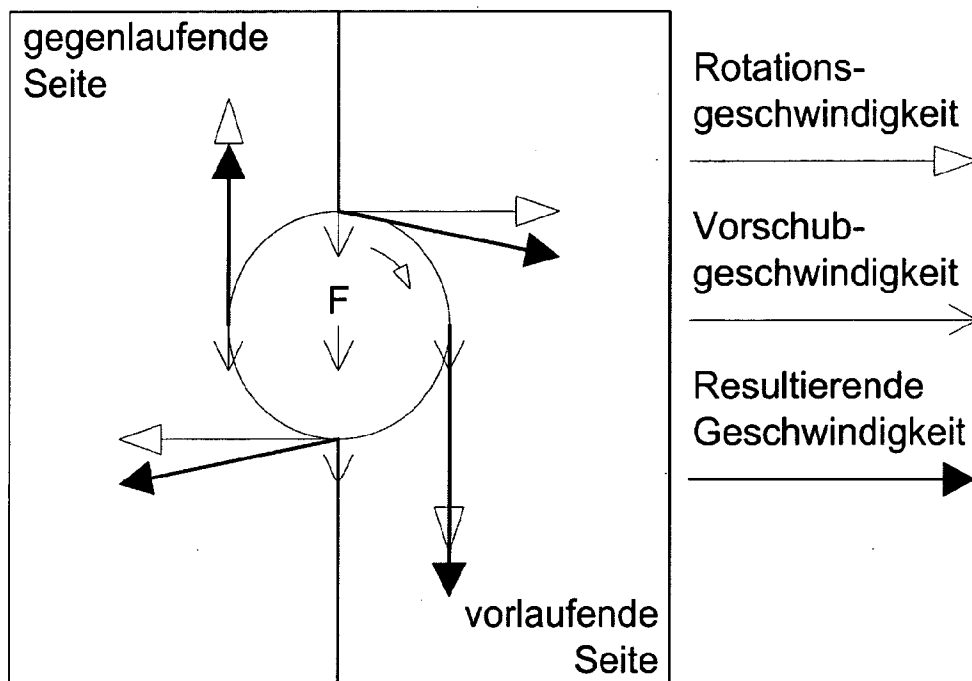


Fig. 1

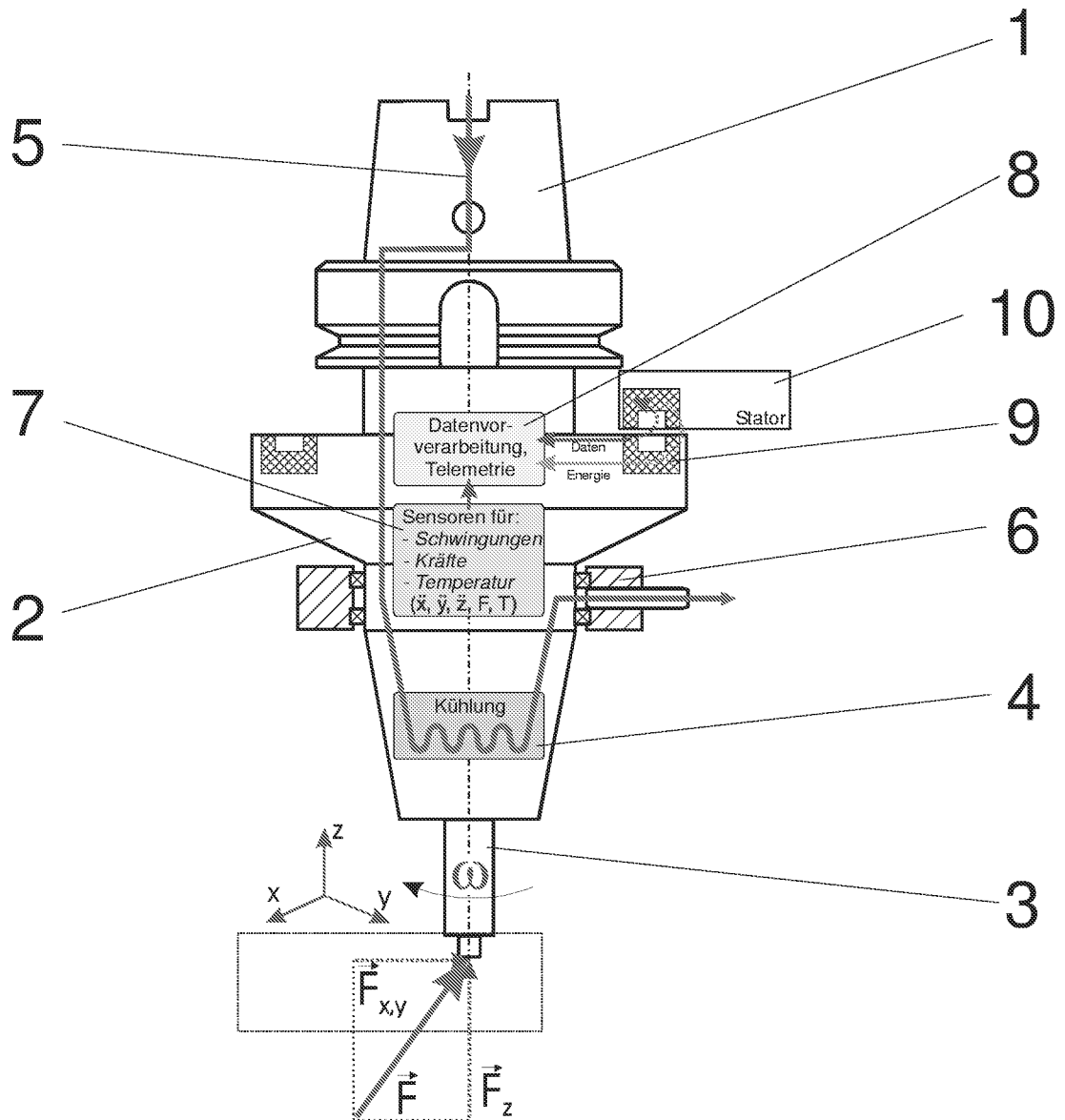


Fig. 2

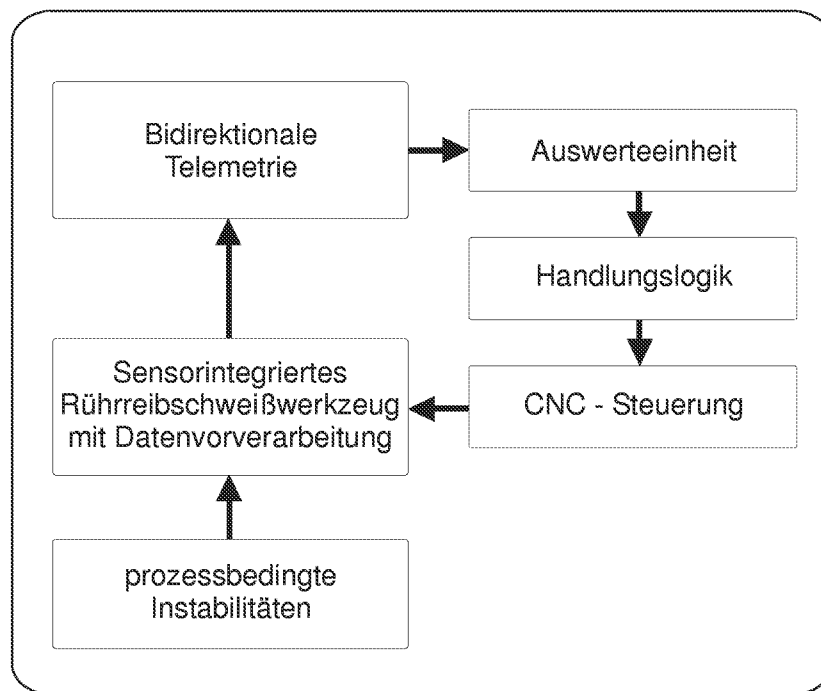


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/063758

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B23K20/12

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 practical, search terms used)

EP0-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	US 6 497 355 B1 (R.J. DING ET AL) 24 December 2002 (2002-12-24) column 3, line 31 - column 6, line 44; figures 1,4	1-4,6,7, 9-12 5,8
Y	GB 2 194 337 A (GENERAL ELECTRIC CO) 2 March 1988 (1988-03-02) page 1, lines 6-79 page 2, lines 74-83; figures 1-3	1-4,6,7, 12
Y	US 4 918 427 A (C.E. THOMAS ET AL) 17 April 1990 (1990-04-17) column 2, line 55 - column 3, line 19 column 7, lines 19-62; figures 1-78	4,9-11
	-/--	

☒ 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 document 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 2006

Date of mailing of the international search report

13/12/2006

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jeggy, Thierry

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/063758

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 101 39 687 C1 (EADS DEUTSCHLAND GMBH) 20 February 2003 (2003-02-20) cited in the application abstract; claims; figures	7
A	S. KALLEE ET AL.: "Friction Stir Welding : Invention, Innovations and Applications" GKSS WORKSHOP, 2002, pages 9-19, XP002402449 cited in the application page 12, right-hand column, paragraph 3; figure 10	1-4,6,7, 9-12
A,P	DE 10 2004 030381 B3 (EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE]) 12 January 2006 (2006-01-12) cited in the application abstract; claims; figures	1,9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2006/063758

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6497355	B1	24-12-2002	NONE	
GB 2194337	A	02-03-1988	DE 3727612 A1 FR 2606895 A1 IT 1222495 B JP 63084850 A US 4782452 A	03-03-1988 20-05-1988 05-09-1990 15-04-1988 01-11-1988
US 4918427	A	17-04-1990	AU 614221 B2 AU 5071090 A DE 4008697 A1 FR 2644717 A1 GB 2231662 A IT 1239419 B JP 2274455 A JP 2567124 B2	22-08-1991 27-09-1990 11-10-1990 28-09-1990 21-11-1990 20-10-1993 08-11-1990 25-12-1996
DE 10139687	C1	20-02-2003	CA 2455611 A1 WO 03015975 A1 EP 1423228 A1 JP 2004538156 T US 2005001009 A1	27-02-2003 27-02-2003 02-06-2004 24-12-2004 06-01-2005
DE 102004030381	B3	12-01-2006	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/063758

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. B23K20/12

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 6 497 355 B1 (R.J. DING ET AL) 24. Dezember 2002 (2002-12-24)	1-4, 6, 7, 9-12
A	Spalte 3, Zeile 31 - Spalte 6, Zeile 44; Abbildungen 1, 4	5, 8
Y	GB 2 194 337 A (GENERAL ELECTRIC CO) 2. März 1988 (1988-03-02) Seite 1, Zeilen 6-79 Seite 2, Zeilen 74-83; Abbildungen 1-3	1-4, 6, 7, 12
Y	US 4 918 427 A (C.E. THOMAS ET AL) 17. April 1990 (1990-04-17) Spalte 2, Zeile 55 - Spalte 3, Zeile 19 Spalte 7, Zeilen 19-62; Abbildungen 1-78	4, 9-11
	-/--	



Weitere Veröffentlichungen sind die 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" älteres Dokument, 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 anderen 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 2006

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

13/12/2006

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Jeggy, Thierry

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/063758

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 101 39 687 C1 (EADS DEUTSCHLAND GMBH) 20. Februar 2003 (2003-02-20) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Ansprüche; Abbildungen	7
A	S. KALLEE ET AL.: "Friction Stir Welding : Invention, Innovations and Applications" GKSS WORKSHOP, 2002, Seiten 9-19, XP002402449 in der Anmeldung erwähnt Seite 12, rechte Spalte, Absatz 3; Abbildung 10	1-4,6,7, 9-12
A,P	DE 10 2004 030381 B3 (EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE]) 12. Januar 2006 (2006-01-12) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Ansprüche; Abbildungen	1,9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/063758

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6497355	B1	24-12-2002	KEINE
GB 2194337	A	02-03-1988	DE 3727612 A1 03-03-1988
			FR 2606895 A1 20-05-1988
			IT 1222495 B 05-09-1990
			JP 63084850 A 15-04-1988
			US 4782452 A 01-11-1988
US 4918427	A	17-04-1990	AU 614221 B2 22-08-1991
			AU 5071090 A 27-09-1990
			DE 4008697 A1 11-10-1990
			FR 2644717 A1 28-09-1990
			GB 2231662 A 21-11-1990
			IT 1239419 B 20-10-1993
			JP 2274455 A 08-11-1990
			JP 2567124 B2 25-12-1996
DE 10139687	C1	20-02-2003	CA 2455611 A1 27-02-2003
			WO 03015975 A1 27-02-2003
			EP 1423228 A1 02-06-2004
			JP 2004538156 T 24-12-2004
			US 2005001009 A1 06-01-2005
DE 102004030381	B3	12-01-2006	KEINE