(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
3. Mai 2012 (03.05.2012)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/055552 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B25J 9/00 (2006.01) *B25J 9/16* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/005402

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Oktober 2011 (26.10.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10013991.4 26. Oktober 2010 (26.10.2010) EP

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **MTU AERO ENGINES GMBH** [DE/DE]; Dachauer Str. 665, 80995 München (DE). **INSYS INDUSTRIESYSTEME AG** [CH/CH]; Buchliweg 12, CH-3110 Münsingen (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **WINDPRECHTINGER, Jörg** [DE/DE]; Kössener Straße 6c, 81373 München (DE). **HODEL, Daniel** [CH/CH]; Ballenbühl 471, CH-3503 Gysenstein (CH).

(74) Anwalt: **SCHLOTTER, Alexander**; Wallinger Ricker Schlotter Tostmann, Zweibrückenstraße 5-7, 80331 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

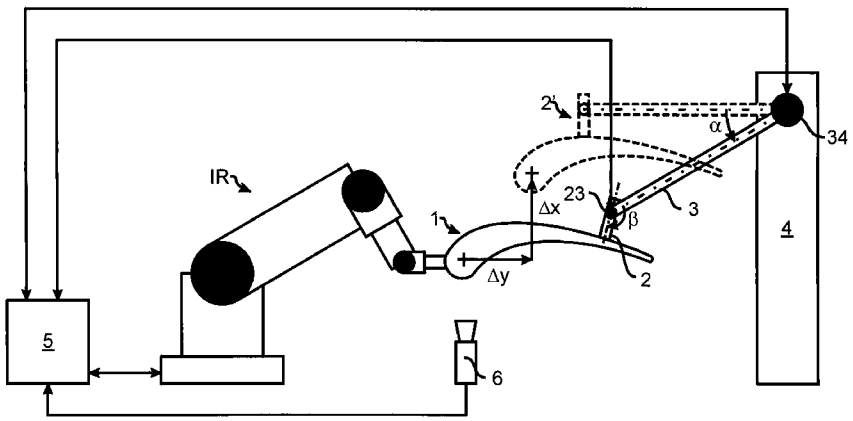
Veröffentlicht:

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

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MACHINING ROBOT-GUIDED COMPONENTS

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BEARBEITUNG VON ROBOTERGEFÜHRTEN BAUTEILEN

Fig. 1



(57) Abstract: For machining robot-guided components, in particular turbine blades (1), with a tool (2), which is fastened in an articulated manner (3, 23, 34) to a tool holder (4), according to the invention a deflection (α, β) of the tool (2) with respect to the tool holder (4) from a desired position (2') is detected and, on the basis of this deflection, a pose of a robot (IR) that is guiding a component is changed.

(57) Zusammenfassung: Erfindungsgemäß wird zur Bearbeitung von robotergeführten Bauteilen, insbesondere Turbinenschaufeln (1), mit einem Werkzeug (2), welches gelenkig (3, 23, 34) an einem Werkzeughalter (4) befestigt ist, eine Auslenkung (α, ß) des Werkzeugs (2) gegenüber dem Werkzeughalter (4) aus einer Soll-Position (2') erfasst und eine Pose eines ein Bauteil führenden Roboters (IR) auf Basis dieser Auslenkung geändert.

WO 2012/055552 A1

Verfahren und Vorrichtung zur Bearbeitung von robotergeführten Bauteilen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bearbeitung von robotergeführten Bauteilen, insbesondere Turbinenschaufeln.

Aus der EP 2 014 413 A1 ist ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bekannt. Dabei führt ein Roboter einzelne Kompressorschaufeln an einer oder mehreren Schleifmaschinen, um eine optimierte Eintrittskantenkontur wiederherzustellen. Ein Sensor an einer Schleifscheibe erfasst einen Anpressdruck, den die robotergeführte Schaufel auf diese ausübt. Dieser Kraft-Messwert kann im Bewegungsablauf des Roboters berücksichtigt werden, um Toleranzen des Bauteils auszugleichen. Die EP 2 014 413 A1 verhält sich nicht weiter dazu, wie der Messwert im Bewegungsablauf berücksichtigt wird.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Bearbeitung von robotergeführten Bauteilen zu verbessern.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Anspruch 11 stellt eine zur Durchführung des Verfahrens eingerichtete Vorrichtung unter Schutz. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die vorliegende Erfindung kann insbesondere zur Bearbeitung von Turbinenschaufeln, beispielsweise Leit- oder Laufschaufeln von Kompressor(stuf)en oder Turbinen(stufen), von Flugtriebwerken, verwendet werden, wobei vorzugsweise mehrere miteinander verbundene Schaufeln, beispielsweise integral beschaufelte Laufräder (Blisk), ein komplettes Leit- oder Laufgitter oder ein Teil eines solchen Gitters gemeinsam von einem Roboter gehandhabt werden kann. Die Bearbeitung kann insbesondere im Rahmen einer Neuherstellung oder einer Reparatur der Schaufel(n) erfolgen.

Erfindungsgemäß wird ein Bauteil, beispielsweise eine Schaufel, durch wenigstens einen Roboter an wenigstens einem Werkzeug geführt, das dabei das Bauteil bearbeitet. Vorteilhafterweise können Bauteile auch durch denselben oder, insbesondere wahlweise, etwa je nach Bauteil und/oder Werkzeug, verschiedene Roboter, an demselben Werkzeug, wahlweise an, zum Beispiel verschieden ausgebildeten oder einander ersetzenden, Werkzeugen und/oder nacheinander an verschiedenen Werkzeugen geführt werden. Werkzeuge bearbeiten das Bauteil vorzugsweise rotierend und/oder unter Aufprägung einer gewissen Kontaktkraft, etwa spanend, durch Schleifen, Polieren oder dergleichen.

Beispielsweise kann ein Roboter eine Laufschaufel oder Laufschaufelscheibe („Blisk“) aufnehmen und an einer Schleifstation an einer Schleifscheibe führen. Anschließend kann derselbe oder ein anderer Roboter dasselbe Bauteil in einer Polierstation an einer Polierscheibe führen. Währenddessen kann bereits ein weiterer Roboter eine weitere Schaufel(scheibe) an der Schleifscheibe führen, so dass diese optimal genutzt und der Durchsatz erhöht wird. Gleichermaßen können beispielsweise schwerere Schaufel(scheibe)n durch kräftigere Roboter an demselben Werkzeug geführt werden. Es können auch mehrere gleichartige Bearbeitungsstationen vorgesehen sein, um einander, etwa während des Auswechselns einer Schleifscheibe oder dergleichen, zu ersetzen, so dass der bzw. die Roboter besser genutzt werden.

Eines oder mehrere der Werkzeuge sind gelenkig an demselben oder unterschiedlichen, beweglichen oder ortsfesten Werkzeughaltern befestigt. In einer bevorzugten Ausführung weist ein Werkzeug dabei wenigstens einen, insbesondere wenigstens zwei und vorzugsweise drei oder mehr Freiheitsgrade, insbesondere Drehfreiheitsgrade auf, deren Koordinaten zur Erfassung einer Auslenkung des gelenkig befestigten Werkzeugs gegenüber dem Werkzeughalter erfasst werden.

Ein Drehfreiheitsgrad ist vorzugsweise durch ein Drehgelenk mit einer Achse realisiert. Zwei oder mehr Drehfreiheitsgrade können durch ein Drehgelenk mit der entsprechenden Achsenzahl, etwa Kugel- oder Kardangelenke, oder, bevorzugt, durch ein bzw. mehrere Koppelglieder realisiert sein, wobei dann das Werkzeug bzw. eine Werkzeugaufnahme durch ein, vorzugsweise einachsiges, Drehgelenk an einem

Koppelglied, zum Beispiel einem Ausleger, und dieses seinerseits durch ein, vorzugsweise wiederum einachsiges, Drehgelenk an dem Werkzeugträger oder einem weiteren Koppelglied befestigt ist, welches dann seinerseits – gegebenenfalls unter Zwischenschaltung weiterer Koppelglieder und Drehgelenke, an dem Werkzeugträger befestigt ist. An Stelle einiger oder aller Drehgelenke können auch translatorische Gelenke, etwa Schienenführungen oder dergleichen, vorgesehen sein. Bevorzugt sind zwei oder mehr Achsen der gelenkigen Befestigung, insbesondere Drehachsen von Drehgelenken, zueinander parallel. Die gelenkige Befestigung des Werkzeugs an dem Werkzeugträger kann eine gelenkig mit dem Werkzeughalter verbundene Werkzeugaufnahme zur, insbesondere lösbaren, Befestigung eines oder verschiedener Werkzeuge, Ausleger, Gelenke, Führungen wie beispielsweise Kulissenführungen und/oder Vorspannelemente, etwa Federn, zur Vorgabe von Soll-Lagen aufweisen.

Erfindungsgemäß wird nun eine Auslenkung des Werkzeugs gegenüber dem Werkzeughalter aus einer Soll-Position infolge einer Führung eines Bauteils an dem Werkzeug erfasst und eine Pose des dieses Bauteil führenden Roboters auf Basis dieser Auslenkung geändert. Insbesondere kann eine Pose des Roboters auf Basis der erfassten Auslenkung des Werkzeugs derart geändert werden, dass diese Auslenkung, vollständig oder wenigstens im Wesentlichen, kompensiert wird, i.e. das Werkzeug sich, wenigstens annähernd, in seiner Soll-Position befindet.

Eine Bearbeitungsposition des Bauteils relativ zum Werkzeug wird durch die Anbindung des Bauteils an den Roboter, die beispielsweise durch einen Greifer realisiert wird, durch die Pose des Roboters, die durch die Stellung seiner Gelenke, etwa der Winkellagen der Drehgelenke eines sechsachsigen Industrieroboters, definiert ist, durch die, vorzugsweise unveränderliche, Position einer Roboterbasis relativ zum Werkzeughalter, und durch die infolge der gelenkigen Befestigung veränderliche Position des Werkzeugs relativ zum Werkzeughalter bestimmt.

Dabei werden eine oder mehrere, nacheinander anzufahrende Bearbeitungspositionen, etwa zur Führung des Bauteils an dem Werkzeug derart, dass dieses auf dem Bauteil eine vorgegebene Bearbeitungsbahn, zum Beispiel ein Schleifmuster, abfährt,

für Soll-Werte insbesondere des Bauteils vorgegeben und entsprechende Posen des Roboters abgespeichert, beispielsweise geteacht oder offline programmiert.

Weicht nun ein zu bearbeitendes Bauteil, etwa infolge von Herstellungstoleranzen, und/oder deren Anbindung an den Roboter, zum Beispiel aufgrund von Handhabungstoleranzen beim Greifen mit dem Roboter, von den Soll-Werten ab, die bei der Vorgabe zugrundegelegt wurden, führt dies zu einer Auslenkung des Werkzeugs gegenüber dem Werkzeughalter durch das robotergeführte Bauteil. In der Folge ändert sich die Relativposition zwischen Werkzeug und Bauteil, so dass auch die Bearbeitung in unerwünschter Weise von der Vorgabe abweicht.

Indem erfindungsgemäß diese Auslenkung erfasst und die Pose des Roboters auf Basis dieser Auslenkung geändert wird, kann die Auslenkung kompensiert, insbesondere reduziert oder eliminiert, werden, so dass das Bauteil wieder in der Soll-Position relativ zum Werkzeug und somit von diesem korrekt bearbeitet wird.

In einer bevorzugten Ausführung bewegt ein Roboter ein zu bearbeitendes Bauteil, insbesondere translatorisch, vorzugsweise in einer Ebene senkrecht zu wenigstens einer Drehachse eines Drehgelenkes der gelenkigen Befestigung des Werkzeugs am Werkzeughalter, gegenüber diesem, um die Auslenkung zu kompensieren. Eine solche Translationsbewegung vermeidet vorteilhaft Orientierungsänderungen des Bauteils gegenüber dem Werkzeug

Vorzugsweise wird das Werkzeug gegen ein zu bearbeitendes Bauteil vorgespannt. Dies kann einerseits ein Nachgeben des Werkzeugs unter Erhöhung dieser Vorspannung bewirken, um eine Beschädigung eines Bauteils in einer von der Soll-Position abweichenden Ist-Position zu vermeiden. Zusätzlich kann es vorteilhafterweise bei von der Soll-Position in verschiedenen, insbesondere entgegengesetzten, Richtungen abweichenden Ist-Positionen jeweils zu einer Auslenkung führen, die erfindungsgemäß durch eine entsprechende Posenänderung des Roboters kompensiert werden kann.

Eine solche Vorspannung kann beispielsweise durch Gravitation, etwa durch eine gelenkige Aufhängung derart, dass das Werkzeug in der Soll-Position gegen die Schwerkraft gelenkig angehoben ist, und/oder elastisch, zum Beispiel durch eine oder mehrere Federn, realisiert sein, die in einem oder mehreren, vorzugsweise allen, Freiheitsgraden der gelenkigen Befestigung des Werkzeugs am Werkzeughalter wirken. Zusätzlich oder alternativ kann ein zu bearbeitendes Bauteil aktiv bzw. geregelt vorgespannt werden, insbesondere, indem eine oder mehrere Kräfte und/oder Momente, die zwischen dem Bauteil und dem Werkzeug und/oder zwischen dem Werkzeug und dem Werkzeughalter wirken, erfasst und entsprechend angesteuerte Aktuatoren, beispielsweise Elektromotoren, so angesteuert werden, dass diese erfassten Ist-Kräfte bzw. –Momente sich vorgegebenen Kraft- bzw. Momentenwerten annähren oder diese erreichen, die beispielsweise zur kraftschlüssigen Bearbeitung des Bauteils vorgegeben sind.

In einer bevorzugten Ausführung wird eine Oberflächenbeschaffenheit, insbesondere eine Oberflächenstruktur, eines zu bearbeitenden Bauteils, insbesondere mittels eines optischen Erfassungsmittels, welches vorzugsweise eine Bildverarbeitung aufweisen kann, erfasst. Auf Basis dieser erfassten Oberflächenbeschaffenheit kann dann ein Bearbeitungsprozess vorgegeben werde. Beispielsweise kann eine geeignete Bearbeitungsbahn, ein geeignetes Bearbeitungswerkzeug, etwa eine Schleifkörnung, eine geeignete Bearbeitungszeit, eine geeignete Kontaktkraft zwischen Bauteil und Werkzeug, geeignete, etwa erhabene und/oder raue, Bearbeitungsbereiche und dergleichen vorgegeben werden. Insbesondere kann eine Ist- Oberflächenbeschaffenheit erfasst und mit einer Soll-Oberflächenbeschaffenheit verglichen und entschieden werden, ob überhaupt eine Bearbeitung dieses Bauteils durchgeführt wird, da zum Beispiel da die gewünschte Soll-Oberflächenbeschaffenheit bereits vorliegt oder mit dem Werkzeug nicht erreicht werden kann, und/oder ob eine Bearbeitung des Bauteils, beispielsweise ein Abschleifen, wiederholt wird, da die gewünschte Soll-Oberflächenbeschaffenheit noch nicht erreicht ist.

Weitere Merkmale und Vorteile ergeben sich aus den Unteransprüchen und dem Ausführungsbeispiel. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert, die einzige:

Fig. 1 die Bearbeitung einer Turbinenschaufel in einer Vorrichtung gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung.

Fig. 1 zeigt eine Turbinenschaufel 1, die von einem sechsachsigen Knickarmroboter IR an einem Werkzeug 2 geführt wird.

Dieses ist in einem ersten Drehgelenk 23 an einem Ausleger 3 drehbeweglich befestigt, seine Lage relativ zum Ausleger wird durch den mathematisch negativen Winkel β beschrieben, der die Auslenkung gegenüber einer in Fig. 1 strichliert angedeuteten Soll-Lage angibt. D.h., für $\beta = 0$ ist das Werkzeug gegenüber dem Ausleger in der in Fig. 1 strichliert angedeuteten unausgelenkten Lage, in der eine Werkzeugachse senkrecht zum Ausleger 3 ausgerichtet ist.

Der Ausleger 3 ist seinerseits in einem zweiten Drehgelenk 34 an einem inertial festen Werkzeughalter 4 drehbeweglich befestigt, seine Lage relativ zum Werkzeughalter wird durch den mathematisch positiven Winkel α beschrieben, der die Auslenkung gegenüber der in Fig. 1 strichliert angedeuteten Soll-Lage angibt. D.h., für $\alpha = 0$ ist der Ausleger 3 gegenüber dem Werkzeughalter 4 in der in Fig. 1 strichliert angedeuteten unausgelenkten Lage, in der eine Auslegerachse waagrecht ausgerichtet ist.

Die Drehachsen des ersten und zweiten Drehgelenkes sind zueinander parallel und stehen senkrecht auf der Zeichenebene der Fig. 1. Somit ist das Werkzeug 2, das beispielsweise ein Schleifwerkzeug, insbesondere eine um die strichpunktiert angedeutete Werkzeugachse rotierende Schleifscheibe, sein kann, gelenkig an dem Werkzeughalter 4 befestigt, seine Auslenkung gegenüber dem Werkzeughalter 4 aus der Soll-Position wird durch die Winkel (α, β) beschrieben.

In den Gelenken 23, 34 wirken Elektromotoren, die in Fig. 1 durch ausgefüllte Kreise angedeutet sind. Drehgeber, beispielsweise Resolver oder Inkrementalgeber, erfassen die Winkel (α, β) und übermitteln diese an eine Steuereinrichtung 5. Zusätzlich sind Momentensensoren vorgesehen, die die Drehmomente um die Drehachsen der Gelenke 23, 34 erfassen und ebenfalls an die Steuereinrichtung 5 übermitteln.

Die Steuereinrichtung 5 steuert die Elektromotoren in den Gelenken 23, 34 auf Basis der erfassten Ist-Drehmomente derart an, dass diese sich vorgegebenen Soll-Drehmomenten annähern, indem sie beispielsweise Stellgrößen ausgibt, welche zur Differenz zwischen Soll- und Ist-Drehmoment in dem Drehgelenk, auf welches der Elektromotor wirkt, oder der Differenz zwischen Soll- und Ist-Kraft zwischen Schaufel 1 und Werkzeug 2 proportional sind. Auf diese Weise wird das Werkzeug 2 aktiv bzw. geregelt gegen die Schaufel 1 vorgespannt. Rein exemplarisch kann beispielsweise das Soll-Drehmoment im Drehgelenk 34 dem Produkt aus der Länge des Auslegers 3 einerseits und andererseits der Soll-Prozesskraft, mit der das Schleifwerkzeug beim Schleifen auf die Schaufel 1 gepresst werden soll, abzüglich der Gewichtskraft von Ausleger und Werkzeug entsprechend. Gleichermaßen können auch beispielsweise Federn vorgesehen sein, welche auf die Drehgelenke 23, 34 wirken und, unterstützt durch die Schwerkraft, das Werkzeug 2 passiv gegen die Schaufel 1 vorspannen.

Die Steuereinrichtung 5 steuert den Roboter IR, indem sie die erfassten Ist-Stellungen seiner Gelenke bzw. Motoren mit Soll-Stellungen vergleicht, die vorab geteacht wurden und die Soll-Pose des Roboters IR beschreiben.

Weicht nun, beispielsweise infolge herstellungsbedingter Toleranzen der Schaufel 1 oder einer abweichenden Greifposition des Roboters IR, die Position des Werkzeugs 2 von der Soll-Position 2' ab, so weist das Werkzeug 2, das aufgrund der Kraftregelung in den Elektromotoren der Gelenke 23, 34 trotzdem gegen die Schaufel vorgespannt ist und sich auf dieser abstützt, eine in Fig. 1 ausgezogen dargestellte Auslenkung $\alpha, \beta \neq 0$ gegen die in Fig. 1strichliert angedeutete Soll-Position auf, die von den Drehgebern in der Gelenken 23, 34 erfasst und an die Steuereinrichtung 5 übertragen wird.

Diese steuert nun den Roboter IR derart, dass er die Schaufel 1 in der Zeichenebene der Fig. 1 in der dort dargestellten x-y-Richtung um Δx, Δy translatorisch verschiebt, bis die Auslenkung - wenigstens näherungsweise - kompensiert ist, d.h. $\alpha, \beta \approx 0$ bzw. $\alpha, \beta = 0$. Dabei verschiebt die Steuerung 5 mittels des Roboters IR die Schaufel 1

solange in x-Richtung, bis die Auslenkung α des Werkzeugs 2 gegenüber dem Ausleger 3 kompensiert ist, und parallel oder sequentiell hierzu solange in y-Richtung, bis die Auslenkung β des Auslegers 3 gegenüber dem Werkzeughalter 4 kompensiert ist, ohne die Orientierung der Schaufel 1 zu verändern.

Auf diese Weise kann die Schaufel 1 durch das Schleifwerkzeug 2 in der gewünschten Soll-Position 2' mit dem vorgegebenen Anstellwinkel und Anpressdruck des Werkzeugs bearbeitet werden.

In Fig. 1 ist zudem ein optisches Erfassungsmittel in Form einer Kamera 6 mit Bildverarbeitung dargestellt, die Informationen an die Steuereinrichtung 5 übermittelt. Diese legt auf Basis der Auswertung der durch die Kamera 6 erfassten Oberflächenbeschaffenheit der Schaufel 1 eine individuell angepasste Bearbeitung fest. Beispielsweise können so zu bearbeitende Bereiche der Schaufel 1 festgelegt und/oder das Bearbeitungsergebnis überprüft und gegebenenfalls eine Nachbearbeitung durch nochmaliges Bearbeiten mit demselben oder einem anderen Werkzeug eingeleitet werden.

Bezugszeichenliste

1	Turbinenschaufel (Bauteil)
2(')	Werkzeug (unausgelenkte Soll-Position)
3	Ausleger (gelenkige Befestigung)
4	Werkzeughalter
5	Steuereinrichtung
6	Kamera
23	Drehgelenk zwischen 2 und 3 (gelenkige Befestigung)
34	Drehgelenk zwischen 3 und 4 (gelenkige Befestigung)
IR	Roboter
α, β	Auslenkung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bearbeitung von robotergeführten Bauteilen, insbesondere Turbinenschaufeln (1), mit einem Werkzeug (2), welches gelenkig (3, 23, 34) an einem Werkzeughalter (4) befestigt ist, dadurch gekennzeichnet, dass eine Auslenkung (α, β) des Werkzeugs (2) gegenüber dem Werkzeughalter (4) aus einer Soll-Position (2') erfasst und eine Pose eines ein Bauteil führenden Roboters (IR) auf Basis dieser Auslenkung geändert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug mit wenigstens einem, insbesondere mit wenigstens zwei und vorzugsweise mit wenigstens drei Freiheitsgraden, insbesondere Drehfreiheitsgraden an dem Werkzeughalter befestigt ist, deren Koordinaten (α, β) zur Erfassung der Auslenkung des Werkzeugs erfasst werden.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Pose des Roboters auf Basis der erfassten Auslenkung des Werkzeugs derart geändert wird, dass diese Auslenkung, wenigstens im Wesentlichen, kompensiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Roboter ein zu bearbeitendes Bauteil, insbesondere translatorisch, gegen den Werkzeughalter bewegt (Δx, Δy) , um die Auslenkung, wenigstens im Wesentlichen, zu kompensieren.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Roboter das zu bearbeitende Bauteil in einer ersten Richtung (Δx) gegen den Werkzeughalter bewegt, um die Auslenkung in einem Freiheitsgrad (β) zu kompensieren, und in einer zweiten Richtung (Δy) gegen den Werkzeughalter bewegt, um die Auslenkung in einem anderen Freiheitsgrad (β) zu kompensieren.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (2) gegen ein zu bearbeitendes Bauteil (1) vorgespannt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das zu bearbeitende Bauteil geregelt, insbesondere kraft- und/oder momentengeregelt, und/oder passiv, insbesondere schwerkraftbeaufschlagt vorgespannt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere Roboter das Bauteil wahlweise und/oder nacheinander an verschiedenen Werkzeugen führen.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere Bauteile wahlweise und/oder nacheinander von verschiedenen Robotern geführt werden.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Oberflächenbeschaffenheit eines zu bearbeitenden Bauteils, insbesondere optisch, erfasst und auf Basis der erfassten Oberflächenbeschaffenheit ein Bearbeitungsprozess vorgegeben wird.

11. Vorrichtung zur Bearbeitung von Bauteilen, insbesondere Turbinenschaufeln (1), mit einem Werkzeughalter zur gelenkigen Befestigung eines Werkzeuges (2), einem Roboter (IR) und einer Steuereinrichtung (5), dadurch gekennzeichnet, dass sie zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche eingerichtet ist.

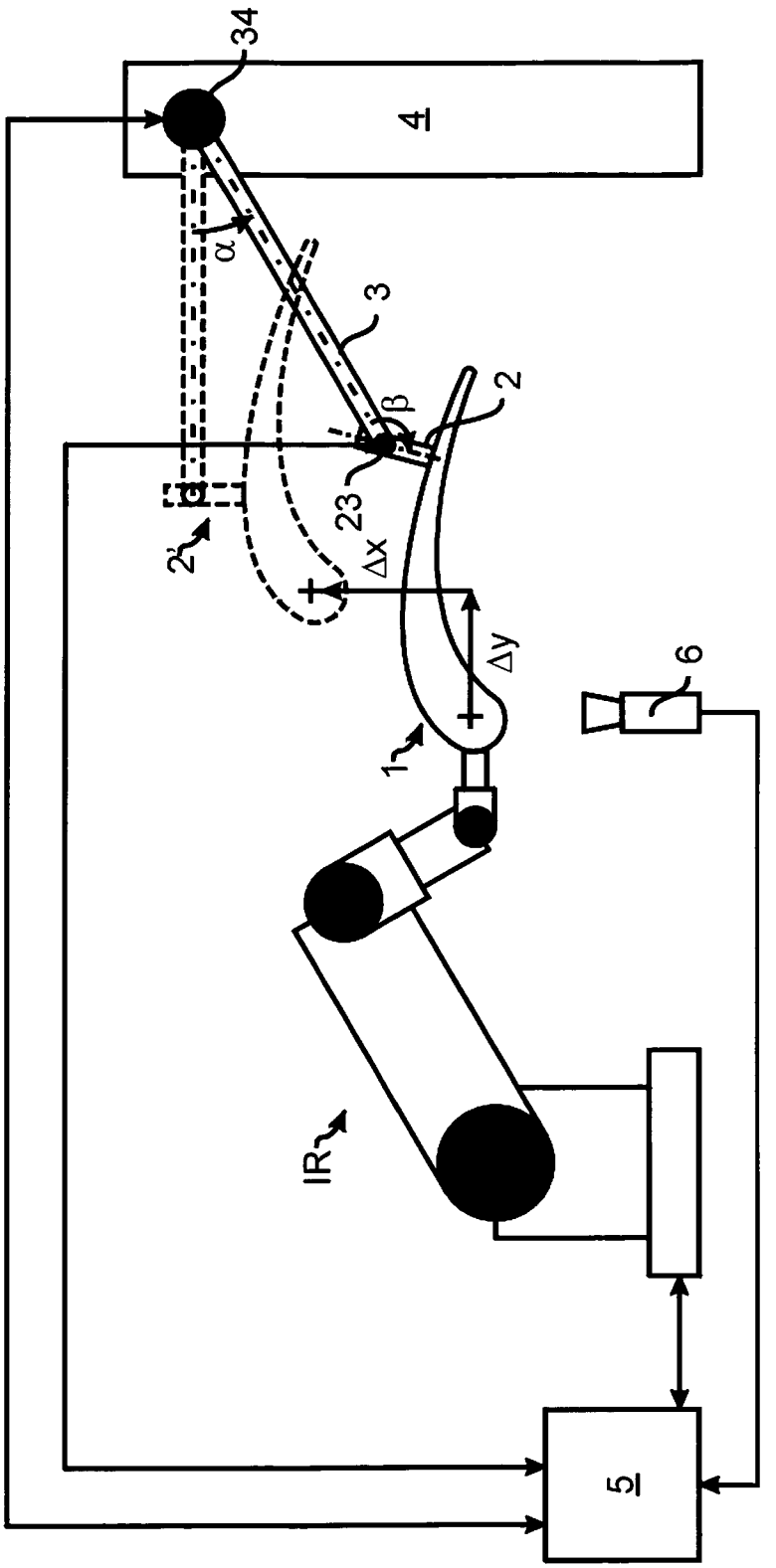


Fig. 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/005402

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B25J9/00 B25J9/16
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)
B25J B24B

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)
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	EP 2 014 413 A1 (LUFTHANSA TECHNIK AG [DE]) 14 January 2009 (2009-01-14) cited in the application paragraphs [0040] - [0048]; figures	1-11
A	JP 2002 301659 A (KAWASAKI HEAVY IND LTD) 15 October 2002 (2002-10-15) abstract; figure 1	1-11
A	US 5 193 314 A (WORMLEY DAVID [US] ET AL) 16 March 1993 (1993-03-16) column 5, line 13 - column 6, line 33; figures 5-8	1-11

☐ 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	Date of mailing of the international search report
11 November 2011	29/11/2011

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	Grenier, Alain

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2011/005402

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2014413 A1	14-01-2009	EP 2014413 A1	14-01-2009
		EP 2176030 A2	21-04-2010
		US 2010261411 A1	14-10-2010
		WO 2009007121 A2	15-01-2009
JP 2002301659 A	15-10-2002	NONE	
US 5193314 A	16-03-1993	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2011/005402

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B25J9/00 B25J9/16
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B25J B24B

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	EP 2 014 413 A1 (LUFTHANSA TECHNIK AG [DE]) 14. Januar 2009 (2009-01-14) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0040] - [0048]; Abbildungen	1-11
A	JP 2002 301659 A (KAWASAKI HEAVY IND LTD) 15. Oktober 2002 (2002-10-15) Zusammenfassung; Abbildung 1	1-11
A	US 5 193 314 A (WORMLEY DAVID [US] ET AL) 16. März 1993 (1993-03-16) Spalte 5, Zeile 13 - Spalte 6, Zeile 33; Abbildungen 5-8	1-11

☐ 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" 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
11. November 2011	29/11/2011

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	Grenier, Alain

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2011/005402

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2014413 A1	14-01-2009	EP 2014413 A1	14-01-2009
		EP 2176030 A2	21-04-2010
		US 2010261411 A1	14-10-2010
		WO 2009007121 A2	15-01-2009
JP 2002301659 A	15-10-2002	KEINE	
US 5193314 A	16-03-1993	KEINE	