



(10) **DE 10 2015 210 255 A1** 2016.12.08

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 210 255.6**

(22) Anmeldetag: **03.06.2015**

(43) Offenlegungstag: **08.12.2016**

(51) Int Cl.: **B25J 11/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:
Rösler Patentanwaltskanzlei, 81241 München, DE

(72) Erfinder:
**Wanner, Martin Christoph, Prof. Dr., 18211
Ostseebad Nienhagen, DE; Dryba, Steffen, 18198
Kritzmow, DE; Gründler, Mirko, 18057 Rostock,
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2010 007 591	A1
DE	10 2013 018 857	A1
GB	2 473 191	A
WO	84/ 02 301	A1
WO	2004/ 028 755	A1

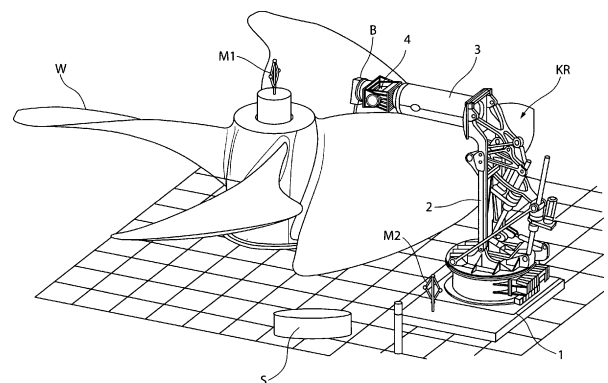
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Anordnung zum Oberflächenbearbeiten eines stationär gelagerten Werkstückes mit einem an einem Knickarmroboter angebrachten Werkzeug**

(57) Zusammenfassung: Beschrieben werden ein Verfahren sowie eine Anordnung zum Oberflächenbearbeiten eines stationär gelagerten Werkstückes mit einem an einem Knickarmroboter endseitig angebrachten und von diesem räumlich positionierbaren Werkzeug. Das Verfahren umfasst folgende Verfahrensschritte:

- Positionieren des Knickarmroboter-geführten Werkzeuges an eine Raumposition, die einem vorgegebenen Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche in einem vorgegebenen Abstand gegenüberliegt,
- Herstellen einer den Knickarmroboter endseitig am Werkstück abstützenden und an der Werkstückoberfläche lösabaren, festen mechanischen Verbindung, und
- Durchführen der Oberflächenbearbeitung durch Annähern des Werkzeuges an den Bearbeitungsort und anschließender Ineingriffnahme des Werkzeuges mit dem Werkstück am Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche, während der Knickarmroboter endseitig mit dem Werkstück verbunden ist.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren sowie eine Anordnung zum hochgenauen Oberflächenbearbeiten eines stationär gelagerten Werkstückes mit einem an einem Knickarmroboter endseitig angebrachten und von diesem räumlich positionierbaren Werkzeug.

Stand der Technik

[0002] Knickarmroboter sind vielseitig und weit verbreitet eingesetzte Industrieroboter, deren Kinematik aus mehreren gelenkig miteinander verbundenen Armgliedern aufgebaut ist, um Endeffektoren, wie bspw. Werkzeuge zu Zwecken einer Werkstückbearbeitung zu führen und zu positionieren. Unter der Vielzahl möglicher Ausgestaltungsformen derartiger Roboter besitzen jene die höchste Beweglichkeit und Flexibilität, die über eine serielle Kinematik verfügen, d.h. jedes Armglied ist seriell mit einem weiteren Armglied verbunden.

[0003] Der Druckschrift WO 84/02301 ist ein typischer, so genannter sechsachsiger vertikaler Knickarmroboter zu entnehmen, dessen erstes Armglied schwenkbar, einseitig endseitig an einer, um eine erste Achse, die der Vertikalachse entspricht, drehbar gelagerten Basis gefügt ist. Die Schwenkachse, um die das erste Armglied schwenkbar gelagert ist, wird als zweite Achse bezeichnet und ist orthogonal zur ersten Achse, d.h. horizontal orientiert. Das zweite Armglied ist seinerseits endseitig mit dem der Basis gegenüberliegenden Ende des ersten Armgliedes gleichfalls schwenkbar verbunden, nämlich um eine dritte Schwenkachse, die parallel zur zweiten Achse orientiert ist. Schließlich ist an dem der dritten Achse gegenüberliegenden Ende des zweiten Armgliedes eine, um drei Achsen drehbar gelagerte Zentralhand zur Aufnahme, bspw. eines Werkzeuges, angebracht.

[0004] Der Druckschrift DE 10 2013 018 857 A1 ist ein weiterer Knickarmroboter mit zwei Parallel-Kinematiken zu entnehmen, der an einer um eine vertikalen ersten Achse drehbaren Basis befestigt ist und zwei, in Art einer kinematischen Kette hintereinander angeordnete Armglieder besitzt, von denen ein erstes Armglied um eine zur ersten Achse orthogonal orientierten, zweiten Achse an der Basis schwenkbar gelagert und ein zweites Armglied um eine parallel zur zweiten Achse orientierten, dritten Achse an dem ersten Armglied schwenkbar angebracht sind. Endseitig an der kinematischen Kette ist eine Zentralhand angebracht. Zum Schwenken des ersten Armgliedes um die zweite Achse ist ein erster Linearaktuator vorgesehen, der über ein erstes Koppelgetriebe einerseits mit der Basis und andererseits mit dem ersten

Armglied in Wirkverbindung steht. Für das Schwenken des zweiten Armgliedes um die dritte Achse ist ein zweiter Linearaktuator vorgesehen, der über ein zweites Koppelgetriebe mit der Basis, dem ersten Armglied und dem zweiten Armglied in Wirkverbindung steht. Beide Linearaktuatoren sind jeweils als Spindelantriebe ausgebildet und sehen jeweils eine motorisch angetriebene Spindelmuttereinheit vor, die in Eingriff mit einer Spindel in Form einer Gewindestange steht, die um eine zur zweiten Achse parallel orientierten Schwenkachse schwenkbar gelagert ist.

[0005] Alle bekannten Knickarmroboter, die seriell-kinematisch miteinander verbundene Armglieder aufweisen und somit über maximale Roboterreichweiten von einigen Metern verfügen, unterliegen dem Problem einer im Vergleich zu Werkzeugmaschinen geringen System-Steifigkeit, wodurch der Einsatz derartiger Industrieroboter zu Zwecken der Werkstückbearbeitung zumindest problematisch ist, zumal die Reaktionskräfte und -momente, die durch den Bearbeitungsprozess herrühren, zu Schwingungen längs der gesamten kinematischen Kette des Roboters führen. Hierdurch ergeben sich Limitierungen in Bezug auf Bearbeitungsgeschwindigkeiten sowie auch Bearbeitungsgenauigkeiten. Sehr lange kinematische Ketten besitzen neben dem erwähnten Nachteil bezüglich der geringen Steifigkeit, eine geringe Absolutgenauigkeit, wodurch bspw. das Bohren hochgenauer Bohrlöcher zusätzlich erschwert ist. Roboter sind jedoch flexibler einsetzbar und gleichzeitig kostengünstiger als Werkzeugmaschinen, sodass der Bedarf nach einer Behebung der aufgezeigten Problems besteht.

Darstellung der Erfindung

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine Anordnung zum Oberflächenbearbeiten eines stationär gelagerten Werkstückes mit einem an einem Knickarmroboter endseitig angebrachten und von diesem räumlich positionierbaren Werkzeug derart auszubilden, dass zum einen eine möglichst schnelle und hochgenaue Positionierung des Knickarmroboter-geführten Werkzeuges relativ zu einem zu bearbeitenden Werkstück möglich wird, dessen zu bearbeitende Werkstückoberfläche vornehmlich über Freiformflächen verfügt. Zum anderen soll die Werkstückbearbeitung mit dem am Knickarmroboter angebrachten Werkzeug höchsten qualitativen sowie auch maßhaltigen Bearbeitungsansprüchen standhalten und dies vor allem an zu bearbeitenden Werkstücken, deren räumliche Ausmaße jenen des Knickarmroboters entsprechen bzw. diese übertreffen.

[0007] Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Verfahrensanspruch 1 angegeben. Gegenstand des Anspruches 12 ist eine Anordnung zur Oberflächenbearbeitung (+ Fügeverbin-

dung/Klebung) mit einem an einem Knickarmroboter angebrachten Werkzeug. Den Erfindungsgedanken in vorteilhafter Weise weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der weiteren Beschreibung, insbesondere unter Bezugnahme auf die Ausführungsbeispiele zu entnehmen.

[0008] Unter dem Begriff der „Oberflächenbearbeitung“ sind grundsätzlich alle an der Oberfläche eines Werkstückes mit Hilfe eines robotergeführten Werkzeuges vornehmbaren Manipulationen zu verstehen, Auch das Durchführen von Fügevorgängen jeglicher Art an der Werkstückoberfläche sollen hiervon mit umfasst sein. So ist auch das Fügen eines Fügepartners im Wege eines Anheftens, Klebens, Schweissvorganges etc. von dem Begriff der „Oberflächenbearbeitung“ mit umfasst.

[0009] Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, die kinematische Kette des vorzugsweise vertikalen Knickarmroboters, die je nach Größe und Ausbildung des Knickarmroboters eine Roboterarm- bzw. kinematische Kettenreichweite von mehreren Metern, d.h. typischerweise 2 bis ca. 10 m betragen kann, wenigstens während der Ineingriffnahme des Werkzeuges mit dem Werkstück zusätzlich am Werkstück selbst mechanisch abzustützen, um auf diese Weise den Knickarmroboter zu stabilisieren. Die mechanische Abstützung erfolgt durch eine mechanische Verbindung zwischen dem endseitigen Knickarmroboterende, an dem das Werkzeug angebracht ist, und dem Werkstück. Die mechanische Verbindung wird nach Erreichen einer vorgebbaren Roboterposition und Lageausrichtung des Werkzeuges relativ zum Werkstück hergestellt. Die korrekte Positionierung und Lageausrichtung des Knickarmroboter geführten Werkzeuges relativ zum Werkstück wird mittels eines Lasertrackingsystems erfasst gegebenenfalls nachkorrigiert bis das Werkzeug hochgenau positioniert ist. Durch die zusätzlich zur Werkzeug-Ineingriffnahme endseitige Abstützung der kinematischen Kette während der Oberflächenbearbeitung an dem Werkstück vermögen bearbeitungsbedingte Kräfte und Momente in einem weit geringeren Maße Schwingungen längs des Knickarmroboters hervorzurufen, wodurch die Qualität sowie auch die Geschwindigkeit, mit der die Oberflächenbearbeitung durchgeführt werden kann, signifikant verbessert werden können. Die Schwingungsreduzierung kann in vorteilhafter Weise durch eine geeignet gewählte elastische bzw. federnde Ausbildung der mechanischen Verbindung zwischen Knickarmroboter und Werkstück unterstützt werden.

[0010] Durch die endseitige mechanische Abstützung der kinematischen Kette des Knickarmroboters am Werkstück selbst bildet der Knickarmroboter ein zweiseitig fest eingespanntes, mechanisches System, d.h. einerseits ist der Knickarmroboter fest an der Roboterbasis eingespannt, andererseits über die

lösungsgemäß ausgebildete lösbar fest mechanische Verbindung zum Werkstück. Der Kontakt der mechanischen Verbindung zum Werkstück kann von einer bloßen Roboterkraft-beaufschlagten, losen Flächenfügeung bzw. Reibschlussfügeung bis hin zu einer aktiv anhaftenden Oberflächenfügeung reichen, bei der pneumatisch oder magnetisch generierte Haftkräfte für eine lösbar feste Anhaftung der mechanischen Verbindung an das Werkstück beitragen.

[0011] Für eine möglichst stabile und schwingungsarme Lagerung der kinematischen Kette des Knickarmroboters während der Oberflächenbearbeitung gilt es dafür Sorge zu tragen, dass das zu bearbeitende Werkstück stationär und stabil gelagert ist. Je nach Größe, Gewicht und Ausbildung des zu bearbeitenden Werkstückes gilt es, entsprechende Vorkehrungen zu treffen, mit denen das Werkstück stabil gelagert wird, so dass die von Seiten des Knickarmroboters während der Oberflächenbearbeitung auf das Werkstück einwirkenden Kraft- und Lastmomente von diesem vollständig aufgenommen werden können. Entweder gilt es das Werkstück mit Hilfe entsprechender Halte- und/oder Fixiervorkehrungen stabil zu lagern oder aber das Werkstück verfügt über eine ausreichend große träge Masse, durch deren Gewichtskraft eine eigenstabile stationäre Lagerung auch während der Oberflächenbearbeitung gewährleistet ist.

[0012] Das lösungsgemäße Verfahren sowie die entsprechende Anordnung eignen sich in bevorzugter Weise für die Werkstückbearbeitung sehr großer und schwergewichtiger Werkstücke, wie beispielsweise Werkstücke aus dem Flugzeugbau- und Schiffsbaubereich. So gilt es bspw. entsprechende Oberflächenbearbeitungen an Rumpfschalen von Flugzeugen oder an Schiffschrauben bzw. Schiffspropeller zum Antrieb großer Schiffe, wie beispielsweise Container-Schiffe, vorzunehmen. Derartige Schiffspropeller verfügen über Propellerdurchmesser von mehreren Metern sowie über ein Eigengewicht, das den vorstehend erläuterten Anforderungen an eine stationäre stabile Lagerung zu Zwecken der Oberflächenbearbeitung mit einem Knickarmroboter geführten Werkzeug zweifelsohne gerecht wird.

[0013] Gilt es an einem großen Werkstück, dessen Werkstückoberfläche zumindest teilweise aus einer Freiformoberfläche besteht, Oberflächenbearbeitungsschritte durchzuführen, beispielsweise das Einbringen von Bohrlöchern an definiert vorgegebenen Bearbeitungsstellen mit definierten Bohrloch-tiefen, ohne dabei den Schiffspropeller anzuheben oder zu wenden, so ist ein vertikaler Knickarmroboter zur Ausführung einer derartigen Werkstückbearbeitung als besonders geeignet anzusehen, zumal Knickarmroboter zur Werkzeugführung mit entsprechend großen Dimensionen realisierbar sind. Ein bevorzugter Knickarmroboter, der über zwei schwenk-

bar gelenkig miteinander verbundene Armglieder verfügt, von denen jedes Armglied eine Armlänge von bis zu fünf Metern aufweisen kann, ist in der DE 10 2013 018 857 A1 erläutert. Dieser bekannte vertikale Knickarmroboter eignet sich zur Realisierung und Durchführung des lösungsgemäßen Verfahrens in besonderer Weise, so dass in Zusammenhang mit Fragen bezüglich der Ausgestaltung des Robotersystems, das das Werkzeug führt und räumlich positioniert, auf den gesamten Offenbarungsgehalt der vorstehenden Druckschrift verwiesen wird.

[0014] Zur Durchführung des lösungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsverfahrens an einem stationär gelagerten Werkstück, beispielsweise eines vorstehend erwähnten Schiffspropellers, mit einem an einem Knickarmroboter endseitig angebrachten und von diesem räumlich positionierbaren Werkzeug sind folgende Verfahrensschritte vorzunehmen. Zunächst wird das Knickarmroboter-geführte Werkzeug an eine Raumposition relativ zum Werkstück positioniert, die einem vorbestimmten Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche in einem vorgebbaren Abstand gegenüber liegt. Hierzu sind der Knickarmroboter sowie auch das zu bearbeitende Werkstück derart relativ zueinander zu lagern, so dass die Erreichbarkeit des Knickarmroboter-geführten Werkzeuges an die jeweils vorgegebenen Bearbeitungsorte an der Werkstückoberfläche gewährleistet ist.

[0015] Nach entsprechender Positionierung des Knickarmroboter-geführten Werkzeuges, die wie im Weiteren zu entnehmen ist, prozessüberwacht durchgeführt wird, wird lösungsgemäß eine lösbar feste mechanische Verbindung zwischen der Werkstückoberfläche und dem Knickarmroboter hergestellt, die zu einer einseitig endseitigen festen Einspannung des Knickarmroboters gegenüber dem Werkstück führt.

[0016] In einem anschließenden Prozess erfolgt die Oberflächenbearbeitung durch Annähern des Werkzeuges an den Bearbeitungsort und anschließender Ineingriffnahme des Werkzeuges mit dem Werkstück am Bearbeitungsort während der Knickarmroboter endseitig mit dem Werkstück verbunden ist.

[0017] Nach Fertigstellung der Oberflächenbearbeitung wird die mechanische Verbindung gelöst und das Knickarmroboter-geführte Werkzeug vom Bearbeitungsort entfernt und gegebenenfalls neu gegenüber dem Werkstück positioniert.

[0018] Zur Durchführung des lösungsgemäßen Verfahrens sieht der Knickarmroboter eine Steuereinheit zur räumlichen Positionierung und Lageausrichtung des am Roboterarmende des Knickarmroboters angebrachten Werkzeuges vor, so dass eine schnelle Annäherung des Knickarmroboter-geführten Werkzeuges an die dem Bearbeitungsort beabstandet ge-

genüber liegende Raumposition ausschließlich mit Hilfe der Knickarmroboter zueigenen Roboterkinematik möglich ist.

[0019] Der schnelle Positionier- und Annäherungsvorgang erfolgt vorzugsweise in Kenntnis eines die Raumform des zu bearbeitenden Werkstückes beschreibenden binären Datensatzes, des an der Werkstückoberfläche vorgegebenen Bearbeitungsortes sowie eines dem Werkzeug zugeordneten Werkzeugmittelpunktes, wobei die relative räumliche Positionen des Knickarmroboter-geführten Werkzeuges sowie des vorgegebenen Bearbeitungsortes an der Werkstückoberfläche messtechnisch erfasst und überwacht werden. Zur messtechnischen Erfassung der räumlichen Relativpositionen von Werkstück und dem Knickarmroboter-geführten Werkzeug dient ein berührungslos arbeitendes Trackingsystem, bspw. ein Lasertrackingsystem, das zumindest ein die räumliche Lage des Werkstückes beschreibendes Werkstückkoordinatensystem (WKS) sowie ein die räumliche Lage des Knickarmroboters beschreibendes Roboterkoordinatensystem (RKS) hochgenau generiert, wobei beide Koordinatensysteme in einen räumlichen Bezug zueinander gebracht werden.

[0020] Zudem befindet sich am Endbereich der kinematischen Kette des Knickarmroboters eine vorzugsweise berührungslos arbeitende Abstandssensorik, die den Abstand zwischen dem Knickarmroboter-geführten Werkzeug und dem Bearbeitungsort am Werkstück erfasst. Vorzugsweise vermag die Abstandssensorik neben der exakten Abstandserfassung auch die räumliche Lage des Werkzeuges relativ zur Werkstückoberfläche im Bereich des Bearbeitungsortes zu detektieren, wodurch eine Kontrolle und gegebenenfalls Korrektur der räumlichen Lage des am Knickarmroboter endseitig angebrachten und von diesem an die Raumposition positionierten Werkzeuges relativ zur Werkstückoberfläche durchgeführt werden kann, so dass das Werkzeug an der Raumposition eine vorgebbare Soll-Lage autonom einnehmen kann. Zudem kann die Lagekontrolle des an der Raumposition positionierten Werkzeuges in Kombination oder alternativ auf der Grundlage der mit dem Lasertrackingsystem gewonnenen Raum- und Lageinformationen vorgenommen oder zumindest unterstützt werden. Aber auch bearbeitungsbedingte Abweichungen von der Soll-Lage während der Oberflächenbearbeitung können mit der vorhandenen Sensorik erfasst werden, die zu Zwecken einer Lage-Nachjustierung und/oder Beurteilung des Bearbeitungsvorganges verwendet werden können. So lässt sich beispielsweise die Bohrlochtiefe eines robotergeführten Bohrers aus den Sensorsignalen erschließen.

[0021] Neben der berührungslos arbeitenden Abstandssensorik, vorzugsweise in Form dreier separat angebrachter Lasertracker, ist am Roboterarmende

eine mechanische Verbindungseinheit, vorzugsweise in Form wenigstens eines Linearaktors, zum Herstellen einer den Knickarmroboter am Werkstück einseitig abstützenden und an der Werkstückoberfläche lösbar festen mechanischen Verbindung angebracht. Der wenigstens eine Linearaktor, der vorzugsweise als Teleskopkinematik ausgebildet ist, weist ein dem Werkstück zugewandt angeordnetes Fügemitel auf. Das Fügemitel ist derart ausgebildet, dass es sich möglichst flächendeckend an die Werkstückoberfläche anschmiegt. In einem ersten Ausführungsbeispiel kontaktiert das Fügemitel die Werkstückoberfläche lediglich kraftbeaufschlagt, bedingt durch eine ausschließlich vermittels des Knickarmroboters generierbaren Anpresskraft zur Herstellung einer rein mechanischen Reibschlussfügung. In einem bevorzugten weiteren Ausführungsbeispiel vermag eine zusätzliche Haftkraft das Fügemitel des wenigstens einen Linearaktors an der Werkstückoberfläche zu fixieren. Zur Erzeugung der zusätzlichen Haftkraft eignet sich eine steuerbare magnetische oder pneumatische Krafteinheit. Wie die weiteren Ausführungen unter Bezugnahme auf ein konkretes Ausführungsbeispiel zeigen werden, ist es besonders vorteilhaft die mechanische Verbindung zwischen dem Knickarmroboter und dem Werkstück mittels drei separater Linearaktoren zu realisieren, die unabhängig voneinander aktiviert und ausgelenkt werden können, wodurch eine Lage stabile Platzierung des endseitigen Roboterarmes relativ zum Werkstück möglich wird, die insbesondere ein laterales Auswandern bzw. Verutschen der Roboterkinematik relativ zur Werkstückoberfläche sicher ausschließt.

[0022] Im Weiteren wird das Werkzeug nach Herstellen der an der Werkstückoberfläche lösbaren mechanischen Verbindung in Betrieb genommen und prozessüberwacht gegen die Werkstückoberfläche verfahren. Je nach Wahl des Werkzeuges können auf diese Weise Bohr-, Fräs-, Schneid-, Schleif- oder sonstige abrasive Bearbeitungsvorgänge an der Werkstückoberfläche durchgeführt werden. Im Weiteren wird stellvertretend für sämtliche Oberflächenbearbeitungen das Hochpräzisionsbohren erläutert, bei dem als Werkzeug ein Bohrer eingesetzt wird, der mittels einer endseitig am Knickarmroboter angebrachten NC-Vorschubeinheit gegen das Werkstück verfahren wird. Der prozessüberwachte Bohrvorgang wird beendet sobald eine vorgegebene Bohrtiefe erreicht ist.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0023] Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

[0024] Fig. 1 Darstellung einer Anordnung zum Einbringen von Bohrlöchern in einen Schiffspropeller,

[0025] Fig. 2a, b, c Vielseitenansicht einer endseitig an der kinematischen Kette des Knickarmroboters angebrachten Bohrspindel anordnung mit einer zur Ausbildung einer mechanischen Verbindung zum Werkstück dienenden Verbindungseinheit

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

[0026] In Fig. 1 ist ein zu bearbeitendes Werkstück W in Form eines Schiffspropellers dargestellt, das es gilt an bestimmt vorgegebenen Bearbeitungsorten mit Bohrlöchern zu versehen. Aufgrund der Größe sowie der vorwiegend aus Freiformflächen bestehenden Oberfläche des Werkstückes W eignet sich zur Nachbearbeitung des Werkstückes lediglich ein großbauender, vertikaler Knickarmroboter KR, an dessen aus zwei Armgliedern **2**, **3** zusammengesetzte kinematische Kette endseitig eine Bohranordnung B angebracht ist. Der Knickarmroboter KR der in aller Ausführlichkeit in der Druckschrift DE 10 2013 018 857 A1 beschrieben ist, verfügt über einen Roboterarm, der an einer um die Vertikalachse drehbaren Basis **1** befestigt ist. Der Roboterarm verfügt über zwei in Art einer kinematischen Kette hintereinander angeordnete Armglieder **2**, **3**, von denen das erste Armglied **2** um eine zur Vertikalachse orthogonal orientierte zweite Achse an der Basis **1** schwenkbar gelagert ist. Das zweite Armglied **3** ist um eine parallel zur zweiten Achse orientierte dritte Achse an dem ersten Armglied **1** schwenkbar angebracht. Endseitig an der kinematischen Kette, das heißt am endseitigen Ende des zweiten Armgliedes **3** ist eine Zentralhand **4** angebracht, an der die Bohranordnung B über einen im weiteren näher zu beschreibenden Tragrahmen angebracht ist. Zur Erläuterung der weiteren Komponenten des Knickarmroboters KR wird auf den Offenbarungsgehalt der vorstehend genannten Druckschrift verwiesen.

[0027] Die Armglieder **2**, **3** des vertikalen Knickarmroboters KR weist Armlängen von jeweils bis zu fünf Meter auf. Dies verdeutlicht den überaus großen zugänglichen Arbeitsbereich des Knickarmroboters KR, so dass Werkstücke W mit Bauhöhen von mehreren Metern mit Hilfe eines am Knickarmroboter KR endseitig angebrachten Werkzeuges einer Oberflächenbearbeitung unterzogen werden können, ohne dabei das Werkstück W selbst bewegen zu müssen.

[0028] Zur Durchführung der Oberflächenbearbeitung bedarf es zunächst einer Erfassung der räumlichen Anordnung des zu bearbeitenden Werkstückes W sowie des Knickarmroboters KR, insbesondere des endseitig am Knickarmroboter KR angebrachten Werkzeuges, das im Beispiel als Bohranordnung B ausgebildet ist. Hierzu ist ein berührungslos arbeiten-

des, ortsauflösendes Objekterfassungssystem, beispielsweise in Form eines Lasertrackers LT vorgesehen. Der Lasertracker LT vermag mit Hilfe einer am Werkstück W geeignet angebrachten und ausgebildeten Markierung M1 ein die räumliche Lage des Werkstückes W definierendes Werkstückkoordinatensystem WKS zu erfassen. In der gleichen Weise vermag der Lasertracker LT mit Hilfe einer dem Knickarmroboter KR fest zugeordneten Markierung M2 ein dem Knickarmroboter zuordenbares Roboterkoordinatensystem RKS zu generieren, durch das auch die räumliche Lage der am Knickarmroboter KR befestigten Bohranordnung B bestimmbar ist.

[0029] Das von Seiten des Lasertrackers LT erfasste Werkstückkoordinatensystem sowie das Roboterkoordinatensystem werden einer Steuereinheit S zugeführt, in der beide Koordinatensysteme in einen räumlichen Bezug zueinander gesetzt werden.

[0030] Unter Vorgabe von Raumkoordinaten, die einen Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche des Werkstückes W definieren, an dem eine Bohrung vorgenommen werden soll, positioniert der Knickarmroboter KR die an ihm befestigte Bohranordnung B an einer Raumposition, die dem vorgegebenen Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche in einem vorgegebenen Abstand gegenüberliegt. Der Positioniervorgang erfolgt sehr schnell mit Hilfe der Knickarmroboterkinematik. Nach erfolgter Positionierung wird die aktuelle Raumposition der Bohranordnung B, insbesondere die Raumposition eines dem Bohrwerkzeug zugeordneten Werkzeugschwerpunktes, mit Hilfe des Lasertrackers LT erfasst und überprüft. Im Falle einer festgestellten Abweichung von einer vorgegebenen Sollposition justiert der Knickarmroboter KR entsprechend nach. Der Vorgang der Nachjustierung kann mehrfach erfolgen bis die exakte Raumposition angefahren ist.

[0031] Befindet sich die Bohranordnung B in einer korrekten Raumposition, die dem Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche gegenüberliegt, so erfolgen eine messtechnische Erfassung sowohl des Abstandes zwischen der Bohranordnung B und der Werkstückoberfläche sowie der Orientierung bzw. der räumlichen Lage der Werkstückoberfläche am Bearbeitungsort relativ zur Bohranordnung B.

[0032] Hierzu sind um die bzw. an der Bohranordnung B Laserabstandssensoren, vorzugsweise drei separate Laserabstandssensoren, angebracht. Auf der Basis der mit den Laserabstandssensoren erfassten Abstandswerte ist es möglich die Bohrerlängsachse exakt orthogonal zur Werkstückoberfläche am Bearbeitungsort auszurichten.

[0033] Zur Veranschaulichung der an der Zentralhand 4 des Knickarmroboters KR angebrachten Bohranordnung B sei im Weiteren auf die Fig. 2a bis

c verwiesen, die Bohranordnung B aus unterschiedlichen Blickrichtungen illustrieren. Die Fig. 2a und b zeigen die Bohranordnung B aus zwei unterschiedlichen Seitenblickrichtungen, Fig. 2c stellt die Bohranordnung B axial zur Bohrerlängsachse von unten dar. Die weiteren Erläuterungen beziehen sich auf alle drei Fig. 2a bis Fig. 2c gleichermaßen.

[0034] An der endseitig des zweiten Armgliedes 3 vorgesehenen Zentralhand 4 ist ein Tragrahmen 5 fest angeordnet, an dem mehrere, für den Bohrvorgang relevante Komponenten angebracht sind. Unter anderem sind drei Laserabstandssensoren 6 mittelbar fest mit dem Tragrahmen 5 verbunden, die die räumliche Lage des Tragrahmens 5 sowie dessen Abstand zur Werkstückoberfläche zu erfassen vermögen.

[0035] Nachdem die Bohranordnung B prozessüberwacht die korrekte Lage gegenüber dem Werkstück W an der Raumposition eingenommen hat, erfolgt eine Aktivierung einer am Tragrahmen 5 angebrachten Verbindungseinheit zur Herstellung einer mechanischen Verbindung zwischen dem Tragrahmen 5 und dem Werkstück W.

[0036] Die Verbindungseinheit weist in dem in den Fig. 2a bis c illustrierten Ausführungsbeispiel drei am Tragrahmen 5 angebrachte Linearaktoren 7 auf, die allesamt über einen teleskopartigen, das heißt längenveränderlichen Mechanismus verfügen, der elektromotorisch, hydraulisch oder pneumatisch betätigbar ist. Im Falle des in den Fig. 2a bis c dargestellten Ausführungsbeispiels besteht jeder einzelne Linearaktor 7 aus einer pneumatischen Hubzylinder-einheit dessen Pneumatikzylinder 7.1 jeweils mittels einer ventilgesteuerten Pneumatikeinheit 7.2 längenverstellbar sind (siehe hierzu Doppelpfeildarstellungen in den Fig. 2a, b).

[0037] An den dem Tragrahmen 5 abgewandten Enden der Pneumatikzylinder 7.1 sind jeweils pneumatisch mittels Unterdruck aktivierbare als Vakuumsauggreifer ausgebildete Fügemitte 8 angebracht. Vorzugsweise sind die Vakuumsauggreifer kugelgelenkig mit den Enden der Pneumatikzylinder 7.1 verbunden, um auf diese Weise bei einem Flächenkontakt automatisch in eine korrekte Kontaktlage zu gelangen. Zudem sind die drei Linearaktoren 7 derart um das zentral angeordnete Bohrwerkzeug 10 angeordnet, so dass das Bohrwerkzeug 10 im Flächenschwerpunkt eines durch die Linearaktoren 7 aufgespannten gleichseitigen Dreiecks, siehe strichpunktierte Linien in Fig. 2c, liegt.

[0038] Zum Zwecke der Herstellung einer mechanischen Verbindung zwischen dem zweiten Armglied 3 des Kinematikroboters KR und dem Werkstück W werden die Pneumatikzylinder 7.1 einzeln und feindosiert und unabhängig voneinander ausgefahren,

bis die als Vakuumsauggreifer ausgebildeten Fügemitte **8** die Werkstückoberfläche berühren. Hierzu werden die Pneumatikzylinder **7.1** über an der Pneumatikeinheit **7.2** vorgesehene Proportionalventile mit geringem Überdruck ausgefahren, bis die schon saugenden Vakuumsauggreifer die Werkstückoberfläche berühren und sich an der Oberfläche fixieren. Dies verhindert ein Auswandern der Bohreranordnung B durch die im System des Knickarmroboters KR vorhandenen unterschiedlichen Steifigkeiten.

[0039] Im Weiteren wird der mechanische Anpressdruck, mit dem die Fügemitte **8** an der Werkstückoberfläche aufliegen, erhöht. Hierzu wird über die an den Pneumatikeinheiten **7.2** vorgesehenen Proportionalventile P ein höherer Druck eingestellt, wodurch der Tragrahmen **5** und sämtliche an diesen fest verbundenen Komponenten zwischen dem Werkstück und der kinematischen Kette des Knickarmroboters KR verspannt werden.

[0040] Im nächsten Schritt werden die Pneumatikzylinder **7.1** gesperrt, so dass sie nur als gespannte Federn wirken können. Hierbei stützt sich die gesamte kinematische Kette des Knickarmroboters KR und somit auch der Tragrahmen **5** mit sämtlichen an diesen befestigten Komponenten einseitig fest anhaftend an der Werkstückoberfläche ab, wobei die einseitige Einspannung eine elastisch federnde Lagerung darstellt, wodurch bearbeitungsbedingte Vibrationen und Schwingungen, die sich auf die kinematische Kette übertragen können, gedämpft werden.

[0041] In einem weiteren Schritt wird der ungefähre Abstand zwischen den Laserabstandssensoren **6** und der Werkstückoberfläche gemessen.

[0042] Die fest mit dem Tragrahmen **5** verbundene Bohreranordnung B umfasst einen Spindelbohrer **9**, der den Bohrer **10** antreibt. Der Bohrer **10** wird mit Hilfe einer NC-Vorschubeinheit **11** mit möglichst großer Geschwindigkeit möglichst dicht über die Werkstückoberfläche verfahren. Nunmehr folgt der Bohrvorschub bis ein Oberflächenkontakt zwischen Bohrer **10** und Werkstückoberfläche am Bearbeitungs-ort hergestellt ist. Der Bohrer **10** wird mit einer entsprechend vorgegebenen Drehzahl sowie Vorschubgeschwindigkeit in das Werkstück prozessüberwacht vorgetrieben, bis eine bestimmt vorgegebene Bohrlochtiefe erreicht ist. Die Prozessüberwachung erfolgt sensorüberwacht, beispielsweise durch Erfassung der Wirkleistung am Motor des NC-Vorschubs **11** und/oder des Spindelbohrers **9**, oder mit Hilfe geeignet angebrachter Beschleunigungssensoren oder Kraftsensoren. Auch die am Tragrahmen **5** fest angebrachten Abstandssensoren **6** erfassen den Abstand zwischen dem Tragrahmen **5** und der Werkstückoberfläche während des Bohrvorganges, um diesen konstant zu halten. Sollte sich durch den Bohrvorschub ein Zurückweichen des Tragrahmens **5** erge-

ben, so wird dies mit den Laserabstandssensoren **6** erfasst und kann direkt ausgeglichen.

[0043] Auch die Detektion eines Bohrerbruchs ist mit den vorstehend genannten Überwachungsparametern möglich, so dass ein Schnellabbruch des Bohrvorganges eingeleitet werden kann.

[0044] Ist die gewünschte Bohrlochtiefe erreicht, so wird der Bohrer **10** mit Hilfe der NC-Vorschubeinheit **11** zurückgezogen und die Vakuumsaugnäpfe **8** von der Werkstückoberfläche gelöst. Der Knickarmroboter KR verfährt sodann die Bohreranordnung B an eine neue Raumposition, die einem weiteren Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche gegenüberliegt.

[0045] Mit des lösungsgemäßen Verfahrens sowie der damit verbundenen lösungsgemäßen Anordnung zur Oberflächenbearbeitung eines stationär gelagerten Werkstückes ist es möglich Bohrlöcher mit sehr hoher Genauigkeit an beliebig gekrümmten Werkstückoberflächen zu bohren und dies nahezu unabhängig von der Steifigkeit und Absolutgenauigkeit des Knickarmrobotersystems. Neben dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel zum Einbringen von Bohrlöchern in ein Werkstück kann der Knickarmroboter ebenso mit Fräs-, Schleif- oder Schneidwerkzeugen bestückt werden. Aber auch Fügevorgänge wie, bspw. Schraub-, Niet-, Schweiß- oder Klebevorgänge können mit der vorstehend beschriebenen Verfahrensweise an Werkstücken hochgenau vorgenommen werden.

Bezugszeichenliste

1	Roboterbasis
2	Erstes Armglied
3	Zweites Armglied
4	Zentralhand
5	Tragrahmen
6	Laserabstandssensoren
7	Verbindungseinheit, Linearaktor
7.1	Pneumatikzylinder
7.2	Pneumatikeinheit
8	Fügemitte
9	Spindelbohrer
10	Bohrer
11	NC-Vorschubeinheit
A2	Zweite Achse
B	Bohranordnung
KR	Knickarmroboter
M1	Markierung
M2	Markierung
S	Steuereinheit
W	Werkstück
LT	Lasertracker
P	Proportionalventil

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 84/02301 [0003]
- DE 102013018857 A1 [0004, 0013, 0026]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Oberflächenbearbeiten eines stationär gelagerten Werkstückes mit einem an einem Knickarmroboter endseitig angebrachten und von diesem räumlich positionierbaren Werkzeug, umfassend folgende Verfahrensschritte:

- Positionieren des Knickarmroboter-geführten Werkzeuges an eine Raumposition, die einem vorgegebenen Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche in einem vorgegebenen Abstand gegenüberliegt,
- Herstellen einer den Knickarmroboter endseitig am Werkstück abstützenden und an der Werkstückoberfläche lösbaren, festen mechanischen Verbindung, und
- Durchführen der Oberflächenbearbeitung durch Annähern des Werkzeuges an den Bearbeitungsort und anschließender Ineingriffnahme des Werkzeuges mit dem Werkstück am Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche, während der Knickarmroboter endseitig mit dem Werkstück verbunden ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Positionieren des Knickarmroboter-geführten Werkzeuges auf der Grundlage eines die Raumform des zu bearbeitenden Werkstückes beschreibenden binären Datensatzes, des an der Werkstückoberfläche vorgegebenen Bearbeitungsortes, sowie eines dem Werkzeug zugeordneten Werkzeugmittelpunktes durchgeführt wird, wobei die relative räumliche Position des Knickarmroboter-geführten Werkzeuges zum vorgegebenen Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche messtechnisch erfasst und überwacht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die messtechnische Erfassung mittels eines berührungslosen Tracking-systems erfolgt, das zumindest ein die räumliche Lage des Werkstückes beschreibendes Werkstückkoordinatensystem (WKS) sowie ein die räumliche Lage des Knickarmroboters beschreibendes Roboterkoordinatensystem (RKS) generiert, und dass das Werkstückkoordinatensystem und das Roboterkoordinatensystem in einen räumlichen Bezug zueinander gebracht werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Positionieren des Knickarmroboter-geführten Werkzeuges an die Raumposition, die dem vorgegebenen Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche in einem vorgegebenen Abstand gegenüberliegt, ausschließlich mit Hilfe einer dem Knickarmroboter zugehörigen Roboterkinematik durchgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Kontrolle und gegebenenfalls eine Korrektur der räumlichen Lage des am Knickarmroboter endseitig angebrach-

ten und von diesem an die Raumposition positionierten Werkzeuges relativ zum Bearbeitungsort an der Werkstückoberfläche durchgeführt wird, so dass das Werkzeug an der Raumposition eine Solllage einnimmt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kontrolle auf Basis von mit einer den Abstand zwischen Werkzeug und Werkstückoberfläche sowie die Relativlage des Werkzeuges zur Werkstückoberfläche erfassenden, endseitig am Knickarmroboter angebrachten Sensorik gewonnenen Informationen durchgeführt wird und/oder dass die Kontrolle auf Basis von mit dem berührungslosen Trackingsystem nach Anspruch 3 gewonnenen Informationen erfolgt, das zumindest die räumliche Lage des Werkstückes erfasst.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die an der Werkstückoberfläche lösbar feste mechanische Verbindung in Art einer festen Einspannung ausgebildet wird, die längs des Knickarmroboters wirkende Kräfte und Momente aufnimmt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die feste Einspannung auf Basis eines fest anhaftenden magnetischen oder pneumatischen Wirkmechanismus oder auf einem auf Reibkraft beruhenden Wirkmechanismus realisiert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Herstellung der mechanischen Verbindung zwischen dem Werkstück und dem Knickarmroboter wenigstens ein endseitig am Knickarmroboter angebrachter Linearaktor betätigt wird, der bei dem ansonsten positionierten und ruhenden Knickarmroboter die Werkstückoberfläche mittel- oder/und mittelbar kontaktiert.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkzeug nach Herstellen der an der Werkstückoberfläche lösbaren mechanischen Verbindung prozessüberwacht gegen die Werkstückoberfläche verfahren und in Betrieb genommen wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Werkzeug ein Bohrer eingesetzt wird, der mittels einer endseitig am Knickarmroboter angebrachten NC-Vorschubeinheit gegen das Werkstück verfahren wird und der prozessüberwachte Bohrvorgang nach Erreichen einer vorgegebenen Bohrtiefe beendet wird.

12. Anordnung zum Oberflächenbearbeiten eines stationär gelagerten Werkstückes mit einem an einem Knickarmroboter angebrachten Werkzeug, umfassend folgende Komponenten:

- Steuereinheit zur räumlichen Positionierung und Lageausrichtung des an einem Roboterarmende des Knickarmroboters angebrachten Werkzeuges,
- Abstandssensorik, die am Roboterarmende angebracht ist und wenigstens einen Abstand zwischen dem Werkzeug und einem Bearbeitungsort auf der Oberfläche des Werkstückes erfasst,
- eine am Roboterarmende angebrachte Verbindungseinheit zum Herstellen einer den Knickarmroboter am Werkstück einseitig abstützenden und an der Werkstückoberfläche lösbaren mechanischen Verbindung, sowie
- eine prozessüberwachte Aktorik, die das Werkzeug relativ zum Roboterarmende auslenkt.

13. Anordnung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein berührungsloses Tracking-system vorgesehen ist, das zumindest ein die räumliche Lage des Werkstückes beschreibendes Werkstückkoordinatensystem (WKS) sowie ein die räumliche Lage des Knickarmroboters beschreibendes Roboterkoordinatensystem (RKS) generiert und die ermittelten Lageinformationen der Steuereinheit kabelgeführt oder kabellos zuführt.

14. Anordnung nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Roboterarmende ein Tragrahmen angebracht ist, an dem mittel- oder unmittelbar die Abstandssensorik, die Verbindungseinheit sowie die Aktorik angebracht sind.

15. Anordnung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verbindungseinheit wenigstens einen Linearaktor, vorzugsweise drei separat am Tragrahmen verteilt angebrachte Linearaktoren umfasst, dass der wenigstens eine Linearaktor einseitig mit dem Tragrahmen verbunden ist und ein dem Tragrahmen abgewandtes Aktorende aufweist, an dem ein Fügemittel angebracht ist, das zur Ausbildung einer an der Werkstückoberfläche lösbar festen mechanischen Verbindung geeignet ist.

16. Anordnung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine Linearaktor elektromotorisch, hydraulisch oder pneumatisch betätigbar ist.

17. Anordnung nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fügemittel eine magnetische und/oder eine auf einer Saugwirkung beruhende an die Werkstückoberfläche anhaftende Haltekraft zu erzeugen in der Lage sind.

18. Anordnung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine Linearaktor als Pneumatikzylinder ausgebildet ist, an dessen dem Tragrahmen abgewandten Pneumatikzylinderende ein Vakuumgreifer angebracht ist.

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 12 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abstandssensorik wenigstens drei am Tragrahmen angebrachte Abstandslasersensoren umfasst.

20. Anordnung nach einem der Ansprüche 12 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkzeug in Form eines Bohrers, Fräs-, Schlei- oder Schneidwerkzeuges ausgebildet ist, und dass die prozessüberwachte Aktorik als NC-Vorschubeinheit ausgebildet ist, zu deren Prozessüberwachung wenigstens einer der nachfolgenden Sensoren vorgesehen ist: Wirkleistungssensor, Beschleunigungssensor, Kraftsensor.

21. Anordnung nach einem der Ansprüche 12 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Knickarmroboter in Art einer in der DE 10 2013 018 857 A1 offenbarten Anordnung ausgebildet ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

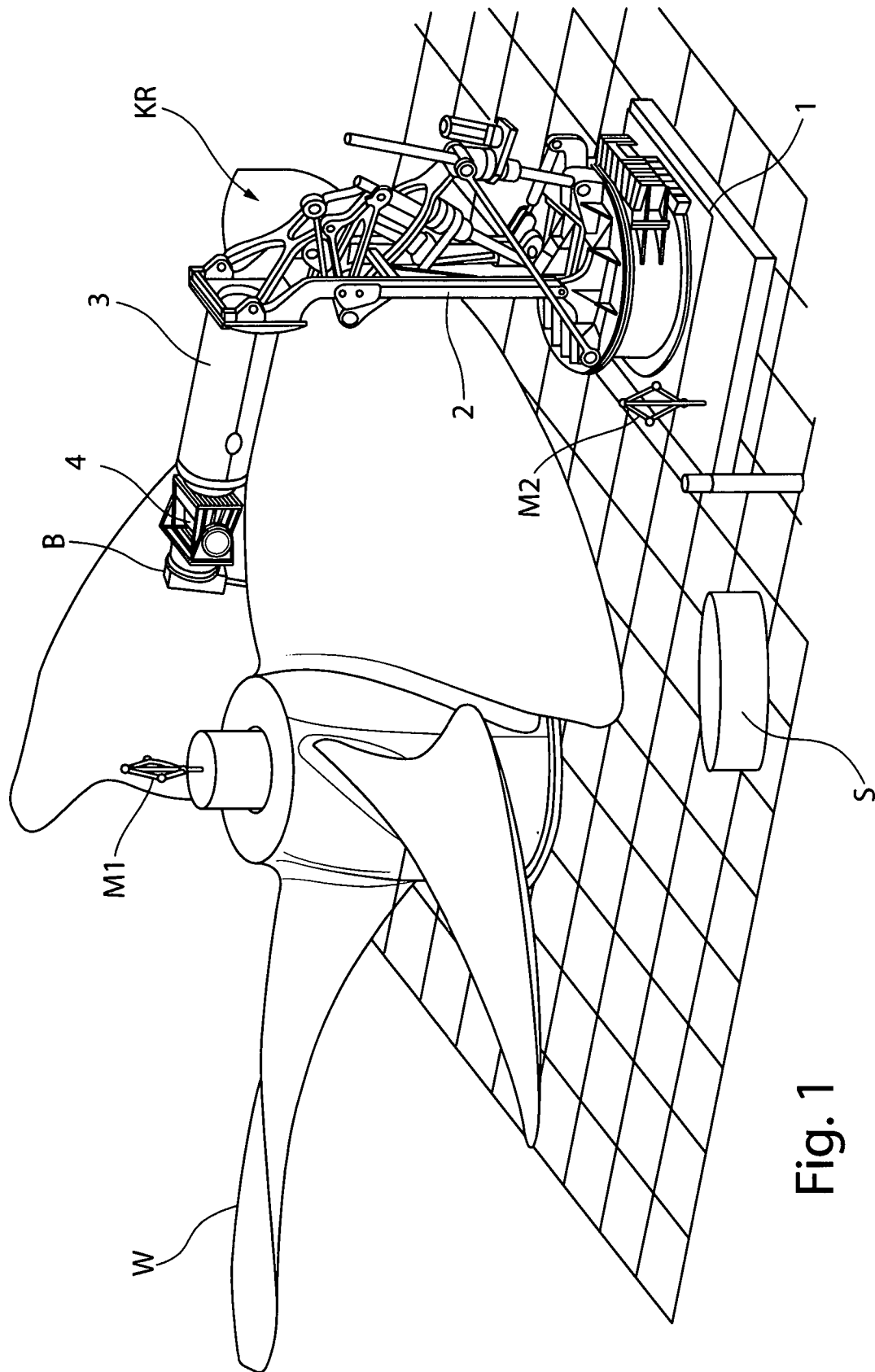
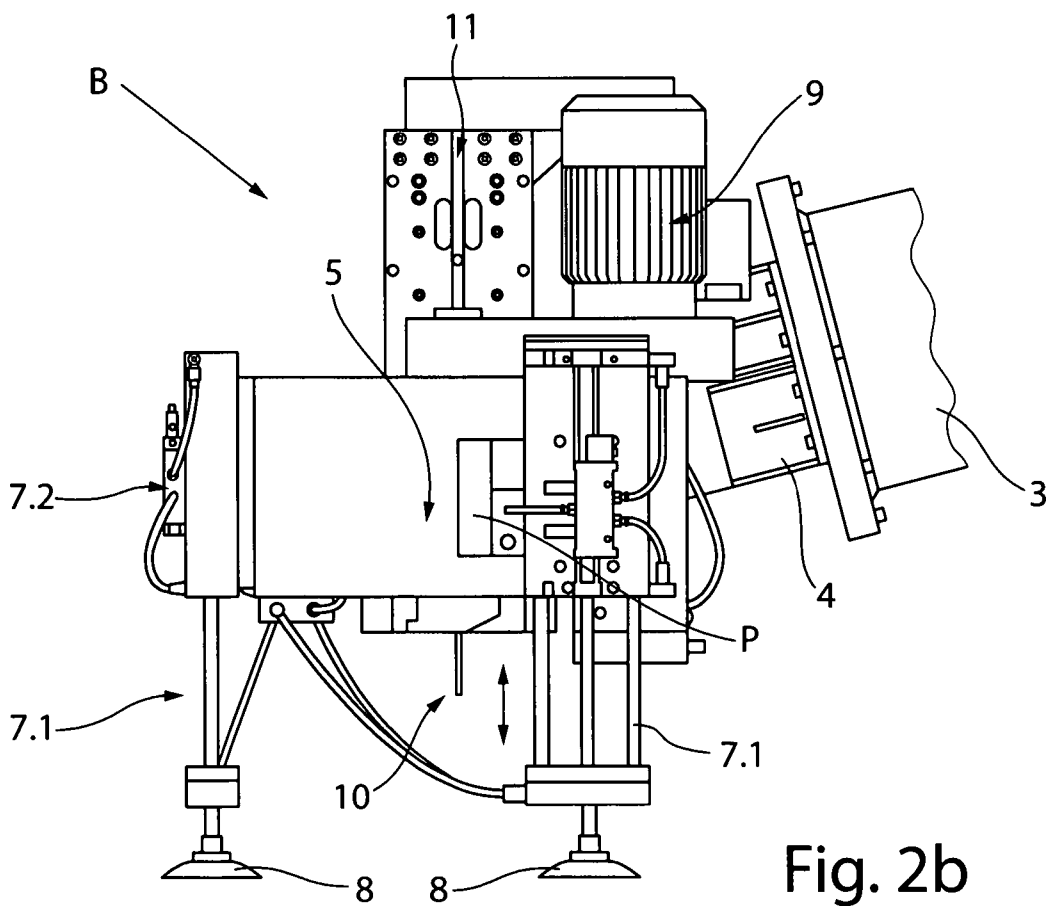
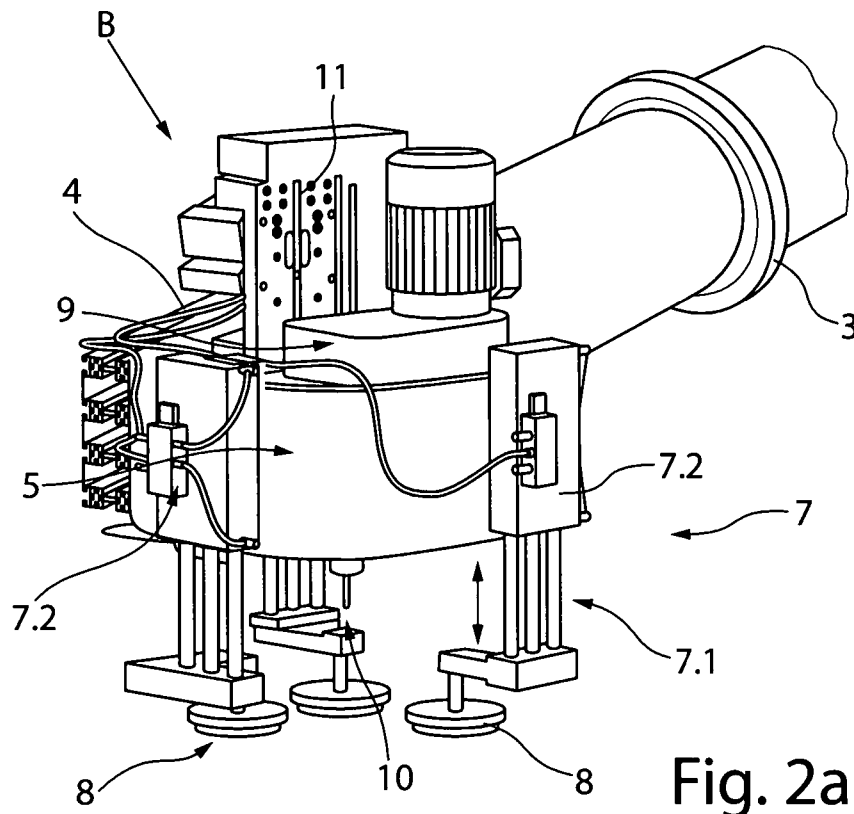


Fig. 1



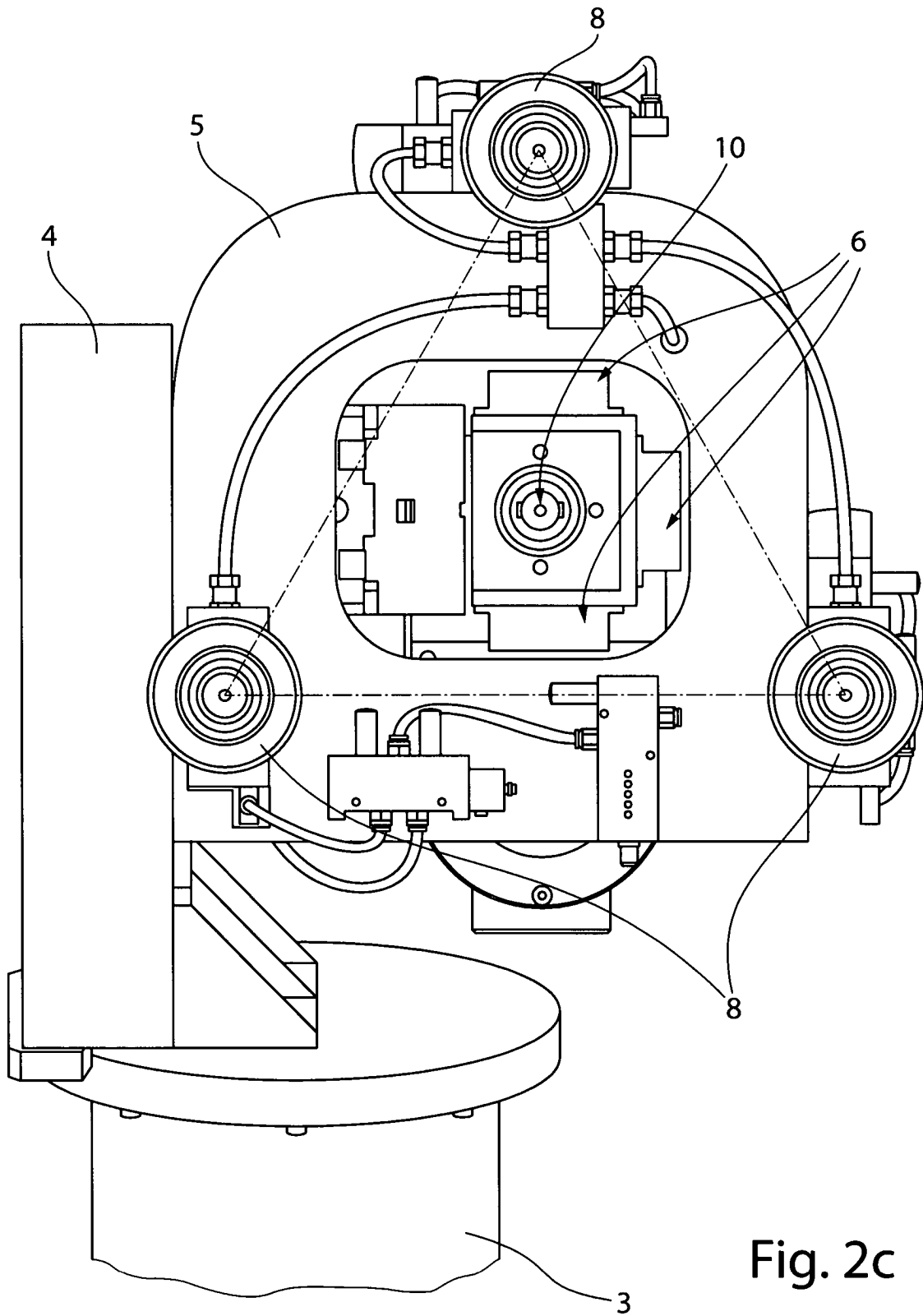


Fig. 2c