



(10) **DE 10 2015 102 720 A1** 2016.08.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 102 720.8**  
 (22) Anmeldetag: **25.02.2015**  
 (43) Offenlegungstag: **25.08.2016**

(51) Int Cl.: **B23H 9/10 (2006.01)**  
**F01D 5/34 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, 15827  
 Blankenfelde-Mahlow, DE**

(72) Erfinder:  
**Zhu, Leping, Dr., 64291 Darmstadt, DE**

(74) Vertreter:  
**KRONTHALER, SCHMIDT & COLL.  
 Patentanwaltskanzlei, 80538 München, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:  
**DE 10 2008 004 776 A1**  
**US 2006 / 0 272 957 A1**  
**US 4 851 090 A**

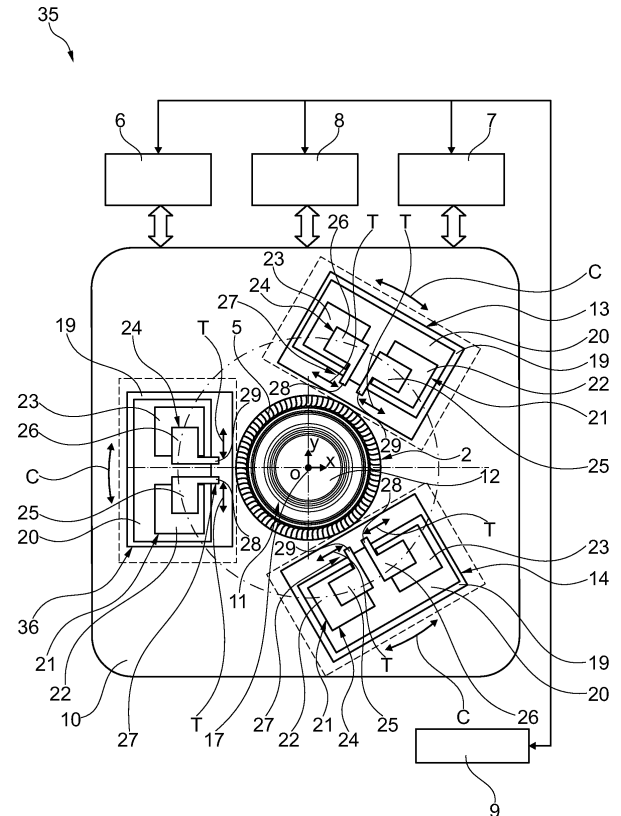
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur elektrochemischen Bearbeitung von Blisks, Tandemblisks und Blisktrommeln**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Vorrichtung (35) zur elektrochemischen Bearbeitung von Blisks, Tandemblisks und Blisktrommeln (2) mit einer Mittelachse (17) aufweisenden Werkstückhalteeinrichtung (11) zur Anordnung eines Rotors (2) und mit wenigstens zwei jeweils eine Arbeitskathodeneinrichtung (27) aufweisenden Bearbeitungseinrichtungen (13, 14, 36) beschrieben. Die Bearbeitungseinrichtungen (13, 14, 36) sind jeweils mittels einer Bewegungseinrichtung (20) bezüglich der Mittelachse (17) der Werkstückhalteeinrichtung (11) im Wesentlichen in radialer Richtung (R) bewegbar gelagert, so dass die Arbeitskathodeneinrichtungen (27) zur Bearbeitung eines sich in Wirkverbindung mit der Werkstückhalteeinrichtung (11) befindlichen Rotors (2) in eine Bearbeitungsposition bringbar sind. Wenigstens eine der Bearbeitungseinrichtungen (13, 14, 36) ist um die Mittelachse (17) der Werkstückhalteeinrichtung (11) drehbar gelagert.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur elektrochemischen Bearbeitung von integral beschaukelten Rotoren eines Flugtriebwerks oder einer Gasturbine gemäß der im Oberbegriff des Patentanspruches 1 näher definierten Art.

**[0002]** Aus der Praxis ist es bekannt, integral beschaukelte Rotoren, sogenannte Blinks (Blade integrated disks) und Tandemblisks, d. h. Blinks mit mehreren Schaufelreihen, aus einem Rohling durch Fräsen herzustellen. Hierbei ist der Werkzeugverschleiß allerdings nachteilhafterweise groß. Um die Werkzeugkosten zu reduzieren, ist es bekannt, Blinks mittels elektrochemischen Verfahren herzustellen. Üblicherweise werden Blinks stufenweise über elektrochemische Verfahren gefertigt. Dabei werden die Schaufeln von Blinks zunächst während einer ersten Fertigungsphase beispielsweise mittels Electro-Chemical-Machining-Verfahren (ECM-Verfahren) aus Rohlingen mit einem Aufmaß gegenüber einer gewünschten Endgeometrie in einem Schruppverfahren herausgearbeitet. Daran anschließend werden die Schaufeln mittels Precise-Electrochemical-Machining-Verfahren (PECM-Verfahren) in Schlichtverfahren fertigbearbeitet.

**[0003]** Die EP 1 314 507 B1 offenbart eine Maschine, mittels der ein elektrochemisches Verfahren zur Herstellung eines Tandemblisks durchführbar ist. Die Maschine weist eine Spindel zum Montieren eines Rotors und zwei Bearbeitungseinrichtungen auf, mit denen jeweils Schaufeln einer Reihe des Tandemblisks bearbeitet werden können. Allerdings sind mit dieser Maschine die einzelnen Schaufeln nur sequentiell bearbeitbar, so dass die Herstellung des gesamten Tandemblisks sehr zeitaufwendig ist.

**[0004]** Integral beschaukelte Rotoren sind mit einem in der EP 1 652 611 B1 beschriebenen Verfahren mit geringen Fertigungszeiten herstellbar. Aus einem Rohling werden sämtliche Schaufelzwischenräume während eines einzigen Arbeitsschrittes mit einem Träger gefertigt. Dabei weist der Träger so viele Arbeitselektroden wie herzustellende Schaufeln auf. Anschließend werden die Schaufeln über mehrere als Hohlelektroden ausgeführte Arbeitselektroden fertigbearbeitet. Die Arbeitselektroden sind hierfür in radialer Richtung des Rohlings translatorisch bewegbar und um eine Achse der Arbeitselektroden drehbar ausgeführt.

**[0005]** Bei dieser Lösung ist es jedoch nachteilhaft, dass nur gleichartig ausgeführte integral beschaukelte Rotoren herstellbar sind und insbesondere zur Fertigung von Rotoren mit unterschiedlichen Anzahlen von Schaufeln jeweils separate Fertigungsvorrichtungen vorzusehen sind.

**[0006]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur elektrochemischen Bearbeitung eines integral beschaukelten Rotors zu schaffen, mittels der auf einfache Weise Blinks, Tandemblisks bzw. Blistkrommeln mit unterschiedlichen Anzahlen von Schaufeln auf schnelle und kostengünstige Weise bearbeitbar bzw. herstellbar sind.

**[0007]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst.

**[0008]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur elektrochemischen Bearbeitung von integral beschaukelten Rotoren bzw. Rotorvorrichtungen eines Flugtriebwerks ist mit einer eine Mittelachse aufweisenden Werkstückhalteeinrichtung zur Anordnung eines Rotors bzw. eines Werkstücks insbesondere in Form eines Blinks, eines Tandemblisks oder einer Blistkrommel und mit wenigstens zwei wenigstens eine Arbeitskathodeneinrichtung aufweisenden Bearbeitungseinrichtungen ausgeführt. Die Bearbeitungseinrichtungen sind jeweils mittels einer Bewegungseinrichtung bezüglich der Mittelachse der Werkstückhalteeinrichtung im Wesentlichen in radialer Richtung vorzugsweise translatorisch auf den Rotor bzw. das Werkstück zu oder von diesen weg bewegbar gelagert, so dass die Arbeitskathodeneinrichtungen zur Bearbeitung eines sich in Wirkverbindung mit der Werkstückhalteeinrichtung befindlichen Rotors bzw. eines Werkstücks in eine Bearbeitungsposition bringbar sind.

**[0009]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass wenigstens eine der Bearbeitungseinrichtungen um die Mittelachse der Werkstückhalteeinrichtung drehbar gelagert ist bzw. in Umfangsrichtung des Rotors bzw. des Werkstücks verlagerbar ist.

**[0010]** Dies bietet vorteilhafterweise die Möglichkeit, einen Winkelabstand zwischen in Umfangsrichtung der Rotorvorrichtungen zueinander benachbart angeordneten Bearbeitungseinrichtungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung bezüglich der Mittelachse der Werkstückhalteeinrichtung mit geringem Aufwand zu verändern bzw. einzustellen und an variierende Abstände zwischen ebenfalls in Umfangsrichtung zueinander beabstandeten Schaufeln eines Rotors in Form eines Blinks, eines Tandemblisks oder einer Blistkrommel zu Beginn oder während der Bearbeitung eines Werkstücks anpassen zu können. Damit sind über die wenigstens zwei Bearbeitungseinrichtungen jeweils gleichzeitig Schaufeln bearbeitbar, wobei über eine einzige erfindungsgemäß ausgeführte Vorrichtung die gleichzeitige Bearbeitung von wenigstens zwei Schaufeln unabhängig von der Anzahl von Schaufeln des jeweils mit der Vorrichtung zu bearbeitenden Werkstücks mit geringen Bearbeitungs- und Maschinenrüstzeiten möglich ist.

**[0011]** Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung können somit Blisks, Tandemblisks und Blisktrommeln mit unterschiedlichen Anzahlen von Schaufeln und mit variierenden Teilungswinkeln zwischen den Schaufeln durch eine entsprechende Verstellung der wenigstens einen Bearbeitungseinrichtung in Umfangsrichtung schnell und kostengünstig bearbeitet werden.

**[0012]** Unter dem Begriff Bearbeitung werden vorliegend sowohl Fertigungsabläufe während einer Herstellung eines Blisks bzw. Tandemblisks oder einer Blisktrommel als auch während eines Reparaturprozesses eines solchen beschädigten Bauteils verstanden.

**[0013]** Mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind Schaufelzwischenräume auf kostengünstige Art und Weise innerhalb kurzer Bearbeitungszeiten mittels Schrappverfahren, insbesondere mittels ECM-Verfahren herstellbar. Zudem können beispielsweise durch Fräsen oder durch ECM-Verfahren vorgefertigte Schaufeln während sich daran anschließender Schlichtverfahren, beispielsweise mittels eines ECM- oder mittels eines PECM-Verfahrens fein- bzw. fertigbearbeitet und mit den gewünschten Endmaßen hergestellt werden.

**[0014]** Bei einer vorteilhaften Ausführung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist wenigstens eine der Bearbeitungseinrichtungen ausgehend von einer Grundstellung um bis zu etwa  $15^\circ$  im Uhrzeigersinn und/oder um bis zu etwa  $15^\circ$  entgegen dem Uhrzeigersinn um die Mittelachse der Werkstückhalteeinrichtung und in Umfangsrichtung einer Rotorvorrichtung bewegbar. Mit solchen Bewegungsumfängen wenigstens einer der Bearbeitungseinrichtungen sind die Bearbeitungseinrichtungen auf einfache Weise derart in Umfangsrichtung der Mittelachse der Werkstückhalteeinrichtung zueinander positionierbar, dass jeweils wenigstens zwei Schaufeln von integral beschaukelten Rotorvorrichtungen bzw. Blisks mit voneinander abweichenden Anzahlen von Schaufeln gleichzeitig von den wenigstens zwei Bearbeitungseinrichtungen bearbeitet werden können.

**[0015]** Um eine Bearbeitung von integral beschaukelten Rotoren besonders schnell durchführen zu können, sind bei vorteilhaften Ausführungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung mehr als drei, vorzugsweise bis zu sechs Bearbeitungseinrichtungen vorgesehen, die vorzugsweise zunächst in ihren Grundpositionen vorliegend in Umfangsrichtung eines zu bearbeitenden Werkstücks gleichmäßig um die Mittelachse der Werkstückhalteeinrichtung verteilt angeordnet und zumindest teilweise in Umfangsrichtung zueinander verstellbar ausgebildet sind. In Abhängigkeit des jeweils vorliegenden Anwendungsfalles besteht auch die Möglichkeit, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung mehr als sechs und zum

Teil in Umfangsrichtung verstellbare Bearbeitungseinrichtungen aufweist.

**[0016]** Damit auch bei Vorrichtungen mit mehr als zwei Bearbeitungseinrichtungen sämtliche Bearbeitungseinrichtungen Schaufeln von Blisks, Tandemblisks oder Blisktrommeln mit voneinander abweichenden Anzahlen von Schaufeln gleichzeitig bearbeiten können, sind bei einer Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung alle Bearbeitungseinrichtungen um die Mittelachse der Werkstückhalteeinrichtung drehbar ausgebildet.

**[0017]** Bei einer konstruktiv einfachen Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind alle Bearbeitungseinrichtungen bis auf eine Bearbeitungseinrichtung in Umfangsrichtung zueinander bewegbar ausgebildet, um im Bereich jeder der Bearbeitungseinrichtungen jeweils eine Schaufel während eines Arbeitsschrittes in gewünschtem Umfang bearbeiten zu können, wobei die beweglichen Bearbeitungseinrichtungen in Bezug auf die eine in Umfangsrichtung unbewegliche Bearbeitungseinrichtung auszurichten und an die aktuellen Abstände zwischen den zu bearbeitenden Schaufeln eines integral beschaukelten Rotors in Umfangsrichtung verteilt anzuordnen sind.

**[0018]** Die Bearbeitung von Schaufeln des integral beschaukelten Rotors ist besonders effektiv und genau möglich, wenn die Arbeitskathodeneinrichtung einer Bearbeitungseinrichtung oder die Arbeitskathodeneinrichtungen vorzugsweise aller Bearbeitungseinrichtungen mit wenigstens zwei als Halbschalen ausgeführten Arbeitskathoden ausgebildet sind. Dabei besteht die Möglichkeit, die Arbeitskathoden insbesondere mit einer gegenüber einer Schaufeloberfläche und/oder gegenüber einer Oberfläche eines Annulus einer Schaufel negativen Form auszuführen. Es kann auch vorgesehen sein, dass die Arbeitskathoden mehrteilig mit mehreren Segmenten ausgeführt sind.

**[0019]** Um die insbesondere als Halbschalen ausgeführten Arbeitskathoden auf einfache Weise zur Bearbeitung in Eingriff mit der jeweils zu bearbeitenden Schaufel eines integral beschaukelten Rotors bringen zu können, sind die Arbeitskathoden der Arbeitskathodeneinrichtung wenigstens einer der Bearbeitungseinrichtungen bei einer vorteilhaft ausgeführten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung im Wesentlichen in tangentialer Richtung der Mittelachse der Werkstückhalteeinrichtung zueinander bewegbar. Vorzugsweise sind die Arbeitskathoden der Arbeitskathodeneinrichtung sämtlicher Bearbeitungseinrichtungen der Vorrichtung derart bewegbar ausgebildet.

**[0020]** Damit eine Fein- bzw. Fertigbearbeitung von Schaufeln eines integral beschaukelten Rotors mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung auf einfache Wei-

se durchführbar ist, ist es bei einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung vorgesehen, dass den insbesondere mit Halbschalen ausgeführten Arbeitskathoden der Arbeitskathodeneinrichtung eine oszillierende Bewegung aufprägbar ist. Dabei besteht wiederum die Möglichkeit, dass sämtliche Arbeitskathoden der Arbeitskathodeneinrichtungen oszillierend bewegbar sind.

**[0021]** Sind den Arbeitskathoden der Arbeitskathodeneinrichtung bzw. der Arbeitskathodeneinrichtungen jeweils oszillierende Bewegungen aufprägbar, sind die Schaufeln vorzugsweise mittels PECM-Verfahren bearbeitbar und es ist eine endkonturgenaue Bearbeitung der Schaufeln des zu bearbeitenden Werkstücks möglich.

**[0022]** Bei einer vorteilhaften Ausführung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist eine weitere Bewegungseinrichtung vorgesehen, über die die Werkstückhalteeinrichtung um ihre Mittelachse, die insbesondere einer Mittelachse eines auf der Werkstückhalteeinrichtung angeordneten Rotors entspricht bzw. zu dieser koaxial verläuft, drehbar gelagert ist. Auf diese Weise kann nach Abschluss der Bearbeitung von Schaufeln das Werkstück derart um die Mittelachse gedreht werden, dass sämtliche Bearbeitungseinrichtungen ohne eine Verdrehung um die Mittelachse wiederum in Eingriff mit jeweils einer weiteren zu bearbeitenden Schaufel gebracht werden können.

**[0023]** Um insbesondere auch sogenannte Blistrommeln mit mehreren Bliststufen bzw. Tandemblisks mit mehreren Schaufelreihen auf einfache Weise bearbeiten zu können, ist bei einer vorteilhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Gegenstandes eine zusätzliche Bewegungseinrichtung vorgesehen, über die die Werkstückhalteeinrichtung in Erstreckungsrichtung ihrer Mittelachse verlagerbar ist. Dabei besteht auch die Möglichkeit, dass solche Blisttrommeln mehrere beispielsweise über Schraub- oder Schweißverbindungen miteinander verbundene einzelne Bliststufen umfassen.

**[0024]** Insbesondere wenn alle Schaufeln einer Bliststufe bearbeitet sind, kann das Werkstück über die zusätzliche Bewegungseinrichtung derart verlagert werden, dass die Bearbeitungseinrichtungen der Vorrichtung in Eingriff mit Schaufeln einer weiteren Stufe einer Blisttrommel bzw. einer weiteren Reihe eines Tandemblisks gebracht werden können.

**[0025]** Alternativ hierzu kann es auch vorgesehen sein, dass eine, mehrere oder alle Bearbeitungseinrichtungen eine Bewegungseinrichtung aufweisen, über die die Arbeitskathoden der jeweiligen Bewegungseinrichtung in Erstreckungsrichtung der Mittelachse der Werkstückhalteeinrichtung verlagerbar sind.

**[0026]** Eine vorteilhafte Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung umfasst eine Maschinenbasis, auf der die Werkstückhalteeinrichtung und die Bearbeitungseinrichtungen gelagert sind. Auf diese Weise sind die Bearbeitungseinrichtungen auf einfache Weise gegenüber der Werkstückhalteeinrichtung und somit gegenüber eines zu bearbeitenden integral beschauelten Rotors positionierbar.

**[0027]** Sowohl die in den Patentansprüchen angegebenen Merkmale als auch die in den nachfolgenden Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Vorrichtung angegebenen Merkmale sind jeweils für sich alleine oder in beliebiger Kombination miteinander geeignet, den erfindungsgemäßen Gegenstand weiterzubilden.

**[0028]** Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben sich aus den Patentansprüchen und den nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung prinzipmäßig beschriebenen Ausführungsbeispielen, wobei zugunsten der Übersichtlichkeit jeweils für bau- und funktionsgleiche Bauteile dieselben Bezugszeichen verwendet werden.

**[0029]** Es zeigt:

**[0030]** Fig. 1 eine stark schematisierte Draufsicht auf eine Vorrichtung zur elektrochemischen Bearbeitung eines Tandemblisks mit zwei Bearbeitungseinrichtungen;

**[0031]** Fig. 2 eine vereinfachte Seitenansicht der Vorrichtung gemäß Fig. 1; und

**[0032]** Fig. 3 eine alternativ ausgeführte Vorrichtung zur elektrochemischen Bearbeitung eines Tandemblisks mit drei Bearbeitungseinrichtungen.

**[0033]** Fig. 1 und Fig. 2 zeigen jeweils eine Vorrichtung 1, mittels der Blinks, Tandemblisks und Blisttrommeln von Flugtriebwerken oder Industrie-Gasturbinen elektrochemisch bearbeitet, d. h. hergestellt oder repariert werden können. Mit der gezeigten Vorrichtung 1 können neben herkömmlichen einstufigen bzw. einreihigen Blinks auch Schaufeln 5 eines zwei oder mehrere Reihen 3, 4 aufweisenden Tandemblisks 2 mittels eines Schlichtverfahrens endkonturgenau feinbearbeitet werden. Neben Schlichtverfahren sind mittels der Vorrichtung 1 auch Schruppverfahren durchführbar, wobei sowohl ECM-Verfahren als auch PECM-Verfahren ausgeführt werden können. Vorliegend sind mit der Vorrichtung 1 Schaufeln 5 des Tandemblisks 2 aus einem Rohling zunächst in einen Zwischenfertigungszustand überführbar bzw. vorformbar und anschließend daran eventuell fertig bearbeitbar.

**[0034]** Die Vorrichtung **1** umfasst zur elektrochemischen Bearbeitung der Schaufeln **5** des Tandemblisks **2** vorliegend eine Stromversorgungseinrichtung **6**, eine Elektrolytversorgungseinrichtung **7**, eine Schlamm Entsorgungseinrichtung **8** und eine Steuereinrichtung **9**, insbesondere eine NC-Steuerung. Mittels der Steuereinrichtung **9** sind die Stromversorgungseinrichtung **6**, die Elektrolytversorgungseinrichtung **7** und die Schlamm Entsorgungseinrichtung **8** ansteuerbar.

**[0035]** Die Vorrichtung **1** weist weiterhin eine Maschinenbasis **10** bzw. ein Maschinenbett auf, mit der eine Werkstückhalteeinrichtung **11** und vorliegend zwei Bearbeitungseinrichtungen **13**, **14** wirkverbunden sind, die in **Fig. 1** vergrößert dargestellt sind. Mittels eines Halters **12** ist hier ein Tandemblisk **2** an der Werkstückhalteeinrichtung **11** bzw. an dem Werkstückständer befestigt. Zusätzlich ist eine Bewegungseinrichtung **16** vorgesehen, mittels welcher der auf der Werkstückhalteeinrichtung **11** montierte Tandemblisk **2** in Richtung des Pfeils C um eine Mittelachse **17** der Werkstückhalteeinrichtung **11** verschwenkbar ist, welche koaxial zu einer Mittelachse des montierten Tandemblisks **2** ist. Um den Tandemblisk **2** in Erstreckungsrichtung Z der Mittelachse **17** verlagern zu können, ist eine zusätzliche Bewegungseinrichtung **18** vorgesehen.

**[0036]** Die zwei Bearbeitungseinrichtungen **13**, **14** der Vorrichtung **1** sind vorliegend baugleich ausgebildet, weshalb in der nachfolgenden Beschreibung jeweils der konstruktive Aufbau und die Funktionsweise der Bearbeitungseinrichtungen **13**, **14** lediglich anhand der Bearbeitungseinrichtung **13** näher beschrieben werden und gleiche bzw. gleichwirkende Bauteile der Bearbeitungseinrichtungen **13** und **14** mit den selben Bezugszeichen versehen sind. Die Bearbeitungseinrichtungen **13**, **14** der Vorrichtung **1** befinden sich im gezeigten Zustand jeweils in ihrer Grundposition, in den die Bearbeitungseinrichtungen **13**, **14** auf gegenüberliegenden Seiten der Werkstückhalteeinrichtung **11**, d. h. in Umfangsrichtung C um etwa 180° versetzt zueinander angeordnet sind.

**[0037]** Die Bearbeitungseinrichtung **13** weist eine als Drehschlitten ausgeführte Bewegungseinrichtung **19** auf, mittels der die Bearbeitungseinrichtung **13** gegenüber der Maschinenbasis **10** um die Mittelachse **17** der Werkstückhalteeinrichtung **11** insbesondere auf einem Kreisbahnabschnitt mit definiertem Radius drehbar gelagert ist. Ausgehend von der gezeigten Grundposition ist der Drehschlitten **19** in Umfangsrichtung C um einen Winkelbereich von etwa 15° sowohl im Uhrzeigersinn als auch um einen Winkelbereich von etwa 15° entgegen dem Uhrzeigersinn um die Mittelachse **17** der Werkstückhalteeinrichtung **11** verlagerbar. Auf dem Drehschlitten **19** ist wiederum eine Bewegungseinrichtung **20** gelagert, welche als radialer Schlitten ausgeführt ist und über den Dreh-

schlitten **19** um die Mittelachse **17** drehbar ist. Zusätzlich ist der radiale Schlitten **20** gegenüber dem Drehschlitten **19** in radialer Richtung R bezüglich der Mittelachse **17** der Werkstückhalteeinrichtung **11** verlagerbar und damit ein radialer Abstand zwischen der Mittelachse **17** und dem radialen Schlitten **20** veränderbar.

**[0038]** Gegenüber dem radialen Schlitten **20** bewegbar ist auf diesem eine Bewegungseinrichtung **21** gelagert, die zwei tangentiale Schlitten **22**, **23** aufweist. Die tangentialen Schlitten **22**, **23** sind dabei in tangentialer Richtung T bezüglich der Mittelachse **17** der Werkstückhalteeinrichtung **11** aufeinander zu oder auseinander bewegbar. Auf den tangentialen Schlitten **22**, **23** ist eine weitere Bewegungseinrichtung **24** mit zwei weiteren Schlitten **25**, **26** gelagert, wobei ein Schlitten **25** auf dem tangentialen Schlitten **22** und ein Schlitten **26** auf dem tangentialen Schlitten **23** angeordnet ist und mittels der Steuereinrichtung **9** sämtliche Bewegungseinrichtungen **16**, **18**, **19**, **20**, **21**, **24** ansteuerbar sind.

**[0039]** Es ist weiterhin eine Arbeitskathodeneinrichtung **27** vorgesehen, die vorliegend zwei als Halbschalen **28**, **29** ausgeführte Arbeitskathoden umfasst. Die Halbschalen **28**, **29** sind jeweils mit einer Bearbeitungsfläche ausgebildet, die im Wesentlichen eine negative Form einer herzustellenden Schaufeloberfläche aufweisen. Die Halbschale **28** ist mit dem Schlitten **25** und die Halbschale **29** ist mit dem Schlitten **26** wirkverbunden. Über die Schlitten **25**, **26** ist den Halbschalen **28**, **29** eine oszillierende Bewegung vorliegend in tangentialer Richtung T aufprägbar. Die Halbschalen **28**, **29** sind hier über schnellwechselnde und präzise Schnittstellen mit den tangentialen Schlitten **22**, **23** verbunden.

**[0040]** Bei einer alternativen Ausführung der Erfindung kann es vorgesehen sein, dass den Halbschalen eine oszillierende Bewegung über die tangentialen Schlitten **22**, **23** in tangentialer Richtung T aufprägbar ist und hierdurch auf die Schlitten **25**, **26** verzichtet werden kann.

**[0041]** Während der Feinbearbeitung der Schaufeln **5** des Tandemblisks **2** mittels der Vorrichtung **1** wird zunächst ein zu bearbeitendes Werkstück bzw. ein Rohling, der bereits Schaufelzwischenräume aufweist, über den Halter **12** in der Werkstückhalteeinrichtung **11** eingespannt und ausgerichtet. Die Schaufelzwischenräume des Tandemblisks **2** können beispielsweise durch Fräsen oder mittels anderer abtragender Verfahren, wie eines ECM-Verfahrens, eines Funkensenkerodierverfahrens, eines Drahterodierverfahrens oder durch Wasserstrahlschneiden, hergestellt sein. Grundsätzlich ist es auch möglich, die Schaufelzwischenräume mittels eines mit der Vorrichtung **1** durchgeführten ECM-Verfahrens herzustellen.

**[0042]** Die zur Bearbeitung der Schaufeln **5** der jeweiligen Reihe **3**, **4** des Tandemblisks **2** vorgesehene Arbeitskathodeneinrichtungen **27** werden auf allen Bearbeitungseinrichtungen **13**, **14** montiert und anschließend ein Steuerprogramm in die Steuereinrichtung **9** geladen und gestartet. Vor dem Beginn der Bearbeitung wird eine Position und eine Nulllage einer definierten Schaufel **5** einer ersten Reihe **3** des Tandemblisks **2** beispielsweise mittels eines Mess-tasters oder eines optischen Messsystems automatisiert oder manuell ermittelt. Des Weiteren wird der Tandemblisk **2** über die weitere Bewegungseinrichtung **16** und die zusätzliche Bewegungseinrichtung **18** derart verfahren, dass die in ihrer Grundposition vorliegende Bearbeitungseinrichtung **13** durch radiales Verstellen der Arbeitskathodeneinrichtung **27** im Bereich des radialen Schlittens **20** in Eingriff mit der Schaufel **5** der ersten Reihe **3** des Tandemblisks **2** bringbar ist.

**[0043]** Anschließend wird die Bearbeitungseinrichtung **14**, soweit erforderlich, über die zweite Bewegungseinrichtung **19** um die Mittelachse **17** der Werkstückhalteeinrichtung **11** aus ihrer Grundposition heraus in Umfangsrichtung des Tandemblisks **2** verdreht, um die Bearbeitungseinrichtung **14** durch radiales Verstellen der Arbeitskathodeneinrichtung **27** im Bereich des radialen Schlittens **20** in Eingriff mit einer der Schaufeln **5** der ersten Reihe **3** des Tandemblisks **2** in Eingriff bringen zu können, womit eine gleichzeitige Bearbeitung von zwei Schaufeln **5** durchführbar ist.

**[0044]** Bei einer alternativen Ausführung der Vorrichtung kann es vorgesehen sein, dass lediglich eine der Bearbeitungseinrichtungen mittels der zweiten Bewegungseinrichtung um die Mittelachse der Werkstückhalteeinrichtung drehbar ist, während die andere Bearbeitungseinrichtung in Umfangsrichtung eines zu bearbeitenden integral beschauelten Rotors immobil ausgeführt ist und in dieser Richtung nicht aus ihrer Grundposition herausführbar ist.

**[0045]** Die Steuereinrichtung **9** steuert die Bewegungseinrichtungen **20** und **21** anschließend an, um die Halbschalen **28**, **29** der Arbeitskathodeneinrichtungen **27** der Bearbeitungseinrichtungen **13**, **14** insbesondere gleichzeitig in radialer Richtung R und in tangentialer Richtung T in gewünschtem Umfang in die die zu bearbeitenden Schaufeln **5** umgebenden Schaufelzwischenräume und damit ihre Bearbeitungsposition zu überführen. Dabei ist über die Bewegungseinrichtungen **20** jeweils eine Relativbewegung zwischen den Halbschalen **28**, **29** der Arbeitskathodeneinrichtungen **27** und den Schaufeln **5** in radialer Richtung R darstellbar. Zusätzlich ist über die Bewegungseinrichtungen **21** jeweils ein Abstand zwischen den Oberflächen der Schaufeln **5** zugewandten Innenseiten der Halbschalen **28**, **29** der Arbeitskathodeneinrichtungen **27** und den Oberflächen

der Schaufeln **5** jeweils in Umfangsrichtung des Tandemblisks **2** bzw. in tangentialer Richtung T veränderbar.

**[0046]** Während der Feinbearbeitung der Schaufeln **5** und der Oberflächen der Schaufeln **5** sowie der in diesem Bereich vorliegenden Annuli mittels eines Schlichtprozesses werden die Elektrolyt-versorgungseinrichtung **7**, die Stromversorgungseinrichtung **6** und die Schlammabfuhr-einrichtung **8** von der Steuereinrichtung **9** angesteuert. Zusätzlich wird auch die Bewegungseinrichtung **24** von der Steuereinrichtung **9** angesteuert, um sowohl den Schlitten **25**, **26** als auch den Arbeitskathodeneinrichtungen **27** in tangentialer Richtung T eine oszillierende Bewegung aufzuprägen und die Schaufeln **5** jeweils mittels eines PECM-Bearbeitungsverfahrens zu bearbeiten. Alternativ hierzu können die Schaufeln **5** des Tandemblisks **2** auch lediglich mittels eines ECM-Verfahrens schlichtend bearbeitet werden, wobei bei der letztgenannten Vorgehensweise den Schlitten **25**, **26** und der Arbeitskathodeneinrichtung **27** während der Bearbeitung der Schaufeln **5** keine Oszillation aufgeprägt wird.

**[0047]** Nachdem die Schaufeln **5** über die Bearbeitungseinrichtung **13**, **14** insbesondere gleichzeitig fertigbearbeitet sind, werden die Arbeitskathodeneinrichtungen **27** der Bearbeitungseinrichtungen **13** und **14** durch eine Ansteuerung der Bewegungseinrichtungen **20** und **21** außer Eingriff mit den Schaufeln **5** gebracht und dabei in radialer Richtung R aus den jeweiligen Schaufelzwischenräumen herausgefahren. Anschließend wird die Bewegungseinrichtung **16** von der Steuereinrichtung **9** derart angesteuert, dass die Werkstückhalteeinrichtung **11** zusammen mit dem Tandemblisk **2** um die Mittelachse **17** um einen Teilungswinkel des Tandemblisks **2** verdreht wird, der sich aus einer Division von  $360^\circ$  durch die Gesamtanzahl der Schaufeln **5** der ersten Reihe **3** des Tandemblisks **2** ergibt. Hierdurch wird erreicht, dass die Bearbeitungseinrichtungen **13** und **14** in Eingriff mit der jeweils benachbarten Schaufel **5** gebracht werden können.

**[0048]** In oben näher beschriebenem Umfang werden nun der Reihe nach alle Schaufeln **5** der ersten Reihe **3** des Tandemblisks **2** bearbeitet, wobei für den Fall einer ungeraden Anzahl von Schaufeln **5** der ersten Reihe **3** des Tandemblisks **2** während eines Bearbeitungsschrittes lediglich eine der Schaufeln **5** über eine der Bearbeitungseinrichtungen **13** oder **14** bearbeitet wird.

**[0049]** Wenn alle Schaufeln **5** der ersten Reihe **3** des Tandemblisks **2** fertig bearbeitet sind, werden gegebenenfalls zunächst die Arbeitskathodeneinrichtungen **27** der Bearbeitungseinrichtungen **13**, **14** ausgewechselt. Anschließend wird eine erste Schaufel **5** der zweiten Reihe **4** des Tandemblisks **2** über

eine entsprechende Ansteuerung der weiteren Bewegungseinrichtung **16** und der zusätzlichen Bewegungseinrichtung **18** durch die Steuereinrichtung **9** in gewünschtem Umfang beispielsweise gegenüber der Bearbeitungseinrichtung **13** derart positioniert, dass die erste Schaufel **5** von der Bearbeitungseinrichtung **13** in vorbeschriebenem Umfang bearbeitbar ist. Hieran schließt sich soweit erforderlich eine Positionierung der anderen Bearbeitungseinrichtung **14** in Bezug auf eine über die Bearbeitungseinrichtung **14** zu bearbeitende weitere Schaufel **5** der zweiten Reihe **4** an, um über die Bearbeitungseinrichtungen **13** und **14** während eines Bearbeitungsschrittes gleichzeitig jeweils eine Schaufel **5** bearbeiten zu können.

**[0050]** Dabei wird die Bearbeitungseinrichtung **14** entsprechend des Teilungswinkels der zweiten Stufe **4** des Tandemblisks **2** über die zweite Bewegungseinrichtung **19** derart in Umfangsrichtung C um die Mittelachse **17** der Werkstückhalteeinrichtung **11** aus ihrer Grundposition bzw. aus der zur Bearbeitung der ersten Reihe **3** eingestellten Position heraus verlagert, dass die Arbeitskathodeneinrichtung **27** der Bearbeitungseinrichtung **14** in die zur Bearbeitung einer Schaufel **5** der zweiten Reihe **4** des Tandemblisks **2** erforderliche Bearbeitungsposition bringbar ist.

**[0051]** Im Folgenden werden analog zu dem oben näher beschriebenen Verfahren sämtliche Schaufeln **5** der zweiten Reihe **4** des Tandemblisks **2** bearbeitet. Nach der Bearbeitung aller Schaufeln **5** der zweiten Reihe **4** kann der insgesamt fertig bearbeitete Tandemblisk **2** von der Werkstückhalteeinrichtung **11** entnommen werden.

**[0052]** In Fig. 3 ist wiederum eine Vorrichtung **35** zur elektrochemischen Bearbeitung von Blisks, Tandemblisks und Blisktrommeln **2** gezeigt, wobei die Vorrichtung **35** im Wesentlichen der Vorrichtung **1** entspricht, weshalb im Folgenden lediglich auf die Unterschiede eingegangen wird und bezüglich der weiteren Funktionsweise der Vorrichtung **35** auf die vorstehende Beschreibung zu Fig. 1 und Fig. 2 verwiesen wird. In Fig. 3 sind wiederum gleiche bzw. gleichwirkende Bauteile der Bearbeitungseinrichtungen **13**, **14** und **36** unter den selben Bezugszeichen dargestellt.

**[0053]** Die Vorrichtung **35** weist neben den Bearbeitungseinrichtungen **13** und **14** eine weitere Bearbeitungseinrichtung **36** auf, deren Aufbau jeweils dem Aufbau der Bearbeitungseinrichtungen **13** und **14** entspricht. Die Bearbeitungseinrichtungen **13**, **14** und **36** sind in Fig. 3 jeweils in ihrer Grundposition gezeigt, wobei ein Winkelabstand zwischen jeweils zwei zueinander benachbart angeordneten Bearbeitungseinrichtungen **13** und **14**, **14** und **36** bzw. **36** und **13** jeweils etwa 120° beträgt. Da mittels der Vorrichtung **35** jeweils drei Schaufeln **5** eines auf der Werkstückhalteeinrichtung **11** montierten Blisks **2** gleichzeitig bearbeitbar sind, ist ein Blisk **2** mit der Vorrich-

tung **35** innerhalb kürzerer Fertigungszeiten bearbeitbar als mit der Vorrichtung **1**.

**[0054]** In Abhängigkeit des jeweils vorliegenden Anwendungsfalles besteht die Möglichkeit, die über die Bewegungseinrichtungen **19**, **20**, **21** und **24** zur Verfügung stellbaren Bewegungen der Bearbeitungseinrichtungen **13**, **14** bzw. **13**, **14** und **36** mit Hilfe einer als integrale Baugruppe ausgeführten Bewegungseinrichtung darzustellen. Alternativ hierzu können die Bewegungseinrichtungen **19**, **20**, **21** und **24** jeweils als separate Baueinheiten oder als zumindest teilweise zu Baueinheiten zusammengefasste Baugruppen ausgebildet sein. Zudem kann die Reihenfolge der Anordnung der Bewegungseinrichtung **19**, **20**, **21** und **24** in Erstreckungsrichtung der Mittelachse **17** bei einer alternativen Ausführung der Erfindung teilweise oder vollständig verändert sein.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Vorrichtung
<b>2</b>	Tandemblisk
<b>3</b>	erste Reihe des Tandemblisk
<b>4</b>	zweite Reihe des Tandemblisk
<b>5</b>	Schaufel
<b>6</b>	Stromversorgungseinrichtung
<b>7</b>	Elektrolytversorgungseinrichtung
<b>8</b>	Schlammabfuhrereinrichtung
<b>9</b>	Steuereinrichtung
<b>10</b>	Maschinenbasis
<b>11</b>	Werkstückhalteeinrichtung
<b>12</b>	Halter
<b>13</b>	Bearbeitungseinrichtung
<b>14</b>	Bearbeitungseinrichtung
<b>16</b>	weitere Bewegungseinrichtung
<b>17</b>	Mittelachse
<b>18</b>	zusätzliche Bewegungseinrichtung
<b>19</b>	Bewegungseinrichtung; Drehschlitten
<b>20</b>	Bewegungseinrichtung; radialer Schlitten
<b>21</b>	Bewegungseinrichtung
<b>22</b>	tangentialer Schlitten
<b>23</b>	tangentialer Schlitten
<b>24</b>	Bewegungseinrichtung
<b>25</b>	Schlitten
<b>26</b>	Schlitten
<b>27</b>	Arbeitskathodeneinrichtung
<b>28</b>	Halbschale
<b>29</b>	Halbschale
<b>35</b>	Vorrichtung
<b>36</b>	Bearbeitungseinrichtung
<b>C</b>	Umfangsrichtung
<b>R</b>	radiale Richtung
<b>T</b>	tangentiale Richtung
<b>Z</b>	Erstreckungsrichtung der Mittelachse

**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**

- EP 1314507 B1 [0003]
- EP 1652611 B1 [0004]

**Patentansprüche**

1. Vorrichtung (1; 35) zur elektrochemischen Bearbeitung von integral beschaukelten Rotoren (2), mit einer Mittelachse (17) aufweisenden Werkstückhalteeinrichtung (11) zur Anordnung eines Rotors (2) und mit wenigstens zwei jeweils eine Arbeitskathodeneinrichtung (27) aufweisenden Bearbeitungseinrichtungen (13, 14; 13, 14, 36), wobei die Bearbeitungseinrichtungen (13, 14; 13, 14, 36) jeweils mittels einer Bewegungseinrichtung (20) bezüglich der Mittelachse (17) der Werkstückhalteeinrichtung (11) im Wesentlichen in radialer Richtung (R) bewegbar gelagert sind, so dass die Arbeitskathodeneinrichtungen (27) zur Bearbeitung eines sich in Wirkverbindung mit der Werkstückhalteeinrichtung (11) befindlichen Rotors (2) in eine Bearbeitungsposition bringbar sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine der Bearbeitungseinrichtungen (13, 14; 13, 14, 36) um die Mittelachse (17) der Werkstückhalteeinrichtung (11) drehbar gelagert ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine der Bearbeitungseinrichtungen (13, 14; 13, 14, 36) ausgehend von einer Grundstellung um bis zu etwa 15° im Uhrzeigersinn und/oder um bis zu etwa 15° entgegen dem Uhrzeigersinn um die Mittelachse (17) der Werkstückhalteeinrichtung (11) bewegbar ist.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens drei bis sechs Bearbeitungseinrichtungen (13, 14; 13, 14, 36) vorgesehen sind.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass alle Bearbeitungseinrichtungen (13, 14; 13, 14, 36) um die Mittelachse (17) der Werkstückhalteeinrichtung (11) drehbar gelagert sind.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweils eine der Bearbeitungseinrichtungen (13, 14; 13, 14, 36) gegenüber der Mittelachse (17) der Werkstückhalteeinrichtung (11) drehfest ausgeführt ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Arbeitskathodeneinrichtung (27) einer Bearbeitungseinrichtung (13, 14; 13, 14, 36) mit wenigstens zwei insbesondere als Halbschalen (28, 29) ausgeführten Arbeitskathoden ausgebildet ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Arbeitskathoden (28, 29) der Arbeitskathodeneinrichtung (27) der Bearbeitungseinrichtung (13, 14; 13, 14, 36) im Wesentlichen in tangentialer Richtung (T) der Mittelachse (17) der

Werkstückhalteeinrichtung (11) zueinander bewegbar sind.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Arbeitskathoden (28, 29) der Arbeitskathodeneinrichtung (27) der Bearbeitungseinrichtung (13, 14; 13, 14, 36) oszillierend bewegbar sind.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine weitere Bewegungseinrichtung (16) vorgesehen ist, über die die Werkstückhalteeinrichtung (11) um ihre Mittelachse (17) drehbar gelagert ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zusätzliche Bewegungseinrichtung (18) vorgesehen ist, über die die Werkstückhalteeinrichtung (11) in Erstreckungsrichtung (Z) ihrer Mittelachse (17) verlagerbar ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Maschinenbasis (10) vorgesehen ist, auf der die Werkstückhalteeinrichtung (11) und die Bearbeitungseinrichtungen (13, 14; 13, 14, 36) gelagert sind.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

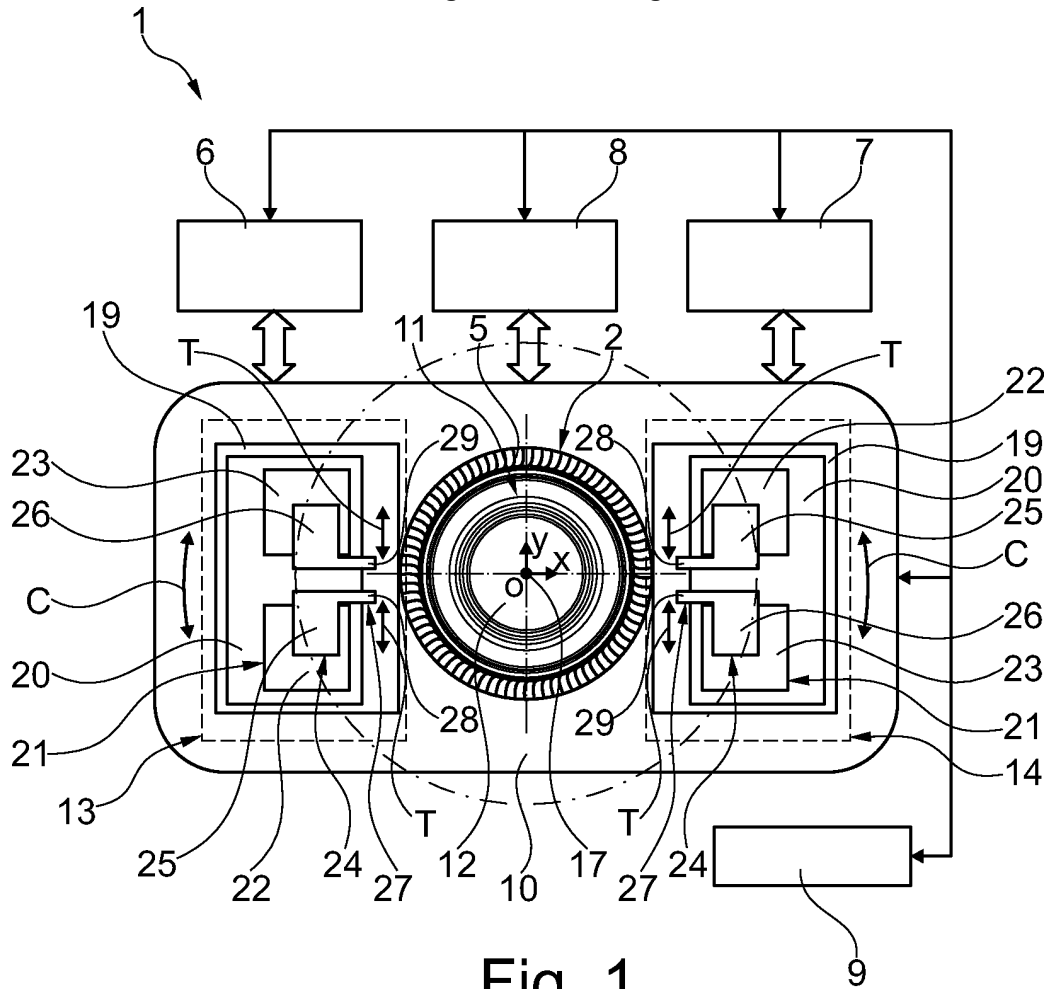


Fig. 1

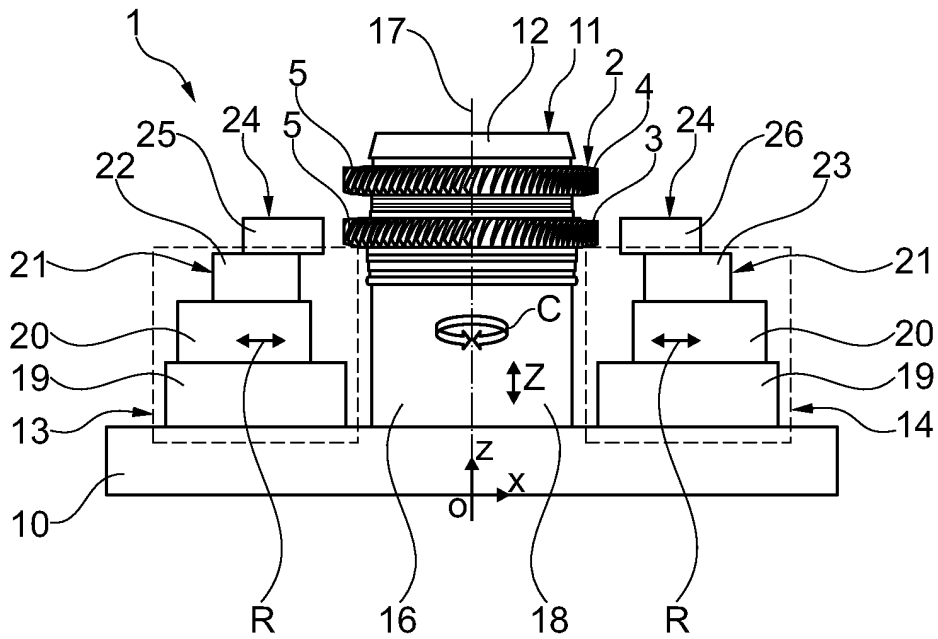


Fig. 2

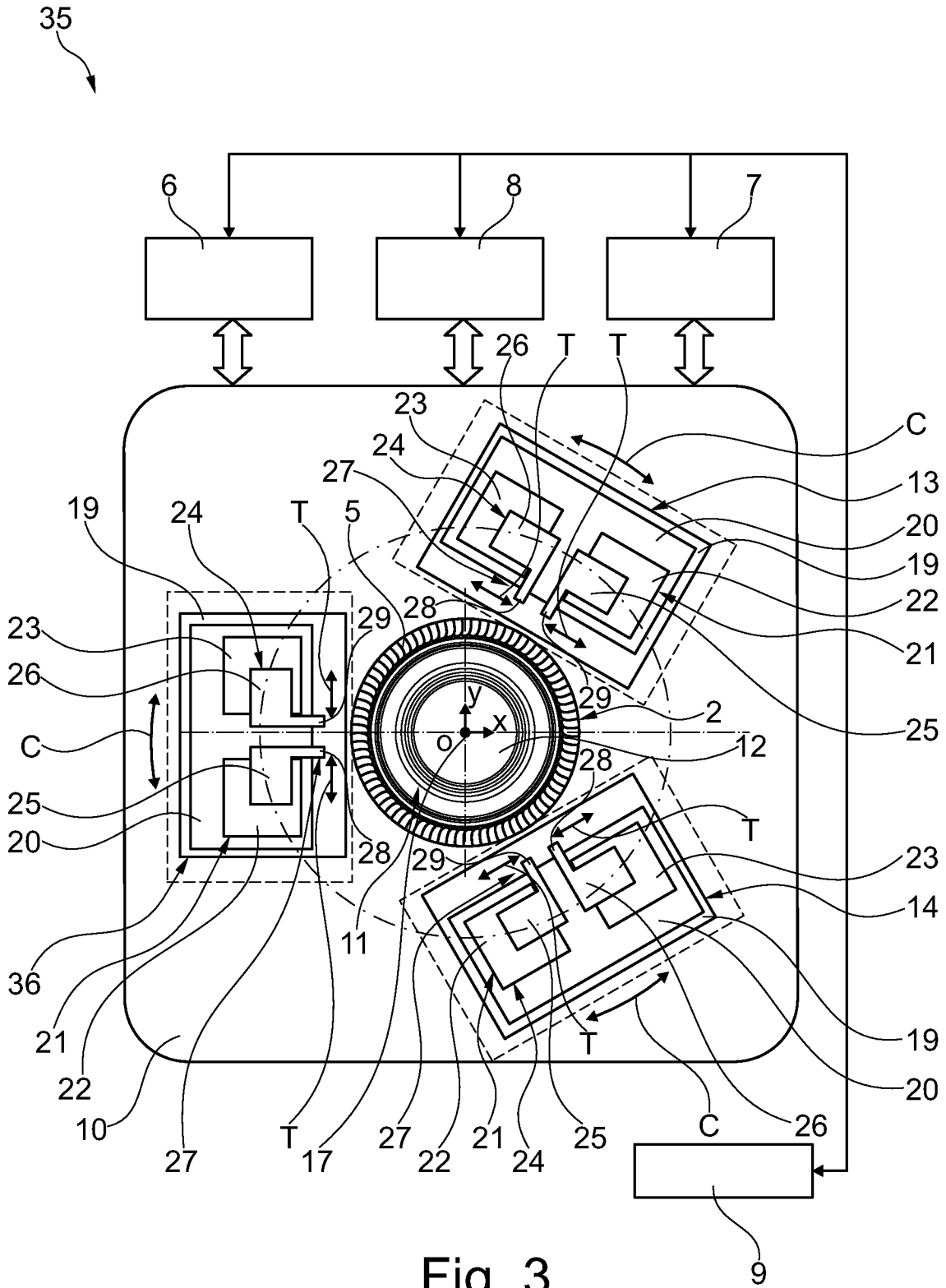


Fig. 3