(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
09. Mai 2019 (09.05.2019)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/086669 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01M 3/16 (2006.01) *G01M 3/34* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/080180

(22) Internationales Anmeldedatum:
05. November 2018 (05.11.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 125 889.2
06. November 2017 (06.11.2017) DE

(71) Anmelder: **THYSSENKRUPP AG** [DE/DE]; ThyssenKrupp Allee 1, 45143 Essen (DE).

(72) Erfinder: **WÖHLER, Kevin**; Im Sandbrink 3, 38871 Ilsenburg (OT Darlingerode) (DE). **ALTAG, Frank**; Nauer Berg 18, 38321 Denkte (DE).

(74) Anwalt: **THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH**; ThyssenKrupp Allee 1, 45143 Essen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

WO 2019/086669 A1

(54) **Title:** METHOD AND DEVICE FOR BALANCING

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM AUSWUCHTEN

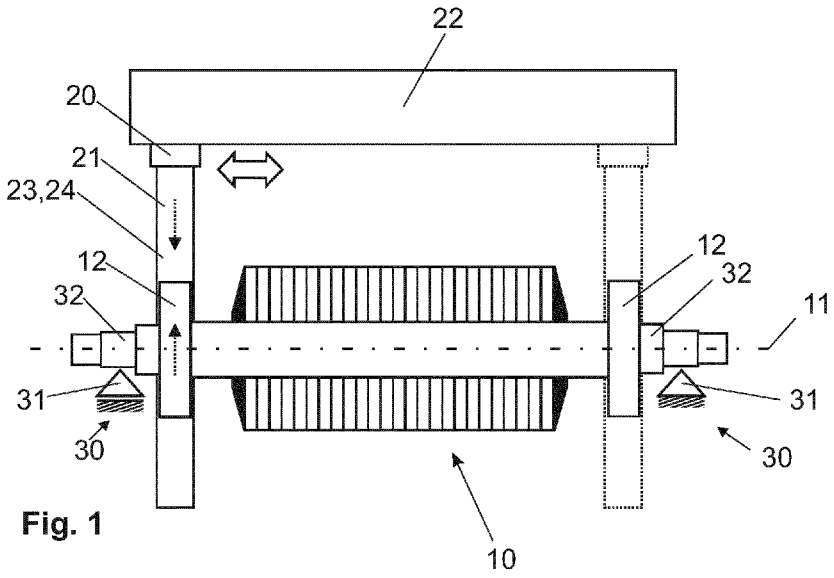


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for balancing a workpiece (10), in which method - the workpiece (10) is rotated about a rotational axis (11), - the forces and/or moments which are produced on account of an imbalance in the workpiece (10) during the rotation of the workpiece are measured, and - material of the workpiece (10) is removed in order to reduce the imbalance. The invention is characterised in that the material is removed from the rotating workpiece (10) during the measurement process, or in that the workpiece (10) is continuously rotated between the measurement process and the removal process.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Auswuchten eines Werkstückes (10), bei dem - das Werkstück (10) um eine Drehachse (11) gedreht wird, - die Kräfte und/oder Momente gemessen werden, die auf Grund einer Unwucht des Werkstücks (10) beim Drehen des Werkstücks entstehen, und - Material des Werkstücks (10) zur Verringerung der Unwucht abgetragen wird. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass das Material während des Messens vom drehenden Werkstück (10) abgetragen wird oder das Werkstück (10) zwischen dem Messen und Abtragen kontinuierlich gedreht wird.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

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

Verfahren und Vorrichtung zum Auswuchten

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Auswuchten eines Werkstückes mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1. Die Erfindung bezieht sich ferner auf eine Vorrichtung zum Auswuchten eines Werkstückes mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 9. Ein derartiges Verfahren bzw. eine derartige Vorrichtung sind bspw. aus DE 196 45 181 A1 bekannt.

Es bestehen hohe Anforderungen an die Laufgüte von sich schnell drehenden Bauteilen. Dies gilt insbesondere für Rotoren elektrischer Maschinen. Aus diesem Grund müssen Unwuchten an derlei Bauteilen beseitigt werden. Hierzu existieren verschiedene Verfahren

- Additive Verfahren, bei denen zusätzliche Massen an den auszuwuchtenden Körper aufgebracht werden
- Subtraktive Verfahren, bei denen Masse aus unkritischen Bereichen abgetragen wird, zumeist durch Bohren. Hierfür werden meist eigens Wuchtteile (Wuchtscheiben) vorgehalten, an denen abgetragen werden kann.
- Bekannt ist auch massenneutrales Wuchten durch Umstecken von Wuchtkörpern, z.B. Schrauben, von einer Position in eine andere.

Das Auswuchten erfolgt iterativ mit mehreren Wiederholungen bis eine bestimmte Güteklasse erreicht ist.

Aus dem Stand der Technik bekannt sind

- Wuchtmaschinen, welche ausschließlich die Unwucht ermitteln und eine Angabe zu Winkelpositon und Größe eines notwendigen Ausgleichsgewichts bzw. eines abzutragenden Gewichts machen
- Wuchtzentren mit integrierter Bearbeitungseinrichtung, welche die Unwucht ermitteln und nach dem Messgang an der ermittelten Winkelposition vollautomatisch Material abtragen

Nachteilig am bekannten Stand der Technik ist die relativ hohe Dauer eines Arbeitszyklus (Unwucht ermitteln, Unwucht ausgleichen). Offensichtlich ist dies bei reinen Wuchtmaschinen, bei denen das Werkstück ausgespannt, in die Bearbeitungsmaschine (beispielsweise Bohrmaschine) eingespannt und nach der

Bearbeitung für den nächsten Iterationszyklus wieder in die Wuchtmaschine eingespannt werden muss. Bei Wuchtzentren, wie in der eingangs genannten gemäß DE 196 45 181 A1, sind die Iterationszyklen zwar reduziert. Gleichwohl muss für jedes Bearbeiten das Werkstück angehalten und für den nächsten Messzyklus wieder auf Zieldrehzahl gebracht werden. Dies ist zeitaufwendig und durch das ständige Be- und Entschleunigen energieintensiv.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Auswuchten eines Werkstückes anzugeben, bei dem die Prozesszeiten verkürzt werden können.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit Blick auf das Verfahren durch den Gegenstand des Anspruchs 1 und mit Blick auf die Vorrichtung durch die Gegenstandsanspruch 9 gelöst.

Konkret wird die Aufgabe durch ein Verfahren zum Auswuchten eines Werkstückes gelöst, bei dem das Werkstück um eine Drehachse gedreht wird. Dabei werden die Kräfte und/oder Momente und/oder Schwingungen gemessen, die aufgrund einer Unwucht des Werkstücks beim Drehen des Werkstücks entstehen. Zur Verringerung der Unwucht wird Material des Werkstücks abgetragen. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass das Material während des Messens vom drehenden Werkstück abgetragen wird. Alternativ, wenn das Messen und Abtragen zeitlich getrennt erfolgen, wird das Werkstück zwischen dem Messen und Abtragen kontinuierlich gedreht.

Die Erfindung hat den Vorteil, dass die Prozesszeiten verkürzt werden, weil zwischen dem Messen und Abtragen kein Stillstand des Werkstückes erfolgt. Im besten Fall wird zeitgleich gemessen und abgetragen. Das Werkstück wird während des gesamten Auswuchtvorgangs nicht abgebremst. Der Arbeitsschritt „Korrigieren durch Materialabtrag" wird in vollem Lauf ausgeführt, d.h. das Werkstück wird nicht bis zum Stillstand abgebremst.

Die Prozesszeiten werden selbst dann im Vergleich zum Stand der Technik verkürzt, wenn das Messen und Abtragen zeitlich getrennt erfolgen, weil das Werkstück zwischen diesen beiden Schritten kontinuierlich gedreht wird. Also entfällt auch hier das Abbremsen und Anfahren des Werkstücks.

In einer besonders vorteilhaften Ausführung umfasst der Auswuchtvorgang ein Grobwuchten und ein anschließendes Feinwuchten. Beim Grobwuchten wird mehr Material abgetragen als beim Feinwuchten. Grobwuchten und Feinwuchten werden dabei bevorzugt durch Abtragen von Material an unterschiedlichen Orten durchgeführt.

In einer besonders vorteilhaften Ausführung umfasst der Auswuchtvorgang genau ein Messen und genau ein Abtragen. Bei einer ersten Zieldrehzahl wird die Unwucht gemessen und eine Zielkontur des Wuchtkörpers berechnet. Bei einer zweiten Zieldrehzahl wird die Zielkontur durch Abtragen auf den Wuchtkörper aufgebracht.

Verkürzte Prozesszeiten werden schließlich auch für den Fall von zeitlich getrenntem Messen und Abtragen erreicht, wenn der Messprozess bei einer ersten Zieldrehzahl stattfindet und der Abtragprozess bei einer zweiten Zieldrehzahl stattfindet, wobei die zweite Zieldrehzahl niedriger als die erste Zieldrehzahl ist. In diesem Fall muss das Werkstück für den Abtragprozess zwar teilweise, jedoch nicht vollständig, abgebremst werden; für den Messprozess muss das Werkstück weniger stark auf die höhere, erste Zieldrehzahl beschleunigt werden. Die erste Zieldrehzahl kann oberhalb von 3.000 Umdrehungen/Minute liegen, z.B. bei 4.000 Umdrehungen/ Minute. Die zweite Zieldrehzahl kann niedriger als 3.000 Umdrehungen/Minute liegen, z.B. bei 1.500 Umdrehungen/Minute. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Das Abtragen kann nach spanabhebenden Verfahren erfolgen. Das Abtragen kann insbesondere mit definierter oder undefinierter Schneide erfolgen. Insbesondere erfolgt das Abtragen unter Zuführung eines Kühlmediums wie beispielsweise einem Öl oder einer Schleifemulsion. Die Bearbeitung durch Schleifen hat den Vorteil, dass das Profil des Werkstücks präzise geändert werden kann. Die bei Vorliegen einer Unwucht bestehende Exzentrizität des Werkstückes kann durch Schleifen und Erzeugen einer unrunden Außenkontur des Werkstücks besonders gut eliminiert werden.

Weiter vorzugsweise wird das Material des Werkstücks zur Verringerung der Unwucht in einer Richtung radial und/oder parallel und/oder schräg zur

Drehachse abgetragen. Aus Gründen der einfachen Zugänglichkeit sind die Varianten radial und schräg/radial besonders bevorzugt.

Alternativ oder gleichzeitig ist es auch möglich, die Unwucht durch asymmetrisches Abtragen von Material an einer Stirnseite oder -fläche des Werkstücks zu beseitigen. Dies kann beispielsweise durch axiales Zustellen eines Bearbeitungsmittels auf die Stirnseite oder –fläche erfolgen.

Die Zustellbewegung beim Abtragen kann durch eine Relativbewegung zwischen dem Werkstück und einem Bearbeitungsmittel erreicht werden. Die Relativbewegung kann beispielsweise durch eine rotative und/oder translative Bewegung des Werkstücks und/oder durch eine rotative und/oder translative Bewegung des Bearbeitungsmittels erfolgen.

Beim Abtragen von Material des Werkstücks zur Verringerung der Unwucht kann zyklisch zugestellt werden. Die zyklische Zustellung kann direkt erfolgen, wobei das Bearbeitungsmittel sich auf das ortsfest rotierende Werkstück zubewegt. Ortsfest rotieren bedeutet, dass das Werkstück um eine stationäre Drehachse rotiert. Alternativ kann das sich drehende Werkstück in Richtung des Bearbeitungsmittels zugestellt werden. Dies bedeutet, dass ein Lagertisch der Bearbeitungseinrichtung oder zumindest Teile davon mitsamt dem auf ihm sich drehenden Werkstück beweglich sind.

In vorteilhafter Weise ist dabei die Zustellung derart eingerichtet, dass die Relativgeschwindigkeit im Bearbeitungskontakt zwischen Werkstück und Bearbeitungsmittel zu jedem Zeitpunkt annähernd gleich ist.

Vorzugsweise weist das Werkstück einen Wuchtkörper auf, dessen Material zur Verringerung der Unwucht abgetragen wird, wobei eine unrunde Außenkontur des Wuchtkörpers erzeugt wird. Der Wuchtkörper hat den Vorteil, dass ein für den Abtrag gut geeignetes Material und/oder eine entsprechende Geometrie des Wuchtkörpers verwendet werden können.

Wenn das Werkstück mehrere gesonderte Wuchtkörper aufweist, kann deren Material zur Verringerung der Unwucht gleichzeitig abgetragen werden.

Mit Blick auf die Vorrichtung zum Auswuchten eines Werkstückes wird die Aufgabe konkret durch eine Vorrichtung zum Auswuchten eines Werkstückes mit einer Einspanneinrichtung für das Werkstück und einem Drehantrieb zur Drehung des Werkstücks um eine Drehachse gelöst. Die Vorrichtung weist wenigstens einen Sensor zur Messung von Kräften und/oder Momenten und/oder Schwingungen aufgrund einer Unwucht des Werkstücks bei der Drehung des Werkstücks auf. Die Vorrichtung weist ferner eine Bearbeitungseinrichtung zum Abtrag von Material des Werkstücks durch die Drehung des Werkstücks auf. Die Bearbeitungseinrichtung ist erfindungsgemäß auf der Basis der Signale des Sensors derart ansteuerbar, dass das Material zur Verringerung der Unwucht bei der Drehung des Werkstücks abtragbar ist.

Wie auch das erfindungsgemäß Verfahren beruht die erfindungsgemäße Vorrichtung darauf, den Messvorgang und den Bearbeitungsvorgang miteinander zu korrelieren, um die Prozesszeit zu verringern. Dazu ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Bearbeitungseinrichtung auf der Basis der Signale des Sensors derart ansteuerbar ist, dass das Material zur Verringerung der Unwucht bei der Drehung des Werkstücks abgetragen werden kann.

Die Bearbeitungseinrichtung kann ein Bearbeitungsmittel aufweisen, das zum Abtragen des Materials mit dem Werkstück zusammenwirkt. Die Bearbeitungseinrichtung umfasst vorzugsweise eine Schleifeinrichtung mit einer Schleifscheibe oder einem Schleifband als Bearbeitungsmittel.

Das Bearbeitungsmittel kann stationär oder bewegbar ausgebildet sein. Die stationäre Ausbildung des Bearbeitungsmittels bedeutet, dass die Relativbewegung zwischen dem Werkstück und dem Bearbeitungsmittel ausschließlich durch die Drehung des Werkstücks erfolgt. Die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Bearbeitungsmittel und dem Werkstück entspricht der Drehgeschwindigkeit des Werkstücks multipliziert mit dem aktuellen Radius des Wuchtkörpers bzw. Werkstücks. Wenn das Bearbeitungsmittel bewegbar ausgebildet ist, kann die Relativbewegung zwischen dem Werkstück und dem Bearbeitungsmittel durch eine gleichsinnige oder gegensinnige Drehbewegung bezogen auf die Drehbewegung des Werkstücks erfolgen. Die effektive Relativgeschwindigkeit ergibt sich aus der

Oberflächengeschwindigkeit des Werkstücks bzw. des Wuchtkörpers überlagert mit der Oberflächengeschwindigkeit des Bearbeitungsmittels.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Bearbeitungseinrichtung parallel zur Drehachse verfahrbar, sodass mehrere axial, d.h. entlang der Drehachse beabstandete Wuchtkörper bearbeitet werden können.

Besonders bevorzugt ist eine Ausführungsform, bei der mehrere Bearbeitungseinrichtungen entlang der Drehachse mit Abstand angeordnet sind, sodass die Bearbeitung mehrere Wuchtkörper zur gleichen Zeit möglich ist, wodurch die Prozesszeiten weiter verringert werden.

Vorzugsweise weist die Einspanneinrichtung Lagermittel zur Aufnahme von Wellensitzen des Werkstücks oder eine Zentrierspindel zur stirnseitigen Befestigung des Werkstücks auf. Die Zentrierspindel hat den Vorteil, dass auch die Bearbeitung der Lagersitze durch die Bearbeitungseinrichtung erfolgen kann, wodurch die Effizienz der Vorrichtung gesteigert wird.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass weitere Oberflächen durch die Bearbeitungseinrichtung bearbeitet werden können. Die Erfindung wird mit weiteren Einzelheiten anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezug auf die beigefügten, schematischen Zeichnungen näher erläutert.

Bei dem auszuwuchtenden Werkstück handelt es sich insbesondere um einen Rotor einer elektrischen Maschine, beispielsweise einer Synchron- oder Asynchronmaschine, wobei der Rotor eingerichtet ist, sich um eine Rotationsachse zu drehen. Der Rotor kann ein Blechpaket und eine Welle aufweisen. Er kann Wuchtscheiben umfassen. Im Falle von Asynchronmaschinen kann der Rotor einen Kurzschlusskäfig umfassend Kurzschlussstäbe und Kurzschlussringe aufweisen. Die Kurzschlussstäbe können dabei axial über die Kurzschlussringe hinausragen.

Zum Auswuchten kann das Abtragen von Material vorzugsweise an einem oder mehreren der folgenden Bearbeitungspositionen erfolgen: der Umfangsoberfläche eines Blechpakets, eines Kurzschlussrings und/oder einer Wuchtscheibe sowie einer Stirnfläche einer Wuchtscheibe oder eines Kurzschlussrings. Soweit

Kurzschlussstäbe axial über die Kurzschlussringe hinausragen, kann die Bearbeitung an den axial hinausragenden Abschnitten der Kurzschlussstäbe stattfinden. Die Bearbeitung kann auch an anderen Elementen wie stirnseitigen Abschlusselementen eines Rotorblechpakets erfolgen. Beispielsweise kann die Bearbeitung an einer Fliehkraftkappe einer stromerregten Synchronmaschine erfolgen. Unter Fliehkraftkappe ist ein stirnseitiges Abschlusselement zu verstehen, welches über das Rotorblechpaket herausragende Rotorwicklungen einfasst, um die auf die Rotorwicklungen wirkenden Fliehkräfte aufzunehmen.

Das Auswuchten kann weiterhin auch auf der Welle des Rotors selbst erfolgen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform kann das Auswuchten ein Grobwuchten, bevorzugt achsnah zur Rotationsachse des Rotors, beispielsweise auf der Welle, und ein Feinwuchten, bevozugt achsfern, beispielsweise auf dem Blechpaket, erfolgen.

Weiterhin können an der Auswuchtvorrichtung und/oder dem Wuchtstück eines oder mehrere Abschirmelemente vorgesehen sein. Dadurch können beispielsweise schmutzempfindliche Teile des Rotors vor Schmutzeintrag wie Schleifstaub oder Schleifspänen geschützt werden und/oder nachträglicher Reinigungsaufwand reduziert werden.

In diesen zeigen

Fig. 1 eine Frontalansicht einer Vorrichtung zum Auswuchten eines Werkstücks nach einem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel mit einer achsparallel verfahrbaren Schleifeinrichtung mit Schleifscheibe;

Fig. 2 eine Detailansicht der Schleifeinrichtung gemäß Fig. 1 von der Seite;

Fig. 3 eine Frontalansicht einer Vorrichtung zum Auswuchten eines Werkstücks nach einem weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel mit einem Schleifband zur Bearbeitung der Lagersitze;

Fig. 4 eine Detailansicht der Schleifeinrichtung gemäß Fig. 3 von der Seite und

Fig. 5 einen erfindungsgemäß bearbeiteten Wuchtkörper der aus einer kreisrunden Ausgangsform ballig bzw. unrund geschliffen wurde;

Fig. 6 eine alternative Ausführungsform des Ausführungsbeispiels nach Figuren 1 und 2, bei welchem das Bearbeitungsmittel translativ zugestellt werden kann;

Fig. 7 einen Rotor, bei welchem das Auswuchten an Wuchtscheiben vorgenommen wird;

Fig. 8 einen Asynchron-Rotor, bei welchem das Auswuchten an Kurzschlussringen vorgenommen wird;

Fig. 9 einen Rotor, bei welchem das Auswuchten an der Umfangsoberfläche eines Blechpakets vorgenommen wird.

Fig. 1 zeigt ein Beispiel für eine Vorrichtung zum Auswuchten eines Werkstücks 10, insbesondere zum Auswuchten eines Rotors für einen Elektromotor. Im Rahmen der Erfindung wird die Vorrichtung auch per se, d.h. ohne das Werkstück 10 offenbart und beansprucht. Die Vorrichtung wird jedoch auch, wie in Fig. 1 dargestellt, zusammen mit dem auszuwuchtenden Werkstück 10 offenbart und beansprucht.

Die Vorrichtung umfasst eine Einspanneinrichtung 30 mit Lagermitteln 31 zur Lagerung der Wellensitze 32 des Werkstücks 10. Anstelle der Lagermittel 31 kann eine Zentrierspindel 33, wie in Fig. 3 gezeigt, verwendet werden, wenn die Lagersitze 32 bearbeitet werden sollen. Die Einspanneinrichtung 30 definiert eine Drehachse 11, um die das Werkstück 10 im eingespannten Zustand drehbar ist, wie in Fig. 1 gezeigt. Die Drehbewegung wird durch einen Drehantrieb 13 erzeugt, der in Fig. 2 beispielhaft gezeigt ist. Der Drehantrieb 13 kann als Rollenantrieb ausgeführt sein. Andere Drehantriebe 13 sind möglich.

Die Vorrichtung umfasst wenigstens einen Sensor, insbesondere mehrere Sensoren (nicht dargestellt), die zur Messung der Kräfte und/oder Momente und/oder Schwingungen ausgebildet sind, die aufgrund einer Unwucht des Werkstücks 10 bei Drehung wirken bzw. entstehen. Die Sensoren sind mit einer ebenfalls nicht dargestellten Datenverarbeitungseinrichtung verbunden. Die Datenverarbeitungseinrichtung ist dazu konfiguriert bzw. angepasst, die Sensorsignale zu Ansteuerung der Bearbeitungseinrichtung 20 zu verarbeiten und weiterzuleiten.

Die Bearbeitungseinrichtung 20 ist im Beispiel gemäß Fig. 1 als Schleifeinrichtung 22 mit einer Schleifscheibe 23 ausgebildet. Wie in Fig. 2 gezeigt, ist die Schleifscheibe 23 beweglich, im Beispiel der Fig. 2 kippbeweglich gelagert (siehe Doppelpfeil), sodass eine Zustellbewegung in radialer Richtung senkrecht zur Drehachse 11 möglich ist. Die Schleifscheibe 23 und das Werkstück 10 drehen gegensinnig. Eine andere Möglichkeit, die Relativbewegung zwischen dem Werkstück 10 und der Schleifscheibe 23 zu bewirken, ist in Figur 6 angedeutet. Hier wird die Schleifscheibe 23 linear in Richtung des Werkstücks 10 bewegt, um die zerspanende Abtragung zu steuern.

Die Bearbeitungseinrichtung 20, konkret die Schleifeinrichtung 22 ist auf der Basis der Signale des Sensors bzw. der Sensoren ansteuerbar. Die Ansteuerung kann durch die vorstehend genannte Datenverarbeitungseinrichtung erfolgen, die mit dem Sensor bzw. den Sensoren verbunden ist. Die Ansteuerung der Schleifeinrichtung 22, konkret die Zustellbewegung erfolgt auf der Basis der Signale des Sensors derart, dass das Material des Werkstücks 10 zur Verringerung der Unwucht abgetragen wird. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Messvorgang und dem Abtragen aufgrund der Signalverbindung zwischen den Sensoren und der Schleifscheibe 21. In dem Beispiel ist das Werkstück 10 mit zwei Wuchtkörper 12 in der Form von Scheiben ausgestattet, konkret auf der Welle des Werkstücks 10. Zur Verringerung der Unwucht wird im Beispiel Material von den Wuchtkörpern 12 des Werkstücks 10 abgetragen. Eine andere Anzahl von Wuchtkörpern 12 ist möglich. Die Schleifeinrichtung 22 ist parallel zur Drehachse 11 verfahrbar, sodass beide Wuchtkörper 12 durch ein und dieselbe Schleifeinrichtung 22 bearbeitet werden können.

Der Auswuchtprozess wird solange fortgesetzt bis eine gewünschte Wuchtgüte erreicht ist. Für hochdrehende Rotoren kann dies z.B. eine Wuchtgüte G von 2,5 oder besser sein (vgl. den internationalen Standard nach ISO 1940-1).

Ein möglicher Prozessablauf gestaltet sich für das Beispiel wie folgt: Das Werkstück 10 wird eingespannt und auf eine erste Zieldrehzahl gedreht. Nun beginnt das Auswuchtverfahren. Mittels geeigneter Mittel wird eine Unwucht ermittelt und an eine Steuereinrichtung (nicht abgebildet) übermittelt (Schritt 1). Das Werkstück wird auf eine für das Schleifverfahren passende zweite Zieldrehzahl beschleunigt und gemäß der Steuervorgaben der Steuereinrichtung mittels der Schleifeinrichtung bearbeitet (Schritt 2). Anschließend wird das Werkstück wieder auf die erste Zieldrehzahl gefahren und erneut die Unwucht gemessen (Schritt 1). Entspricht die ermittelte Wuchtgüte noch nicht der gewünschten Wuchtgüte, so werden Schritte 2 und 1 solange wiederholt bis die gewünschte Wuchtgüte erreicht ist. Wird diese erreicht, ist das Auswuchtverfahren beendet; das Werkstück wird sodann bis zum Stillstand abgebremst und ausgespannt. Kennzeichnend für dieses erfindungsgemäße Verfahrensbeispiel ist, dass das Werkstück während des gesamten Auswuchtprozesses nicht bis zum Stillstand abgebremst wird, sondern sich kontinuierlich dreht. Die Drehzahl kann dabei variieren, insbesondere zwischen dem Messvorgang und dem materialabtragenden Vorgang. Gleichwohl erreicht das Werkstück während des eigentlichen Verfahrens niemals die Geschwindigkeit null.

Weiterhin kann die Bearbeitungsvorrichtung 20 so eingerichtet sein, dass damit auch eine weitere Oberflächenbearbeitung des Außenumfangs des Werkstücks, z.B. der Oberfläche eines Blechpaktes, erfolgen kann.

Soweit das Werkstück 10 ausreichend funktionsloses Totmaterial bereit hält, welches zur Verringerung der Unwucht abgetragen werden kann, können Wuchtscheiben 12 des Werkstücks 10 entfallen.

Als funktionsloses Totmaterial kommen beispielsweise auch ein Kurzschlussring oder ein Blechpaket eines Rotors in Frage.

Die Vorrichtung gemäß Figuren 3, 4 basiert auf demselben Prinzip, wie die Vorrichtung gemäß Figuren 1, 2.

Anstelle der Schleifscheibe 23 ist das Bearbeitungsmittel 21 jedoch als Schleifband 24 ausgebildet. Das Schleifband 24 bzw. die Schleifeinrichtung 22 ist, wie in Fig. 1 dargestellt, parallel zur Drehachse 11 verfahrbar angeordnet. Alternativ können mehrere Schleifeinrichtungen 22 (jeweils mit Schleifband 24 oder Schleifscheibe 21) vorgesehen sein, sodass die Wuchtkörper 12 gleichzeitig bearbeitet werden können. Ein weiterer Unterschied zur Vorrichtung gemäß Fig. 1 besteht darin, dass die Einspanneinrichtung 30 eine Zentrierspindel 33 aufweist, sodass sodass die Lagersitze 32 des Werkstücks 10 bearbeitet werden können. Die Schleifeinrichtung 22 hat somit eine Mehrfachfunktion. Die Schleifenrichtung 22 ermöglicht, wie im Zusammenhang mit Fig. 1 beschrieben, die Verringerung der Unwucht durch Materialabtrag. Weiterhin können zusätzlich die Lagersitze 32 bearbeitet werden, wodurch insgesamt die Effizienz der Vorrichtung verbessert wird.

Die Zustellbewegung des Bearbeitungsmittels 21 erfolgt nicht durch eine Bewegung der Schleifeinrichtung 22, sondern durch eine Kippbewegung der Einspanneinrichtung 30 (siehe Doppelpfeil gemäß Fig. 4). Dadurch wird eine Verringerung des Abstands zwischen der Drehachse 11 und dem Schleifband 24 erreicht.

Hinsichtlich der übrigen Merkmale der Vorrichtung wird auf die Ausführungen im Zusammenhang mit den Figuren 1, 2 verwiesen.

Die Vorrichtungen gemäß den Figuren 1 bis 4 funktionieren z.B. wie folgt (Verfahren):

Das Werkstück 10 wird in die Einspanneinrichtung 30 eingespannt und um die Drehachse 11 gedreht. Dazu ist der Drehantrieb 13 vorgesehen. Ein oder mehrere Sensoren messen die Kräfte und/oder Momente und/oder Schwingungen, die bei der Drehung aufgrund der Unwucht des Werkstücks 10 entstehen. Zur Verringerung der Unwucht wird während des Meßvorgangs das Material des Werkstücks 10 (direkt oder über den Wuchtkörper bzw. die Wuchtkörper 12)

abgetragen. Der Abtrag erfolgt durch Schleifen. Andere materialabtragende Verfahren sind möglich.

Alternativ zur zeitgleichen Messung und Korrektur ist es möglich, dass das Messen und Materialabtrag zeitlich getrennt erfolgen. In diesem Fall wird das Werkstück 10 zwischen diesen beiden Vorgängen kontinuierlich weitergedreht.

Fig. 7 stellt schematisch einen Rotor 50 dar. Der Rotor weist eine Welle 40, ein Blechpaket 41 sowie zwei Wuchtscheiben 43 auf. Die Wuchtscheibe ist magnetisch inaktiv und besteht gewöhnlich aus Eisen. Der magnetisch aktive Teil des Rotors (Rotorblechpaket, Magnete oder Wicklung) ist während des Auswuchtvorgangs durch eine Abschirmelement 45 von der Wuchtscheibe 43 getrennt. Zum Auswuchten wird Material an zumindest einer der Wuchtscheiben 43 nach einem der vorbezeichneten Verfahren abgetragen. Dabei kann über die Umfangsfläche (A2) die Wuchtscheibe unrund geschliffen werden. Alternativ ist es möglich, die Wuchtscheibe an der Stirnseite (A1) durch axiales Zustellen eines Bearbeitungsmittels zu bearbeiten.

Fig. 8 stellt entsprechend Fig. 7 schematisch einen Rotor 51 dar. Im Gegensatz zu Fig. 7 weist der Rotor einen Kurzschlusskäfig mit Kurzschlussstäben 44 und Kurzschlussringen 42 auf. Ein Kurzschlussring ist das stirnseitige, elektrische Verbindungselement eines Kurzschlusskäfigs in einer Asynchron-Maschine. Der Kurzschlusskäfig kann gegossen oder zusammengebaut (aus Kurzschlussstäben und Kurzschlussringen) sein. Die Kurzschlussstäbe 44 schließen bündig mit den Kurzschlussringen 42 ab. Sie weisen axial nicht über die Kurzschlussringe hinaus. Zum Schutz des Blechpakets vor Schleifstaub oder ähnlichem ist ein Abschirmelement 45 angebracht. Der Rotor weist keine Wuchtscheiben auf. Zum Auswuchten wird Material an zumindest einer der Kurzschlussringe 42 nach einem der vorbezeichneten Verfahren abgetragen. Dabei kann der Kurzschlussring 42 über die Umfangsfläche (B2) unrund geschliffen werden. Alternativ ist es möglich, den Kurzschlussring 42 an der Stirnseite (B1) durch axiales Zustellen eines Bearbeitungsmittels zu bearbeiten.

Fig. 9 stellt entsprechend Fig. 7 schematisch einen Rotor 50 dar. Im Gegensatz zu Fig. 7 wird der Rotor zum Auswuchten an der Umfangsoberfläche (C) des Blechpakets bearbeitet. Das Blechpaket als solches wird dabei unrund geschliffen.

Dies kann besonders vorteilhaft für Asynchron-Maschinen mit gegossenen Kurzschlusskäfigen eingesetzt werden, da das Blechpaket bei gegossenen Kurzschlusskäfigen aufgrund von zwischen Blechlamellen des Blechpakets herausquellenden Gussresten ohnehin nachbearbeitet werden muss. Auch hier kann auf eine separate Wuchtscheibe verzichtet werden.

Bezugszeichenliste

A1, A2, B1, B2, C Bearbeitungspositionen zum Wuchten
10 Werkstück
11 Drehachse
12 Wuchtkörper
13 Drehantrieb
20 Bearbeitungseinrichtung
21 Bearbeitungsmittel
22 Schleifeinrichtung
23 Schleifscheibe
24 Schleifband
30 Einspanneinrichtung
31 Lagermittel
32 Wellensitz
33 Zentrierspindel
40 Rotorwelle
41 Rotorblechpaket
42 Kurzschlussringe (einer Asynchronmaschine)
43 Wuchtscheibe/Wuchtkörper
44 Kurzschlussstäbe
45 Abschirmelement
50 Rotor (einer elektrischen Maschine)
51 Rotor (einer Asynchron-Maschine)

Ansprüche

1. Verfahren zum Auswuchten eines Werkstückes (10), bei dem
   - das Werkstück (10) um eine Drehachse (11) gedreht wird,
   - die Kräfte und/oder Momente und/oder Schwingungen gemessen werden, die auf Grund einer Unwucht des Werkstücks (10) beim Drehen des Werkstücks entstehen, und
   - Material des Werkstücks (10) zur Verringerung der Unwucht abgetragen wird

   d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
   das Material während des Messens vom drehenden Werkstück (10) abgetragen wird oder das Werkstück (10) zwischen dem Messen und Abtragen kontinuierlich gedreht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1
   d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
   das Material des Werkstücks (10) zur Verringerung der Unwucht mit definierter oder undefinierter Schneide abgetragen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2
   d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
   das Material des Werkstücks (10) zur Verringerung der Unwucht in einer Richtung radial und/oder parallel und/oder schräg zur Drehachse (11) abgetragen wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche
   d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
   beim Abtragen durch eine Relativbewegung zwischen dem Werkstück (10) und einem Bearbeitungsmittel (21) zugestellt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4
   d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
   die Relativbewegung durch eine Bewegung des Werkstücks (10) und/oder durch eine Bewegung des Bearbeitungsmittels (21) erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
beim Abtragen von Material des Werkstücks (10) zur Verringerung der Unwucht zyklisch zugestellt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
das Werkstück (10) wenigstens einen Wuchtkörper (12) aufweist, dessen Material zur Verringerung der Unwucht abgetragen wird, wobei eine unrunde Außenkontur des Wuchtkörpers (12) erzeugt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
das Werkstück (10) mehrere gesonderte Wuchtkörper (12) aufweist, deren Material zur Verringerung der Unwucht gleichzeitig abgetragen werden.

9. Vorrichtung zum Auswuchten eines Werkstückes (10) mit
   - einer Einspanneinrichtung (30) für das Werkstück (10) und einem Drehantrieb (13) zur Drehung des Werkstücks (10) um eine Drehachse (11),
   - wenigstens einem Sensor zur Messung von Kräften und/oder Momenten und/oder Schwingungen auf Grund einer Unwucht des Werkstücks (10) bei der Drehung des Werkstücks (10) und
   - wenigstens einer Bearbeitungseinrichtung (20) zum Abtrag von Material des Werkstücks (10) durch die Drehung des Werkstücks (10)

   d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
   die Bearbeitungseinrichtung (20) auf der Basis der Signale des Sensors derart ansteuerbar ist, dass das Material zur Verringerung der Unwucht bei der Drehung des Werkstücks (10) abtragbar ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Bearbeitungseinrichtung (20) ein Bearbeitungsmittel (21) aufweist, das zum Abtragen des Materials mit dem Werkstück (10) zusammenwirkt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Bearbeitungseinrichtung (20) eine Schleifeinrichtung (22) mit einer Schleifscheibe (23) oder einem Schleifband (24) als Bearbeitungsmittel (21) umfasst.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
das Bearbeitungsmittel (21) stationär oder bewegbar ausgebildet ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Bearbeitungseinrichtung (20) parallel zur Drehachse (11) verfahrbar ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
mehrere Bearbeitungseinrichtungen (20) entlang der Drehachse (11) mit Abstand angeordnet sind.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Einspanneinrichtung (30) Lagermittel (31) zur Aufnahme von Wellensitzen (32) des Werkstücks oder eine Zentrierspindel (33) zur stirnseitigen Befestigung des Werkstücks aufweist.

16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Einspanneinrichtung (30) zur Bearbeitung weiterer Funktionsoberflächen eingerichtet ist.

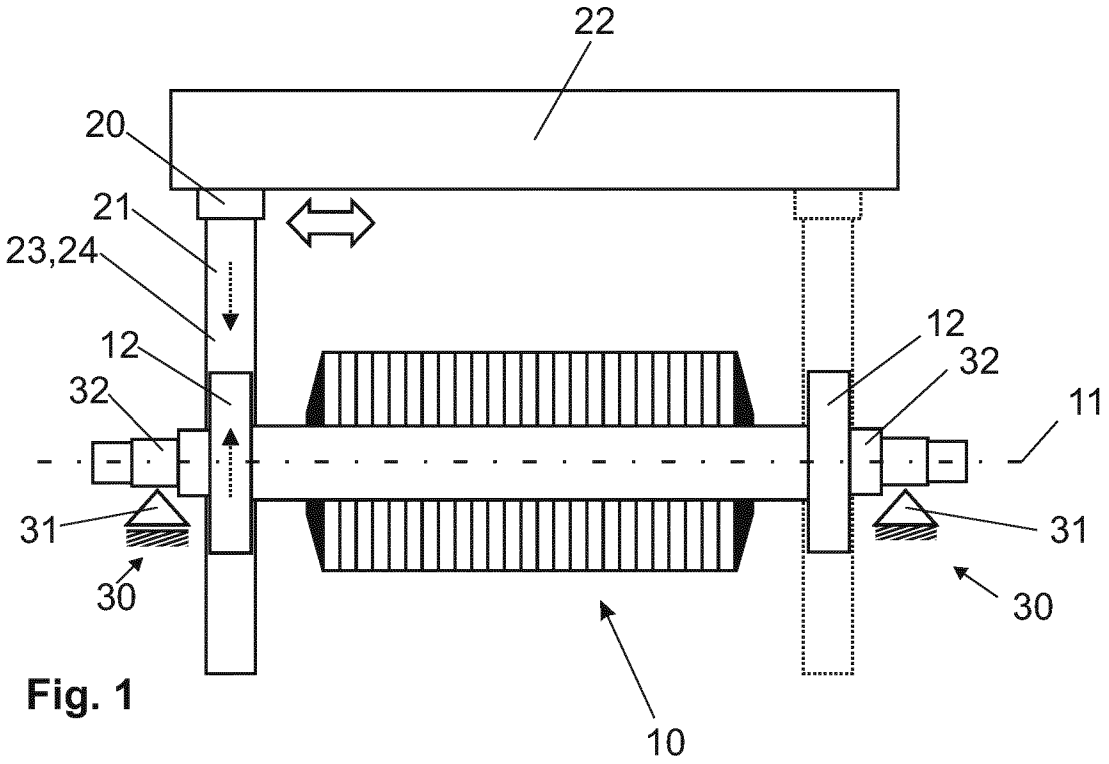

22
20
21
23,24
12
32
12
32
11
31
31
30
30
10

Fig. 1

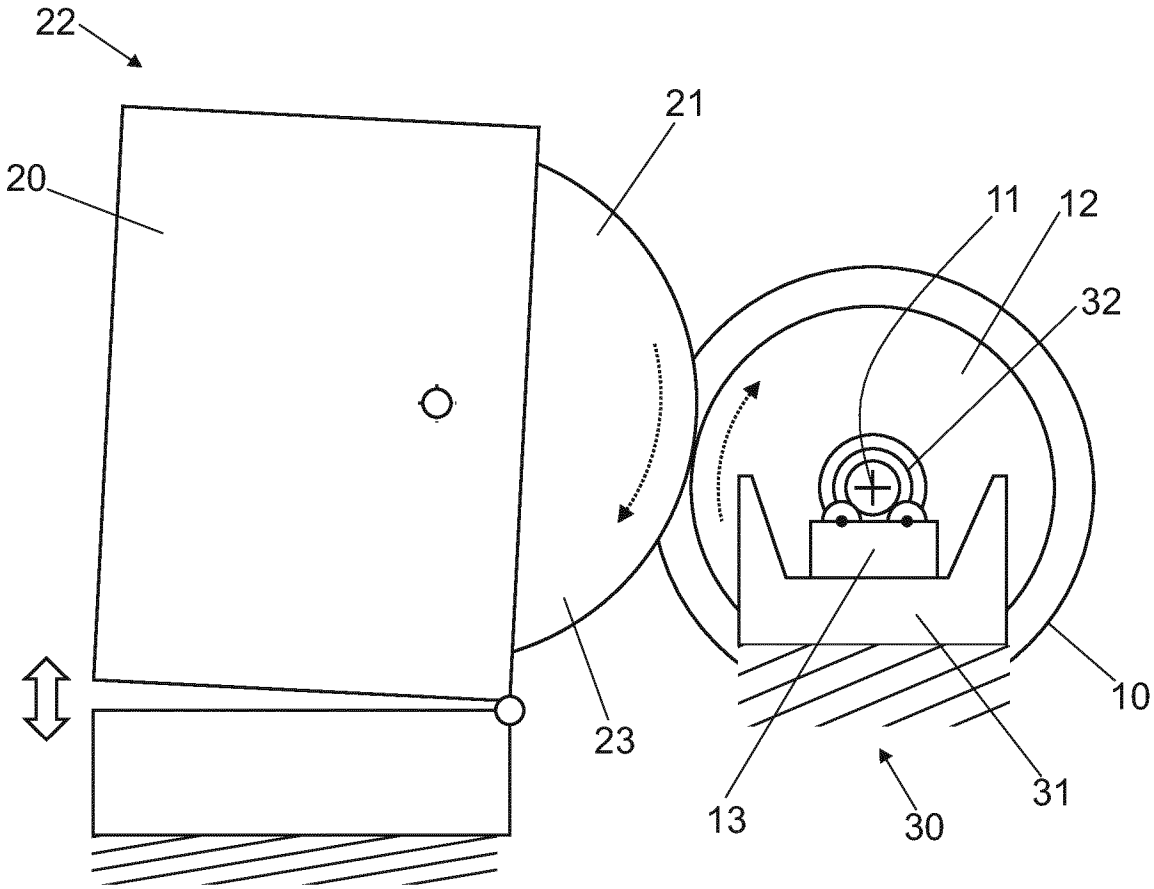

22
21
20
11
12
32
10
23
13
30
31

Fig. 2

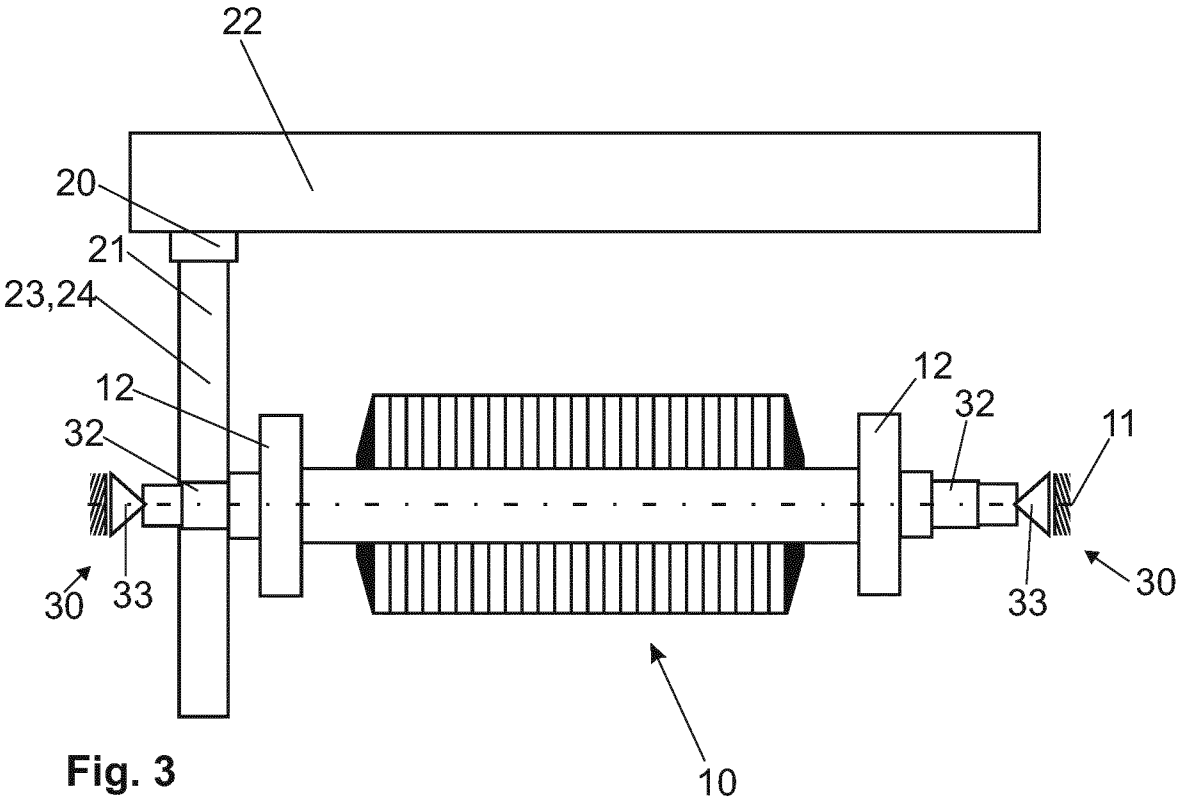

22
20
21
23,24
12
32
30
33
12
32
11
33
30
10

Fig. 3

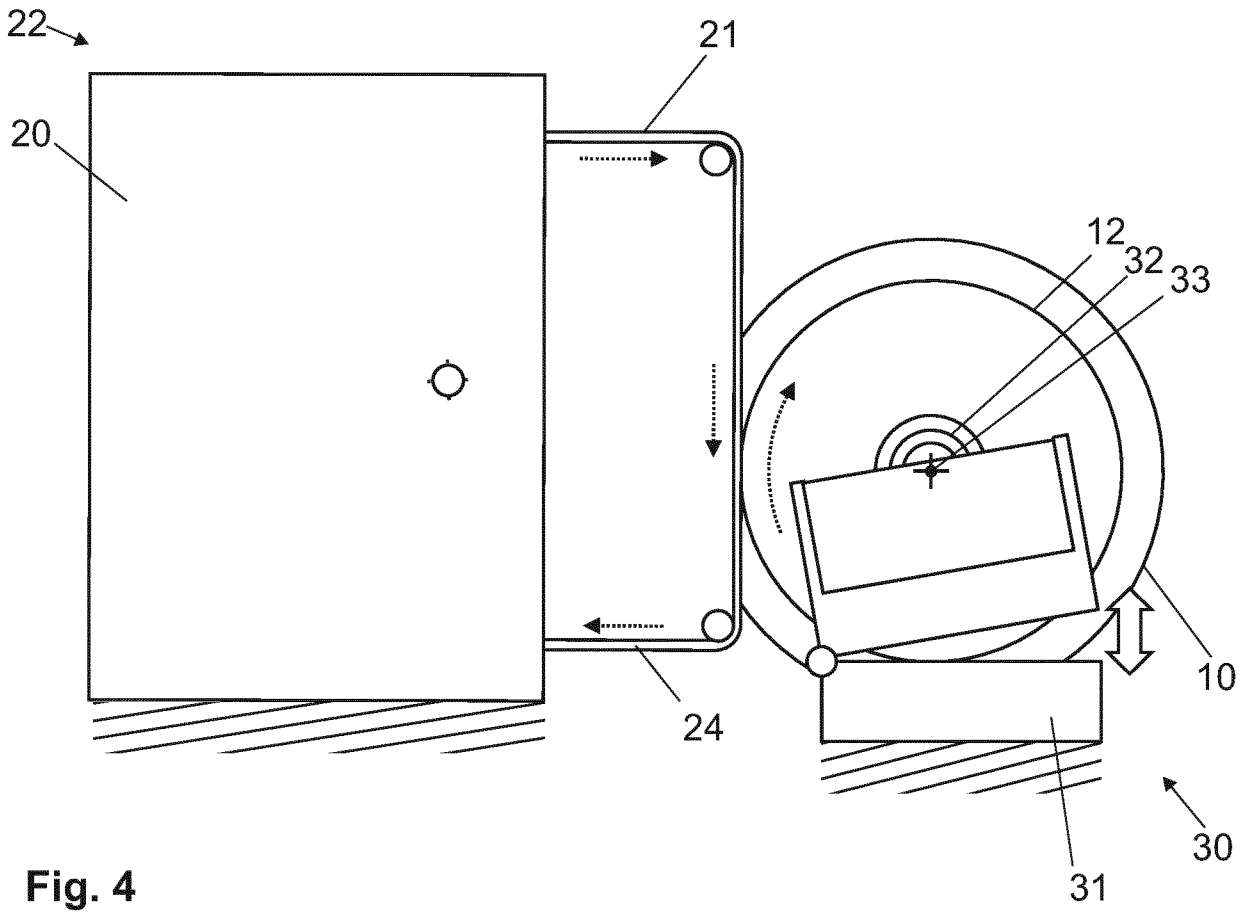

22
21
20
12
32
33
10
24
31
30

Fig. 4

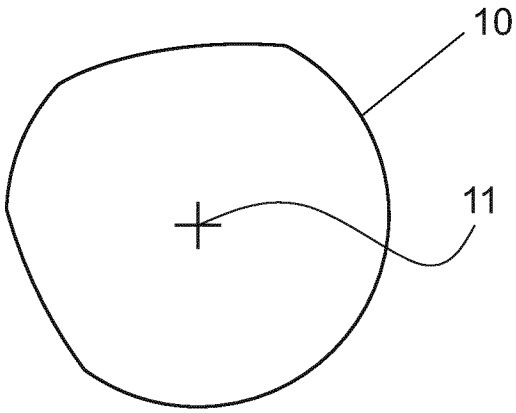


Fig. 5

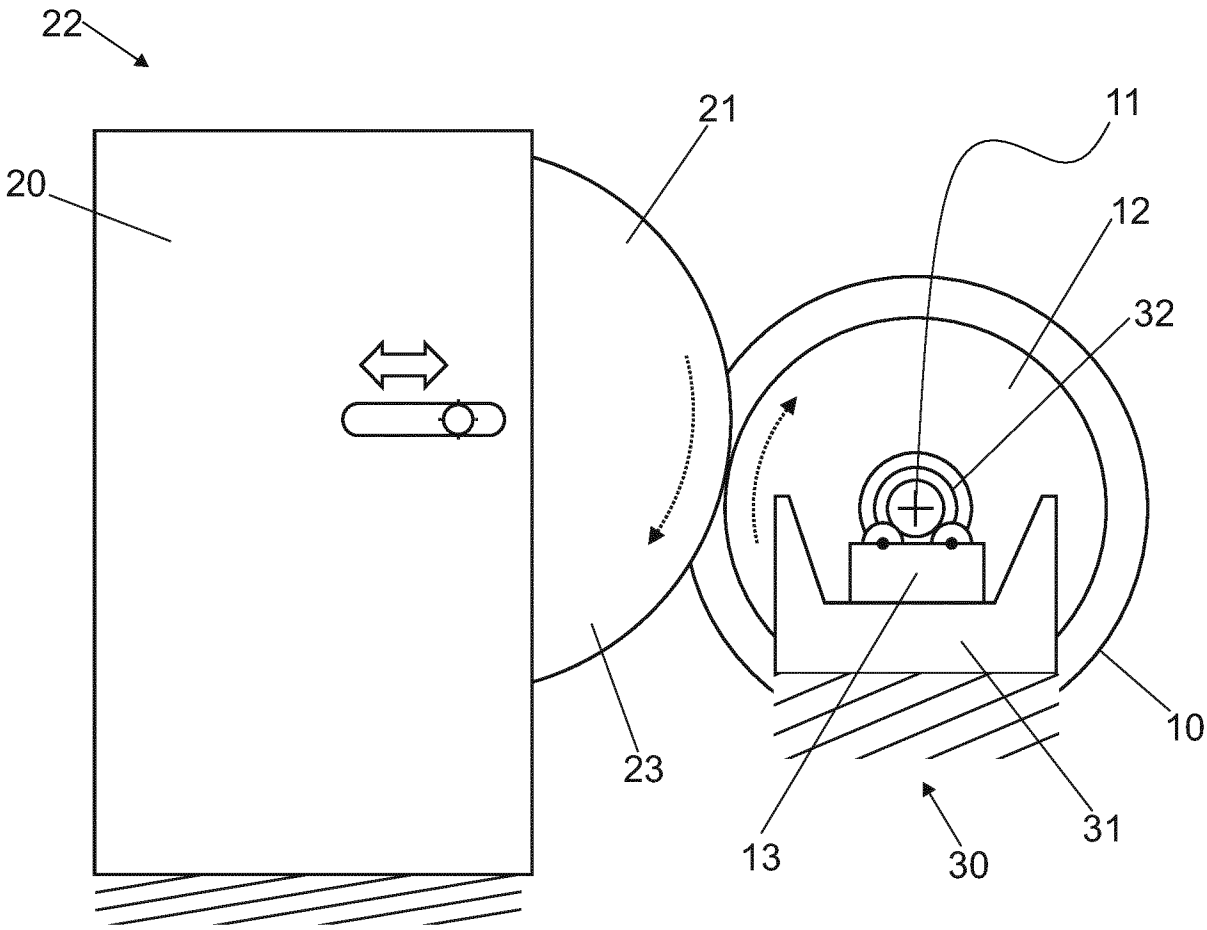


Fig. 6

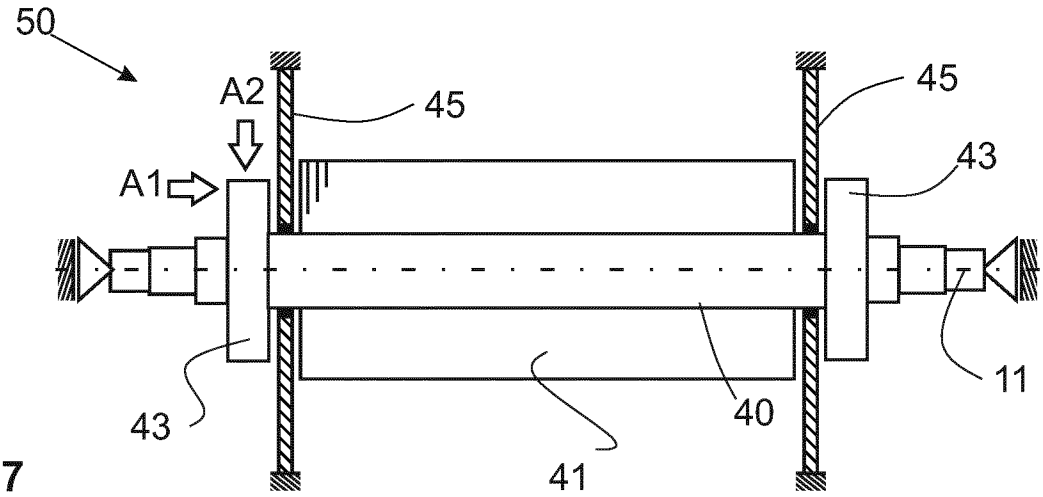


Fig. 7

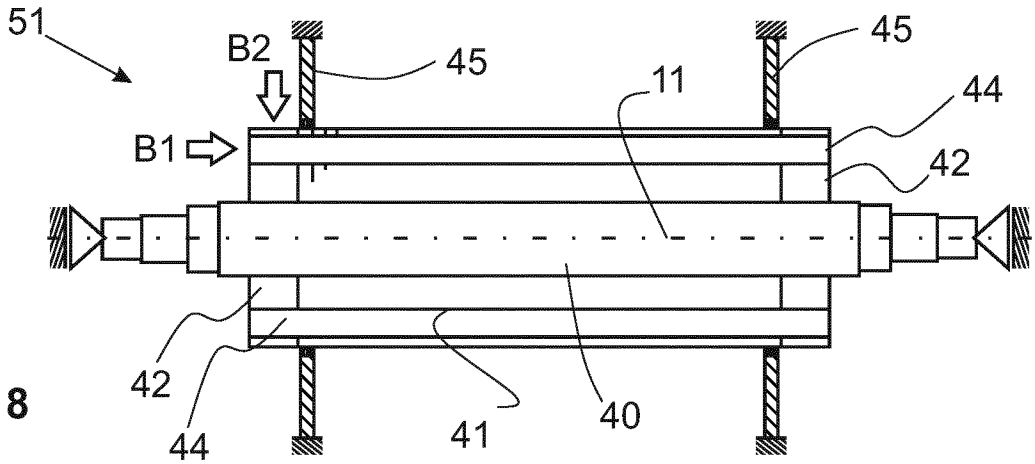


Fig. 8

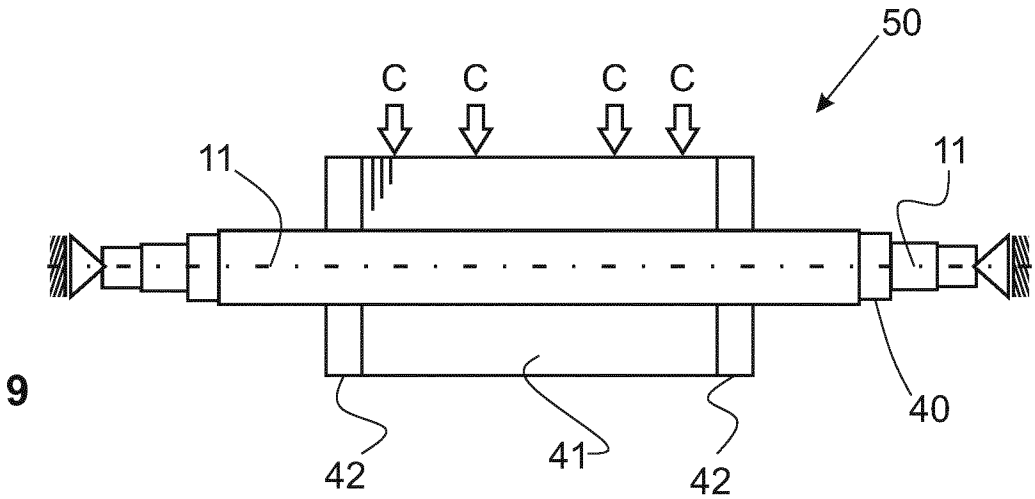


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2018/080180

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M 3/16(2006.01)i; ***G01M 3/34***(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102012216867 A1 (SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG [DE]) 25 April 2013 (2013-04-25) abstract paragraphs [0003], [0016], [0037] figure 7	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
04 February 2019	**18 February 2019**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Grewe, Clemens F.** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2018/080180

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE 102012216867 A1	25 April 2013	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2018/080180

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01M3/16 G01M3/34
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01M

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2012 216867 A1 (SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG [DE]) 25. April 2013 (2013-04-25) Zusammenfassung Absätze [0003], [0016], [0037] Abbildung 7 -----	1-16

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
4. Februar 2019	18/02/2019

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	Grewe, Clemens F.

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2018/080180

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102012216867 A1	25-04-2013	KEINE	