

(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
20. September 2001 (20.09.2001)

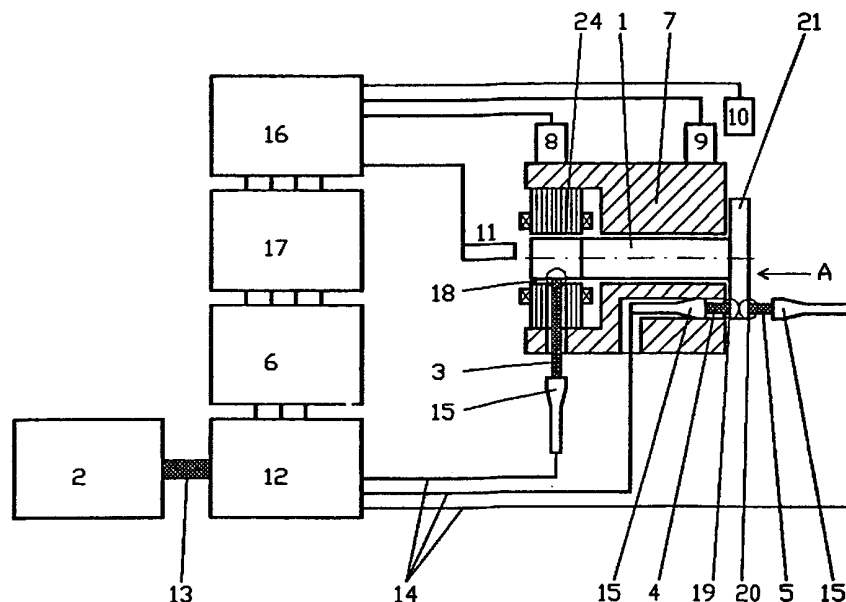
PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/69095 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F16C** (74) Anwalt: **LÖSCH, Christoph**; Äussere Bayreuther Strasse
230, 90411 Nürnberg (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/00973 (81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, US.
- (22) Internationales Anmeldedatum:
14. März 2001 (14.03.2001) (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch **Veröffentlicht:**
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts
- (30) Angaben zur Priorität:
100 13 035.6 17. März 2000 (17.03.2000) DE
- (71) Anmelder und
(72) Erfinder: **WANGER, Gerhard** [DE/DE]; Grosslellenfeld
364, 91722 Arberg (DE).
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR BALANCING A SHAFT WHILE SAID SHAFT ROTATES

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG SOWIE VERFAHREN ZUM AUSWUCHTEN EINER WELLE WÄHREND DER ROTA-
TION DER WELLE



(57) Abstract: The invention relates to a device for balancing a shaft (1) by removing material while said shaft (1) rotates. The inventive device comprises a laser source (2) for impinging upon the shaft (1) with a laser beam (3, 4, 5) and a control and regulating device (6) for activating the laser source (2) for emitting the laser beam (3, 4, 5) for removing material on the shaft (1). The invention also relates to a method for balancing a shaft by removing material while said shaft rotates. The position of at least one balancing point on the shaft is detected and a laser source is correspondingly activated for impinging upon the rotating shaft for removing material on the detected balancing point.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/69095 A2



(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Auswuchten einer Welle (1) durch Materialabtrag während der Rotation der Welle (1) mit einer Laserquelle (2) zur Beaufschlagung der Welle (1) mit einem Laserstrahl (3, 4, 5) sowie einer Steuer- und Regelvorrichtung (6) zur Aktivierung der Laserquelle (2) zur Aussendung des Laserstrahls (3, 4, 5) zum Materialabtrag an der Welle (1). Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Auswuchten einer Welle durch Materialabtrag während der Rotation der Welle, wobei die Lage mindestens einer Auswuchtstelle an der Welle festgestellt wird und eine entsprechende Aktivierung einer Laserquelle zur Beaufschlagung der rotierenden Welle zum Materialabtrag an der ermittelten Auswuchtstelle erfolgt.

- 1 -

Vorrichtung sowie Verfahren zum Auswuchten einer Welle
während der Rotation der Welle

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Auswuchten einer Welle durch Materialabtrag während der Rotation der Welle sowie ein zugehöriges Verfahren zum Auswuchten einer Welle.

Es ist bekannt, daß bei der Herstellung von schnelldrehenden Wellen oder Rotoren Fertigungsungenauigkeiten auftreten, wodurch sich eine unsymmetrische Massenverteilung zur Drehachse ergibt und oft erhebliche Unwuchtkräfte auf die Lagerung bei höheren Drehzahlen auftreten. Diese Unwuchtkräfte können zur Beschädigung der Lagerung führen oder die Funktionsfähigkeit der gesamten Maschine beeinträchtigen.

Zur Feststellung der Unwuchtposition am Wellenumfang müssen zunächst geeignete und an sich bekannte Meßgeräte verwendet werden. Daraufhin kann nach einer ersten Methode zum Auswuchten durch Anbringung von Gewichten (z.B. von Schrauben, Auftragsschweißung usw.) am Ort gegenüber der festgestellten Unwuchtposition ein Ausgleich der Unwuchtmasse erreicht werden. Nach einer zweiten Methode zum Auswuchten wird die Unwuchtmasse direkt an der Unwuchtposition durch Materialabtrag (z.B. durch Feilen, Fräsen, Bohren etc.) entfernt. Gemäß einer dritten Methode zum Auswuchten werden Gewichte an der Welle angebracht, welche ihren Abstand zur Drehachse der Welle verändern und damit einen Ausgleich der Unwuchtkräfte ermöglichen können. Diese

- 3 -

Methode wird vor allem in automatischen Auswuchtvorrichtungen verwendet und kann nur bei niedrigen Drehzahlen eingesetzt werden.

Bei der genannten ersten und zweiten Methode zum Auswuchten schnell-drehender Wellen muß die Welle zum Ausgleich oder Entfernen der Unwucht angehalten und nach erfolgtem Auswuchten wieder auf die Betriebsdrehzahl zur Beurteilung des Auswuchtserfolgs hochgefahren werden. Da in der Zeit des Anhaltens der Welle eine Abkühlung eintritt, muß oftmals, insbesondere bei einer angestrebten hohen Wuchtgüte, nach dem erneuten Hochfahren auf Betriebsdrehzahl abgewartet werden, bis die Betriebs- bzw. Beharrungstemperatur wieder erreicht ist.

Dieser Vorgang des Anhaltens und erneutem Hochfahrens der Welle muß bei einem kompletten Auswuchtvorgang abhängig von der geforderten Wuchtgüte im allgemeinen mehrmals wiederholt werden, wodurch ein erheblicher Aufwand an Zeit und Fertigungskosten entstehen.

Der Erfindung liegt nunmehr die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Auswuchten anzubieten, bei der ein Materialabtrag zum Auswuchten der Welle während der Rotation der Welle ermöglicht wird. Ferner soll ein Verfahren zum Betrieb einer derartigen Vorrichtung angeboten werden.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Vorrichtung werden in den Patentansprüchen 2 – 12 beschrieben. Für das Verfahren wird die Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruchs 13 gelöst. Vorteilhafte Verfahrensvarianten werden in den Patentansprüchen 14 – 26 beschrieben.

- 4 -

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Auswuchten einer Welle durch Materialabtrag während der Rotation der Welle umfaßt eine Laserquelle zur Beaufschlagung der Welle mit einem Laserstrahl sowie eine Steuer- und/oder Regelvorrichtung zur Aktivierung der Laserquelle zur zeitweisen Aussendung des Laserstrahls zum Materialabtrag an einer ermittelten Unwuchtposition (Auswuchtstelle) an der Welle. Dabei besitzt die Laserquelle eine ausreichende Ausgangsleistung, um in der kurzen Periodendauer einer Wellenumdrehung einen Materialabtrag an der jeweiligen Auswuchtstelle zu bewirken.

Um eine ausreichende Ausgangsleistung zu erzielen, werden zur Materialbearbeitung insbesondere gepulste Laser eingesetzt (Kneubühl, F.K.-Sigrist, M.W., Laser, 1999, Teubner, Stuttgart, S. 187 ff).

Dabei arbeitet ein gepulster Laser nicht im kontinuierlichen Pulsbetrieb, da hierdurch eine gleichmäßig verteilte Umfangsnut an der Wellenoberfläche erzeugt werden würde, und nicht wie gewünscht lokal an einer Auswuchtstelle ein Materialabtrag innerhalb eines Auswuchtwinkels erfolgen würde. Deshalb erfolgt eine Modulation des Laserstrahls zur Erzeugung eines Auswuchtimpulses innerhalb einer Auswuchtimpulsdauer. Diese Auswuchtimpulsdauer ist kürzer als die Periodendauer einer Wellenumdrehung, wobei sich der während der Auswuchtimpulsdauer ausgesendete Auswuchtimpuls des Laserstrahls aus einer Aneinanderreihung einer Vielzahl einzelner Laserpulse zusammensetzt.

In einer vorteilhaften Ausführungsform ist an der erfindungsgemäßen Vorrichtung mindestens ein Sensor zur Feststellung von Unwuchtdaten der rotierenden Welle (z.B. ein Abstandssensor zur Feststellung einer Taumelbewegung) vorgesehen. Ergänzend kann mindestens ein Be-

- 5 -

schleunigungsaufnehmer zur Feststellung weiterer Schwingungsfrequenzen der Welle in bestimmten Ebenen vorgesehen sein.

Ferner kann die erfindungsgemäße Vorrichtung einen Hallsensor zur Feststellung der Drehfrequenz der Welle besitzen. Durch Zusammenführung sämtlicher Sensordaten können auf an sich bekannte Weise eine oder mehrere Unwuchtpositionen (Auswuchtstellen) an der Welle ermittelt werden.

Erfindungsgemäß kann der Laserpuls der Laserquelle durch eine Modulationsvorrichtung entsprechend moduliert werden, um z.B. die Phasenlage und die Auswuchtimpulsdauer des Laserstrahls verändern zu können.

Die von der Laserquelle ausgesendeten Laserpulse bzw. Laserstrahlen werden über Wellenleiter und an sich bekannte optische Vorrichtungen (Auskoppeloptiken) an der ermittelten Auswuchtstelle fokussiert.

Vorteilhafterweise werden die Daten des Sensors zur Ermittlung von Unwuchtdaten der Welle, des Beschleunigungsaufnehmers und/oder des Hallsensors über einen Meßverstärker aufbereitet und/oder eine Auswertvorrichtung zur Verarbeitung von Meßgrößen mit der Steuer- und/oder Regelvorrichtung verbunden.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform ist eine Laserquelle zur Aussendung erster Laserstrahlen zum Materialabtrag an der Welle sowie zur Aussendung mindestens eines zweiten Laserstrahls zur Reflektion als Prüfstrahl an mindestens einem an der Welle angebrachten Spiegelement ausgebildet. Eine derartige Vorrichtung eignet sich besonders für optische Spindeln mit mindestens einem Spiegelement z.B. zur Laserpro-

- 6 -

jektion an einem Wellenende, wie sie z.B. aus dem GMN-Prospekt 2509 04400 „GMN Opto-Spindles“ bekannt sind. Die in derartigen optischen Spindeln aufgenommenen Wellen besitzen mindestens ein Spiegelement z.B. ein Pentaprisma oder mehrere in den Umfangsbereichen eines Wellenabsatzes angebrachte Spiegelemente zur Reflektion eines Laserstrahls z.B. zur Bildprojektion.

Beim Einbau einer derartigen Welle in eine optische Spindel gemäß dem angegebenen GMN-Prospekt werden optimale Projektionseigenschaften des (der) Spiegelements(e) angestrebt.

Dabei wird durch mindestens einen ersten Laserstrahl ein Materialabtrag an der Welle zur Verbesserung der Wuchtgüte der Welle ausgesendet und während der Wellenrotation und während des Materialabtrags gleichzeitig durch einen zweiten Laserstrahl ermittelt, ob auch die angestrebten optimalen Projektionseigenschaften erreicht werden. Über die Auswertung des reflektierten Prüfstrahls kann mittelbar die Wuchtgüte und unmittelbar die Projektionsgüte der Welle mit angebrachtem Spiegelement erfaßt werden.

Falls durch den Materialabtrag aufgrund des ersten Laserstrahls eine Verschlechterung der Projektionsgüte bei der Auswertung des Prüfstrahls festgestellt wird, kann dies durch entsprechende Steuerung oder Regelung des ersten Laserstrahls durch einen zusätzlichen ergänzenden Materialabtrag wieder kompensiert werden.

Der zweite Laserstrahl kann ein abgeschwächter Laserstrahl der ersten Laserquelle sein oder von einer separaten zweiten Laserquelle (z.B. einer Laserdiode) stammen.

- 7 -

Über ein Erfassungselement zur Auswertung des reflektierten Prüfstrahls kann mittelbar – isoliert oder in Zusammenhang mit anderen beschriebenen Sensoren – die Wuchtgüte und ferner die Projektionsgüte der Welle mit Spiegelement in einem Arbeitsgang ermittelt werden. Damit können sämtliche für die Welle einer optischen Spindel wesentlichen Eigenschaften (wie mechanische Güte, z.B. Wuchtgüte und optische Güte, z.B. Projektionsgüte) in einem Arbeitsgang festgestellt werden. Eine derartige Vorrichtung dient somit nicht nur zur Wuchtung der Welle mit Spiegelement, sondern auch zur Optimierung der Projektionsgüte einer derartigen Welle. Das erfindungsgemäße Verfahren hierzu wird auch in Zusammenhang mit den Zeichnungsfiguren beschrieben.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren zum Auswuchten einer Welle durch Materialabtrag während der Rotation der Welle wird zunächst die Lage mindestens einer Auswuchtstelle an der Welle festgestellt (1. Schritt), um daraufhin durch eine entsprechende zeitliche Aktivierung der Laserquelle einen gewünschten Materialabtrag während der Rotation der Welle zu erreichen (2. Schritt).

Diese beiden Schritte können mehrmals nacheinander durchlaufen werden und nach Art eines Regelkreises miteinander verknüpft sein.

Dabei wird eine gepulste Laserquelle mit zusätzlich moduliertem Laserstrahl verwendet. Durch entsprechende Auswahl und/oder Veränderung z.B. von Auswuchtimpulsdauer und Phasenlage (Phasenwinkel) des Auswuchtimpulses des Laserstrahls innerhalb der Auswuchtperiodendauer des Laserstrahls kann während der Rotation der Welle an der festgestellten Auswuchtstelle der gewünschte Materialabtrag zur Verminderung und schließlich Beseitigung der Unwucht der Welle herbeigeführt werden. Dabei kann die sich vermindern Unwucht der Welle fortlaufend während

- 8 -

der Rotation der Welle durch die vorhandene Sensorik festgestellt werden und kann durch entsprechende Ansteuerung der Laserquelle über die Steuer- und/oder Regelvorrichtung eine adaptive Anpassung des von der Laserquelle ausgesendeten Laserpulses bzw. des Laserstrahls bis zur schließlich völligen Beseitigung der festgestellten Unwucht innerhalb eines geschlossenen Regelkreises durchgeführt werden.

Weitere Einzelheiten des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der Vorrichtung gehen aus den Ausführungsbeispielen in den Zeichnungsfiguren hervor. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Auswuchten einer Welle mit einer Laserquelle,
- Fig. 2 eine Ansicht A der Welle nach Fig. 1,
- Fig. 3 eine erste Darstellung des Auswuchtimpulses des Laserstrahls,
- Fig. 4 eine weitere Darstellung des Auswuchtimpulses des Laserstrahls,
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Auswuchten einer Welle mit zwei Laserstrahlen sowie
- Fig. 6 eine Ansicht B der Welle nach Fig. 5.

Fig. 1 zeigt eine schnelldrehende Welle 1, mit einer Drehfrequenz f_w zwischen etwa 0,5 – 3 kHz. Am Ende der Welle 1 ist ein Wellenabsatz 21 angebracht. Am Wellenabsatz 21 kann z.B. umfangsseitig ein Polygonspiegel angebracht sein, um bei einem späteren Einbau der Welle 1 in eine Laserprojektionsanlage Laserstrahlen zur Projektion auf eine Bildfläche auszusenden. Die Welle 1 ist in einer Lagerung 7 aufgenommen und wird von einem Motor 24 (Synchronmotor) angetrieben. Über einen Hallsensor 11, welcher in der Nähe des Motors 24 angebracht ist, wird die Drehfrequenz f_w der Welle 1 gemessen. An der Lagerung 7 sind Beschleunigungsaufnehmer 8, 9 angebracht, welche die jeweiligen aufgrund der Unwucht der Welle 1 auftretenden Schwingungsfrequenzen in zwei Ebenen ermitteln. Durch Zusammenführung der Daten des Hallsensors 11 und der Beschleunigungsaufnehmer 8, 9 kann die Phasenlage der Unwuchtschwingung und damit der Ort der Unwucht am Wellenumfang, also die Unwuchtposition bzw. Auswuchtstellen 18, 19 und/oder 20 an der Welle 1 festgestellt werden. Ergänzend können die Daten des Sensors 10, der eine Taumelbewegung des Wellenabsatzes 21 feststellt, bei der Feststellung der Unwuchtposition(en) einfließen.

Die Beschleunigungsaufnehmer 8, 9, der Sensor 10 sowie der Hallsensor 11 sind mit einem Meßverstärker 16 zur Aufbereitung der jeweiligen Sensordaten verbunden. Dabei kann der Ort von Auswuchtstellen 18, 19 und/oder 20 über die aufgenommenen Daten der genannten Sensoren auf an sich bekannte Weise bestimmt werden. Im folgenden werden die Daten des Meßverstärkers 16 von der Auswertevorrichtung 17 verarbeitet und Meßgrößen zur Ansteuerung der Steuer- und/oder Regelvorrichtung 6 erzeugt. Letztere dient zur Ansteuerung der Modulationsvorrichtung 12, wodurch ausgehend vom Laserpuls 13 der Laserquelle 2 (z.B. CO₂-Laser) die Laserstrahlen 3, 4, 5 erzeugt werden. Durch Veränderung z.B. der

- 10 -

Auswuchtimpulsdauer Δt_i , der Auswuchtperiodendauer T_i sowie des Phasenwinkels $\Delta\alpha$ des Einsatzzeitpunkts des Auswuchtimpulses (vgl. Fig. 3 und 4) werden die Laserstrahlen 3, 4, 5 entsprechend adjustiert, um zu erreichen, daß die Laserstrahlen 3, 4 und/oder 5 der Laserquelle 2 an den ermittelten Auswuchtstellen 18, 19 und/oder 20 den gewünschten Materialabtrag zur Beseitigung der festgestellten Unwucht herbeiführen.

Der Laserpuls 13 wird dabei nach Durchlaufen der Modulationsvorrichtung 12 über die Wellenleiter 14 und an sich bekannte optische Vorrichtungen 15 (Auskoppeloptiken) an die Welle 1 herangeführt.

Dabei werden durch Ansteuerung der Laserquelle 2 und Modulationsvorrichtung 12 die Laserstrahlen 3, 4 und/oder 5 einmalig oder wiederholt an den Auswuchtstellen 18, 19 und/oder 20 an der Welle 1 und/oder dem Wellenabsatz 21 aufgebracht.

Durch den entstehenden Materialabtrag aufgrund des Auftreffens der Laserstrahlen 3, 4 und/oder 5 wird eine Verminderung der Unwucht der Welle 1 durch die angebrachten Sensoren 8, 9, 10 und/oder 11 festgestellt. Dabei kann ein geschlossener Regelkreislauf über die genannten Sensoren 8 - 11, den Meßverstärker 16, die Auswertevorrichtung 17, die Steuer- und/oder Regelvorrichtung 6 und die Modulationsvorrichtung 12 vorliegen. Erfindungsgemäß kann damit beim Rotieren der Welle 1 automatisch eine Beseitigung der festgestellten Unwucht erreicht werden.

Fig. 2 zeigt eine Ansicht A des Wellenabsatzes 21 mit einer Auswuchtstelle 20 innerhalb des Auswuchtwinkels φ . Die Auswuchtstelle 20 erstreckt sich flächig innerhalb des Auswuchtwinkels φ über einen Teilbereich der Ringfläche 22 mit der Breite 23.

- 11 -

Durch entsprechende Aktivierung der Laserquelle 2 und Modulierung des Laserpulses 13 wird erreicht, daß der Laserstrahl 5 den Wellenabsatz 21 nur im Bereich der Auswuchtstelle 20 beaufschlagt, so daß allein in diesem Bereich die festgestellte Unwucht durch Materialabtrag entfernt wird.

Weitere Einzelheiten über die Aktivierung der Laserquelle 2 gehen aus den Darstellungen der Fig. 3 und 4 hervor. In Fig. 3 ist ein einziger Laserimpuls mit der Auswuchtperiodendauer T_i dargestellt. Innerhalb der Auswuchtpulsdauer Δt_i wird die Laserquelle 2 moduliert gepulst, so daß ein Auswuchtpuls mit erhöhter Intensität I entsteht, der zum Materialabtrag an der Welle 1 führt.

Entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren sind nun u.a. die Auswuchtperiodendauer T_i des Laserstrahls und die Periodendauer T_w einer Wellenumdrehung bzw. die zugehörigen Auswuchtfrequenzen $f_i = T_i^{-1}$ und $f_w = T_w^{-1}$ aufeinander abzustimmen.

Gemäß einer ersten Verfahrensvariante stimmen Auswuchtfrequenz f_i des Laserstrahls sowie Drehfrequenz f_w der Welle überein. Da entsprechend der Abbildung nach Fig. 3 der Materialabtrag des Laserstrahls nur während einer Auswuchtpulsdauer Δt_i auftritt und gilt $\Delta t_i < T_i$, wird somit nur ein Teilumfang der Welle vom Laserstrahl beaufschlagt, z.B. im Bereich des Auswuchtwinkels φ der Welle gemäß Fig. 2.

Entsprechend einer zweiten Verfahrensvariante kann die Drehfrequenz f_w der Welle ein ganzzahliges Vielfaches der Auswuchtfrequenz f_i des

- 12 -

Laserstrahls betragen, wodurch erreicht wird, daß nicht bei jeder Wellenumdrehung ein Materialabtrag stattfindet und ein zu schneller oder unkontrollierbarer Materialabtrag vermieden wird.

Bei einer vorteilhaften Verfahrensvariante beträgt die Auswuchtimpulsdauer Δt_i des Laserstrahls höchstens etwa 65 % der Auswuchtperiodendauer T_i des Laserstrahlimpulses. Wenn die Auswuchtimpulsdauer Δt_i des Laserstrahls etwa 20 % der Auswuchtperiodendauer T_i des Laserstrahlimpulses beträgt, kann ein besonders präziser Materialabtrag an der Welle erfolgen.

Eine besonders hohe Wuchtgüte ergibt sich, wenn die Auswuchtimpulsdauer Δt_i des Laserstrahls mindestens etwa 0,8 % und höchstens etwa 70 % der Periodendauer T_w einer Wellenumdrehung beträgt.

Eine weitere Optimierung der Auswuchtgüte wird erreicht, wenn das Produkt aus Drehfrequenz f_w der Welle, Auswuchtimpulsdauer Δt_i des Laserstrahls und Auswuchtwinkel φ höchstens etwa 100 Winkelgrad beträgt. Eine besonders hochwertige Auswuchtung wird erreicht, wenn das genannte Produkt etwa 60 Winkelgrad beträgt.

Insgesamt wird damit erreicht, daß die Unwuchtmassen an der aufgefundenen Auswuchtstelle durch ein Minimum an Materialabtrag beseitigt werden, um keine Festigkeitsschwächung der Welle und eine damit verbundene unerwünschte Deformation zu verursachen.

Wichtig beim effektiven Auswuchten ist die Unwuchtmassen durch ein Minimum an Materialabtrag zu beseitigen, um keine Festigkeitsschwä-

chung des gewuchteten Körpers und eine damit verbundene Deformation zu verursachen. In der schnelldrehenden Welle wirken beachtliche Fliehkräfte und Kreismomente, wodurch solche elastischen Deformationen entstehen, die oft als Biegeverformung auftreten und durch ihre Unsymmetrie zu einer drehzahlabhängigen Wuchtgüte führen. Das bedeutet, daß beim gesamten Drehzahlbereich der Welle nur für ein kleines Drehzahlfenster eine ordentliche Wuchtgüte erreicht wird. Ansonsten werden Drehzahlbereiche mit erheblicher Unwucht durchfahren.

Die vorstehenden Beziehungen der einzelnen Parameter zur Optimierung des Laserstrahls dienen insgesamt einer Verbesserung und Optimierung der Wuchtgüte.

Ferner ist festzustellen, daß ein sehr kleiner Auswuchtwinkel φ und somit ein punktförmiger Materialabtrag durch den Laserstrahl ebenfalls unerwünscht ist, da sich die tatsächlichen Unwuchtmassen an den Auswuchtsstellen regelmäßig flächig über die Oberfläche der Welle verteilen.

Ein punktförmiger Materialabtrag durch den Laserstrahl würde zu unsymmetrischen elastischen Deformationen und damit zu einer unerwünschten drehzahlabhängigen Wuchtgüte führen.

Durch die in Fig. 1 abgebildete Sensorik mit den Sensoren 8 - 11 werden wie beschrieben auf an sich bekannte Weise die vorliegenden Auswuchtsstellen ermittelt. Aufgrund der Auswertung dieser Sensorikdaten kann die Phasenlage des Laserstrahls innerhalb der Auswuchtperiodendauer T_i , also der Phasenwinkel $\Delta\alpha$ des Einsatzzeitpunkts des Auswuchtimpulses des Laserstrahls, bestimmt werden.

Da eine direkte Übereinstimmung der Phasenlage des Auswuchtimpulses mit der Phasenlage der Unwuchtposition nur selten hergestellt werden kann, ist die Phasenlage der Unwucht von der Phasenlage des Auswuchtimpulses von beiden Seiten her einzugrenzen.

Hierzu wird der Phasenwinkel $\Delta\alpha$ des Einsatzzeitpunkts des Auswuchtimpulses innerhalb der Auswuchtperiodendauer T_i des Laserstrahls verändert. Die Veränderungsschritte dürfen nicht zu klein gewählt werden, da die Meßergebnisse der Sensorik Schwankungen unterliegen, die durch Meßungenauigkeit, Verarbeitungsfehler im Meßverstärker, thermische Einflüsse auf die Lagerung der Welle etc. verursacht werden.

Bei zu kleinen Veränderungsschritten des Phasenwinkels $\Delta\alpha$ kann eine falsche Richtung der Veränderung der Phasenlage eingeschlagen werden, wodurch sogar eine unerwünschte Zunahme der Unwucht auftreten kann.

Andererseits dürfen die Veränderungsschritte des Phasenwinkels $\Delta\alpha$ nicht zu groß gewählt werden, da hierdurch die Orte, an denen der Laserstrahl die Welle beaufschlagt, beabstandet voneinander angeordnet sind. Zu große Veränderungen des Phasenwinkels $\Delta\alpha$ führen zu unerwünschten beabstandeten punktförmigen Materialabträgen an der Welle. In diesem Zusammenhang wird in einer vorteilhaften Verfahrensvariante der Phasenwinkel $\Delta\alpha$ in Schritten von maximal etwa $\Delta\alpha = 120$ Winkelgrad verändert (vgl. Fig. 4).

Fig. 5 zeigt in schematischer Darstellung eine Vorrichtung gemäß Fig. 1, wobei sämtliche in Fig. 1 abgebildeten Elemente, Vorrichtungen und Sensoren auch in einer Vorrichtung gemäß Fig. 5 vorhanden sein können.

- 15 -

Zur Darstellung des wesentlichen Funktionsprinzips der Vorrichtung gemäß Fig. 5 sind zur besseren Übersichtlichkeit die Laserquelle 2 sowie die in der Lagerung 7 aufgenommene und über den Motor 24 angetriebene Welle 1 abgebildet.

Die Welle 1 ist dabei zum späteren Einbau in eine Laserprojektionsanlage gemäß dem in der Beschreibung genannten GMN-Prospekt bestimmt und besitzt an ihrem Wellenabsatz 21 mindestens ein Spiegelement 27, z.B. ein Pentaprisma oder - wie in Fig. 5 und 6 abgebildet - insgesamt acht Spiegelemente 27. Bei Aktivierung der Laserquelle 2 erfolgt ein Materialabtrag durch den Laserstrahl 5 am Wellenabsatz 21. Gleichzeitig wird durch einen abgeschwächten Laserstrahl 25 z.B. aus der Laserquelle 2 an einem Spiegelement 27 der Welle 1 reflektiert und als Reflektionsstrahl 29 einem Erfassungselement 28 zugeführt.

Damit können während des Materialabtrags und der Verbesserung der Wuchtgüte durch Auftreffen des Laserstrahls 5 gleichzeitig in einem Arbeitsgang die Reflektions- und Projektionseigenschaften der Spiegelemente 27 der Welle 1 erfaßt werden. So kann in einem Arbeitsgang neben dem Auswuchten der für eine optische Spindel bestimmten Welle 1 auch eine Verbesserung der Projektionseigenschaften der Welle 1 erreicht werden.

Der zweite Laserstrahl 25 kann aus der Laserquelle 2 stammen oder aus einer weiteren Laserquelle 26 (z.B. einer Laserdiode). Das Erfassungselement 28 kann als PSD-Sensor ausgebildet sein.

Wenn die Vorrichtung gemäß Fig. 5 mit einem Hallsensor 11 sowie Beschleunigungsaufnehmern 8, 9 gemäß Fig. 1 ausgestattet ist, kann über den Hallsensor 11, die Beschleunigungsaufnehmer 8, 9 und/oder das Er-

- 16 -

fassungselement 28 in gemeinsamer Auswertung der dort anfallenden Daten festgestellt werden, ob die Welle 1 eine ausreichende Wuchtgüte und gleichzeitig ausreichende und optimierte Projektionseigenschaften besitzt.

Eine Vorrichtung gemäß Fig. 5 sowie ein Verfahren zum Betrieb einer derartigen Vorrichtung dient somit zum Auswuchten einer Welle 1 für eine optische Spindel sowie zur gleichzeitigen Feststellung und Verbesserung der Projektionsgüte der Spiegelemente 27 der Welle 1.

In einer weiteren Ausführungsform kann der Laserstrahl 5 allein durch die weitere Laserquelle 26 erzeugt werden, wobei in der Laserquelle 2 nur der Laserstrahl 5 zum Materialabtrag an der Welle 1 produziert wird.

Im Erfassungselement 28, welches vorzugsweise als optischer Sensor ausgebildet ist, kann auf an sich bekannte Weise eine Ortsveränderung des Reflektionsstrahls 29 z.B. aufgrund einer während der Wuchtung der Welle 1 erfolgten geometrischen Veränderung mindestens eines Spiegelements 27 festgestellt werden.

Aus Fig. 6 geht eine Ansicht der Welle 1 aus Richtung B gemäß Fig. 5 hervor, wobei an der Welle 1 eine erste Auswuchtstelle 30 und eine zweite – vertiefte oder erweiterte - Auswuchtstelle 31 abgebildet sind.

Bei einem Materialabtrag an der Auswuchtstelle 31 durch den auftreffenden Laserstrahl 5 kann eine geometrische Verschiebung des Spiegelements 27 in die Lage des Spiegelements 27' auftreten, welche durch eine örtliche Veränderung des Reflektionsstrahls 29 in Richtung 32 des Laserstrahls 25 im Erfassungselement 28 gemäß Fig. 5 detektiert wird. Somit können durch das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung auch während des Materialabtrags zur Verbesserung

- 17 -

der Wuchtgüte auftretende Veränderungen der Reflektionseigenschaften festgestellt werden und kann eine Welle 1 mit einer hohen Wuchtgüte und optimierten Projektionseigenschaften hergestellt werden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zum Auswuchten einer Welle (1) durch Materialabtrag während der Rotation der Welle (1) mit
 - einer Laserquelle (2) zur Beaufschlagung der Welle (1) mit einem Laserstrahl (3, 4, 5) sowie
 - einer Steuer- und/oder Regelvorrichtung (6) zur Aktivierung der Laserquelle (2) zur Aussendung des Laserstrahls (3, 4, 5) zum Materialabtrag an der Welle (1).
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei mindestens ein Sensor (10) zur Feststellung von Unwuchtdaten der Welle (1) vorgesehen ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei der Sensor (10) zur Feststellung einer Taumelbewegung der Welle (1) vorgesehen ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 3, wobei mindestens ein Beschleunigungsaufnehmer (8, 9) zur Feststellung einer Schwingungsfrequenz der rotierenden Welle (1) vorgesehen ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 – 4, wobei ein Hallsensor (11) zur Feststellung der Drehfrequenz f_W der Welle (1) vorgesehen ist.

- 19 -

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 – 5, wobei eine Modulationsvorrichtung (12) zur Modulation eines Laserpulses (13) der Laserquelle (2) vorgesehen ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 – 6, wobei mindestens ein Wellenleiter (14) und mindestens eine optische Vorrichtung (15) zur Beaufschlagung der rotierenden Welle (1) mit dem Laserstrahl (3, 4, 5) vorgesehen ist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 – 7, wobei der Beschleunigungsaufnehmer (8, 9), Sensor (10) und/oder Hallsensor (11) über einen Meßverstärker (16) und/oder eine Auswertevorrichtung (17) mit der Steuer- und/oder Regelvorrichtung (6) verbunden ist.
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Laserquelle (2) zur Aussendung erster Laserstrahlen (3, 4, 5) zum Materialabtrag an der Welle (1) sowie zur Aussendung mindestens einen zweiten Laserstrahls (25) zur Reflektion als Prüfstrahl an mindestens einem an der Welle (1) angebrachtem Spiegelement ausgebildet ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei statt der Laserquelle (2) eine weitere Laserquelle (26) zur Aussendung des zweiten Laserstrahls (25) zur Reflektion als Prüfstrahl an mindestens einem an der Welle (1) angebrachtem Spiegelement vorgesehen ist.

- 20 -

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, wobei die Signalgrößen des ersten Laserstrahls (3, 4, 5) sowie des zweiten Laserstrahls (25) separat und unterschiedlich einstellbar sind.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 - 11, wobei der an mindestens einem Spiegelement der Welle (1) reflektierte Laserstrahl (25) einem Erfassungselement (26) zur Auswertung zugeleitet wird.
13. Verfahren zum Auswuchten einer Welle durch Materialabtrag während der Rotation der Welle, insbesondere Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung zum Auswuchten einer Welle mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 - 12, wobei
 - die Lage mindestens einer Auswuchtstelle an der Welle festgestellt wird und
 - eine entsprechende Aktivierung einer Laserquelle zur Beaufschlagung der rotierenden Welle mit einem Laserstrahl zum Materialabtrag an der ermittelten Auswuchtstelle erfolgt.
14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Feststellung der Lage der Auswuchtstelle an der Welle durch Auswertung mindestens eines Sensors erfolgt.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, wobei die Auswuchtfrequenz f_i des Laserstrahls zum Materialabtrag an der Welle mit der Drehfrequenz f_w der Welle übereinstimmt.

- 21 -

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 oder 14, wobei die Drehfrequenz f_W der Welle ein ganzzahliges Vielfaches der Auswuchtfrequenz f_i des Laserstrahls beträgt.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 – 16, wobei die Auswuchtimpulsdauer Δt_i des Laserstrahls höchstens etwa 65 % der Auswuchtperiodendauer T_i des Laserstrahls beträgt.
18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei die Auswuchtimpulsdauer Δt_i des Laserstrahls etwa 20 % der Auswuchtperiodendauer T_i des Laserstrahls beträgt.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 - 18, wobei die Auswuchtimpulsdauer Δt_i des Laserstrahls mindestens etwa 0,8 % und höchstens etwa 70 % der Periodendauer T_W einer Wellenumdrehung beträgt.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 – 19, wobei das Produkt aus Drehfrequenz f_W der Welle, Auswuchtimpulsdauer Δt_i des Laserstrahls und Auswuchtwinkel φ an der Welle höchstens etwa 100 Winkelgrad beträgt.
21. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das Produkt aus Drehfrequenz f_W der Welle, Auswuchtimpulsdauer Δt_i des Laserstrahls und Auswuchtwinkel φ an der Welle etwa 60 Winkelgrad beträgt.

- 22 -

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 – 21, wobei der Phasenwinkel $\Delta\alpha$ des Einsatzzeitpunkts des Auswuchtimpulses des Laserstrahls innerhalb der Auswuchtperiodendauer T_i des Laserstrahls verändert wird.
23. Verfahren nach Anspruch 22, wobei der Phasenwinkel $\Delta\alpha$ in Schritten von maximal etwa 120 Winkelgrad verändert wird.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 – 23, wobei ein erster Laserstrahl zur Beaufschlagung der rotierenden Welle zum Materialabtrag sowie ein zweiter Laserstrahl zur Reflektion an mindestens einem Spiegelement der Welle zur Überprüfung der Reflektionsqualität ausgesendet wird.
25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei der von der Welle reflektierte zweite Laserstrahl in einem Erfassungselement ausgewertet wird.
26. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, wobei der erste Laserstrahl und der zweite Laserstrahl unterschiedliche Signalgrößen aufweisen und separat einstellbar sind.

Fig. 1

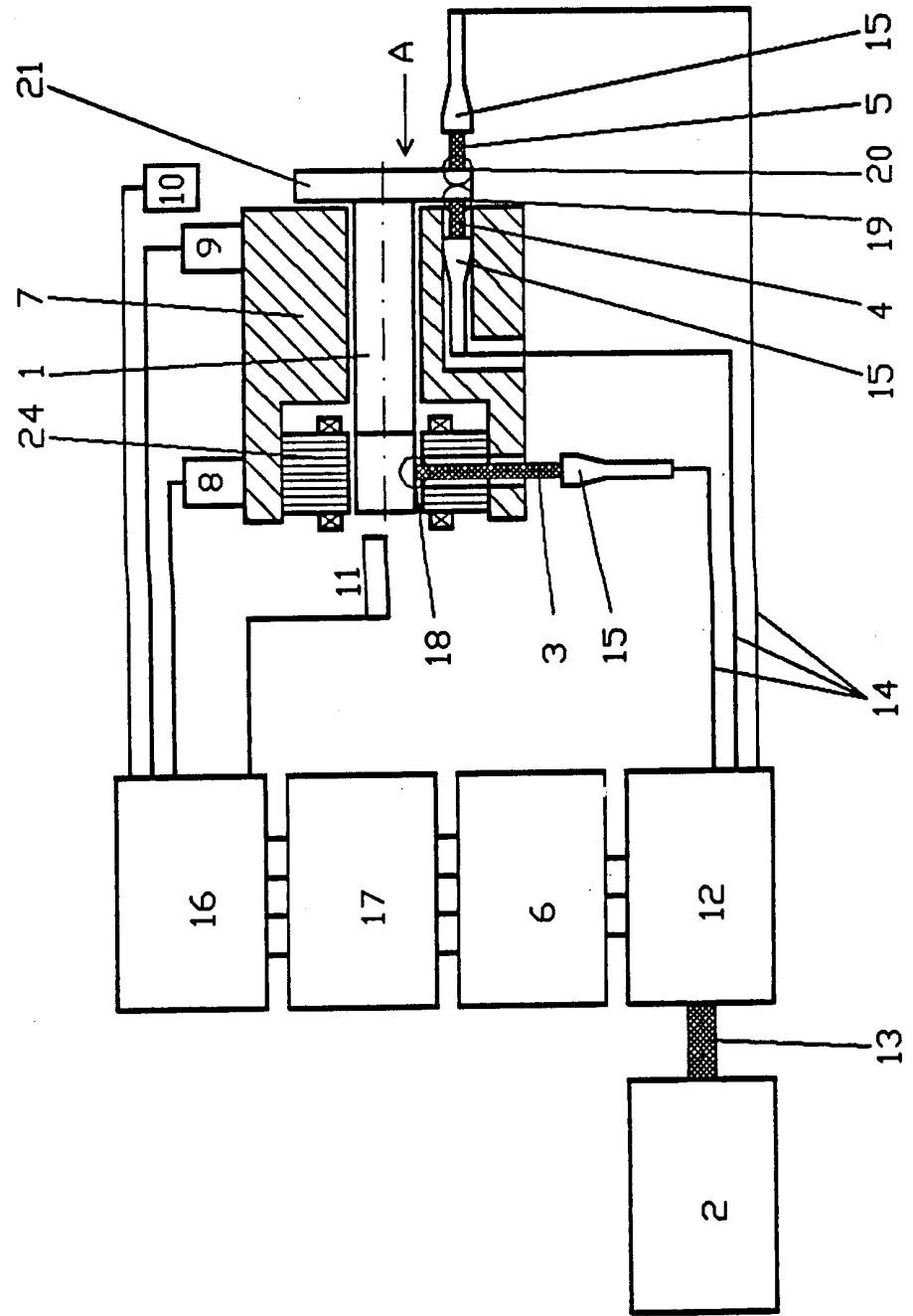


Fig. 2

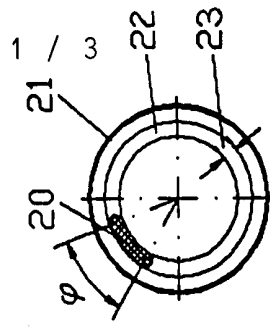


Fig. 3

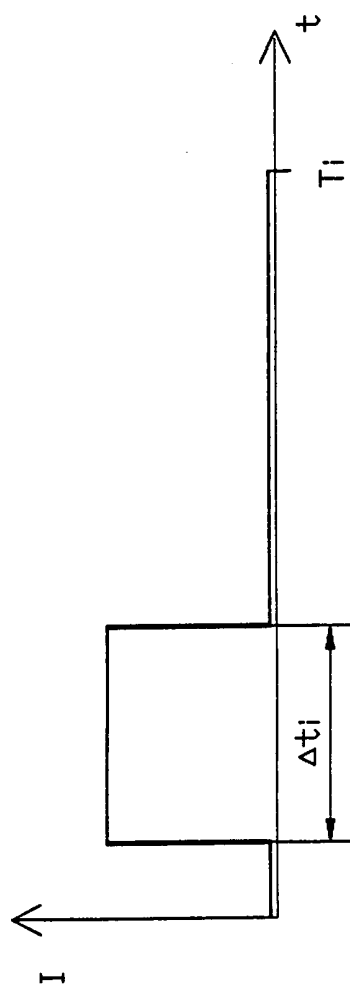
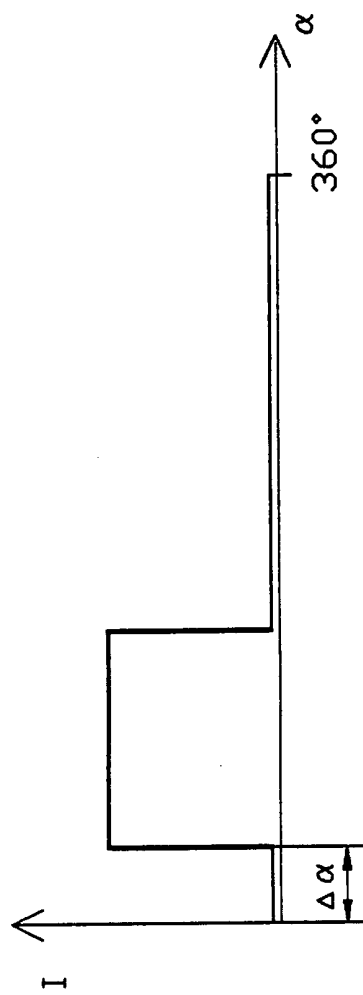


Fig. 4



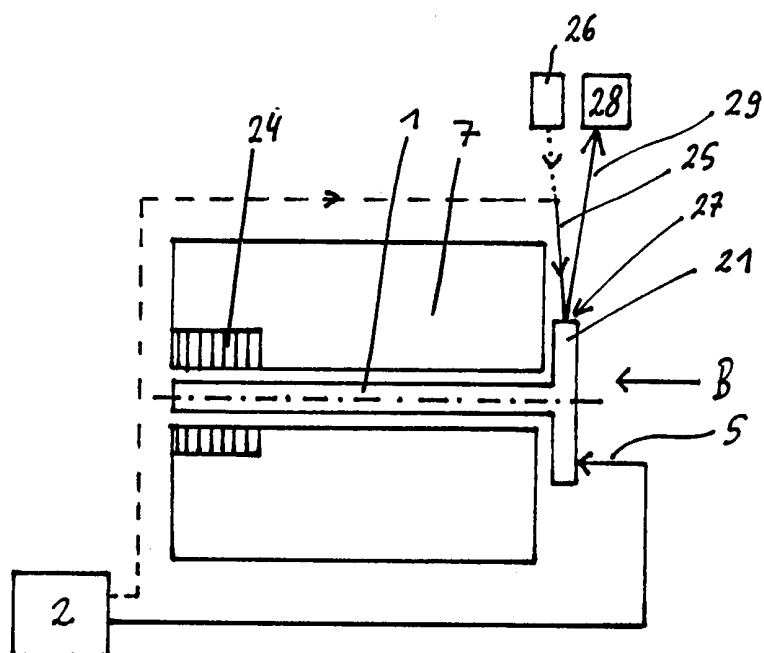


FIG 5

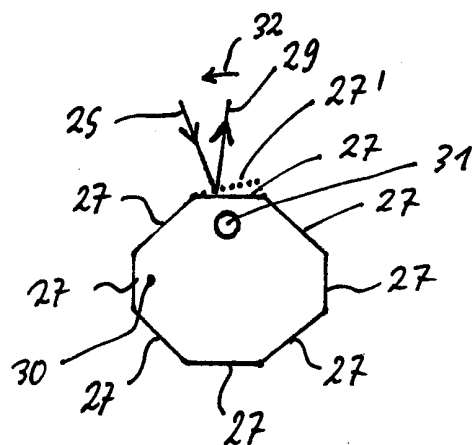


FIG 6

Gerhard Wanger

L-H/011011-WO

BEZUGSZEICHEN

1	Welle
2	Laserquelle
3,4,5	Laserstrahl
6	Steuer- und/oder Regelvorrichtung
7	Lagerung
8,9	Beschleunigungsaufnehmer
10	Sensor
11	Hallsensor
12	Modulationsvorrichtung
13	Laserpuls
14	Wellenleiter
15	optische Vorrichtung
16	Meßverstärker
17	Auswertevorrichtung
18,19,20	Auswuchtstelle
21	Wellenabsatz
22	Ringfläche
23	Breite
24	Motor
25	Laserstrahl
26	Laserquelle
27	Spiegelement
28	Erfassungselement
29	Reflektionsstrahl
30,31	Auswuchtstelle
32	Richtung
f_i	Auswuchtfrequenz
T_i	Auswuchtperiodendauer
f_w	Drehfrequenz der Welle
T_w	Periodendauer einer Wellenumdrehung
Δt_i	Auswuchtimpulsdauer
$\Delta \alpha$	Phasenwinkel des Einsatzzeitpunktes des Auswuchtimpulses des Laserstrahls
φ	Auswuchtwinkel an der Welle
t	Zeit
I	Intensität