

(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
14. November 2019 (14.11.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/214958 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23Q 1/00 (2006.01) B23Q 5/04 (2006.01)
B23B 37/00 (2006.01) B23Q 1/70 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/060609

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. April 2019 (25.04.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 111 039.1
08. Mai 2018 (08.05.2018) DE

(71) Anmelder: SON-X GMBH [DE/DE]; Steinbachstr. 17,
52074 Aachen (DE).

(72) Erfinder: DICKE, Clemens; Alte Vaalser Straße 121,
52074 Aachen (DE). BULLA, Benjamin; Wolfskuhl 5,
52152 Simmerath (DE).

(74) Anwalt: RÖSSLER, Matthias; Kahlhöfer Rößler Kreuels
Patentanwälte PartG mbB, Postfach 32 01 02, 40416 Düs-
seldorf (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, DE, 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.

(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).

(54) Title: DEVICE FOR ROTATIONALLY DRIVING A TOOL AND SPINDLE THEREFOR

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUM ROTATORISCHEN ANTRIEB EINES WERKZEUGS UND SPINDEL DAFÜR

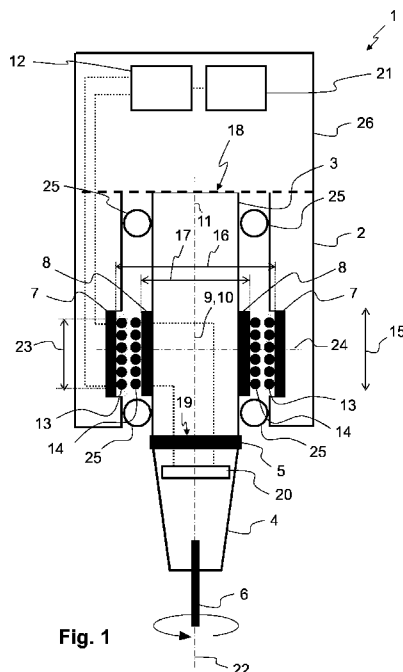


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a spindle (27) for a device (1) for rotationally driving a tool (6), comprising at least: - a static spindle part (2) which can be connected in a rotationally fixed manner to a drive unit (26) of the device (1), and - a rotatable spindle part (3) which is rotatably mounted on the static spindle part (2) relative to the static spindle part (2) and has an interface (5) for a tool holder (4) for the tool (6), via which the tool holder (4) can be connected in a rotationally fixed manner to the rotatable spindle part (3), wherein the static spindle part (2) has an outer coil (7), and the rotatable spindle part (3) has an inner coil (8), and wherein the outer coil (7) and the inner coil (8) are arranged one inside the other for contactless transmission of electrical energy from the static spindle part (2) via the outer coil (7) and the inner coil (8) to the rotatable spindle part (3).

(57) Zusammenfassung: Spindel (27) für eine Vorrichtung (1) zum rotatorischen Antrieb eines Werkzeugs (6), umfassend zumindest: - einen statischen Spindelteil (2), der drehfest mit einer Antriebseinheit (26) der Vorrichtung (1) verbindbar ist, und - einen rotierbaren Spindelteil (3), der relativ zu dem statischen Spindelteil (2) drehbar an dem statischen Spindelteil (2) gelagert ist und der eine Schnittstelle (5) für einen Werkzeughalter (4) für das Werkzeug (6) aufweist, über die der Werkzeughalter (4) drehfest mit dem rotierbaren Spindelteil (3) verbindbar ist, wobei der statische Spindelteil (2) eine Außenspule (7) aufweist, und der rotierbare Spindelteil (3) eine Innenspule (8) aufweist, und wobei die Außenspule (7) und die Innenspule (8) für eine berührungslose Übertragung elektrischer Energie von dem statischen Spindelteil (2) über die Außenspule (7) und die Innenspule (8) auf den rotierbaren Spindelteil (3) ineinander angeordnet sind.

Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Vorrichtung zum rotatorischen Antrieb
eines Werkzeugs und Spindel dafür

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum rotatorischen Antrieb eines Werkzeugs
5 sowie eine Spindel dafür.

Bei der spanenden Bearbeitung beispielsweise mit einer Fräse ist es wünschenswert, ein Werkzeug wie einen Fräskopf mit Ultraschall zu beaufschlagen. Dadurch kann der Materialabtrag durch den Fräskopf insbesondere bei besonders
10 harten Materialien erheblich gesteigert und so eine Bearbeitungsgeschwindigkeit erhöht werden.

Zur Ultraschallerzeugung ist es dabei regelmäßig erforderlich, elektrische Energie von einem feststehenden Teil auf einen sich drehenden Teil einer Maschine zu übertragen. Zur Vermeidung von Reibungsverlusten und von Verschleiß erfolgt dies bei
15 bekannten Ansätzen berührungslos über induktive Kopplung von Spulen. Eine derartige Übertragung ist aber gemäß Stand der Technik nur bei verhältnismäßig niedrigen Drehzahlen möglich. Auch ist die Übertragung elektrischer Energie oft ineffizient.

20

Eine induktive Energie-Übertragung kann zwischen einer Spule und einem (vibrierenden) Werkzeughalter realisiert werden. Ein solches Konzept hat den Nachteil, dass jeder Werkzeughalter (z. B. eines Werkzeugmagazins einer hochautomatisierten Fertigungsanlage) mit einer entsprechenden Spule auszustatten ist, was zu einer
25 sehr umfangreichen Anpassung einer Vielzahl unterschiedlicher Werkzeughalter führt. Außerdem erschweren die zusätzlichen Spulenteile die Fertigung von Werkzeughaltern mit einer sehr guten Rundlaufeigenschaft. Zudem erfordert eine Anwendung solcher Systeme im Hochdrehzahlbereich besondere Materialien, da dort dem Einsatz von Ferrit-Kernen mechanische Grenzen gesetzt sind.

Hiervon ausgehend ist es Aufgabe der hier vorliegenden Erfindung, die im Zusammenhang mit dem Stand der Technik geschilderten technischen Probleme zu lösen bzw. zumindest zu verringern. Es soll insbesondere eine Vorrichtung zum rotatorischen Antrieb eines Werkzeugs, und eine Spindel dafür vorgestellt werden, bei der
5 elektrische Energie von einem feststehenden auf einen rotierenden Teil der Vorrichtung besonders effizient übertragen werden kann und die auch für besonders hohe Drehzahlen geeignet ist.

Diese Aufgabe wird gelöst mit einer Spindel und einer Vorrichtung gemäß den
10 Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Spindel sind in den jeweils abhängigen Patentansprüchen angegeben. Die in den Patentansprüchen einzeln aufgeführten Merkmale sind in beliebiger, technologisch sinnvoller Weise miteinander kombinierbar und können durch erläuternde Sachverhalte aus der Beschreibung ergänzt werden, wobei weitere Ausführungsvarianten der Erfindung aufgezeigt werden.
15

Hierzu trägt eine Spindel für eine Vorrichtung zum rotatorischen Antrieb eines Werkzeugs bei, die zumindest folgendes umfasst:

- einen statischen Spindelteil, der drehfest mit einer Antriebseinheit der Vorrichtung verbindbar ist, und
20
 - einen rotierbaren Spindelteil, der relativ zu dem statischen Spindelteil drehbar an dem statischen Spindelteil gelagert ist und der eine Schnittstelle für einen Werkzeughalter für das Werkzeug aufweist, über die der Werkzeughalter drehfest mit dem rotierbaren Spindelteil verbindbar ist,
25
- wobei der statische Spindelteil eine Außenspule aufweist, und der rotierbare Spindelteil eine Innenspule aufweist, und wobei des Weiteren die Außenspule und die Innenspule für eine berührungslose Übertragung elektrischer Energie von dem statischen Spindelteil über die Außenspule und die Innenspule auf den rotierbaren Spindelteil (insbesondere verschachtelt) ineinander angeordnet sind.

30

Die beschriebene Spindel bzw. die Vorrichtung kann insbesondere zur spanenden Bearbeitung, beispielsweise nach Art des Fräsens, bestimmt und eingerichtet sein. Dazu kann ein entsprechendes Werkzeug an die Vorrichtung angebracht werden. Bei dem Werkzeug kann es sich beispielsweise um einen Fräskopf handeln. Alternativ oder zusätzlich ist es auch möglich, dass die beschriebene Vorrichtung zum Bohren bestimmt und eingerichtet ist. In dem Fall ist das Werkzeug ein Bohrer. Vorzugsweise kann das Werkzeug derart lösbar mit der Spindel verbunden werden, dass das Werkzeug von einem Benutzer ausgewechselt werden kann. So kann die beschriebene Vorrichtung insbesondere auch sowohl zum Fräsen als auch zum Bohren bestimmt und eingerichtet sein.

Das Werkzeug kann mit der Vorrichtung rotatorisch angetrieben werden. Das bedeutet insbesondere, dass das Werkzeug durch die Vorrichtung um eine Achse des Werkzeugs, die mit der Drehachse der Vorrichtung zusammenfällt, rotiert wird.

Das Werkzeug kann über den Werkzeughalter mit der beschriebenen Vorrichtung und insbesondere mit dem rotierbaren Spindelteil verbunden werden. Der Werkzeughalter ist wie das Werkzeug und die Antriebseinheit nicht Teil der Spindel. Vielmehr weist der rotierende Spindelteil die Schnittstelle auf, über die der Werkzeughalter mit dem rotierbaren Spindelteil verbunden werden kann. Bei der Schnittstelle kann es sich beispielsweise um eine standardisierte Schnittstelle der HSK-, SK- oder BT-Norm handeln. Weitere von der Norm abweichende Lösungen sind ebenfalls denkbar. Der Werkzeughalter kann über die Schnittstelle vorzugsweise derart mit dem rotierbaren Spindelteil verbunden werden, dass ein Benutzer den Werkzeughalter austauschen kann. So kann der Benutzer beispielsweise für verschiedene Typen von Werkzeug verschiedene Werkzeughalter mit dem rotierbaren Spindelteil verbinden.

Die Spindel ist vorzugsweise derart ausgeführt, dass die Spindel mit einer ersten Stirnseite der Spindel mit der Antriebseinheit verbindbar ist. Die Schnittstelle ist

vorzugsweise an einer der ersten Stirnseite gegenüberliegenden zweiten Stirnseite der Spindel vorgesehen.

Über den Werkzeughalter kann das Werkzeug mit dem rotierbaren Spindelteilverbunden werden. Insbesondere kann das Werkzeug derart lösbar mit dem Werkzeughalter verbunden werden, dass das Werkzeug von einem Benutzer ausgewechselt werden kann. Im Betrieb ist das Werkzeug drehfest mit dem Werkzeughalter verbunden.

Es ist auch möglich, dass das Werkzeug einstückig mit dem Werkzeughalter ausgebildet ist. In dem Fall kann der Benutzer das Werkzeug nur durch Austausch des Werkzeughalters austauschen.

Der Werkzeughalter ist im Betrieb drehfest mit dem rotierbaren Spindelteil verbunden. Das bedeutet, dass sich das Werkzeug im Betrieb gemeinsam mit dem Werkzeughalter und dem rotierbaren Spindelteil dreht. Diese Drehung erfolgt relativ zu der feststehenden Antriebseinheit um die Drehachse der Vorrichtung. Dazu ist der rotierbare Spindelteil relativ zu dem statischen Spindelteil rotierbar gelagert. Vorzugsweise sind zwischen dem statischen Spindelteil und dem rotierbaren Spindelteil entsprechende Lagerungen vorgesehen.

Vorzugsweise erfolgt die Übertragung elektrischer Energie in einem mittleren Abschnitt der Spindel oder in einem Abschnitt der Spindel in der Nähe der zweiten Stirnseite (also unten bzw. dem Werkzeughalter zugewandt). Insbesondere kann die Innenspule (die ggf. auch als Sekundärspule bezeichnet werden kann) unmittelbar neben einer Lagerung der Spindel vorgesehen sein. Damit können dynamische Störeffekte vermindert werden.

Die Antriebseinheit, mit der die beschriebene Spindel verbindbar ist, umfasst vorzugsweise einen Motor, bei dem es sich insbesondere um einen Elektromotor

handeln kann. Mit dem Motor kann der rotierbare Spindelteil relativ zu der Antriebseinheit um eine Spindelachse der Spindel, die vorzugsweise mit der Drehachse der Vorrichtung zusammenfällt, rotiert werden. Die Spindelachse ist also die Achse, um die der rotierende Spindelteil (und damit auch der Werkzeughalter und
5 das Werkzeug) im Betrieb gedreht werden.

Mit der beschriebenen Spindel bzw. mit der Vorrichtung ist es insbesondere möglich, elektrische Energie berührungslos von der Antriebseinheit mit dem statischen Spindelteil als einen feststehenden Teil der Vorrichtung auf den relativ dazu rotierbaren Spindelteil als einen sich drehenden Teil der Vorrichtung zu übertragen. Das erfolgt über eine induktive Kopplung zwischen der Außenspule (die ggf. auch als Primärspule bezeichnet werden kann) an dem statischen Spindelteil und der Innenspule an dem rotierbaren Spindelteil. Vorzugsweise weist die Antriebseinheit eine Wechselspannungsquelle auf, über die eine Wechselspannung in die Außenspule
10 eingekoppelt werden kann. Durch die Wechselspannung wird von der Außenspule ein magnetisches Wechselfeld erzeugt. Die Innenspule ist derart innerhalb des so erzeugten magnetischen Wechselfelds angeordnet, dass eine Wechselspannung in der Innenspule induziert wird. Auf diese Weise kann elektrische Energie von der Antriebseinheit über den statischen Spindelteil, die Außenspule und die Innenspule
15 auf den rotierbaren Spindelteil übertragen werden. Dabei fließt kein Strom von der Außenspule zur Innenspule. Stattdessen erfolgt die Übertragung der elektrischen Energie induktiv und damit berührungslos.

Die Außenspule ist vorzugsweise drehfest mit dem statischen Spindelteil verbunden. Sofern die Spindel mit der Vorrichtung verbunden ist, ist die Außenspule auch relativ zu der Antriebseinheit drehfest. Die Innenspule ist vorzugsweise drehfest mit dem rotierbaren Spindelteil verbunden. Das bedeutet, dass sich die Innenspule im Betrieb gemeinsam mit dem rotierbaren Spindelteil relativ zu der Außenspule bzw. zu dem statischen Spindelteil und der Antriebseinheit dreht.

30

Eine besonders effiziente Übertragung der elektrischen Energie kann bei der vorliegenden Vorrichtung dadurch erreicht werden, dass die Außenspule und die Innenspule ineinander angeordnet sind. Unter einer derartigen Anordnung ist zu verstehen, dass die Außenspule die Innenspule zumindest teilweise umschließt. Die
5 Innenspule und die Außenspule liegen bevorzugt beide in einer gemeinsamen Ebene, die normal bzw. senkrecht zu einer Achse der Spindel und der Antriebseinheit ausgerichtet ist. Eine solche Ausrichtung der Innenspule und der Außenspule zueinander kann auch als „Eingreifen“ der Innenspule in die Außenspule oder eine „zueinander verschachtelte“ Anordnung bezeichnet werden.

10

Insbesondere Fräsmaschinen können mit mehreren verschiedenen Werkzeughaltern ausgestattet sein. Im Zuge der Automatisierung werden Fräsmaschinen mit verschiedenen Werkzeugen bestückt, die in einem Magazin innerhalb der Fräsmaschine aufgestellt werden können. Dies ermöglicht die voll automatisierte Bearbeitung von Werkstücken, bei denen aus fertigungstechnischen Gründen verschiedene
15 Fräswerkzeuge zum Einsatz kommen müssen. Da somit mehr als ein Werkzeughalter zum Einsatz kommen soll, wäre es nachteilig, jeden Werkzeughalter mit Spulen versehen zu müssen. Mit der beschriebenen Spindel kann auf Spulen an den Werkzeughaltern verzichtet werden. Das kann nicht nur die Kosten für einen Werkzeughalter reduzieren, sondern auch die Entwicklung des Werkzeughalters erleichtern. Das liegt insbesondere daran, dass Spulen am Werkzeughalter dessen Rundlauf-
20 eigenschaften beeinträchtigen können. Bei Verwendung der beschriebenen Spindel reicht es aus, wenn der Werkzeughalter beispielsweise Steckkontakte aufweist.

25 In einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung weist die Außenspule einen Außenspulendurchmesser und die Innenspule einen Innenspulendurchmesser auf, der kleiner ist als der Außenspulendurchmesser.

Ein besonders kleiner Innenspulendurchmesser ist insbesondere für besonders hohe
30 Drehzahlen des rotierbaren Spindelteils vorteilhaft. Im Betrieb dreht sich die

Innenspule mit der Drehzahl des rotierbaren Spindelteils. Dabei können besonders große Fliehkräfte an der Innenspule angreifen. Je größer der Innenspulendurchmesser ist, umso größer sind diese Fliehkräfte. Eine maximal verwendbare Drehzahl der Vorrichtung kann daher insbesondere durch Materialeigenschaften der Innenspule bestimmt sein. Je kleiner der Innenspulendurchmesser ist, umso größer kann die maximal verwendbare Drehzahl der Vorrichtung sein.

Als Materialien für die Innenspule (bzw. Sekundärspule) und/oder die Außenspule (bzw. Primärspule) kommen vorzugsweise ferromagnetische Eisen-Legierungen zum Einsatz. Es werden bevorzugt elektrotechnisch besonders wirkungsvolle Legierungen für den Stator (hier die Außenspule) und elektrotechnisch weniger wirkungsvolle, jedoch mechanisch bessere Legierungen für den Rotor (hier die Innenspule) verwendet. Es gibt jedoch auch spezielle Legierungen, welche beide Eigenschaften ineinander vereinen. Typische derartige Materialien sind ferromagnetische Legierungen aus Eisen, Nickel und Cobalt. Auch bevorzugt ist die Verwendung von AlNiCo, SmCo, Nd₂Fe₁₄B, Ni₈₀Fe₂₀ (häufig als "Permalloy"), oder NiFeCo-Legierungen (häufig als "Mu-Metall"). Beispielsweise sind derartige Materialien unter folgenden Marken bekannt: MUMETALL® / VACOPERM® 100 (80% NiFe), CRYOPERM® 10 (80%NiFe), VACOFLUX® / VACODUR® (50% CoFe), TRAFOPERM® (3% SiFe), VITROVAC® 6025 X (80% Co).

Die Außenspule und/oder die Innenspule sind vorzugsweise als Zylinderspulen ausgeführt. In dem Fall ist der Innenspulendurchmesser beziehungsweise der Außenspulendurchmesser der Zylinderdurchmesser der jeweiligen Spule. Sind die Spulen anders ausgeführt, ist der jeweilige Spulendurchmesser analog definiert.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung weist die Außenspule eine Außenspulenachse und die Innenspule eine Innenspulenachse auf, wobei die Außenspulenachse und/oder die Innenspulenachse mit einer Spindelachse der Spindel zusammenfallen.

Vorzugsweise fallen sowohl die Außenspulenachse als auch die Innenspulenachse mit der Spindelachse zusammen. In dem Fall fallen die Außenspulenachse und die Innenspulenachse auch miteinander zusammen.

5

Die Außenspule und/oder die Innenspule sind vorzugsweise zylinderförmig ausgebildet. In dem Fall ist die Außenspulenachse beziehungsweise die Innenspulenachse die Zylinderachse der jeweiligen Spule. Sind die Spulen anders ausgeführt, ist die jeweilige Spulenachse analog definiert.

10

Die Außenspule weist vorzugsweise eine Außenspulenwicklung auf und die Innenspule weist vorzugsweise eine Innenspulenwicklung auf. Die jeweilige Spulenwicklung ist dabei vorzugsweise insbesondere um die entsprechende Spulenachse umlaufend ausgebildet. Bei einer Zylinderspule bedeutet das, dass die Spulenwicklung entlang des Umfangs des Zylindermantels der Zylinderspule vorgesehen ist.

15

Entlang einer Achse der Spindel erstrecken sich die Innenspule und die Außenspule beide bevorzugt über eine bestimmte Höhe. Beispielsweise haben die Außenspule und die Innenspule jeweils eine Höhe von 1 bis 5 cm [Zentimeter]. Bevorzugt liegen
20 Mittelebenen (mittlere Ebenen) der Innenspule und der Außenspule aufeinander in der oben beschriebenen gemeinsamen Ebene. In Ausführungsvarianten ist es auch möglich, dass die Mittelebenen der Innenspule und der Außenspule nicht exakt aufeinander liegen, sondern gemäß einem Abstand von beispielsweise 0 cm bis 5 cm entlang der Achse relativ zueinander verschoben sind. Bevorzugt ist in dieser Aus-
25 führungsvariante allerdings, dass sich die Höhen der Spulen zueinander überlappen. So kann eine gute Leistungsübertragung der Außenspule auf die Innenspule erreicht werden. In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsvariante überlappt die Außenspule in beide Richtungen entlang der Achse (nach oben und nach unten) die Innenspule. Dies verbessert die Leistungsübertragung von der Außenspule auf
30 die Innenspule weiter.

Fällt die Innenspulenachse mit der Spindelachse zusammen, wird die Innenspule im Betrieb um die eigene Achse gedreht. Das ist besonders vorteilhaft, weil es ansonsten zu erheblichen Vibrationen kommen könnte. Fällt die Außenspulenachse
5 zudem noch mit der Spindelachse und der Innenspule zusammen, kann ein Spalt zwischen der Innenspule und der Außenspule besonders schmal ausgeführt sein. Dadurch kann elektrische Energie von der Außenspule besonders verlustarm und damit besonders effizient auf die Innenspule übertragen werden. Das wird noch dadurch weiter begünstigt, dass das von der Außenspule erzeugte magnetische Feld
10 in dem Fall eine besonders hohe Flussdichte im Bereich der Innenspule hat.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung weist die Außenspule eine Außenspulenwicklung und die Innenspule eine Innenspulenwicklung auf, wobei die Außenspulenwicklung und/oder die Innenspulenwicklung in einer
15 Längsrichtung der Vorrichtung ausgedehnt sind.

Vorzugsweise sind sowohl die Außenspulenwicklung als auch die Innenspulenwicklung in der Längsrichtung der Vorrichtung ausgedehnt.

20 Die Längsrichtung der Vorrichtung ist entlang der Drehachse definiert. Die Innenspulenachse und die Außenspulenachse sind vorzugsweise zur Längsrichtung parallel angeordnet.

Die jeweilige Spulenwicklung ist vorzugsweise als ein Draht ausgeführt, der um
25 die jeweilige Spulenachse umlaufend aufgewickelt ist. Dass die Innenspulenwicklung, beziehungsweise die Außenspulenwicklung in Längsrichtung ausgedehnt ausgeführt sind, bedeutet insbesondere, dass der jeweilige Draht nicht bloß in einer Ebene senkrecht zur Längsrichtung aufgewickelt ist. Insbesondere wenn die Außenspule und/oder die Innenspule als Zylinderspulen mit einer Spulenachse entlang
30 der Längsrichtung ausgebildet sind, ist die jeweilige Spulenwicklung in

Längsrichtung ausgedehnt. Spulenhöhen der Innenspule und der Außenspule erstrecken sich jeweils entlang der Längsrichtung.

5 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung ist die Außenspule konzentrisch um die Innenspule angeordnet.

In dieser Ausführungsform ist der Außenspulendurchmesser größer als der Innenspulendurchmesser. Daraus ergeben sich die weiter oben beschriebenen entsprechenden Vorteile.

10

Sind die Innenspule und die Außenspule zylinderförmig ausgebildet, können die Innenspule und die Außenspule insbesondere derart ineinander geschachtelt angeordnet sein, dass sich ein Spalt mit Form eines dünnen Hohlzylinders zwischen den beiden Spulen ergibt. Durch eine derartige Anordnung kann das von der Außenspule erzeugte magnetische Feld im Bereich der Innenspule eine besonders hohe
15 Flussdichte aufweisen, so dass die elektrische Energie besonders gut von der Außenspule auf die Innenspule übertragen werden kann.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung ist die Schnittstelle für den Werkzeughalter derart ausgeführt und mit der Innenspule bzw. Sekundärspule verbunden, dass über die Schnittstelle zumindest elektrische Energie von der Innenspule bzw. Sekundärspule auf den Werkzeughalter übertragen werden kann.
20

25 In dieser Ausführungsform kann der Werkzeughalter insbesondere elektrisch antreibbare Komponenten aufweisen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung ist ein Werkzeughalter mit einem Schwingungsgenerator derart an die Schnittstelle angebunden,

dass der Schwingungsgenerator über die Schnittstelle mit elektrischer Energie versorgbar ist.

- Der Schwingungsgenerator kann insbesondere eine elektrisch antreibbare Komponente im Sinne der zuvor beschriebenen Ausführungsform sein. Bei dem Schwingungsgenerator handelt es sich vorzugsweise um ein Piezoelement. Das Piezoelement ist vorzugsweise derart in dem Werkzeughalter angeordnet und derart orientiert, dass durch das Piezoelement zumindest das Werkzeug in Schwingungen entlang der Längsrichtung der Vorrichtung versetzt werden kann. Alternativ kann die Schwingungsanregung auch in andere Richtungen erfolgen. Damit können beispielsweise beim Fräsen mit einem Fräskopf als Werkzeug ein besonders hoher Materialabtrag von einem zu bearbeitenden Werkstück und eine entsprechend hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit erreicht werden.
- Der Schwingungsgenerator kann insbesondere von der Antriebseinheit bzw. dem durch die vom statischen Spindelteil auf den rotierbaren Spindelteil übertragene elektrische Energie angetrieben werden. Dazu ist der Schwingungsgenerator vorzugsweise über die Schnittstelle mit der Innenspule verbunden. Eine in der Innenspule wie weiter oben beschrieben induzierte Wechselspannung kann unmittelbar an den Schwingungsgenerator angelegt werden. Es ist aber auch möglich, dass die in der Innenspule induzierte Spannung umtransformiert wird, bevor diese an den Schwingungsgenerator angelegt wird.

- Als ein weiterer Aspekt wird eine Verwendung der beschriebenen Vorrichtung zur Ultraschallbearbeitung von Werkstücken vorgestellt, wobei das Werkzeug mit einer Umfangsgeschwindigkeit von mindestens 20 m/s [Meter pro Sekunde], insbesondere von mindestens 55 m/s rotiert.

- Als ein weiterer Aspekt wird eine Verwendung der beschriebenen Vorrichtung zur Ultraschallbearbeitung von Werkstücken vorgestellt, wobei bei der Bearbeitung mit

einem Werkzeug eine Schnittgeschwindigkeit von mindestens 20 m/min [Meter pro Minute] eingestellt ist, insbesondere eine Schnittgeschwindigkeit im Bereich bis maximal 350 m/min.

- 5 Die Verwendung dient insbesondere der (finalen bzw. ultrapräzisen) Bearbeitung einer (insbesondere gewölbten bzw. gekrümmten) Oberfläche eines Werkstücks. Hierbei kommt insbesondere ein spanabhebendes Werkzeug zum Einsatz.

- Beispielhaft werden folgende Schnittgeschwindigkeiten bei der Ultraschallbearbeitung von Werkstücken unterschiedlicher Werkstoffe mit Hartmetall-Werkzeugen ermöglicht bzw. eingestellt:
- 10

Ultraschall-Bohren:

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit
[Einheit]	[m/min]
CFK	120 bis 180, insbesondere oberhalb 150
Nickelbasiswerkstoff	24 bis 36, insbesondere oberhalb 30
Titanbasiswerkstoff	40 bis 60, insbesondere oberhalb 50
Aluminium	160 bis 240, insbesondere oberhalb 200
Stahl	55 bis 85, insbesondere oberhalb 70

Ultraschall-Fräsen:

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit
[Einheit]	[m/min]
CFK	160 bis 240, insbesondere oberhalb 200
Nickelbasiswerkstoff	40 bis 60, insbesondere oberhalb 50
Titanbasiswerkstoff	55 bis 85, insbesondere oberhalb 70
Aluminium	250 bis 350, insbesondere oberhalb 300
Stahl	80 bis 120, insbesondere oberhalb 100

5

Die Vorrichtung wird insbesondere mit einem Werkzeughalter gemäß HSK-, SK-, oder BT-Norm, insbesondere gemäß HSK 63 (DIN 69893) verwendet, wobei insbesondere Umfangsgeschwindigkeiten oberhalb von 55 m/s eingestellt und eine Ultraschallanregung aktiviert sind.

10

Die weiter vorne für die Vorrichtung beschriebenen besonderen Vorteile und Ausgestaltungsmerkmale sind auf die beschriebene Verwendung anwendbar und übertragbar, und umgekehrt. Durch die beschriebene Ausgestaltung der Vorrichtung sind die beschriebenen hohen Umfangsgeschwindigkeiten möglich.

15

Als ein weiterer Aspekt wird eine Steuerung für die beschriebene Vorrichtung vorgestellt, die zur bedarfsgerechten Ansteuerung des Schwingungsgenerators eingerichtet ist.

- 5 Die weiter vorne für die Vorrichtung und für die Verwendung beschriebenen besonderen Vorteile und Ausgestaltungsmerkmale sind auf die beschriebene Steuerung anwendbar und übertragbar, und umgekehrt.

Die Erfindung und das technische Umfeld werden nachfolgend anhand der Figur
10 näher erläutert. Die Figur zeigt ein besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel, auf das die Erfindung jedoch nicht begrenzt ist. Insbesondere ist darauf hinzuweisen, dass die Figur und insbesondere die dargestellten Größenverhältnisse nur schematisch sind. Es zeigt:

- 15 Fig. 1: eine Darstellung einer Vorrichtung zum rotatorischen Antrieb eines Werkzeugs mit einer Spindel.

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung 1 zum rotatorischen Antrieb eines Werkzeugs 6. Das Werkzeug 6 kann mit der Vorrichtung 1 wie durch einen runden Pfeil angedeutet
20 um eine Drehachse 22 gedreht werden.

Die Vorrichtung 1 weist eine Antriebseinheit 26 auf, an die eine Spindel 27 angebunden ist. Die Spindel 27 weist einen rotierbaren Spindelteil 3 auf, der relativ zur Antriebseinheit 26 um eine Spindelachse 11, die mit der Drehachse 22 zusammenfällt, drehbar ist. Zudem weist die Spindel 27 einen statischen Spindelteil 2 auf, der
25 drehfest mit der Antriebseinheit 26 verbunden ist. Die Spindel 27 hat eine erste Stirnseite 18 und eine der ersten Stirnseite 18 gegenüberliegende zweite Stirnseite 19. Zwischen der ersten Stirnseite 18 und der zweiten Stirnseite 19 sind Lagerungen 25 vorgesehen, über die der rotierbare Spindelteil 3 relativ zum statischen

Spindelteil 2 rotierbar gelagert ist. An der ersten Stirnseite 18 ist die Spindel 27 an der Antriebseinheit 26 gehalten.

Weiterhin weist der rotierbare Spindelteil 3 an der zweiten Stirnseite 19 eine
5 Schnittstelle 5 für einen Werkzeughalter 4 für das Werkzeug 6 auf. Der Werkzeug-
halter 4 und das Werkzeug 6 sind keine Bestandteile der Vorrichtung 1. Der Werk-
zeughalter 4 kann austauschbar mit dem rotierbaren Spindelteil 3 verbunden wer-
den und das Werkzeug 6 kann austauschbar mit dem Werkzeughalter 4 verbunden
werden. In dem Beispiel der Fig. 1 ist der Fall gezeigt, dass der Werkzeughalter 4
10 mit dem rotierbaren Spindelteil 3 verbunden ist und dass das Werkzeug 6 mit dem
Werkzeughalter 4 verbunden ist. Dabei ist der Werkzeughalter 4 drehfest mit dem
rotierbaren Spindelteil 3 und das Werkzeug 6 drehfest mit dem Werkzeughalter 4
verbunden.

15 Der statische Spindelteil 2 weist eine Außenspule 7 und der rotierbare Spindelteil 3
eine Innenspule 8 auf. Die Außenspule 7 und die Innenspule 8 sind für eine berüh-
rungslose Übertragung elektrischer Energie von der Antriebseinheit 26 über den
statischen Spindelteil 2, die Außenspule 7 und die Innenspule 8 auf den rotierbaren
Spindelteil 3 konzentrisch umeinander und ineinander eingreifend angeordnet. Die
20 elektrische Energie kann insbesondere als Wechselspannung von einer Wechsel-
spannungsquelle 12 bereitgestellt und in die Außenspule 7 geleitet und von dieser
induktiv auf die Innenspule 8 übertragen werden. Die Außenspule 7 weist eine Au-
ßenspulenachse 9 und die Innenspule 8 eine Innenspulenachse 10 auf. Die Au-
ßenspulenachse 9 und die Innenspulenachse 10 fallen mit der Spindelachse 11 der
25 Spindel 27 sowie mit der Drehachse 22 zusammen. Die Innenspule 8 und die Au-
ßenspule 7 haben entlang der Spulenachsen 9, 10 jeweils eine Spulenhöhe 23 und
eine normal bzw. senkrecht zu den Spulenachsen 9, 10 ausgerichtete Spulenmitt-
lebene 24. Die Spulenhöhen 23 überlappen sich hier exakt. Die Spulenmittelebenen
24 liegen hier exakt aufeinander. Dies ist eine bevorzugte Ausführungsvariante. Es

30

sind auch Ausführungsvarianten möglich, in denen die Spulenmittelebenen 24 versetzt zueinander angeordnet sind und sich die Spulenhöhen 23 nur teilweise überlappen.

- 5 Die Schnittstelle 5 für den Werkzeughalter 4 ist derart ausgeführt und mit der Innenspule 8 verbunden, dass über die Schnittstelle 5 zumindest elektrische Energie von der Innenspule 8 auf den Werkzeughalter 4 kontaktierend übertragen werden kann. Dass die Energie kontaktierend übertragen wird, bedeutet, dass Leitungen unmittelbar miteinander in Kontakt stehen und so einen Stromfluss entlang eines
- 10 durchgehenden Leitungspaths ermöglichen. Im Gegensatz zu einer kontaktierenden Übertragung von Energie steht eine berührungslose Übertragung, bei der ein Leitungspfad unterbrochen ist und die Energie beispielsweise induktiv über die Unterbrechung hinaus übermittelt wird. Der Werkzeughalter 4 weist einen Schwingungsgenerator 20 auf und ist derart an die Schnittstelle 5 angebunden, dass der Schwin-
- 15 gungsgenerator 20 über die Schnittstelle 5 mit elektrischer Energie versorgbar ist. Eine Steuerung 21 ist an die Wechselspannungsquelle 12 angebunden. Die Steuerung 21 ist insbesondere zur bedarfsgerechten Ansteuerung des Schwingungsgenerators 20 eingerichtet.
- 20 Die Außenspule 7 weist einen Außenspulendurchmesser 16 und die Innenspule 8 einen Innenspulendurchmesser 17 auf. Der Innenspulendurchmesser 17 ist kleiner als der Außenspulendurchmesser 16.

- Die Außenspule 7 weist eine Außenspulenwicklung 13 und die Innenspule 8
- 25 eine Innenspulenwicklung 14 auf. Die Außenspulenwicklung 13 und die Innenspulenwicklung 14 sind in einer Längsrichtung 15 der Vorrichtung 1 ausgedehnt.

Bezugszeichenliste

	1	Vorrichtung
	2	statischer Spindelteil
5	3	rotierbarer Spindelteil
	4	Werkzeughalter
	5	Schnittstelle
	6	Werkzeug
	7	Außenspule
10	8	Innenspule
	9	Außenspulenachse
	10	Innenspulenachse
	11	Spindelachse
	12	Wechselspannungsquelle
15	13	Außenspulenwicklung
	14	Innenspulenwicklung
	15	Längsrichtung
	16	Außenspulendurchmesser
	17	Innenspulendurchmesser
20	18	erste Stirnseite
	19	zweite Stirnseite
	20	Schwingungsgenerator
	21	Steuerung
	22	Drehachse
25	23	Spulenhöhe
	24	Spulenmittelebene
	25	Lagerung
	26	Antriebseinheit
	27	Spindel
30		

Patentansprüche

1. Spindel (27) für eine Vorrichtung (1) zum rotatorischen Antrieb eines Werkzeugs (6), umfassend zumindest:
 - 5 - einen statischen Spindelteil (2), der drehfest mit einer Antriebseinheit (26) der Vorrichtung (1) verbindbar ist, und
 - einen rotierbaren Spindelteil (3), der relativ zu dem statischen Spindelteil (2) drehbar an dem statischen Spindelteil (2) gelagert ist und der eine Schnittstelle (5) für einen Werkzeughalter (4) für das Werkzeug (6) aufweist, über die der Werkzeughalter (4) drehfest mit dem rotierbaren Spindelteil (3) verbindbar ist,
10 wobei der statische Spindelteil (2) eine Außenspule (7) aufweist, und der rotierbare Spindelteil (3) eine Innenspule (8) aufweist, und wobei die Außenspule (7) und die Innenspule (8) für eine berührungslose Übertragung elektrischer Energie von dem statischen Spindelteil (2) über die Außenspule (7) und die
15 Innenspule (8) auf den rotierbaren Spindelteil (3) ineinander angeordnet sind.
2. Spindel (27) nach Patentanspruch 1, wobei die Außenspule (7) einen Außenspulendurchmesser (16) aufweist, und wobei die Innenspule (8) einen Innenspulendurchmesser (17) aufweist, der kleiner ist als der Außenspulendurchmesser (16).
20
3. Spindel (27) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei die Außenspule (7) eine Außenspulenwicklung (13) und die Innenspule (8) eine Innenspulenwicklung (14) aufweist, und wobei zumindest die Außenspulenwicklung (13) oder die Innenspulenwicklung (14) in einer Längsrichtung (15) der Vorrichtung (1) ausgedehnt sind.
25
4. Spindel (27) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei die Außenspule (7) konzentrisch um die Innenspule (8) angeordnet ist.
30

- 5 5. Spindel (27) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei die Schnittstelle (5) für den Werkzeughalter (4) derart ausgeführt und mit der Innenspule (8) verbunden ist, dass über die Schnittstelle (5) zumindest elektrische Energie von der Innenspule (8) auf den Werkzeughalter (4) kontaktierend übertragen werden kann.
- 10 6. Spindel (27) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei ein Werkzeughalter (4) mit einem Schwingungsgenerator (20) derart an die Schnittstelle (5) angebunden ist, dass der Schwingungsgenerator (20) über die Schnittstelle (5) mit elektrischer Energie versorgbar ist.
- 15 7. Verwendung einer Spindel (27) gemäß einem der vorhergehenden Patentansprüche zur Ultraschallbearbeitung von Werkstücken, wobei das Werkzeug (6) mit der Spindel (27) verbunden ist und eine Schnittgeschwindigkeit von mindestens 20 m/min eingestellt ist.
8. Vorrichtung (1) zum rotatorischen Antrieb eines Werkzeugs (6), umfassend eine Spindel (27) gemäß einem der Patentansprüche 1 bis 6.
- 20 9. Steuerung (21) für eine Vorrichtung (1) gemäß Patentanspruch 8, die zur bedarfsgerechten Ansteuerung des Schwingungsgenerators (20) eingerichtet ist.

