

(19)



(11)

EP 3 530 359 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

18.10.2023 Patentblatt 2023/42

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

B06B 3/02^(2006.01) B06B 3/00^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

B06B 3/02; B06B 3/00

(21) Anmeldenummer: **18158630.6**

(22) Anmeldetag: **26.02.2018**

(54) VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM BEARBEITEN VON WERKSTÜCKEN ODER GEGENSTÄNDEN

DEVICE AND METHOD FOR MACHINING WORKPIECES OR OBJECTS

DISPOSITIF ET PROCÉDÉ D'USINAGE DE PIÈCES À USINER OU D'OBJETS

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

28.08.2019 Patentblatt 2019/35

(73) Patentinhaber: **Telsonic Holding AG**

9552 Bronschhofen (CH)

(72) Erfinder: **Solenthaler, Peter**

9543 St. Margarethen (CH)

(74) Vertreter: **Hepp Wenger Ryffel AG**

Friedtalweg 5

9500 Wil (CH)

(56) Entgegenhaltungen:

CH-A5- 638 706

DE-A1- 4 121 148

DE-A1- 10 160 228

DE-A1-102006 045 518

DE-A1-102015 101 167

EP 3 530 359 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Bearbeiten von Werkstücken oder Gegenständen mit den Merkmalen des Oberbegriffs der unabhängigen Patentansprüche.

[0002] Es ist bekannt, dass beim Einbringen von Werkstücken in Gegenstände die Vorschubkraft zum Einbringen des Werkzeuges oder Werkstücks in den Gegenstand erheblich verringert werden kann, wenn das Werkzeug oder Werkstück mit Schwingungen, insbesondere Ultraschallschwingungen beaufschlagt wird.

[0003] Aus DE 10 2006 045518 A1 ist ein Ultraschall-Schwingungswandler zum Ultraschallbohren bekannt.

[0004] Aus US 7,740,088 ist beispielsweise ein Ultraschallunterstützter Bohrhammer bekannt.

[0005] Aus DE 10 2014 203 757 A1 ist ein Verfahren zum Verbinden von zwei Bauteilen im Stanznietverfahren bekannt, bei welchem ein Niet und/oder Bauteile mittels einer Einrichtung in Schwingungen versetzt werden.

[0006] Durch die Einleitung der Schwingungen kann die erforderliche Vorschubkraft um bis zu einen Faktor 10 reduziert werden. Bekannte Vorrichtungen basieren darauf, dass von einem Schwinger über ein Impulsübertragungselement Schwingungen auf ein Werkzeug und/oder Werkstück übertragen werden. Durch die übertragenen Impulse wird das Werkzeug oder Werkstück regelmässigen Belastungen ausgesetzt, wodurch sich die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück einerseits und dem Gegenstand andererseits und damit die

[0007] Einpresskraft reduzieren lässt. Das Impulsübertragungselement ist dabei als vom Schwinger getrenntes Bauteil ausgestaltet. Insbesondere bei der Verwendung von Ultraschallschwingungen schwingt der Schwinger in einem Resonanzmodus. Das Impulsübertragungselement ist als separates Element vom Schwinger getrennt und schwingt nicht in Resonanz, sondern dient primär zur Übertragung des Impulses vom Schwinger auf das Werkzeug oder das Werkstück. Das Impulsübertragungselement ist entsprechend als Verschleissenteil ausgebildet und kann einfach ausgetauscht werden, ohne dass der in seiner Herstellung aufwendigere Schwinger ausgetauscht werden muss. Ausserdem lässt sich das Impulsübertragungselement auch entsprechend den Anforderungen an die Applikation lang und/oder dünn ausgestalten, ohne dass auf eine resonante Abstimmung Rücksicht genommen werden muss. Allerdings weist diese Zweiteilung in Schwinger und Impulsübertragungselement verschiedene Nachteile auf. Insbesondere kann es aufgrund der fehlenden Verbindung zwischen Impulsübertragungselement und Schwinger zu Fehlausrichtungen und damit zu Qualitätsproblemen führen. Ebenso ist oft die Impulsübertragung nicht optimal, sodass übermässig hohe Leistungen vom Schwinger aufgebracht werden müssen. Ausserdem besteht vor allem am Ende von Vorgängen (beispielsweise wenn das einzutreibende Werkzeug oder Werkstück auf einen Widerstand stösst) das Problem, dass Schwingun-

gen vom Schwinger über das Impulsübertragungselement in das Werkstück oder Werkzeug eingekoppelt werden. In diesem Fall besteht die Gefahr eines unbeabsichtigten Verbindens im Bereich der Grenzflächen zwischen Schwinger und Impulsübertragungselement und/oder Impulsübertragungselement und Werkstück/Werkzeug.

[0008] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Bekannten zu vermeiden, insbesondere also eine Vorrichtung und ein Verfahren zu schaffen, welche eine hohe und gleich bleibende Qualität der Bearbeitung garantieren, welche eine optimale Energieausnutzung ermöglichen und/oder welche das unbeabsichtigte Verbinden zwischen Schwinger, Impulsübertragungselement und Werkzeug oder Werkstück verhindern.

[0009] Es ist auch denkbar, dass es zu unerwünschten Anhaftungen zwischen dem Impulsübertragungselement und einer Führung kommt. Auch solche sollen verhindert werden.

[0010] Erfindungsgemäss werden diese und weitere Aufgaben mit einer Vorrichtung und einem Verfahren gemäss dem kennzeichnenden Teil der unabhängigen Ansprüche gelöst.

[0011] Die erfindungsgemässe Vorrichtung dient zum Bearbeiten von Werkstücken. Dazu umfasst sie ein Werkzeug, mittels dessen das Werkstück direkt (z.B. wenn das Werkzeug ein Bohrer ist) oder indirekt (z.B. wenn das Werkzeug ein Werkstück beaufschlägt, welches in den Gegenstand eingetrieben wird) bearbeitbar ist. Die Vorrichtung verfügt über eine Pressvorrichtung, mittels derer das Werkzeug gegen das Werkstück oder den Gegenstand pressbar ist. Durch Anpressen kann das Werkzeug oder das Werkstück in den Gegenstand eingetrieben werden. Die Vorrichtung weist ausserdem eine Schwingungserzeugungsvorrichtung und ein Impulsübertragungselement auf.

[0012] Die Schwingungserzeugungsvorrichtung umfasst einen Schwinger und dient zum Erzeugen von Schwingungen an einer Arbeitsfläche des Schwingers. Insbesondere sind damit auf an sich bekannte Art und Weise Ultraschallschwingungen erzeugbar.

[0013] Das Impulsübertragungselement weist eine Anregungsfläche und eine Impulsübertragungsfläche auf, welche der Anregungsfläche gegenüberliegt. Die Anregungsfläche ist mit der Arbeitsfläche des Schwingers in Kontakt bringbar. Auf diese Weise können Impulse von dem Schwinger auf das Impulsübertragungselement übertragen werden. Die Impulsübertragungsfläche ist mit dem Werkzeug, dem Werkstück oder einem Zwischenstück in Kontakt bringbar. Ein Zwischenstück kann beispielsweise Teil des Werkzeugs sein, das Werkzeug bilden oder als passives weiteres Teil vorhanden sein.

[0014] Mittels des Impulsübertragungselementes sind Schwingungen von der Schwingungserzeugungsvorrichtung zum Werkstück und/oder Werkzeug übertragbar.

[0015] Gemäss der Erfindung ist zwischen dem

Schwinger und dem Impulsübertragungselement eine Zentrieranordnung vorgesehen. Insbesondere ist die Arbeitsfläche des Schwingers konkav ausgebildet und die Anregungsfläche des Impulsübertragungselementes konvex ausgebildet. Alternativ ist die Arbeitsfläche des Schwingers konvex und die Anregungsfläche des Impulsübertragungselementes konkav ausgebildet. Aufgrund von dieser konvex/konkaven Geometrie ergibt sich eine automatische Zentrierung des Impulsübertragungselementes bezogen auf den Schwinger. Fehlausrichtungen, welche zu Qualitätsproblemen führen können, werden damit automatisch vermieden. Eine zusätzliche Fixierung oder Zentrierung des Impulsübertragungselementes ist daher nicht erforderlich. Auf konstruktiv einfache Art und Weise wird so eine Zentrierung und eine gleich bleibende hohe Qualität des bearbeiteten Werkstücks oder Gegenstandes erzielt. Besonders bevorzugt weist die konkave Fläche einen Krümmungsradius auf, der grösser oder gleich dem Krümmungsradius der konvexen Fläche ist. Dabei ist also insbesondere die konkave Arbeitsfläche des Schwingers in einem zentralen Abschnitt mit einem Krümmungsradius versehen, der grösser oder gleich dem Krümmungsradius in einem zentralen Abschnitt der konvexen Anregungsfläche des Impulsübertragungselementes ist. Im Fall einer konvexen Arbeitsfläche des Schwingers ist der Krümmungsradius in einem zentralen Abschnitt der Arbeitsfläche des Schwingers kleiner oder gleich dem Krümmungsradius in einem zentralen Abschnitt der konkaven Anregungsfläche des Impulsübertragungselementes.

[0016] Gemäss der Erfindung weist das Impulsübertragungselement in einem Endabschnitt von bestimmter Länge benachbart zur Anregungsfläche und/oder in einem Endabschnitt von gleicher Länge benachbart zur Impulsübertragungsfläche eine grössere Masse auf als in einem Mittenabschnitt von wiederum gleicher Länge zwischen den Abschnitten. Auf diese Weise lässt sich die Impulsübertragung optimieren. Ein schwererer Endabschnitt benachbart zur Anregungsfläche ist in der Lage, einen grösseren Impuls (das heisst Masse mal Geschwindigkeit) zu übernehmen. Ein schwererer Abschnitt benachbart zur Impulsübertragungsfläche ist geeignet, einen grösseren Impuls auf das Werkstück oder Werkzeug zu übertragen. Während eine derartige Anordnung mit einer grösseren Masse in einem oder beiden Endabschnitten für sich alleine vorteilhaft ist, versteht es sich von selbst, dass diese insbesondere auch in Kombination mit der vorstehend ausgeführten konkav/konvexen Ausgestaltung von Anregungsfläche und Arbeitsfläche vorteilhaft eingesetzt werden kann.

[0017] Die grössere Masse der Endbereiche kann auf verschiedene Arten erzielt werden: So ist es bevorzugt denkbar, dass die Anregungsfläche und/oder die Impulsübertragungsfläche einen grösseren Querschnitt aufweist als der Mittenabschnitt.

[0018] Es ist alternativ oder zusätzlich auch denkbar, in einem oder beiden Endabschnitten ein Material mit einer grösseren Dichte zu verwenden als im Mittenab-

schnitt. Bevorzugt kann das Impulsübertragungselement in diesem Fall aus einem Grundkörper aufgebaut sein, der aus einem ersten Material besteht. In wenigstens einem der Endabschnitte kann benachbart zur Anregungsfläche und/oder benachbart zur Impulsübertragungsfläche ein Einsatz aus einem zweiten Material in den Grundkörper eingesetzt werden. Aufgrund der Werkstoffeigenschaften, insbesondere Dichte und Festigkeit, ist Wolfram denkbar und bevorzugt. Es ist aber auch denkbar, Einsätze aus unterschiedlichen Materialien an den beiden Endabschnitten einzusetzen. Wesentlich ist, dass das zweite Material eine höhere Dichte aufweist als das erste Material.

[0019] Die Querschnittsfläche der Anregungsfläche beträgt bevorzugt mindestens 150 % der Querschnittsfläche der Impulsübertragungsfläche.

[0020] Gemäss noch einem weiteren Aspekt der Erfindung ist die Vorrichtung in einem ersten Impulsübertragungsmodus und in einem zweiten Schwingungskopplungsmodus betreibbar. Im Schwingungskopplungsmodus sind die Schwingungsparameter und/oder die Anpresskraft der Pressvorrichtung anders als im Impulsübertragungsmodus gewählt. Insbesondere ist im Impulsübertragungsmodus die Anpresskraft und/oder die Amplitude der Schwingung grösser als im Schwingungskopplungsmodus. Es wurde festgestellt, dass bei fortschreitendem Vortrieb des Werkstücks und/oder Werkzeugs ein Zeitpunkt eintritt, in dem die auf das Werkzeug oder Werkstück wirkende Kraft stark zunimmt. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn das Werkstück oder Werkzeug in Kontakt mit einer Anschlagfläche gelangt oder wenn das Werkstück oder Werkzeug auf ein Hindernis auftritt, beispielsweise einen Bereich höherer Dichte in dem Körper, in dem das Werkstück oder Werkzeug eingetrieben wird. In einem solchen Fall ist es denkbar, dass nicht mehr eine reine Impulsübertragung vom Schwinger auf das Werkzeug oder Werkstück erfolgt, sondern dass das Werkzeug oder Werkstück schwingungsmässig an das Impulsübertragungselement an koppelt. In diesem Fall schwingen der Schwinger, das Impulsübertragungselement und das Werkstück und/oder Werkzeug gemeinsam und es kann zu der vorstehend erläuterten unerwünschten Verbindung kommen.

[0021] Mit anderen Worten erfolgt zwischen dem Impulsübertragungsmodus und dem Schwingungskopplungsmodus ein Übergang zwischen einem klassischen Bewegungsablauf ohne resonante Schwingungsphänomene zu einem Resonanzbetrieb.

[0022] Indem in dem Schwingungskopplungsmodus gezielt die Schwingungsparameter angepasst und/oder die Anpresskraft reduziert wird, kann ein solches unerwünschtes Verbinden verhindert werden. Grundsätzlich ist es denkbar, die Anpresskraft oder die Amplitude oder die Frequenz durch eine Steueranordnung zu kontrollieren und zu reduzieren oder verändern, wenn festgestellt wird, dass die Vorrichtung in den Schwingungskopplungsmodus gerät.

[0023] Es ist aber auch denkbar, eine Kraftreduktion durch passive Elemente zu erzielen. Insbesondere ist es denkbar und vorteilhaft, die Vorrichtung mit einer Anschlagfläche zu versehen, auf welcher das Impulsübertragungselement abstützbar ist, wenn die Vorrichtung in den Schwingungskopplungsmodus gelangt. Insbesondere führt die Anschlagfläche dazu, dass im Schwingungskopplungsmodus die Kraft durch die Anschlagfläche aufgenommen wird. Das Werkzeug und/oder Werkstück ist daher von einer geringeren Kraft beaufschlagt. Aufgrund der geringeren Kraft kommt es nicht zu einer Ankopplung oder die in das Werkstück/Werkzeug übertragene Energie wird aufgrund der reduzierten Kraft ebenfalls reduziert. Auf diese Art und Weise lässt sich mit einfachen Mitteln wirkungsvoll ein unbeabsichtigtes Verbinden verhindern.

[0024] Es ist aber auch denkbar, die Vorrichtung mit einer Messeinheit zu versehen. Die Messeinheit kann den durch das Werkzeug zurückgelegten Weg, die auf das Werkzeug wirkende Kraft, die Frequenz der Schwingung oder die durch die Schwingungserzeugungsvorrichtung aufgenommene Leistung (oder Kombinationen davon) messen. Eine Steuereinheit der Vorrichtung kann den Betrieb der Vorrichtung vom Impulsübertragungsmodus in den Schwingungskopplungsmodus in Abhängigkeit dieser Messwerte umschalten. Dies kann insbesondere bei Überschreiten eines durch das Werkzeug zurückgelegten Sollwegs, bei Überschreiten einer auf das Werkzeug wirkenden Sollkraft und/oder bei Veränderung der Leistung oder der Frequenz des Schwingungserzeugers über einen Sollwert erfolgen.

[0025] Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform ist die Vorrichtung mittels der Steuereinheit nach dem Schwingungskopplungsmodus in einem dritten Ablösemodus betreibbar. Im Ablösemodus wird die durch die Pressvorrichtung erzeugte Anpresskraft reduziert und mit der Schwingungserzeugungsvorrichtung werden Ablöseschwingungen erzeugt. Die Ablöseschwingungen sind bevorzugt mit gleicher Frequenz und mit gleicher oder geringerer Amplitude wie die Schwingungen im Impulsübertragungsmodus oder im Schwingungskopplungsmodus erzeugbar. Falls es trotz der Reduktion der Schwingungsparameter und/oder der Kraft im Schwingungskopplungsmodus zu einem unbeabsichtigten Verbinden zwischen Schwinger, Impulsübertragungselement und Werkstück/Werkzeug kommt, kann im Ablösemodus durch die Ablöseschwingungen diese Verbindung wieder getrennt werden. Die Ablöseschwingungen können insbesondere wie in der pendenden Anmeldung PCT/EP2018/052030 der gleichen Anmelderin beschrieben ausgestaltet sein.

[0026] Das Werkzeug gemäss der erfindungsgemässen Vorrichtung kann bevorzugt ein Bohrer, ein Hammer, eine Stanze, ein Nietumformer oder eine Perforationsnadel sein. Es ist denkbar, dass das Werkzeug direkt durch das Impulsübertragungselement gebildet wird, als separates Teil ausgebildet, aber fest mit diesem verbunden ist, oder als getrenntes zusätzliches Element aus-

gebildet ist. Insbesondere kann im Fall eines Hammers das Impulsübertragungselement direkt die Funktion des Hammers übernehmen. Im Fall eines Bohrers oder einer Perforationsnadel ist das Werkzeug typischerweise als getrenntes Element ausgestaltet.

[0027] Weitere Anwendungen sind Spreiznieten zum Erzeugen von Verbundmaterialien, beispielsweise aus CFK und Aluminium, das Ausstanzen von Löchern oder das Perforieren mit Nadeln, insbesondere in nicht plastifizierten Materialien.

[0028] Die Dimension des Impulsübertragungselementes wird selbstverständlich der entsprechenden Applikation angepasst. Typische Dimensionen sind 5 bis 200 mm, bevorzugt 50 bis 100 mm und besonders bevorzugt 60 bis 80 mm. Bevorzugte Durchmesser sind im Bereich der Impulsübertragungsfläche typischerweise 5 bis 15 mm, bevorzugt 6 bis 10 mm und besonders bevorzugt 7 bis 8 mm.

[0029] Gemäss einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann das Impulsübertragungselement mit Schlitzen und/oder Verstärkungsrippen versehen sein. Vor allem in Kombination mit verhältnismässig dünnen Durchmessern wird damit die Prozessgenauigkeit erhöht. Schlitze können zusätzlich dazu führen, dass der Schwingungskopplungsmodus erst bei höheren Anpresskräften einsetzt.

[0030] Eine Schlitzung führt ausserdem zu einer Kühlung. Eine Kühlung kann zusätzlich ein unerwünschtes Anhaften verhindern oder reduzieren.

[0031] Typischerweise ist die Schwingungserzeugungsvorrichtung zur Erzeugung von Ultraschallschwingungen mit einer Frequenz von 10 bis 30 kHz, insbesondere 15 bis 25 kHz ausgebildet. Die Schwingungserzeugungsvorrichtung weist dazu einen Generator und einen Konverter mit piezoelektrischen Elementen in an sich bekannter Art und Weise auf. Der Konverter ist an den Schwinger gekoppelt. Bevorzugt werden lineare Schwingungen in Richtung einer Längsachse des Impulsübertragungselementes erzeugt. Andere Schwingungsformen, beispielsweise torsionale Schwingungen, sind aber nicht ausgeschlossen und von der vorliegenden Erfindung ebenfalls umfasst.

[0032] Gemäss einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist das Impulsübertragungselement in einer der Einwirkrichtung der Schwingungen entgegengesetzten Richtung federnd gelagert.

[0033] Während die vorstehend beschriebene erfindungsgemässe Vorrichtung, welche in einem Impulsübertragungsmodus und einem Schwingungskopplungsmodus betreibbar ist, für sich alleine vorteilhaft ist, versteht es sich von selbst, dass weitere Vorteile in Kombination mit der vorstehend beschriebenen konvex/konkaven Ausgestaltung der Kontaktflächen und mit der vorstehend beschriebenen Ausgestaltung der Endabschnitte mit einer höheren Masse besonders vorteilhaft ist.

[0034] Dank der vorgenannten Merkmale lassen sich bei konstant hoher Prozessqualität und einfacher Konstruktion Reduktionen der Vorschubkräfte um einen Fak-

tor 10, beispielsweise von 40 kN auf 4 kN erzielen.

[0035] Noch ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks oder Gegenstandes. Dazu wird eine Vorrichtung wie vorstehend beschrieben eingesetzt. Ein Werkzeug wird dabei gegen ein Werkstück oder einen Gegenstand gepresst. An einer Arbeitsfläche eines Schwingers werden Schwingungen erzeugt, insbesondere Ultraschallschwingungen. Eine Anregungsfläche eines Impulsübertragungselementes wird mit den so erzeugten Schwingungen beaufschlagt. Impulse werden von der Anregungsfläche auf eine der Anregungsfläche gegenüberliegende Impulsübertragungsfläche des Impulsübertragungselementes weitergeleitet. Die Impulse werden schliesslich von der Impulsübertragungsfläche auf das Werkstück oder Werkzeug übertragen. Die Übertragung kann direkt oder indirekt über ein Zwischenstück oder über ein weiteres Teil des Werkzeugs erfolgen. Erfindungsgemäss wird die Vorrichtung in einer ersten Phase in einem Impulsübertragungsmodus und in einer zweiten Phase in einem Schwingungskopplungsmodus betrieben. Im Schwingungskopplungsmodus sind die Schwingungsparameter und/oder die Anpresskraft der Pressvorrichtung anders als im Impulsübertragungsmodus. Insbesondere ist im Impulsübertragungsmodus die Anpresskraft und/oder die Amplitude der Schwingung grösser als im Schwingungskopplungsmodus.

[0036] Bevorzugt kann im Verfahren zusätzlich eine Messung durchgeführt werden, insbesondere eine Messung des durch das Werkzeug zurückgelegten Wegs, der auf das Werkzeug oder das Werkstück wirkenden Kraft, der Frequenz der Schwingung und/oder der durch die Schwingungserzeugungsvorrichtung aufgenommenen Leistung.

[0037] Die Umschaltung vom Impulsübertragungsmodus in den Schwingungskopplungsmodus kann dann in Abhängigkeit der Messwerte erfolgen. Eine Umschaltung erfolgt insbesondere bei Überschreiten eines durch das Werkzeug zurückgelegten Sollwegs, einer auf das Werkzeug wirkenden Sollkraft und/oder bei Veränderung der Leistung oder der Frequenz der Schwingungserzeugungsvorrichtung über einen Sollwert. Dabei kann es sich um einen absoluten Sollwert oder um einen differenzialen Sollwert (Zunahme pro Zeiteinheit liegt über einem Sollwert) handeln.

[0038] Bevorzugt kann ausserdem in einem Ablösesmodus im Anschluss an den Schwingungskopplungsmodus die durch die Pressvorrichtung erzeugte Anpresskraft reduziert werden und es können Ablöseschwingungen zum Verhindern eines Anhaftens zwischen der Arbeitsfläche des Schwingers und der Anregungsfläche des Impulsübertragungselementes oder zwischen der Impulsübertragungsfläche des Impulsübertragungselementes und dem Werkstück oder dem Werkzeug oder einem Zwischenstück erzeugt werden.

[0039] Die Erfindung wird im Folgenden in Ausführungsbeispielen und anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1: Schematische Darstellung einer erfindungsgemässen Vorrichtung,
- Figur 2: Schematische Darstellung einer erfindungsgemässen Vorrichtung gemäss einem ersten Aspekt der Erfindung,
- Figuren 3a - 3e: Verschiedene Ausführungen von erfindungsgemässen Anordnungen,
- Figur 4: Schematische Darstellung einer erfindungsgemässen Anordnung mit einer Anschlagfläche zur Aufnahme von Kräften,
- Figur 5: Schematische Darstellung einer erfindungsgemässen Vorrichtung mit einer federnden Rückstellvorrichtung,
- Figur 6: Schematische Darstellung der verschiedenen Komponenten einer erfindungsgemässen Vorrichtung,
- Figuren 7a & 7b: Verlauf der Leistung und Kraft in Abhängigkeit der Zeit und
- Figuren 8a - 8c: Schematische Darstellung von verschiedenen Werkzeugen oder Werkstücken.

[0040] Figur 1 zeigt schematisch wesentliche Merkmale einer erfindungsgemässen Vorrichtung 1. Die Vorrichtung 1 weist eine Schwingungserzeugungsvorrichtung 20 und ein Impulsübertragungselement 11 auf. Gemäss Figur 1 ist das Impulsübertragungselement 11 teil eines Werkzeugs 10 zum Bearbeiten eines Werkstücks 40. Nur schematisch gestrichelt dargestellt ist ein optionales Zwischenstück 8 zwischen dem Impulsübertragungselement 11 und dem Werkstück 40. Bei dem optionalen, schematisch dargestellten Zwischenstück 13 kann es sich typischerweise um ein separates Werkzeugteil (beispielsweise eine Perforationsnadel, siehe Figur 8a, oder einen Bohrer, siehe Figur 8c) handeln. Ohne Zwischenstück 8 ist das Werkzeug 10 ausschliesslich durch das Impulsübertragungselement 11 gebildet, beispielsweise wenn das Werkzeug 40 als Hammer wirkt.

[0041] Die Schwingungserzeugungsvorrichtung 20 weist einen Schwinger 21 auf. Der Schwinger 21 ist mit einer Arbeitsfläche 22 versehen. Die Schwingungserzeugungsvorrichtung 20 (siehe im Detail auch Figur 6) weist einen Ultraschallgenerator auf, mittels dessen in an sich bekannter Art und Weise Schwingungen mit einem (nicht dargestellten) Konverter mit piezoelektrischen Elementen erzeugt werden und auf den Schwinger 21 übertragen werden können.

[0042] Der Schwinger 21 ist so ausgebildet, dass sich bei einer Schwingungsanregung im Bereich der Arbeitsfläche 22 Schwingungsmaxima einstellen. In einem Bereich, bei dem sich in einem resonanten Schwingungsbetrieb Schwingungsminima einstellen (Schwingungsknoten), ist der Schwinger 21 über einen Befestigungsflansch 24 in einer schematisch dargestellten Pressvorrichtung 30 gelagert. Mit der Pressvorrichtung 30 lässt sich eine Anpresskraft F auf den Schwinger 21 ausüben. In Figur 1 ist auf der linken Seite schematisch die Amplitude dargestellt, mit welcher der Schwinger 21 schwingt. Die Arbeitsfläche 22 befindet sich im Abstand $\lambda/2$ von einer (nicht dargestellten) Anregungsfläche des Schwingers 21. Die Lagerung im Schwingungsminimum (Amplitude nahezu null) befindet sich im Abstand $\lambda/4$ von einer Anregungsfläche. Der Schwinger 21 ist insgesamt in an sich bekannter Art und Weise als longitudinale Sonotrode ausgebildet.

[0043] Das Impulsübertragungselement 11 weist eine Anregungsfläche 12 auf. Im Betrieb ist die Anregungsfläche 12 mit der Arbeitsfläche 22 des Schwingers 21 in Kontakt bringbar. Auf der der Anregungsfläche 12 gegenüberliegenden Seite des Impulsübertragungselements 11 ist eine Impulsübertragungsfläche 13 angeordnet. Von der Impulsübertragungsfläche 13 werden Impulse direkt oder indirekt auf das Werkstück 40 oder auf das Zwischenstück 8 übertragen. Figur 1 ist als schematische Darstellung der erfindungsgemässen Vorrichtung zur Erläuterung zu verstehen. Die einzelnen erfindungsgemässen Aspekte werden nachstehend mit Bezugnahme auf die weiteren Figuren erläutert.

[0044] Figur 2 zeigt ein erstes erfindungsgemässes Ausführungsbeispiel. Der Schwinger 21 ist auf seiner Arbeitsfläche 22 in einen zentralen Abschnitt 23 konkav ausgebildet. Das Impulsübertragungselement 11 ist an seiner Anregungsfläche 12 in einem zentralen Abschnitt 14 konvex ausgebildet. Die Krümmungsradien R1 und R2 der Arbeitsfläche 22 bzw. Anregungsfläche 12 sind im Wesentlichen gleich gewählt. Es ist aber auch denkbar, den Krümmungsradius R2 der Anregungsfläche 12 kleiner auszubilden. In Figur 2 sind die komplette Arbeitsfläche und die komplette Anregungsfläche 12 konkav bzw. konvex ausgebildet. Es ist aber auch denkbar, nur die zentralen Abschnitte 14 bzw. 23 gekrümmt auszubilden. Auch damit lässt sich der gewünschte Zentrieffekt erzielen.

[0045] Das Impulsübertragungselement 11 weist eine Querschnittsverjüngung 45 auf. Dies führt dazu, dass der Querschnitt in einem Endabschnitt 15 benachbart zur Anregungsfläche 12 (mit Durchmesser D senkrecht zu Längsachse L gesehen) grösser ist als in einem Mittenabschnitt 16 und in einem Endabschnitt 17 (mit Durchmesser d). Dies führt dazu, dass die Masse des Endabschnitts 15 auf einer Länge 11 grösser ist als die jeweiligen Massen des Mittenabschnitts 16 (auf gleicher Länge l2) und des der Impulsübertragungsfläche 13 benachbarten Endabschnitts 17 (auf gleicher Länge l3). Dadurch wird die Impulsübertragung verbessert. Es ist aber

auch denkbar, einen Abschnitt mit einer Querschnittsvergrösserung zwischen dem Mittenabschnitt 16 und dem Endabschnitt 17 vorzusehen (in Figur 2 nicht gezeigt), wenn die Masse des Endabschnitts 17 erhöht werden soll.

[0046] Das Impulsübertragungselement 11 ist ausserdem mit schematisch dargestellten Schlitzen 41a und/oder Rippen 41b versehen. Es ist denkbar, einen oder mehrere Schlitze 41a, aber keine Rippen, eine oder mehrere Rippen 41b (aber keine Schlitze) oder Kombinationen von Rippen und Schlitzen vorzusehen.

[0047] Figuren 3a - 3e zeigen verschiedene alternative Ausführungsformen von erfindungsgemässen Vorrichtungen im Bereich der Schnittstelle zwischen Schwinger 21 und Impulsübertragungselement 11. Gemäss Figur 3a ist die Arbeitsfläche 22 des Schwingers 21 mit einem Sackloch 26 versehen. Die Anregungsfläche 12 des Impulsübertragungselements 11 ist ebenfalls mit einem Sackloch 43 versehen. Ein Zentrierbolzen 42 kann in die beiden Sacklöcher 26, 43 eingesetzt sein. In Figur 3a ist eine konkav/konvexe Ausgestaltung von Arbeitsfläche 22 und Anregungsfläche 12 gezeigt. Bei der Verwendung eines Zentrierbolzens 42 können diese Flächen aber alternativ auch plan ausgebildet sein. In Figur 3a ist ausserdem ähnlich wie in Figur 11 eine Querschnittsverjüngung 45 gezeigt.

[0048] Figur 3b zeigt einen Schwinger 21, der ebenfalls mit einem Sackloch 26 versehen ist. Im Unterschied zum Ausführungsbeispiel gemäss Figur 3a ist die Anregungsfläche 12 des Impulsübertragungselements 11 durchgehend und ohne Sackloch ausgebildet. Stattdessen ist der Aussendurchmesser des Impulsübertragungselements 11 im Endabschnitt 15 benachbart zur Anregungsfläche 12 so ausgebildet, dass er in das Sackloch 26 im Schwinger 21 passt. Dadurch lässt sich ebenfalls eine Zentrierung erzeugen.

[0049] Figur 3c zeigt schematisch einen Schwinger 21, der mit einem Übersetzungsabschnitt 25 versehen ist. Aufgrund einer Querschnittsreduktion im Bereich des Übersetzungsabschnitts 25 entsteht beim Schwinger 21 in an sich bekannter Art und Weise eine Amplitudentransformation. Die gewünschte Schwingamplitude an der Arbeitsfläche 22 kann auf diese Weise definiert werden.

[0050] Figur 3d zeigt ein Impulsübertragungselement 11, bei dem in einem Grundkörper 18 an den beiden Endabschnitten 15 im Bereich von Anregungsfläche 12 bzw. Impulsübertragungsfläche 13 Einsätze 19a, 19b eingesetzt sind. Der Grundkörper besteht typischerweise aus Stahl oder Titan. Andere Werkstoffe wie Keramik sind aber denkbar. Die Einsätze 19a, 19b bestehen aus einem schwereren Material, typischerweise Wolfram. Die Einsätze sind durch beliebige, dem Fachmann bekannte Verbindungsmechanismen im Grundkörper 18 eingesetzt, beispielsweise eingepresst, eingeklebt oder eingeschraubt. Wesentlich ist, dass zur Erhöhung der Masse in den Endbereichen 15 bzw. 17 das Material der Einsätze 19a, 19b eine höhere Dichte aufweist als das Material des Grundkörpers 18. Selbstverständlich ist es

denkbar, auch nur an einem der Endabschnitte 15, 17 entsprechende Einsätze vorzusehen. In Figur 3d ist ausserdem ein Einsatz 27 im Bereich der Arbeitsfläche 22 des Schwingers 21 gezeigt. Der Einsatz 27 ist insbesondere aus einem widerstandsfähigeren Material ausgearbeitet, wodurch sich der Verschleiss am Schwinger 21 reduzieren lässt.

[0051] Figur 3e zeigt eine alternative Anordnung, bei der die Arbeitsfläche 22 des Schwingers 21 konvex und die Anregungsfläche 12 des Impulsübertragungselementes konkav ausgearbeitet sind. Dabei ist der Krümmungsradius R1 der Arbeitsfläche 22 des Schwingers 21 gleich wie der Krümmungsradius R2 der Anregungsfläche 12 des Impulsübertragungselements 11.

[0052] Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform werden die vorstehend dargestellten Schwinger 21 mit einer Frequenz von 25 kHz betrieben. Die Länge des Impulsübertragungselements 11 beträgt in diesem Ausführungsbeispiel 75 mm, wobei die Längen l1, l2 und l3 der Abschnitte 15, 16, 17 je 25 mm betragen. Der Durchmesser d des Impulsübertragungselements 11 im Bereich der Impulsübertragungsfläche 13 beträgt 7,5 mm. Der Durchmesser D der Anregungsfläche 12 beträgt ca. 9,4 mm (siehe Figur 2). Die Querschnittsfläche der Anregungsfläche ist daher ca. 150 % der Querschnittsfläche der Impulsübertragungsfläche 13.

[0053] Typische Schwingweiten (d.h. doppelte Amplituden) im Bereich der Arbeitsfläche 22 betragen 100 μ m.

[0054] Typische Leistungen, welche vom Schwinger 21 aufgenommen werden, betragen um die 2 kW.

[0055] Im Falle einer Einkopplung zwischen Impulsübertragungsmodus und Schwingungskopplungsmodus kann (falls die Betriebsparameter nicht geändert werden) die aufgenommene Leistung in kurzer Zeit (typischerweise über eine halbe Sekunde) von 2 kW auf 6 kW ansteigen.

[0056] Figur 4 zeigt schematisch ein Impulsübertragungselement 11, welches mit einer Stoppfläche 44 versehen ist. Wenn das Impulsübertragungselement 11 aufgrund der durch die Pressvorrichtung 30 (siehe Figuren 1 und 6) erzeugten Vorschubkraft entlang eines vorbestimmten Wegs bewegt worden ist, gelangt die Stoppfläche 44 in Anschlag mit einer Anschlagfläche 31 eines schematisch dargestellten Anschlagelements. Die Anschlagfläche 44 ist mit einem Abstand $\lambda/4$ (gemessen an der Wellenlänge der longitudinalen Schwingung des Schwingers 21) beabstandet zur Anregungsfläche 12 angeordnet. Dadurch ergeben sich im Betrieb bei einem Schwingungskopplungsmodus (siehe dazu nachfolgende Erläuterungen zu Figuren 7a und 7b) ein Schwingungsknoten im Bereich der Stoppfläche 44 und damit quasi keine Verluste aufgrund des Anschlags. Wenn die Stoppfläche 44 in Anschlag mit der Anschlagfläche 31 gelangt, nimmt die vom Impulsübertragungselement 11 auf das Werkzeug 10 und/oder Werkstück 40 ausgeübte Kraft nicht weiter zu, sondern wird reduziert. Eine Einkopplung der Schwingungen vom Impulsübertragungselement 11 auf das Werkzeug 10 oder Werkstück 40 wird

dadurch verhindert.

[0057] Figur 5 zeigt noch eine alternative Ausführungsform einer Lagerung eines erfindungsgemässen Impulsübertragungselementes 11. Das Impulsübertragungselement 11 weist ähnlich wie vorstehend im Zusammenhang mit Figur 2 beschriebene eine Querschnittsverjüngung 45 auf. Ein Rückstellelement 47 ist federnd gelagert und weist eine Aufnahme 48 auf, deren Form der äusseren Form des Impulsübertragungselements 11 angepasst ist. Am Ende des Bearbeitungsvorgangs kann das Impulsübertragungselement 11 mit dem Rückstellelement 47 zurückgeholt werden. Dadurch können allfällig auftretende unerwünschte Anhaftungen zwischen Impulsübertragungselement 11 und Werkstück 10 oder Werkzeug 40 gelöst werden. Wesentlich ist, dass das Rückstellelement 47 eine entgegen der Einwirkungsrichtung E der Schwingung gerichtete Rückstellkraft erzeugen kann. Das Rückstellelement 47 ist Teil einer Rückstelleinheit 33, welche passiv ausgestaltet sein kann (federnde Lagerung) oder welche durch die mit Bezug auf Figur 6 nachfolgend im Detail beschriebene Steuereinheit 2 aktiv betätigt werden kann.

[0058] Figur 6 zeigt schematisch die einzelnen Komponenten der erfindungsgemässen Vorrichtung 1 und die Art ihres Zusammenwirkens. Die Vorrichtung 1 wird zentral durch eine Steuervorrichtung 2 gesteuert. Die Steuervorrichtung 2 steuert den Betrieb eines Ultraschallgenerators 3. Der Ultraschallgenerator 3 gibt nötigenfalls Informationen betreffend Frequenz und Leistung an die Steuereinheit 2 zurück, so dass die Steuereinheit 2 entsprechend diesen Werten den Betrieb kontrollieren kann. Der Ultraschallgenerator 3 betreibt den Schwinger 20 durch Anregen von nicht gezeigten piezoelektrischen Elementen in an sich bekannter Art und Weise.

[0059] Die Steuervorrichtung 2 kontrolliert ausserdem die Pressvorrichtung 30, welche die Anpresskraft F auf den Schwinger 21 ausübt. Die Vorrichtung 1 weist ausserdem eine Messeinheit 32 auf. Mit der Messeinheit 32 sind insbesondere Vorschubweg des Schwingers 21 oder auch von dem Impulsübertragungselement 11 oder einem Werkzeug 10 messbar. Die Messeinheit 32 kann auch Teil des Generators 3 sein und die vom Schwinger 21 aufgenommene Leistung messen. Ausserdem ist es denkbar, Generator und Steuervorrichtung 2 in einer Komponente zu integrieren. Die Steuervorrichtung 2 dient zum Betrieb der Vorrichtung 1 gemäss verschiedenen Betriebsmodi. Diese werden mit Bezug auf Figuren 7a und 7b näher erläutert.

[0060] In einer Einschwingphase ES wird eine Anpresskraft F_{PRESS} durch die Pressvorrichtung 30 aufgebaut und die Schwingung im Schwinger 21 durch den Generator 3 erzeugt. Nach der Einschwingphase ES wird die Vorrichtung 1 in einem Impulsübertragungsmodus I betrieben. Die Pressvorrichtung 30 übt dazu eine im Wesentlichen konstante Anpresskraft F_{PRESS} auf den Schwinger 20 aus (siehe Figur 7b). Aufgrund dieser Anpresskraft F_{PRESS} wird ein Vorschub auf das Impulsübertragungselement 11 und auf Werkstück 40 oder

Werkzeug 10 übertragen. Es erfolgt ein kontinuierlicher Vorschub unter gleichzeitiger Beaufschlagung von Impulsübertragungselement 11 und Werkzeug/Werkstück mit Ultraschallschwingungen. In Figur 7a ist die vom Generator abgegebene und vom Schwinger 21 aufgenommene Leistung P im Verlauf der Zeit gezeigt. Solange die Vorrichtung 1 im Impulsübertragungsmodus I arbeitet, bleibt die aufgenommene Leistung P im Wesentlichen konstant. Wenn der zurückgelegte Weg des Werkzeugs 10 oder Werkstücks 40 einen gewissen Wert übersteigt, das heisst wenn das Werkzeug 10 oder Werkstück 40 z.B. in Anschlag gerät, nimmt aufgrund einer Einkopplung von Schwingungen in das Werkzeug/Werkstück die aufgenommene Leistung zu. In diesem Umschaltzeitpunkt t_U erfolgt eine Umschaltung des Betriebs des Generators 3 in einen Schwingungskopplungsmodus S. Dadurch nimmt die aufgenommene Leistung (siehe gestrichelt dargestellte Kurve 1) im Gegensatz zu einer hypothetischen Leistungsaufnahme ohne Umschalten (gestrichelt dargestellte Kurve 2) wieder ab. Der Umschaltzeitpunkt t_U wird wie vorstehend erläutert durch die Messeinheit 32 ausgelöst. Insbesondere wird umgeschaltet, wenn die Leistungszunahme pro Zeiteinheit (dP/dt) über einem bestimmten Wert liegt.

[0061] Während es denkbar ist, die Leistung P durch Reduktion der Generatorleistung zu reduzieren, wird bevorzugt die Anpresskraft F_{PRESS} reduziert. Figur 7b zeigt schematisch die Anpresskraft F_{PRESS} , welche durch die Pressvorrichtung 30 erzeugt wird und die auf das Werkstück 40 wirkende Kraft F_{WS} im Lauf der Zeit. Nach der Einschwingphase ES ist die von der Pressvorrichtung 30 erzeugte Anpresskraft F_{PRESS} während des Impulsübertragungsmodus I im Wesentlichen identisch zur auf das Werkstück 40 übertragenen Kraft F_{WS} . Im Umschaltzeitpunkt t_U ist es denkbar, die von der Pressvorrichtung 30 erzeugte Anpresskraft F_{PRESS} konstant zu halten (siehe gestrichelte Linie 1), einen Teil der einwirkenden Kraft aber in der vorstehend mit Bezugnahme auf Figur 4 erläuterten Anordnung durch eine Anschlagfläche 31 aufzunehmen. Dadurch reduziert sich die auf das Werkstück 40 wirkende Kraft F_{WS} schlagartig (siehe durchgezogene Linie 2). Es wird nur noch ein Bruchteil der von der Pressvorrichtung 30 aufgebrauchten Anpresskraft F_{PRESS} auf das Werkstück 40 übertragen. Es ist aber auch denkbar, die von der Pressvorrichtung 30 erzeugte Anpresskraft F_{PRESS} kontinuierlich zu reduzieren (siehe gestrichelte Linie 3), ohne ein Anschlagelement zu verwenden. In diesem Fall entspricht die auf das Werkstück 40 wirkende Kraft F_{WS} wiederum der von der Pressvorrichtung 30 erzeugten Anpresskraft F_{PRESS} (siehe gestrichelte Linie). Die Umschaltung zwischen Impulsübertragungsmodus I und Schwingungskopplungsmodus S erfolgt wie vorstehend erläutert aktiv bei Erreichen von gewissen Sollwerten oder passiv der Stoppfläche 44 an der entsprechenden Anschlagfläche 31. Es sind allerdings auch Kombinationen denkbar: So ist es insbesondere denkbar, die Anpresskraft F_{PRESS} der Pressvorrichtung 30 und/oder die Leistung des Generators 3 zu reduzieren, wenn fest-

gestellt wird, dass die Stoppfläche 44 an die Anschlagfläche 31 anschlägt.

[0062] Am Ende der Schwingungskopplungsphase S (siehe Figur 7a) erfolgt eine Ablösephase L. In der Ablösephase L wird die von der Pressvorrichtung 30 erzeugte Anpresskraft F_{PRESS} (weiter) reduziert und es werden Ablöseschwingungen auf den Schwinger 21 gegeben. In dieser Phase L oder am Ende der Schwingungskopplungsphase S kann es ausserdem zu einem Entspannen des Werkstücks aufgrund der eingetragenen Schwingungen kommen.

[0063] Figuren 8a - 8c zeigen exemplarisch verschiedene Werkstücke 40 und Werkzeuge 10. Gemäss Figur 8a wird mittels eines Werkzeugs 10 in Form einer Nadel ein Loch in ein Werkstück 40 in Form einer Platte eingebracht. Selbstverständlich sind auch Werkzeuge mit mehreren Nadeln 10 denkbar und eine matrixartige Perforationsstruktur in das Werkstück 40 einzubringen. Denkbar sind dazu beispielsweise Filteranwendungen oder die Herstellung von porösen Membranen.

[0064] Figur 8b zeigt ein Werkzeug 10 in Form eines Stanznietes. Mit dem Stanzniet 40, welcher ausserdem Verankerungsrippen 39 aufweist, lassen sich verschiedene Schichten 46a, 46b, 46c miteinander verbinden. Damit lassen sich Verbundwerkstoffe, beispielsweise Leichtbauelemente, herstellen.

[0065] Figur 8c zeigt ein Werkzeug 10 in Form eines Bohrers, mittels dessen in einem Werkstück 40 ein Bohrloch eingebracht werden soll. Mit Bezug auf die in den Figuren 7a und 7b erläuterten Impulsübertragungsphasen I und Schwingungskopplungsphasen S ist Folgendes zu bemerken: Bei der Ausführungsform gemäss Figur 8a erfolgt typischerweise eine Umschaltung, wenn das Werkzeug 10 einen vorbestimmten Weg Δl zurückgelegt hat. Die Umschaltung im Ausführungsbeispiel gemäss Figur 8b erfolgt, wenn der Kopf des Stanznietes 40 in Anschlag mit der obersten Schicht 46a gerät, was zu einem Anstieg der vom Schwinger 21 aufgenommenen Leistung führt, welche durch den Generator 3 detektiert werden kann. Gemäss Figur 8c erfolgt ein Umschalten, wenn der Bohrer 10 um einen vorbestimmten Vorschubweg Δl vorgetrieben wurde oder auch wenn aufgrund des Auftreffens der Bohrspitze auf ein Hindernis 49 (beispielsweise Material von grösserer Dichte) eine Erhöhung der vom Schwinger 21 aufgenommenen Leistung detektiert wird. Insbesondere wenn das Umschalten bei Erreichen eines vorbestimmten Wegs Δl erfolgen soll (siehe Figuren 8a oder 8c) oder wenn das Werkzeug 40 gemäss Figur 8b nicht in Anschlag gebracht werden soll, kann das Umschalten passiv mittels der in Figur 4 beschriebenen Kombination von Stoppfläche 44 und Anschlagfläche 31 erfolgen.

55 Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zum Bearbeiten von Werkstücken (40) oder Gegenständen, umfassend

- ein Werkzeug (10), mittels dessen das Werkstück (40) oder der Gegenstand bearbeitbar ist,
 - eine Pressvorrichtung (30), mittels deren das Werkzeug (10) gegen das Werkstück (40) oder den Gegenstand pressbar ist,
 - eine Schwingungserzeugungsvorrichtung (20) mit einem Schwinger (21) zum Erzeugen von Schwingungen an einer Arbeitsfläche (22) des Schwingers (21), insbesondere Ultraschallschwingungen, und
 - ein Impulsübertragungselement (11) mit einer Anregungsfläche (12) und einer der Anregungsfläche (12) gegenüberliegenden Impulsübertragungsfläche (13), wobei die Anregungsfläche (12) mit der Arbeitsfläche (22) des Schwingers (21) in Kontakt bringbar ist, und wobei insbesondere die Arbeitsfläche (22) des Schwingers (21) konkav ausgebildet ist und die Anregungsfläche (12) des Impulsübertragungselementes (11) konvex ausgebildet ist oder die Arbeitsfläche (22) des Schwingers (21) konvex ausgebildet ist und die Anregungsfläche (12) des Impulsübertragungselementes (11) konkav ausgebildet ist, und wobei die Impulsübertragungsfläche (13) mit dem Werkzeug (10), dem Werkstück (40) oder einem Zwischenstück (8) in Kontakt bringbar ist, so dass mittels des Impulsübertragungselementes (11) Schwingungen von der Schwingungserzeugungsvorrichtung (20) zum Werkstück (40) oder Werkzeug (10) übertragbar sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem Schwinger (21) und dem Impulsübertragungselement (11) eine Zentrieranordnung vorgesehen ist, wobei das Impulsübertragungselement (11) in einem Endabschnitt (15) von bestimmter Länge (l1) benachbart zur Anregungsfläche (12) und/oder in einem Endabschnitt (17) von gleicher Länge (l3) benachbart zur Impulsübertragungsfläche (13) eine grössere Masse aufweist als in einem Mittenabschnitt (16) gleicher Länge (l2) zwischen den Endabschnitten (15, 17).
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die konkave Arbeitsfläche (22) des Schwingers (21) in einem zentralen Abschnitt (23) einen Krümmungsradius (R1) aufweist, der grösser oder gleich dem Krümmungsradius (R2) in einem zentralen Abschnitt (14) der konvexen Anregungsfläche (12) des Impulsübertragungselementes (11) ist oder wobei die konvexe Arbeitsfläche (22) des Schwingers (21) in einem zentralen Abschnitt (23) einen Krümmungsradius (R1) aufweist, der kleiner oder gleich dem Krümmungsradius (R2) in einem zentralen Abschnitt (14) der konkaven Anregungsfläche (12) des Impulsübertragungselementes (11) ist.
3. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 und 2, wobei die Anregungsfläche (12) und/oder die Impulsübertragungsfläche (13) einen grösseren Querschnitt und/oder eine grössere Dichte aufweist als des Mittenabschnitt (16).
4. Vorrichtung (1) nach Anspruch 3, wobei das Impulsübertragungselement (11) im Wesentlichen aus einem Grundkörper (18) aus einem ersten Material besteht und in wenigstens einem Endabschnitt (15, 17) benachbart zur Anregungsfläche (12) und/oder der Impulsübertragungsfläche (13) ein Einsatz (19a, 19b) aus einem zweiten Material, insbesondere Wolfram, in den Grundkörper (18) eingesetzt ist, wobei das zweite Material eine höhere Dichte aufweist als das erste Material.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 und 4, wobei der Querschnitt der Anregungsfläche (12) mindestens 150% des Querschnitts der Impulsübertragungsfläche (13) beträgt.
6. Vorrichtung (1) zum Bearbeiten von Werkstücken (40) oder Gegenständen nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (1) in einem ersten Impulsübertragungsmodus (I) und in einem zweiten Schwingungskopplungsmodus (S) betreibbar ist, wobei im Schwingungskopplungsmodus (S) die Schwingungsparameter und/oder die Anpresskraft (F) der Pressvorrichtung (30) anders sind als im Impulsübertragungsmodus (I), wobei insbesondere im Impulsübertragungsmodus (I) die Anpresskraft (F) und/oder die Amplitude der Schwingung grösser ist als im Schwingungskopplungsmodus (S).
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Vorrichtung (1) eine Anschlagfläche (31) aufweist, auf welcher das Impulsübertragungselement (11) im Schwingungskopplungsmodus (S) abstützbar ist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 und 7, wobei die Vorrichtung eine Messeinheit (32) zum Messen des durch das Werkzeug (10) zurückgelegten Weges, der auf das Werkzeug (40) wirkenden Kraft, der Frequenz der Schwingung und/oder der durch die Schwingungserzeugungsvorrichtung (20) aufgenommene Leistung aufweist und wobei die Vorrichtung (1) eine Steuereinheit (2) aufweist, welche den Betrieb der Vorrichtung vom Impulsübertragungsmodus (I) in den Schwingungskopplungsmodus (S) in Abhängigkeit der Messwerte der Messeinheit (32) umschaltet, insbesondere bei Überschreiten eines durch das Werkzeug (10) zurückgelegten Sollwegs, einer auf das Werkzeug (10) wirkenden Sollkraft und/oder bei Veränderung der Leistung oder der Frequenz der Schwingungserzeugungsvorrichtung (20) über einen Sollwert.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei die Steuereinheit (2) derart ausgebildet ist, dass die Vorrichtung (1) nach dem Schwingungskopplungsmodus (S) in einem dritten Ablösemodus (L) betreibbar ist, wobei im Ablösemodus (L) die durch die Pressvorrichtung (30) erzeugte Anpresskraft (F) reduziert ist und mit der Schwingungserzeugungsvorrichtung (20) Ablöseschwingungen erzeugbar sind.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Werkzeug (10) ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Bohrer, Hammer, Stanze, Nietumformer, Perforationsnadel.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Impulsübertragungselement (11) eine Länge von 5 bis 200 mm, bevorzugt 50 bis 100 mm, insbesondere bevorzugt 60 bis 80 mm und/oder einen Durchmesser im Bereich der Impulsübertragungsfläche (13) von 5 bis 15 mm, bevorzugt 6 bis 10 mm, insbesondere 7 bis 8 mm aufweist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das Impulsübertragungselement (11) mit Schlitzen (41a) und/oder Verstärkungsrippen (41b) versehen ist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei Schwingungserzeugungsvorrichtung (20) zur Erzeugung von Schwingungen mit einer Frequenz von 10 bis 30 kHz, insbesondere 15 bis 25 kHz ausgebildet ist, insbesondere zu linearen Schwingungen in Richtung einer Längsachse (L) des Impulsübertragungselementes (11).
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei das Impulsübertragungselement (11) in einer der Einwirkrichtung (E) der Schwingungen entgegengesetzten Richtung federnd gelagert ist.
15. Verfahren zum Bearbeiten von Werkstücken (40) oder Gegenständen, mit einer Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, umfassend die Schritte
- Pressen eines Werkzeugs (10) gegen ein Werkstück (40) oder einen Gegenstand mittels einer Pressvorrichtung (30),
 - Erzeugen von Schwingungen an einer Arbeitsfläche (22) eines Schwingers (21), insbesondere Ultraschallschwingungen,
 - Beaufschlagen einer Anregungsfläche (12) eines Impulsübertragungselementes (11) mit den erzeugten Schwingungen,
 - Weiterleiten von Impulsen von der Anregungsfläche (12) auf eine der Anregungsfläche (12) gegenüberliegende Impulsübertragungsfläche (13) des Impulsübertragungselementes (11),
- Übertragen der Impulse von der Impulsübertragungsfläche (13) auf das Werkstück (40) oder das Werkzeug (10),
- wobei die Vorrichtung in einer ersten Phase in einem Impulsübertragungsmodus (I) und in einer zweiten Phase in einem Schwingungskopplungsmodus (S) betrieben wird, wobei im Schwingungskopplungsmodus (S) die Schwingungsparameter und/oder die Anpresskraft (F) der Pressvorrichtung (30) anders sind als im Impulsübertragungsmodus (I), dass insbesondere im Impulsübertragungsmodus (I) die Anpresskraft (F) und/oder die Amplitude der Schwingung grösser ist als im Schwingungskopplungsmodus (S).
16. Verfahren nach Anspruch 15, umfassend die weiteren Schritte
- Messen des durch das Werkzeug (10) zurückgelegten Weges, der auf das Werkzeug (10) wirkenden Kraft, der Frequenz der Schwingung und/oder der durch die Schwingungserzeugungsvorrichtung (20) aufgenommenen Leistung,
 - Umschalten vom Impulsübertragungsmodus (I) in den Schwingungskopplungsmodus (S) in Abhängigkeit der Messwerte, insbesondere bei Überschreiten eines durch das Werkzeug (10) zurückgelegten Sollwegs, einer auf das Werkzeug (10) wirkenden Sollkraft und/oder bei Veränderung der Leistung oder der Frequenz der Schwingungserzeugungsvorrichtung (20) über einen Sollwert.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 und 16, umfassend die weiteren Schritte
- Reduzieren der durch die Pressvorrichtung (30) erzeugten Anpresskraft (F) in einem Ablösemodus (L) im Anschluss an den Schwingungskopplungsmodus (S),
 - Erzeugen von Ablöseschwingungen zum Verhindern eines Anhaftens zwischen der Arbeitsfläche (22) des Schwingers (21) und der Anregungsfläche (12) des Impulsübertragungselementes (11) oder zwischen der Impulsübertragungsfläche (13) des Impulsübertragungselementes (11) und dem Werkstück (40), dem Werkzeug (10) oder einem Zwischenstück (8).

Claims

1. Device (1) for machining workpieces (40) or objects, comprising
- a tool (10) by means of which the workpiece

(40) or the object can be machined,

- a pressing device (30) by means of which the tool (10) can be pressed against the workpiece (40) or the object,

- a vibration generating device (20) with a vibrator (21) for generating vibrations on a working surface (22) of the vibrator (21), in particular ultrasonic vibrations, and

- a pulse transmission element (11) with an excitation surface (12) and a pulse transmission surface (13) opposite the excitation surface (12), wherein the excitation surface (12) can be brought into contact with the working surface (22) of the vibrator (21), and wherein in particular the working surface (22) of the vibrator (21) is concave and the excitation surface (12) of the pulse transmission element (11) is convex or the working surface (22) of the vibrator (21) is convex and the excitation surface (12) of the pulse transmission element (11) is concave, and

wherein the pulse transmission surface (13) can be brought into contact with the tool (10), the workpiece (40) or an intermediate piece (8), so that vibrations can be transmitted from the vibration generating device (20) to the workpiece (40) or tool (10) by means of the pulse transmission element (11),

characterized in that

a centering arrangement is provided between the vibrator (21) and the pulse transmission element (11),

wherein the pulse transmission element (11) has a greater mass in an end section (15) of a certain length (l1) adjacent to the excitation surface (12) and/or in an end section (17) of the same length (l3) adjacent to the pulse transmission surface (13) than in a central section (16) of the same length (l2) between the end sections (15, 17).

2. Device (1) according to claim 1,

wherein the concave working surface (22) of the vibrator (21) has, in a central portion (23), a radius of curvature (R1) which is greater than or equal to the radius of curvature (R2) in a central portion (14) of the convex excitation surface (12) of the pulse transmission element (11), or

wherein the convex working surface (22) of the vibrator (21) has a radius of curvature (R1) in a central portion (23) which is smaller than or equal to the radius of curvature (R2) in a central portion (14) of the concave excitation surface (12) of the pulse transmission element (11).

3. Device (1) according to any one of claims 1 and 2,

wherein the excitation surface (12) and/or the pulse transmission surface (13) has a larger cross section and/or a larger density than the central section (16).

4. Device (1) according to claim 3, wherein the pulse transmission element (11) substantially consists of a base body (18) of a first material and in at least one end section (15, 17) adjacent to the excitation surface (12) and/or the pulse transmission surface (13) an insert (19a, 19b) of a second material, in particular tungsten, is inserted into the base body (18), the second material having a higher density than the first material.

5. Device according to any of claims 3 and 4, wherein the cross section of the excitation surface (12) is at least 150% of the cross section of the pulse transmission surface (13).

6. Device (1) for processing workpieces (40) or objects according to any of claims 1 to 5,

characterized in that the device (1) is operable in a first pulse transmission mode (I) and in a second vibration coupling mode (S), wherein in the vibration coupling mode (S) the vibration parameters and/or the pressing force (F) of the pressing device (30) are different than in the pulse transmission mode (I), wherein in particular in the pulse transmission mode (I) the pressing force (F) and/or the amplitude of the vibration is greater than in the vibration coupling mode (S).

7. Device according to claim 6, wherein the device (1) has a stop surface (31) on which the pulse transmission element (11) can be supported in the vibration coupling mode (S).

8. Device according to any one of claims 6 and 7, wherein the device comprises a measuring unit (32) for measuring the distance travelled by the tool (10), the force acting on the tool (40), the frequency of the vibration and/or the power absorbed by the vibration generating device (20), and wherein the device (1) comprises a control unit (2) which switches the operation of the device from the pulse transmission mode (I) to the vibration coupling mode (S) as a function of the measured values of the measuring unit (32), in particular when a set path covered by the tool (10), a set force acting on the tool (10) and/or when the power or the frequency of the vibration generating device (20) changes above a set value.

9. Device according to claim 8, wherein the control unit (2) is designed in such a way that the device (1) can be operated in a third release mode (L) after the vibration coupling mode (S), wherein in the release mode (L), the pressing force (F) generated by the pressing device (30) is reduced and release vibra-

tions can be generated with the vibration generating device (20).

10. Device according to any one of claims 1 to 9, wherein the tool (10) is selected from the group consisting of drill, hammer, punch, rivet transformer, perforation needle.
11. Device according to one of claims 1 to 10, wherein the pulse transmission element (11) has a length of 5 to 200 mm, preferably 50 to 100 mm, in particular preferably 60 to 80 mm and/or a diameter in the region of the pulse transmission surface (13) of 5 to 15 mm, preferably 6 to 10 mm, in particular 7 to 8 mm.
12. Device according to one of claims 1 to 11, wherein the pulse transmission element (11) is provided with slots (41a) and/or reinforcing ribs (41b).
13. Device according to one of the claims 1 to 12, wherein vibration generating device (20) is designed for generating vibrations with a frequency of 10 to 30 kHz, in particular 15 to 25 kHz, in particular linear vibrations in the direction of a longitudinal axis (L) of the pulse transmission element (11).
14. Device according to one of claims 1 to 13, wherein the pulse transmission element (11) is mounted so as to vibrate in a direction opposite to the direction of action (E) of the vibrations.
15. Method for machining workpieces (40) or objects, with a device (1) according to one of claims 1 to 14, comprising the steps of

- pressing a tool (10) against a workpiece (40) or an object by means of a pressing device (30),
- generating vibrations on a working surface (22) of a vibrator (21), in particular ultrasonic vibrations,
- applying the generated vibrations to an excitation surface (12) of a pulse transmission element (11),
- transmitting pulses from the excitation surface (12) to a pulse transmission surface (13) of the pulse transmission element (11) opposite the excitation surface (12),
- transmitting the pulses from the pulse transmission surface (13) to the workpiece (40) or the tool (10),

wherein the device is operated in a first phase in a pulse transmission mode (I) and in a second phase in a vibration coupling mode (S), wherein in the vibration coupling mode (S), the vibration parameters and/or the pressing force (F) of the pressing device (30) are different than in the pulse transmission mode (I), that in particular in the pulse transmission

mode (I) the contact force (F) and/or the amplitude of the vibration is greater than in the vibration coupling mode (S).

- 5 16. Method according to claim 15, comprising the further steps of
- measuring the distance travelled by the tool (10), the force acting on the tool (10), the frequency of the vibration and/or the power absorbed by the vibration generating device (20),
 - switching from the pulse transmission mode (I) to the vibration coupling mode (S) as a function of the measured values, in particular when a set path covered by the tool (10), a set force acting on the tool (10) and/or when the power or the frequency of the vibration generating device (20) is changed above a set value.
- 10
- 15
- 20 17. Method according to any one of claims 15 and 16, comprising the further steps of
- reducing the pressing force (F) generated by the pressing device (30) in a release mode (L) following the vibration coupling mode (S),
 - generating releasing vibrations to prevent adhesion between the working surface (22) of the vibrator (21) and the excitation surface (12) of the pulse transmission element (11) or between the pulse transmission surface (13) of the pulse transmission element (11) and the workpiece (40), the tool (10) or an intermediate piece (8).
- 25
- 30

35 Revendications

1. Dispositif (1) pour le traitement de pièces (40) ou d'objets, comprenant
- un outil (10) au moyen duquel la pièce (40) ou l'objet peut être usiné,
 - un dispositif de pressage (30) au moyen duquel l'outil (10) peut être pressé contre la pièce (40) ou l'objet,
 - un dispositif de génération de vibrations (20) avec un vibreur (21) pour générer des vibrations sur une surface de travail (22) du vibreur (21), en particulier des vibrations ultrasoniques, et
 - un élément de transmission d'impulsions (11) avec une surface d'excitation (12) et une surface de transmission d'impulsions (13) opposée à la surface d'excitation (12), la surface d'excitation (12) pouvant être mise en contact avec la surface de travail (22) du vibreur (21), et dans lequel en particulier la surface de travail (22) du vibreur (21) est concave et la surface d'excitation (12) de l'élément de transmission d'impul-
- 40
- 45
- 50
- 55

sions (11) est convexe ou la surface de travail (22) du vibreur (21) est convexe et la surface d'excitation (12) de l'élément de transmission d'impulsions (11) est concave, et

la surface de transmission d'impulsions (13) pouvant être mise en contact avec l'outil (10), la pièce (40) ou une pièce intermédiaire (8), de sorte que des vibrations peuvent être transmises du dispositif de génération de vibrations (20) à la pièce (40) ou à l'outil (10) au moyen de l'élément de transmission d'impulsions (11),

caractérisé en ce que

un dispositif de centrage est prévu entre le vibreur (21) et l'élément de transmission d'impulsions (11),

l'élément de transmission d'impulsions (11) présentant une masse plus grande dans une section d'extrémité (15) de longueur déterminée (11) voisine de la surface d'excitation (12) et/ou dans une section d'extrémité (17) de même longueur (13) voisine de la surface de transmission d'impulsions (13) que dans une section centrale (16) de même longueur (12) entre les sections d'extrémité (15, 17).

2. Dispositif (1) selon la revendication 1,

dans lequel la surface de travail concave (22) du vibreur (21) présente, dans une section centrale (23), un rayon de courbure (R1) qui est supérieur ou égal au rayon de courbure (R2) dans une section centrale (14) de la surface d'excitation convexe (12) de l'élément de transmission d'impulsions (11) ou

la surface de travail convexe (22) du vibreur (21) présentant, dans une section centrale (23), un rayon de courbure (R1) qui est inférieur ou égal au rayon de courbure (R2) dans une section centrale (14) de la surface d'excitation concave (12) de l'élément de transmission d'impulsions (11).

3. Dispositif (1) selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel la surface d'excitation (12) et/ou la surface de transmission d'impulsions (13) présente une section transversale plus grande et/ou une densité plus grande que la section centrale (16).

4. Dispositif (1) selon la revendication 3, dans lequel l'élément de transmission d'impulsions (11) se compose essentiellement d'un corps de base (18) en un premier matériau et, dans au moins une section d'extrémité (15, 17) adjacente à la surface d'excitation (12) et/ou à la surface de transmission d'impulsions (13), un insert (19a, 19b) en un deuxième matériau,

en particulier du tungstène, est inséré dans le corps de base (18), le deuxième matériau présentant une densité supérieure à celle du premier matériau.

5. Dispositif selon l'une des revendications 3 et 4, dans lequel la section transversale de la surface d'excitation (12) est au moins égale à 150% de la section transversale de la surface de transmission d'impulsions (13).

6. Dispositif (1) pour le traitement de pièces (40) ou d'objets selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le dispositif (1) peut fonctionner dans un premier mode de transmission d'impulsions (I) et dans un deuxième mode de couplage de vibrations (S), les paramètres de vibration et/ou la force de pression (F) du dispositif de pressage (30) étant différents dans le mode de transmission d'impulsions (I) que dans le mode de couplage de vibrations (S), la force de pression (F) et/ou l'amplitude de l'oscillation étant notamment plus grandes dans le mode de transmission d'impulsions (I) que dans le mode de couplage de vibrations (S).

7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel le dispositif (1) comporte une surface de butée (31) sur laquelle l'élément de transmission d'impulsions (11) peut prendre appui en mode de couplage de vibrations (S).

8. Dispositif selon l'une des revendications 6 et 7, dans lequel le dispositif comporte une unité de mesure (32) pour mesurer la distance parcourue par l'outil (10), la force agissant sur l'outil (40), la fréquence de la vibration et/ou la puissance absorbée par le dispositif de génération de vibrations (20), et dans lequel le dispositif (1) comporte une unité de commande (2), qui commute le fonctionnement du dispositif du mode de transmission d'impulsions (I) au mode de couplage de vibrations (S) en fonction des valeurs de mesure de l'unité de mesure (32), notamment en cas de dépassement d'un trajet de consigne parcouru par l'outil (10), d'une force de consigne agissant sur l'outil (10) et/ou en cas de modification de la puissance ou de la fréquence du dispositif de génération de vibrations (20) au-delà d'une valeur de consigne.

9. Dispositif selon la revendication 8, dans lequel l'unité de commande (2) est conçue de telle sorte que le dispositif (1) peut être exploité dans un troisième mode de détachement (L) après le mode de couplage de vibrations (S), la force de pression (F) générée par le dispositif de pressage (30) étant réduite dans le mode de détachement (L) et des vibrations de détachement pouvant être générées avec le dispositif de génération de vibrations (20).

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel l'outil (10) est choisi dans le groupe constitué d'un foret, d'un marteau, d'un poinçon, d'un transformeur de rivets, d'une aiguille de perforation. 5
11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel l'élément de transmission d'impulsions (11) présente une longueur de 5 à 200 mm, de préférence de 50 à 100 mm, en particulier de préférence de 60 à 80 mm et/ou un diamètre dans la zone de la surface de transmission d'impulsions (13) de 5 à 15 mm, de préférence de 6 à 10 mm, en particulier de 7 à 8 mm. 10
12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel l'élément de transmission d'impulsions (11) est pourvu de fentes (41a) et/ou de nervures de renforcement (41b). 15
13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, dans lequel le dispositif de génération de vibrations (20) est conçu pour générer des vibrations d'une fréquence de 10 à 30 kHz, en particulier de 15 à 25 kHz, en particulier des vibrations linéaires dans la direction d'un axe longitudinal (L) de l'élément de transmission d'impulsions (11). 20
14. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 13, dans lequel l'élément de transmission d'impulsions (11) est monté élastiquement dans une direction opposée à la direction d'application (E) des vibrations. 30
15. Procédé d'usinage de pièces (40) ou d'objets, avec un dispositif (1) selon l'une des revendications 1 à 14, comprenant les étapes suivantes 35
- presser un outil (10) contre une pièce (40) ou un objet au moyen d'un dispositif de pressage (30),
 - générer des vibrations sur une surface de travail (22) d'un vibreur (21), en particulier des vibrations ultrasoniques, 40
 - l'exposition d'une surface d'excitation (12) d'un élément de transmission d'impulsions (11) aux vibrations générées,
 - transmettre des impulsions de la surface d'excitation (12) à une surface de transmission d'impulsions (13) de l'élément de transmission d'impulsions (11) opposée à la surface d'excitation (12), 45
 - transmettre les impulsions de la surface de transmission des impulsions (13) à la pièce (40) ou à l'outil (10), 50
- le dispositif étant exploité dans une première phase dans un mode de transmission d'impulsions (I) et dans une deuxième phase dans un mode de couplage de vibrations (S), les paramètres de vibration et/ou la force de pression (F) du dispositif de pressage (30) étant différents 55
- dans le mode de transmission d'impulsions (I), en ce que notamment dans le mode de transmission d'impulsions (I) la force de pression (F) et/ou l'amplitude de la vibration est plus grande que dans le mode de couplage de vibrations (S).
16. Procédé selon la revendication 15, comprenant les étapes supplémentaires suivantes
- mesurer la distance parcourue par l'outil (10), la force agissant sur l'outil (10), la fréquence de la vibration et/ou la puissance absorbée par le dispositif de génération de vibrations (20),
 - commutation du mode de transmission d'impulsions (I) dans le mode de couplage de vibrations (S) en fonction des valeurs mesurées, en particulier en cas de dépassement d'une distance de consigne parcourue par l'outil (10), d'une force de consigne agissant sur l'outil (10) et/ou en cas de modification de la puissance ou de la fréquence du dispositif de génération de vibrations (20) au-delà d'une valeur de consigne.
17. Procédé selon l'une des revendications 15 et 16, comprenant les étapes supplémentaires suivantes
- réduire la force de pression (F) générée par le dispositif de pressage (30) dans un mode de détachement (L) suivant le mode de couplage de vibrations (S),
 - générer des vibrations de détachement pour empêcher un collage entre la surface de travail (22) du vibreur (21) et la surface d'excitation (12) de l'élément de transmission d'impulsions (11) ou entre la surface de transmission d'impulsions (13) de l'élément de transmission d'impulsions (11) et la pièce (40), l'outil (10) ou une pièce intermédiaire (8).

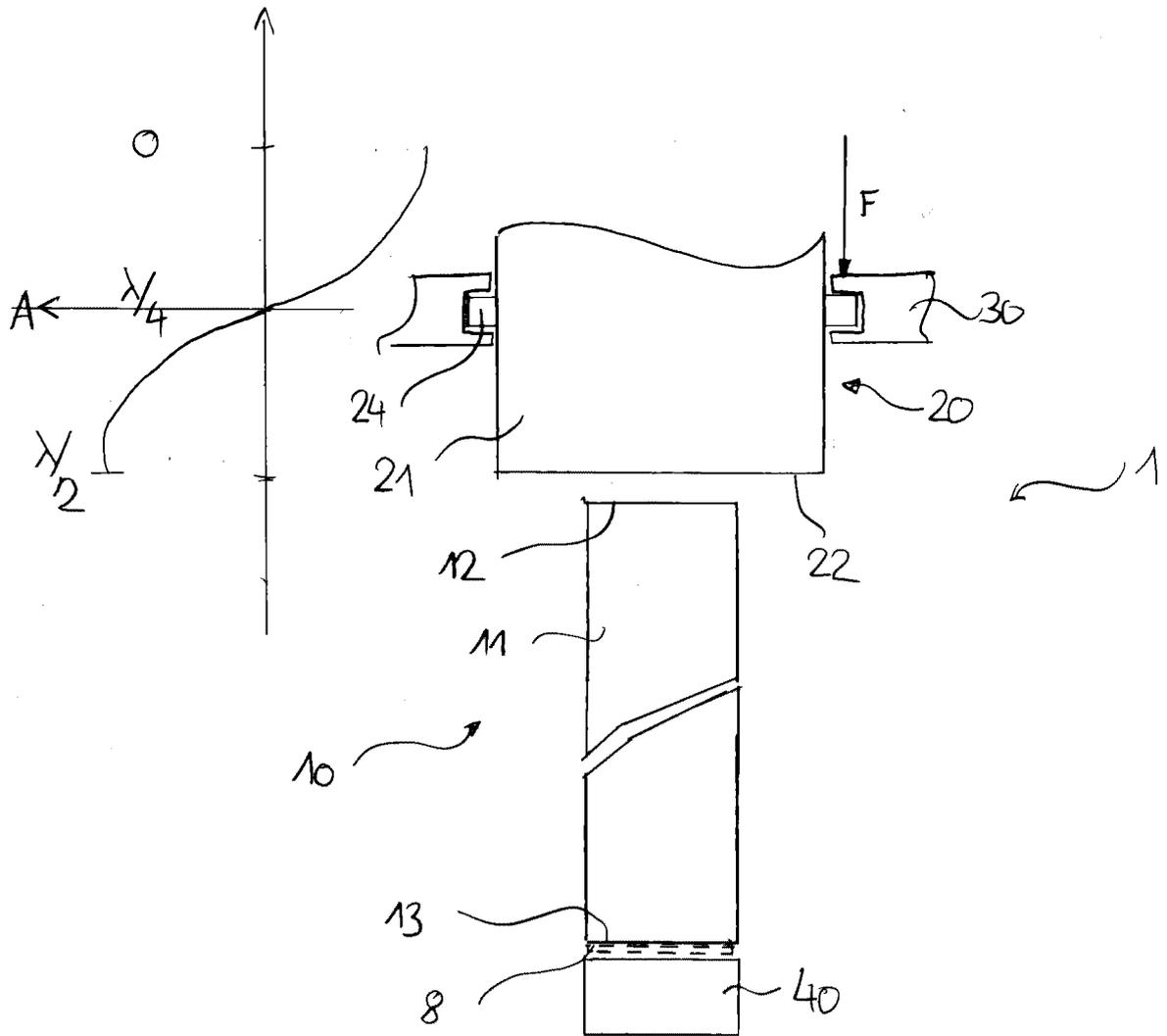


FIG. 1

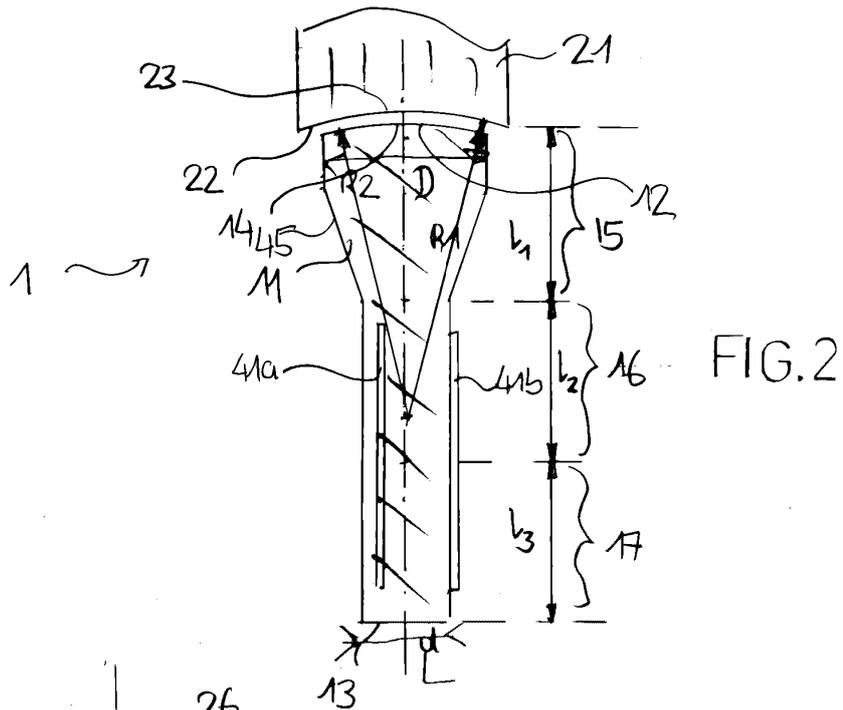


FIG. 2

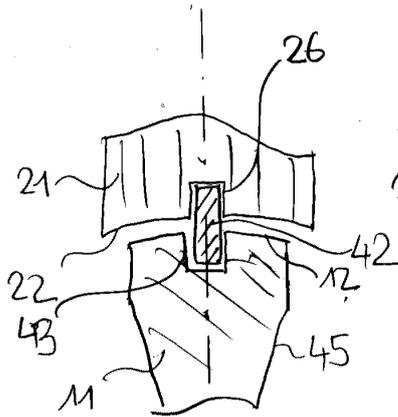


FIG. 3a

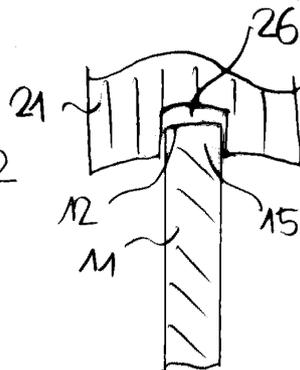


FIG. 3b

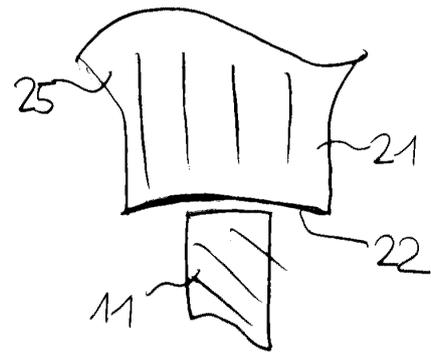


FIG. 3c

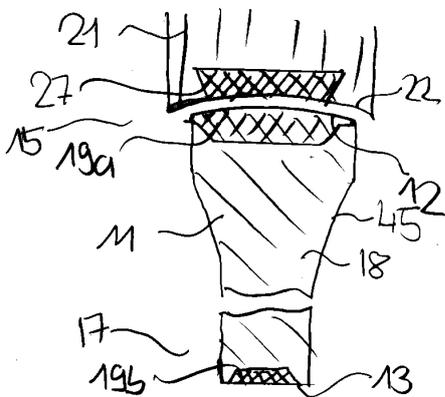


FIG. 3d

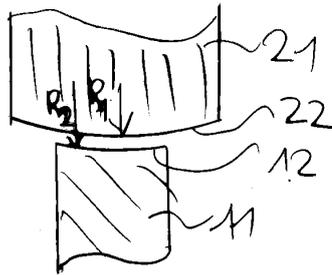


FIG. 3e

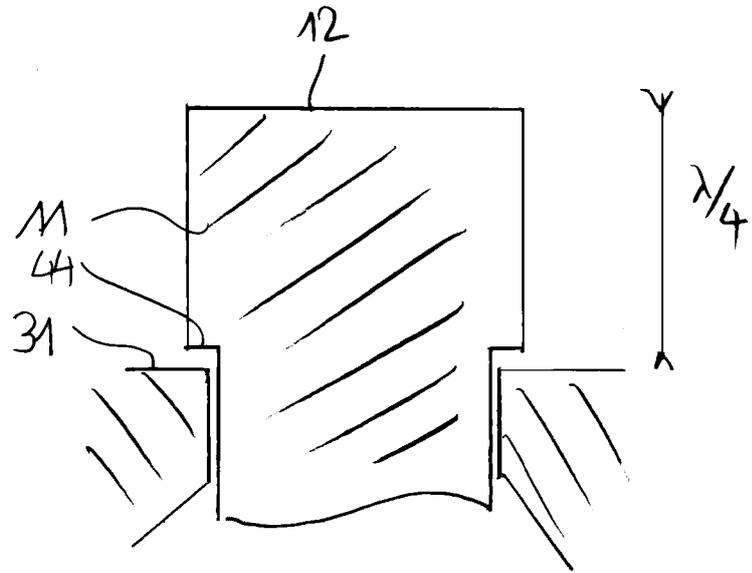


FIG. 4

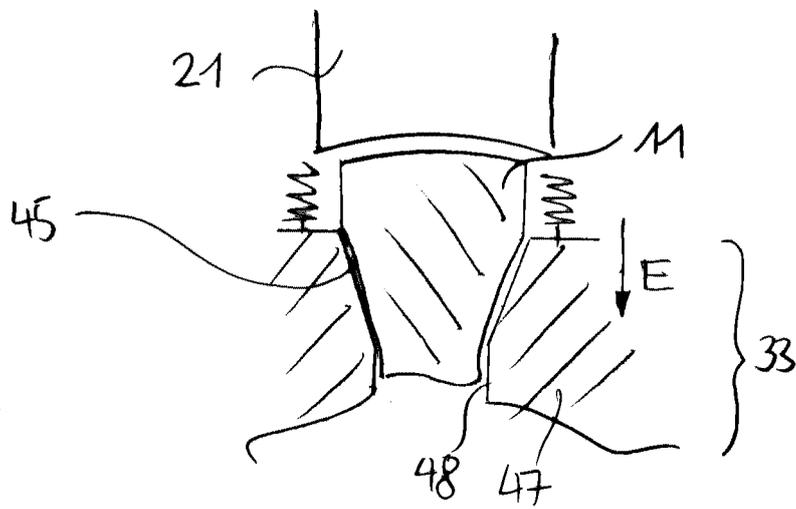
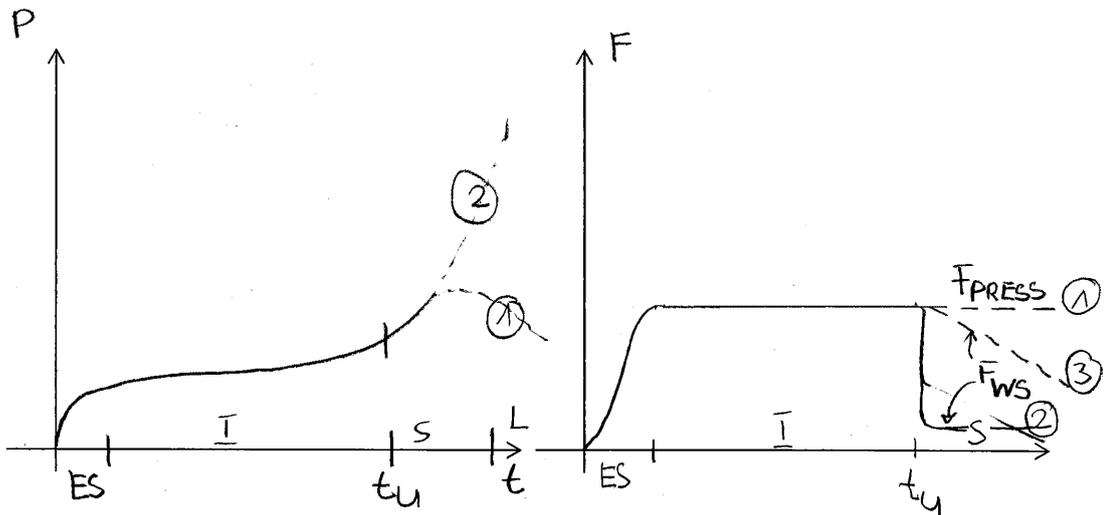
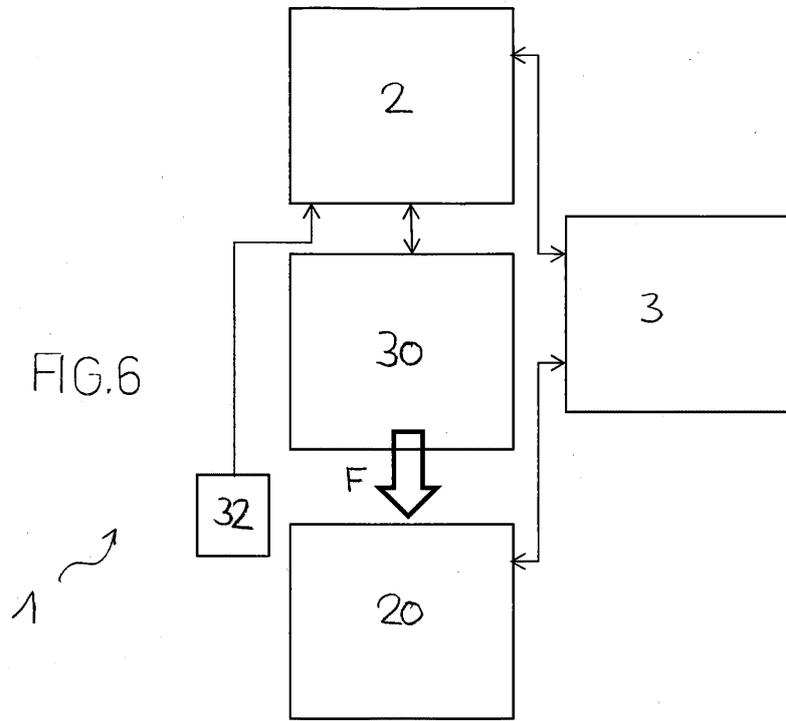


FIG. 5



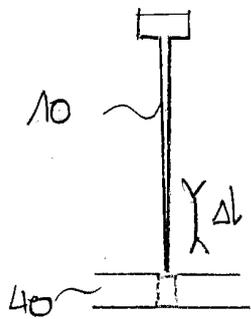


FIG. 8a

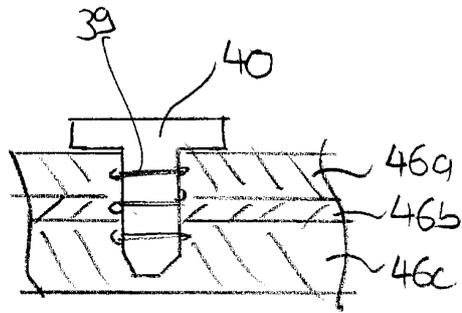


FIG. 8b

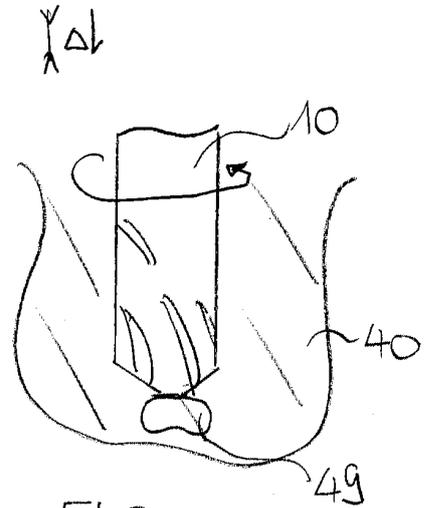


FIG. 8c

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102006045518 A1 **[0003]**
- US 7740088 B **[0004]**
- DE 102014203757 A1 **[0005]**
- EP 2018052030 W **[0025]**