



(10) **DE 20 2016 008 441 U1** 2018.01.25

(12) **Gebrauchsmusterschrift**

(21) Aktenzeichen: **20 2016 008 441.1**
(22) Anmeldetag: **29.02.2016**
(67) aus Patentanmeldung: **10 2016 103 578.5**
(47) Eintragungstag: **20.12.2017**
(45) Bekanntmachungstag im Patentblatt: **25.01.2018**

(51) Int Cl.: **B23K 26/08 (2014.01)**
B23K 26/352 (2014.01)
B23K 26/16 (2006.01)

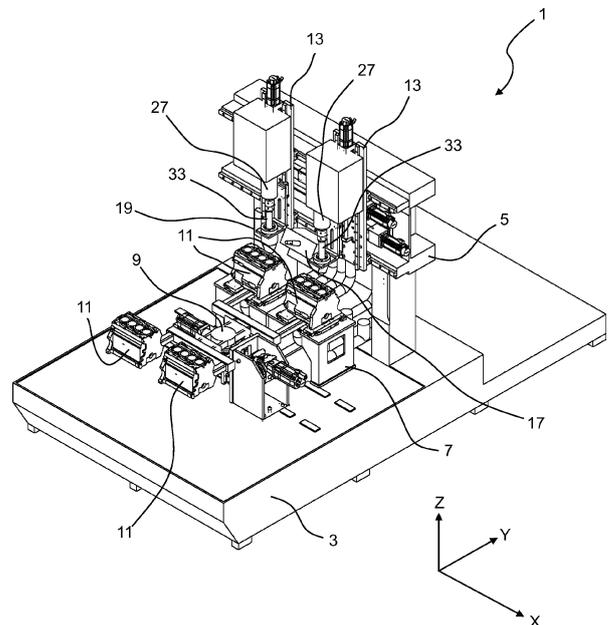
(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
**Gehring Technologies GmbH, 73760 Ostfildern,
DE**

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:
**DREISS Patentanwälte PartG mbB, 70174
Stuttgart, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zum Aufrauen von Substraten mit verstellbarer Fokussier-Linse**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zum Aufrauen von Oberflächen, umfassend mindestens einen Schlitten (29), wobei jeder Schlitten (29) mindestens einen Kollimator (25) und mindestens eine drehantreibbare Spindel (27) trägt und wobei an jeder Spindel (27) ein Strahlwerkzeug (33) befestigt ist, wobei das mindestens eine Strahlwerkzeug (33) eine fokussierende Linse (39) oder eine Fokussieroptik und eine Umlenkeinrichtung (53) umfasst, wobei die Umlenkeinrichtung (53) an einem dem Kollimator (25) gegenüberliegenden Ende des Strahlwerkzeugs (33) angeordnet ist, wobei die fokussierende Linse (39) oder die Fokussieroptik die Drehbewegung des Strahlwerkzeugs (33) mitmacht, wobei an jeder Spindel (27) ein Strahlwerkzeug (33) befestigt ist, wobei die Spindel (27) an ihrem dem Kollimator (25) entgegengesetzten Ende ein für den Laserstrahl (55) transparentes Fenster (57) aufweist, und wobei die Spindel (27) mindestens einen Sperrluftkanal (59) und eine Austrittsöffnung für die Sperrluft aufweist, und wobei die aus der Austrittsöffnung austretende Sperrluft Verunreinigungen von dem Fenster (57) abhält.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Herstellung von aufgerauten Oberflächen. Diese aufgerauten Oberflächen werden nach dem Aufrauen thermisch beschichtet. Das Ziel der Aufrauung ist es, eine hohe Haftzugsfestigkeit der aufgetragenen metallischen oder nicht-metallischen Schicht zu erreichen. Dabei geht es vornehmlich um die Anwendung in Zylinderbohrungen in Verbrennungsmotoren. Die thermischen Spritzschichten sind reibungs- und verschleißarm und erlauben die Optimierung von Verbrennungsmotoren, besonders hinsichtlich der Verringerung der Abgasemissionen. Nach dem Aufrauen und dem thermischen Beschichten erfolgt eine finale Honoperation in mehreren Schritten, welche die spritzraue Oberfläche zu einer tribologisch geeigneten Topografie vorteilhaft verändert.

[0002] Die DE 102009051717 A1 beschreibt eine Prozesskette, welche eine Aufrauung durch Laserstrahlung und nachfolgendes thermisches Beschichten enthält.

[0003] Die EP 2799180 A2 beschreibt ein Verfahren zur Oberflächenstrukturierung, welche dem thermischen Beschichten vorausgeht. Der Fokus dieser Anmeldung liegt auf den Eigenschaften des Laserstrahls und deren Parametrisierung. Ebenso beschreibt die DE 102014207263 A1 ausschließlich laserrelevante Merkmale, insbesondere die Ausführung des Strahlwerkzeuges mit einer bifokalen Optik.

[0004] Aus der DE 10 2005 019 757 A1 ist eine Vorrichtung zum Behandeln der Laufbahnen von Zylinderbohrungen von Verbrennungsmotoren mittels eines Laserstrahls bekannt. Diese Vorrichtung umfasst eine Umlenkung zum Umlenken des Laserstrahls aus einer in Längsrichtung der zu bearbeitenden Fläche gerichteten Richtung. Die Gefahr einer vorzeitigen Verschmutzung der Linse wird bei dieser Vorrichtung dadurch verringert, dass der Brennpunkt des Laserstrahls im Bereich einer Durchtrittsöffnung für den Laserstrahl im Gehäuse liegt. Dadurch kann die Öffnung im Gehäuse klein ausfallen.

[0005] Aus der DE 198 09 367 A1 ist eine Vorrichtung zum Bearbeiten von Zylinderbohrungen von Brennkraftmaschinen mittels eines Laserstrahls bekannt. Zum Schutz der Optik des Laserwerkzeugs ist ein Fenster in dem Gehäuse des Werkzeugs vorgesehen. Durch dieses transparente Fenster kann der Laserstrahl aus dem Werkzeug austreten und auf die zu bearbeitende Oberfläche gelangen.

[0006] Die EP 0 950 461 A2 zeigt ebenfalls ein Werkzeug zur Laserbearbeitung von Zylinderbohrungen oder dergleichen, die große Übereinstimmungen zu der DE 10 2005 019 757 A1 aufweist. Keine der genannten Druckschriften enthält Hinweise darauf, wie

das Aufrauen von Zylinderbohrungen in einer Großserienfertigung umsetzbar ist.

Offenbarung der Erfindung

[0007] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe besteht darin, Fertigungseinrichtungen (Vorrichtungen), Strahlwerkzeuge bereitzustellen, welche es ermöglichen, das Aufrauen einer Substratoberfläche, insbesondere der Zylinderbohrungen einer Brennkraftmaschine, vollautomatisch, prozesssicher und mit einer Taktzeit von weniger als einer Minute durchzuführen. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung zum Aufrauen von Oberflächen gemäß Anspruch 1 gelöst.

[0008] Dieses Konzept ermöglicht unter anderem eine kompakte Bauweise des Strahlwerkzeugs. Dadurch, dass der Kollimator drehfest auf einem Schlitten angeordnet ist und die Drehbewegung der Spindel nicht mitmacht, kann er auf einfache, zuverlässige und verlustarme Weise, zum Beispiel über einen Lichtleiter, mit einer Strahlquelle verbunden werden.

[0009] Dadurch, dass die fokussierende Linse oder die Fokussieroptik in dem Strahlwerkzeug angeordnet ist und deshalb die Drehbewegung der Spindel mitmacht, wird die Qualität des Laserstrahls verbessert. Der Übergang zwischen feststehendem Kollimator und drehender Fokussierlinse ist technisch sehr einfach: Weil der Kollimator mindestens teilweise in die Spindel eintaucht, kann durch eine einfache Labyrinthdichtung zwischen Kollimator und der drehbaren Spindel sicher und zuverlässig verhindert werden, dass in diesem Übergangsbereich Laserstrahlen austreten, was unerwünscht ist, weil es eine Gefährdung von Personen und Sachen darstellt. Außerdem wird der Verlust von Sperrluft minimiert, welche sich innerhalb der Spindel und dem Strahlwerkzeug befindet.

[0010] Durch die mitdrehende Fokussieroptik oder eine mitdrehende fokussierende Linse wird die zentrische Position des Laserstrahls sehr genau eingehalten, was die Bearbeitungsqualität verbessert.

[0011] Um sicherzustellen, dass Verunreinigungen nicht in das Innere der Spindel gelangen können, ist an einem dem Kollimator entgegengesetzten Ende des Werkzeugs ein für den Laserstrahl transparentes (Schutz-)Fenster in dem Strahlwerkzeug vorgesehen. Durch dieses Fenster tritt der Laserstrahl aus dem Strahlwerkzeug aus.

[0012] Außerdem weist das Strahlwerkzeug mindestens einen Sperrluftkanal und eine Austrittsöffnung für die Sperrluft auf. Die Austrittsöffnung für die Sperrluft ist so ausgerichtet, dass die aus der Austrittsöffnung austretende Sperrluft Verunreinigungen von dem Fenster abhält. Dadurch wird über eine lan-

ge Betriebsdauer eine konstante Leistung bzw. Leistungsdichte des Laserstrahls erzielt. Anders ausgedrückt: Die Intervalle zwischen den periodisch erforderlichen Reinigungen des Fensters werden verlängert. Beides trägt dazu bei, die Produktivität des erfindungsgemäßen Strahlwerkzeugs zu erhöhen. Die Sperrluft kann gleichzeitig zur Kühlung des Strahlwerkzeugs verwendet werden.

[0013] Das Bewegen in Richtung der Z-Achse und die Drehung der Spindel stellt sicher, dass die Zylinderbohrung flächendeckend aufgeraut wird. Hierzu ist es notwendig, die Überlagerung der Drehbewegung durch eine Regelung/Steuerung so abzustimmen, dass definierte Vorschubbewegungen realisierbar sind. Die Drehung des Spindelmotors wird auf die Spindel übertragen, welche konstruktiv in die kompakte Spindeleinheit integriert ist.

[0014] Die unabhängig von der Vorschubbewegung auf der Top-Deckfläche anlegbare Maskierung, ist auf einem separaten Schlitten abgeordnet. Die Maskierung befindet sich auf der Unterseite des Anlegewinkels.

[0015] Der Laserstrahl wird in den ausrichtbaren Kollimator eingespeist, welcher den divergenten Lichtstrahl parallelisiert. Der Kollimator kann bei Bedarf mit Luft oder einem anderen gasförmigen oder flüssigen Fluid gekühlt werden. Der Kollimator kann wie gezeigt senkrecht angeordnet sein. Auch eine andere Einbaulage ist möglich, was jedoch optische Bauelemente zur Strahlumlenkung erfordert. Zwischen dem nicht rotierenden Kollimator und der rotierenden Spindel befindet sich ein geringer Spalt, so dass nur geringe Abblasverluste entstehen. Darüber hinaus ist der Spalt z.B. als Labyrinthdichtung ausgeführt, so dass ein Einblick ins Innere der Spindel nicht möglich ist. Der so aufbereitete Strahl durchläuft die Hohlspindel und tritt am Spindelende in das Strahlwerkzeug ein. Im Strahlwerkzeug befindet sich die sich mit Spindeldrehzahl drehende Fokussierlinse der Brennweite f , welche den Strahl auf die Oberfläche der Bohrung fokussiert. In dem Strahlwerkzeug befindet sich eine Strahlumlenkung, welche als Spiegel oder Prisma so ausgeführt ist, dass keine signifikante Erwärmung und kein schädlicher thermischer Fokusschift entstehen. Der Austrittswinkel kann je nach prozesstechnischer Anforderung von der Normalrichtung zur Werkzeugachse abweichen. Am Strahlaustritt durchläuft der Strahl ein sperrluftumspültes (Schutz-)Fenster, so dass kein Schmelzmaterial in das Strahlwerkzeug gelangen kann und die Verschmutzung des (Schutz-)Fensters gering bleibt. Die symmetrische Massenverteilung besonders am unteren Ende des Strahlwerkzeuges verbessert den Rundlauf auch bei hohen Drehzahlen. Dennoch ist in der Regel ein genaues Auswuchten des Strahlwerkzeugs notwendig.

[0016] Es ist zu erwähnen, dass die Fokussierung in bevorzugter Ausführungsform justierbar ist, so dass das erfindungsgemäße Strahlwerkzeug ohne weiteres auf verschiedene Bohrungsdurchmesser eingestellt werden kann. Dies kann sowohl manuell als auch automatisch erfolgen. Das Strahlwerkzeug kann mit einem inneren Flüssigkeits- oder Gas-Kühlsystem oder außen mit Kühlrippen für eine Konvektionskühlung ausgeführt sein.

[0017] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind das Strahlwerkzeug und das zu bearbeitende Werkstück relativ zueinander in Richtung einer Längsachse der zu bearbeitenden Bohrung (Z-Achse) verfahrbar, so dass durch eine Kombination aus einer Drehbewegung der Spindel und der Relativbewegung von Strahlwerkzeug und Werkstück die zu bearbeitende Teil der Bohrung von dem Laserstrahl erreicht wird.

[0018] Diese Relativbewegung kann beispielsweise dadurch realisiert werden, dass die Vorrichtung ein Gestell und einen Ständer umfasst, wobei auf dem Gestell eine Werkstück-Aufnahme angeordnet ist, wobei mindestens eine Grundplatte an dem Ständer in Richtung einer X-Achse verschiebbar und positionierbar geführt ist. Durch diese Anordnung ist es auch möglich, eine oder mehrere Bohrungen eines Werkstücks (zum Beispiel einen Zylinderblock) aufzurauen, indem das Strahlwerkzeug in Richtung der Z-Achse in die aufzurauende Bohrung hineinbewegt wird.

[0019] Die Umlenkeinrichtung in dem Strahlwerkzeug kann als Spiegel und/oder als Prisma ausgebildet sein. Beide Ausführungsformen bauen sehr kompakt und haben nur eine relativ geringe Masse, so dass hohe Spindeldrehzahlen möglich sind, ohne die Spindel durch die auftretenden Fliehkräfte zu verformen oder in anderer Weise zu überlasten. Dadurch wird die Leistungsfähigkeit des erfindungsgemäßen Strahlwerkzeugs erhöht.

[0020] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist sehr flexibel bezüglich der Anordnung des Kollimators relativ zu der Spindel bzw. dem Strahlwerkzeug. So können eine Längsachse des Kollimators und eine Z-Achse der Vorrichtung bzw. einer Drehachse des Strahlwerkzeugs einen Winkel zwischen 0° und 90° einschließen. Bei Bedarf wird ein Spiegel oder ein Prisma zwischen dem Kollimator und dem Strahlwerkzeug angeordnet.

[0021] Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der Kollimator über ein Lichtleitkabel mit einer Laserlichtquelle verbunden ist. Sowohl die Laserlichtquelle als auch der Kollimator und das Lichtleitkabel führen keine Drehbewegungen aus, was den konstruktiven Aufbau der Vorrichtung und des Strahlwerkzeugs vereinfacht und die Zuverlässigkeit erhöht. Um sicherzu-

stellen, dass der Laserstrahl nicht aus dem eigentlichen Arbeitsbereich hinausgelangt, ist an der Grundplatte eine Maskierungsvorrichtung angeordnet, die in Richtung der Z-Achse verschiebbar und positionierbar geführt ist.

[0022] Die Maskierungsvorrichtung kann ein ringförmiges Element aufweisen, das in etwa koaxial zu der Spindel positioniert und in Richtung der Z-Achse verschiebbar ist. Außerdem kann sie ein flächiges Element aufweisen, das orthogonal zur Z-Achse ausgerichtet ist. Dadurch wird eine optimale Abdeckung des Laserstrahls erreicht, so dass Personen und/oder Gegenstände in der Nähe des Strahlwerkzeugs geschützt sind.

[0023] Um eine gleichbleibend hohe Bearbeitungsqualität des Strahlwerkzeugs sicherzustellen, ist an dem Ständer oder dem Gestell eine Messeinrichtung zur Messung des aus dem Fenster des Strahlwerkzeugs austretenden Laserstrahls vorgesehen.

[0024] Diese Messeinrichtung misst vor allem die Leistungsdichte des Laserstrahls. Wenn die gemessene Leistungsdichte unterhalb eines vorgegebenen Schwellwerts ist, dann kann daraus geschlossen werden, dass das Fenster der Spindel durch Verunreinigungen verschmutzt ist und das Fenster gereinigt werden muss. Nach der Reinigung ist die Leistungsfähigkeit des Laserstrahls wieder bei 100% des Ursprungswerts.

[0025] Messeinrichtungen zur Messung der Leistungsdichte eines Laserstrahls sind am Markt verfügbar. Im Zusammenhang mit der beanspruchten Erfindung ist darauf hinzuweisen, dass die Messeinrichtung während des Bearbeitungsvorgangs (Aufrauen einer Bohrung) aus dem Arbeitsbereich des erfindungsgemäßen Strahlwerkzeugs herausgefahren wird.

[0026] Wenn die Leistungsdichte des Laserstrahls gemessen werden soll, wird die Messeinrichtung so positioniert, dass sie sich in einem bestimmten Abstand zu dem Fenster des Strahlwerkzeugs befindet. Der Abstand zwischen der Messeinrichtung und dem Strahlwerkzeug ist so gewählt, dass der Brennpunkt des Laserstrahls nicht dort ist, wo sich die Messeinrichtung befindet. Vielmehr ist die Messeinrichtung so weit von der Spindel entfernt, dass der Laserstrahl mit einer größeren Fläche als im Brennpunkt und damit mit einer deutlich geringeren Leistungsdichte auf der Messeinrichtung als auf der zu bearbeitenden Bohrung auftrifft. Dann kann die Messung der Leistungsdichte des Laserstrahls rasch und einfach erfolgen, ohne dass die Messeinrichtung durch die hohe Leistungsdichte des Laserstrahls beschädigt wird.

[0027] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung ist an dem Ständer oder dem Gestell eine Reinigungseinrichtung für das Fenster des Strahlwerkzeugs vorgesehen ist, wobei die Reinigungseinrichtung ein Gehäuse mit mindestens einer Öffnung und mindestens einer Düse für ein Reinigungsmedium, insbesondere Gas wie zum Beispiel CO₂, eine Flüssigkeit oder Trockeneis, umfasst, und dass die Öffnung in dem Gehäuse das Eintauchen des Strahlwerkzeugs, mindestens jedoch des Fensters des Strahlwerkzeugs, in das Gehäuse erlaubt. Dadurch ist es möglich, mit einem Reinigungsmedium, bevorzugt Trockeneis, Verunreinigungen auf dem Fenster des erfindungsgemäßen Strahlwerkzeugs wirkungsvoll und prozesssicher zu entfernen, sodass nach Reinigungsvorgang wieder die volle Leistungsfähigkeit des Strahlwerkzeugs hergestellt ist. Während des Reinigungsvorgangs kann die Spindel gedreht werden und/oder das Strahlwerkzeug in Richtung der Z-Achse relativ zu der Reinigungseinrichtung bewegt werden, so dass alle Bereiche des Fensters gleichmäßig gut gereinigt werden.

[0028] Auch die Reinigungseinrichtung ist auf einer Führung verschiebbar und positionierbar angeordnet, sodass sie während des Aufrauvorgangs aus dem Arbeitsbereich des Strahlwerkzeugs bewegt werden kann. Nur wenn das Fenster des Strahlwerkzeugs gereinigt werden muss, wird die Reinigungseinrichtung so in dem Arbeitsbereich des Strahlwerkzeugs positioniert, dass durch Bewegen des Strahlwerkzeugs in Richtung der Z-Achse mindestens das Fenster des Strahlwerkzeugs in die Öffnung der Reinigungseinrichtung einfährt und es dort zum Beispiel mit Trockeneis gereinigt werden kann.

[0029] Um die Luftbelastung in der Umgebung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zu minimieren und gleichzeitig die Verschmutzung des Fensters durch das Verdampfen und teilweise Aufschmelzen der Oberfläche der zu bearbeitenden Bohrung entstehenden Verunreinigungen zu minimieren, ist eine Absaugeinrichtung vorgesehen, die mindestens zwei Absaugleitungen aufweist, wobei bevorzugt für jede in einem Werkstück aufzurauende Bohrung eine separate Absaugleitung vorgesehen ist.

[0030] Die Absaugeinrichtung weist ein zentrales Sauggebläse auf, das mit allen Absaugleitungen verbunden ist. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass in jeder Absaugleitung ein Verschlussorgan, wie zum Beispiel eine Verschlussklappe, angeordnet ist.

[0031] Grundsätzlich sind die Absaugleitungen verschlossen und nur bei den Absaugleitungen, die mit einer Bohrung verbunden sind, die gerade aufgeraut werden, sind die Verschlussorgane in der Absaugleitung geöffnet.

[0032] Wenn also beispielsweise vier Bohrungen in dem Werkstück vorhanden sind und nur eine Bohrung auf einmal aufgeraut wird, dann sind drei Absaugleitungen verschlossen und nur eine Bohrung ist mit dem Absauggebläse verbunden. Dadurch wird der Leistungsbedarf des Sauggebläses minimiert, ohne die Wirksamkeit der Absaugeinrichtung zu beeinträchtigen.

[0033] Die Übergänge zwischen den zu bearbeitenden Bohrungen und den Absaugleitungen sind so gestaltet, dass die Druckverluste minimiert werden. Sie können zum Beispiel als Konfusoren oder Diffusoren ausgebildet sein.

[0034] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung ist eine Handhabungseinrichtung vorgesehen, welche die fertig bearbeiteten Werkstücke aus der erfindungsgemäßen Vorrichtung herausnimmt und ein neues Werkstück auf die Werkstückaufnahme aufsetzt. Die Werkstücke selbst können sogenannte Indexbohrungen aufweisen. Alternativ ist es auch möglich, dass die Werkstücke auf einem Grundgestell aufgenommen werden und dieses Grundgestell Indexbohrungen aufweist, die mit komplementär angeordneten Stiften der Werkstückaufnahme der erfindungsgemäßen Vorrichtung so zusammenwirken, dass die zu bearbeiteten Bohrungen des Werkstücks exakt positioniert werden. Dies ist wichtig, um eine gleichmäßige Qualität der Bohrungsbearbeitung zu erreichen.

[0035] Wenn die Drehachse des Strahlwerkzeugs nicht mit der Achse der zu bearbeiteten Bohrung zusammenfällt, dann ist bei einer Umdrehung der Spindel der Laserstrahl mehr oder weniger stark fokussiert, wenn er auf die zu bearbeitende Oberfläche der Bohrung trifft. Dementsprechend ist die Leistungsdichte des Laserstrahls verschieden, was zu unterschiedlichen Bearbeitungsergebnissen führt. Das ist unerwünscht. Daher ist die ausreichend genaue Positionierung der Bohrungen relativ zu der Drehachse der Spindel des Strahlwerkzeugs wichtig für eine prozesssichere Großserienfertigung. Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Aufrauens durch einen Laserstrahl ist darin zu sehen, dass die Anforderungen an die Positioniergenauigkeit nicht besonders hoch sind, da der Laserstrahl innerhalb der Rayleighlänge quasi eine konstante Intensität aufweist. Die Rayleighlänge beträgt unter den Prozessbedingungen ca. 0,6–0,8 mm. Eine Positioniergenauigkeit von $\pm 0,3$ – $0,4$ mm ist deshalb ausreichend. Eine solche Genauigkeit wird von einer modernen Werkzeugmaschine ohne weiteres erreicht.

[0036] Weil das Strahlwerkzeug in Richtung der X-Achse verfahrbar ist, kann auch eine sehr genaue Positionierung der Spindel relativ zu der Bohrung vorgenommen werden. Fertigungsbedingte Abweichungen der Positionierung der Bohrung in dem zu bear-

beitenden Werkstück können dadurch ausgeglichen werden.

[0037] Die oben erwähnte Positioniergenauigkeit des Strahlwerkzeugs relativ zu der Mitte der zu bearbeitenden Bohrung wird problemlos erreicht, auch wenn das Strahlwerkzeug nur in Richtung der X-Achse und nicht in Richtung der Y-Achse verfahrbar ist. Dadurch ergibt sich ein vergleichsweise einfacher und kostengünstiger Aufbau der erfindungsgemäßen Fertigungsvorrichtung.

[0038] Die Arbeitsweise des erfindungsgemäßen Strahlwerkzeugs bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung lässt sich wie folgt beschreiben:

- Aufsetzen der Maskierungsvorrichtung auf die Stirnfläche der Bohrung, deren Oberfläche aufgeraut werden soll,
- Einfahren der Spindel in die Bohrung sowie
- Drehen der Spindel
- und/oder Bewegen der Spindel (**27**) und/oder des Werkstücks (**11**) in Richtung der Z-Achse, so dass der Laserstrahl mit definiertem Vorschub die zu bearbeitende Oberfläche der Bohrung (**61**) in Form einer Wendel oder in Form mehrerer nebeneinander liegender Ringe aufraut.

[0039] Diese sehr einfache Bewegung erlaubt eine rasche und prozesssichere Bearbeitung einer Bohrung.

[0040] Es ist möglich, den Laserstrahl dauernd eingeschaltet zu lassen, auch wenn der Laserstrahl über eine Öffnung in der zu bearbeitenden Bohrung bewegt wird, und immer dann, wenn der Laserstrahl sich außerhalb einer zu bearbeiteten Bohrung befindet, den Laserstrahl durch eine Abschirmung abzudecken, sodass der Laserstrahl keine Schäden bei den dort arbeitenden Personen oder den dort vorhandenen Gerätschaften verursacht. Das erleichtert die Steuerung des Aufrauprozesses. Sollen Bohrungen bearbeitet werden mit zusätzlichen Ventilationsbohrungen oder mit Aussparungen für die Pleuelgeige, so ist es nicht notwendig den Strahl im Bereich der Unterbrechungen abzuschalten, weil der Laserstrahl defokussiert auf eine Werkstückoberfläche mit größerem Abstand als auf die zu bearbeitende Bohrung. Aufgrund der dadurch geringeren Strahlintensität findet dort kein Aufrauprozess statt. Alternativ kann der Laserstrahl genau dann eingeschaltet werden, wenn er auf eine aufzurauende Oberfläche trifft. Das spart Energie und verringert den Aufwand für Abschirmungen.

[0041] Die Abschirmung ist dabei in einem solchen Abstand zu der Spindel beziehungsweise dem Fenster des Strahlwerkzeugs angeordnet, dass der Laserstrahl defokussiert auf die Abschirmung trifft und infolgedessen die Leistungsdichte des Laserstrahls

so gering ist, dass die Abschirmung nicht beschädigt wird.

[0042] Des Weiteren ist vorgesehen, dass die Absaugeinrichtung die mit Rückständen von der Laserbearbeitung versetzte Luft aus der in Bearbeitung befindlichen Bohrung absaugt. Dadurch wird erstens die Luft in der unmittelbaren Umgebung der erfindungsgemäßen Vorrichtung verbessert und das Fenster des Laserwerkzeugs wird weniger verschmutzt. Dadurch wird die Prozessstabilität des Aufrauprozesses verbessert und die Intervalle nach denen die Leistung des Laserstrahls gemessen werden muss, können verlängert werden. Dies erhöht die Produktivität der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindungen sind der nachfolgenden Zeichnung, deren Beschreibung und den Patentansprüchen entnehmbar. Alle in der Zeichnung, deren Beschreibung und in Patentansprüchen offenbarten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungsmäßig sein.

Zeichnung

[0043] Es zeigen:

[0044] Fig. 1 eine Gesamtansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

[0045] Fig. 2 und Fig. 3 Details des erfindungsgemäßen Strahlwerkzeugs,

[0046] Fig. 4 eine schematische Darstellung der Messeinrichtung zum Messen der Leistungsfähigkeit des Laserstrahls,

[0047] Fig. 5 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Reinigungsvorrichtung,

[0048] Fig. 6 ein Detail der erfindungsgemäßen Absaugeinrichtung und

[0049] Fig. 7 ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Handhabungseinrichtung.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0050] In der Fig. 1 ist ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 in einer Isometrie und etwas vereinfacht dargestellt. Sie umfasst ein Gestell 3 und einen Ständer 5. Auf dem Gestell 3 sind eine Werkstückaufnahme 7 und eine Handhabungseinrichtung 9 angeordnet. Die Handhabungseinrichtung 9 kann, wie in Fig. 1 angedeutet, als Wechselgreifer ausgebildet sein.

[0051] Die Werkstücke 11 sind bei diesem Ausführungsbeispiel Zylinderblöcke von Brennkraftmaschi-

nen mit vier Zylinderbohrungen (ohne Bezugszeichen).

[0052] An dem Ständer 5 sind bei diesen Ausführungsbeispielen zwei Spindeln 27 auf Grundplatten 13 angeordnet, die in Richtung der X-Achse verfahrbar und positionierbar sind. Dazu sind eine Führung und ein Antrieb sowie Messeinrichtungen zur Erfassung der Position der Grundplatten 13 vorhanden. Diese Linearführungen und Antriebe sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden daher nicht näher erläutert.

[0053] An den Spindeln 27 sind Strahlwerkzeuge 33 angeordnet, die nachfolgend im Zusammenhang mit den Fig. 2 und Fig. 3 noch näher erläutert werden. Die Strahlwerkzeuge 33 können unabhängig voneinander betrieben und entlang der X-Achse und der Z-Achse bewegt werden. Dadurch ist es möglich, gleichzeitig oder zeitlich versetzt zueinander mehrere Bohrungen in einem oder mehreren Werkstücken 11 zu bearbeiten.

[0054] Zwischen den Strahlwerkzeugen 33 ist eine Messeinrichtung 17 zur Messung der Leistungsdichte beziehungsweise des Laserstrahls angeordnet. Diese Messeinrichtung wird im Zusammenhang mit der Fig. 4 näher erläutert.

[0055] An der im linken Ende des Ständers 5 ist größtenteils verdeckt von dem linken Strahlwerkzeug 33 eine Reinigungseinrichtung 19 vorhanden, die im Zusammenhang mit der Fig. 5 näher erläutert wird. Die Fig. 2 zeigt ein Detail der Fig. 1, nämlich ein Strahlwerkzeug 33, das mit der Spindel 27 verbunden ist und in Richtung einer Z-Achse verfahrbar ist.

[0056] Auf der Grundplatte 13 ist eine Linearführung 21 angeordnet. Die Linearführung umfasst auch einen Linearantrieb sowie Sensoren zur Erfassung der Position des Strahlwerkzeugs entlang der Z-Achse. Diese Bauteile sind aus dem Stand der Technik bekannt und wegen der Übersichtlichkeit nicht einzeln dargestellt.

[0057] Auf der Linearführung 21 ist ein Schlitten 29 angeordnet. Der Schlitten 29 ist in Richtung der Z-Achse verfahrbar. Der Schlitten 29 trägt einen Kollimator 25 und einen Antrieb 23 für die Spindel 27. Der Kollimator 25 ist bei diesem Ausführungsbeispiel über ein Winkelstück 22 fest mit dem Schlitten 29 verbunden. Die Strahlquelle und ein Lichtleitkabel, welche den Kollimator 25 mit Licht versorgen, sind in der Fig. 2 nicht dargestellt, damit der Kollimator 25 gut sichtbar ist.

[0058] Der Kollimator 25 ragt teilweise in die Spindel 27, welche drehbar gelagert an dem Schlitten 29 befestigt ist. Ein Drehantrieb für die Spindel 27 ist mit

dem Bezugszeichen **31** versehen. Der Drehantrieb **31** ist ebenfalls an dem Schlitten **29** befestigt.

[0059] In **Fig. 2** unterhalb der Spindel ist ein Strahlwerkzeug **33** mit der Spindel **27** verbunden. An dem in **Fig. 2** unterem Ende des Strahlwerkzeugs **33** sind eine Umlenkeinrichtung und ein Fenster angeordnet (siehe **Fig. 3**). Die Umlenkeinrichtung und das Fenster sind in der **Fig. 2** durch eine Maskierungsvorrichtung **35** weitestgehend verdeckt.

[0060] Die Maskierungsvorrichtung **35** ist auf einem separaten Schlitten **37** auf der Führung **21** geführt und kann in Richtung der Z-Achse unabhängig vom Strahlwerkzeug **33** bewegt werden. Die Maskierungseinrichtung **35** ist ein ringförmiges Gebilde, das konzentrisch zur Längsachse der Spindel **27** beziehungsweise des Strahlwerkzeugs **33** positioniert ist. Die Maskierungseinrichtung **35** besteht bevorzugt aus Kupfer, weil Kupfer die Energie des Laserstrahls gut aufnehmen kann und wegen seiner guten Wärmeleitfähigkeit diese Energie rasch ableitet.

[0061] In der **Fig. 3** ist das Ende der Spindel **27** nur angedeutet. Die Spindel **27** endet mit einem Flansch **41** an dem das Strahlwerkzeug **33** befestigt ist. Das Strahlwerkzeug **33** ist teilweise geschnitten dargestellt.

[0062] In dem Strahlwerkzeug **33** ist eine fokussierende Linse **39** angeordnet. Die fokussierende Linse **39** fokussiert das von den Kollimator **25** gleichgerichtete Licht eines Laserstrahls **55** auf einen Brennpunkt F, der außerhalb des Strahlwerkzeugs liegt. Dort wo sich der Brennpunkt F befindet, ist die Oberfläche der zu bearbeitenden Bohrung **61**.

[0063] Wenn also die Spindel **27** und mit ihr das Strahlwerkzeug **33** eine Umdrehung um die Z-Achse ausführt, wird ein kreis- oder ringförmiger Bereich der Bohrung vom Laserstrahl **55** getroffen und erfindungsgemäß aufgeraut. Wenn nun zusammen mit der Drehung der Spindel **27** das Strahlwerkzeug **33** in Richtung der Z-Achse bewegt wird, ergibt sich eine schrauben- oder wendelförmige Linie. Entlang dieser Linie wandert der Fokus des Laserstrahls **55** über die aufzurauende Bohrung **61**. Alternativ kann auch ein "Ring" der Bohrungsoberfläche bearbeitet werden und dann das Strahlwerkzeug in Richtung der Z-Achse um die Bearbeitungsbreite des Strahlwerkzeugs **33** verschoben oder bewegt werden. Dieser Vorgang wird wiederholt bis die gesamte zu bearbeitende Oberfläche der Bohrung **61** aufgeraut ist.

[0064] Wenn die Mittelachse der zu bearbeitenden Bohrung **61** und die Drehachse der Spindel **27** zusammenfallen, dann ergibt sich über den gesamten Umfang der Bohrung eine gleichmäßige Einwirkung des Laserstrahls und infolgedessen ein sehr gleich-

mäßiges Ergebnis der Laserbearbeitung der Bohrung.

[0065] Auch aus diesem Grund ist es wichtig, dass das Strahlwerkzeug **33** in Richtung der X-Achse verfahrbar und positionierbar ist. Dann nämlich kann die Drehachse des Strahlwerkzeugs **33** optimal zur Längsachse der zu bearbeitenden Bohrung **61** ausgerichtet werden kann. Dies kann erforderlichenfalls durch Messeinrichtungen, welche die exakte Lage der zu bearbeitenden Bohrung erfassen, unterstützt werden, sodass eine optimale Bearbeitungsqualität gewährleistet ist, auch, wenn die Bohrungen **61** in dem Werkstück **11** fertigungsbedingt gewisse Lage-toleranzen aufweisen.

[0066] In der **Fig. 3** ist ein Flansch **41** sichtbar. Dieser Flansch ist Teil der Werkzeugspindel **27**. Über diesen Flansch wird das Strahlwerkzeug **33** mit der Spindel **27** verschraubt. Das Strahlwerkzeug **33** ist auswechselbar, so dass abhängig von der Länge der zu bearbeitenden Bohrung und/oder dem Durchmesser der zu bearbeitenden Bohrung ein geeignetes Strahlwerkzeug **33** an der Spindel **27** angebracht werden kann. Mithilfe von Stiften **43** eines oberen Verstellrings **45**, eines unteren Verstellrings **47** und eines weiteren Stellrings **49** wird die Fokussierlinse **39** in der gewünschten Position relativ zu dem Flansch **41** der Spindel positioniert. Dadurch ist es möglich, die Lage des Brennpunkts F zu verändern. Auf diese Weise kann das Strahlwerkzeug **33** an verschiedene Bohrungsdurchmesser angepasst werden. Der Abstand des Brennpunkts F von der Drehachse der Spindel **27** wird in der Regel so festgelegt, dass er mit der Oberfläche der zu bearbeitenden Bohrung **61** zusammenfällt.

[0067] Eine Feder **51** kompensiert Temperaturschwankungen, sodass eine spielfreie Anlage der Fokussierlinse **39** gewährleistet ist.

[0068] Am unteren Ende des Strahlwerkzeugs **33** ist eine Umlenkeinrichtung **53** angeordnet, die bei diesem Ausführungsbeispiel aus einem Umlenkspiegel besteht. Es ist jedoch auch möglich, dass die Umlenkeinrichtung **53** ein Prisma umfasst.

[0069] Der Laserstrahl **55** wird ausgehend von der fokussierenden Linse **39** immer dünner, bis er schließlich den Brennpunkt F erreicht hat. Dort ist naturgemäß die Leistungsdichte am höchsten.

[0070] Der Laserstrahl **55** verlässt das Strahlwerkzeug **33** durch ein Fenster **57**, welches transparent für den Laserstrahl ist und verhindert, dass Verunreinigungen ins Innere des Strahlwerkzeugs **33** gelangen können.

[0071] An dem in **Fig. 3** oberen Ende des Strahlwerkzeugs **33** ist ein Sperrlufteintritt **59** dargestellt.

Die Sperrluft gelangt durch das Innere des Strahlwerkzeugs bis ans untere Ende desselben und tritt dort über eine Düse (nicht sichtbar in **Fig. 3**) so aus, dass ein Luftschleier über die Außenseite des Fensters **57** gelegt wird und infolgedessen keine Verunreinigung beziehungsweise nur sehr wenige Verunreinigungen an die Oberfläche des Fensters **57** gelangen. Solche Verunreinigungen, wenn sie sich auf dem Fenster **57** ablagern, reduzieren die Leistungsdichte beziehungsweise die Leistung des Laserstrahls im Brennpunkt F. Damit wird auch das Arbeitsergebnis des Strahlwerkzeugs verschlechtert. Daher ist die Sperrluftzufuhr **59** ein wirksames Mittel, um die Prozesssicherheit zu erhöhen.

[0072] In der **Fig. 3** ist sehr schematisch eine Bohrung **61** angedeutet. Aus der **Fig. 3** wird deutlich, dass die Längsachse der Bohrung **61** und die Längsachse der Spindel **27** beziehungsweise des Strahlwerkzeugs **33** koaxial zueinander verlaufen und dass der Brennpunkt F dort liegt, wo sich die Oberfläche der Bohrung **61** befindet. Wenn also das Strahlwerkzeug **33** einmal um 360° gedreht wird, wandert der Brennpunkt F auf einer Kreisbahn einmal über die Bohrung **61** und bewirkt dort die gewünschte Aufrauung der Oberfläche. Wenn nun diese Drehbewegung mit einer Vorschubrichtung in Richtung der Z-Achse kombiniert wird, dann ergibt sich eine Schraubenlinie auf der der Fokus F über die Oberfläche der Bohrung **61** wandert, sodass die gesamte Oberfläche der Bohrung **61** aufgeraut werden kann. Es versteht sich von selbst, dass die Vorschubgeschwindigkeit und die Drehzahl der Spindel **27** aufeinander abgestimmt werden müssen, sodass die gesamte Oberfläche der Bohrung **61** aufgeraut wird. Um sicherzustellen, dass die Leistung des Laserstrahls **55** im Fokus F konstant bleibt, ist an der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Messeinrichtung **63** vorgesehen, die beispielsweise an dem Ständer **5** angeordnet sein kann.

[0073] In der **Fig. 4** ist eine solche Messeinrichtung **63** schematisch dargestellt. Ein Messfeld der Messeinrichtung ist mit dem Bezugszeichen **65** bezeichnet. Es ist so ausgerichtet, dass der Laserstrahl **55** orthogonal auf das Messfeld **65** trifft. Aus diesem Grund ist die Messeinrichtung **63** schräg gestellt.

[0074] Die Messeinrichtung **63** ist in Richtung eines Doppelpfeils **67** verfahrbar, sodass ein Abstand R zwischen dem Fenster **57** des Strahlwerkzeugs und dem Messfeld **65** einstellbar ist. In der in **Fig. 4** dargestellten Position befindet sich die Messeinrichtung **63** außerhalb des Bearbeitungsbereichs, das heißt hinter der Grundplatte **13**. Wenn nun die Leistung des Laserstrahls **55** gemessen werden soll, dann wird die Messeinrichtung **63** in der **Fig. 4** in Richtung des Doppelpfeils **67** nach rechts oben bewegt, bis der Abstand R den gewünschten Wert hat. Dabei ist darauf zu achten, dass das Messfeld **65** nicht im Brennpunkt

F des Laserstrahls liegt, weil dann die Leistungsdichte des Laserstrahls **55** so hoch ist, dass das Messfeld **65** beschädigt wird.

[0075] Deshalb wird deshalb das Messfeld **65** so positioniert, dass der Laserstrahl **55** nicht mit seiner maximalen Leistungsdichte auf das Messfeld **65** auftrifft, sondern eine Leistungsdichte hat, die keine Beschädigung des Messfelds **65** hervorruft.

[0076] In dem Messfeld **65** wird nun die Leistungsdichte des Laserstrahls **55** bestimmt. Wenn die Leistungsdichte unterhalb eines vorgegebenen Grenzwerts liegt, dann sind an dem Fenster **57** zu viele Verunreinigungen und das Fenster **57** muss gereinigt werden.

[0077] In der **Fig. 5** ist eine dafür geeignete Reinigungseinrichtung **69** dargestellt. Die Reinigungseinrichtung **69** umfasst ein Gehäuse **71** mit einer Öffnung **73**. Des Weiteren gibt es eine Zufuhröffnung **75** für das Reinigungsmedium, bevorzugt Trockeneis.

[0078] Die Reinigungseinrichtung **69** ist in Richtung einer X-Achse verfahrbar, sodass die Reinigungseinrichtung **69** außerhalb des Arbeitsbereichs des Strahlwerkzeugs **33** gebracht wird, wenn der Laser eine Bohrung aufraut. In **Fig. 5** ist die Position der Reinigungseinrichtung **69** dargestellt in der das Strahlwerkzeug **33** beziehungsweise das Fenster **57** an dem unteren Ende des Strahlwerkzeugs **33** gereinigt werden kann. Das Fenster **57** ist in der Öffnung **73** des Gehäuses **71** gerade noch zu sehen.

[0079] Wenn das Fenster **57** gereinigt werden soll, fährt das Strahlwerkzeug **33** noch tiefer in das Gehäuse **71** ein. Das Fenster **57** ist so ausgerichtet, dass es unmittelbar von dem Reinigungsmedium, das durch die Zufuhröffnung **75** in das Innere des Gehäuses **71** gelangt, beaufschlagt wird. Besonders bevorzugt ist es, wenn als Reinigungsmedium Trockeneis verwendet wird, weil dieses Trockeneis eine sehr gute Reinigungswirkung hat und rückstandslos verdampft. Die verbleibenden Verunreinigungen fallen nach unten und können am unteren Ende des Gehäuses **71** gesammelt und abgeführt werden.

[0080] Damit das Fenster **57** gleichmäßig gereinigt wird, kann es vorteilhaft sein, das Strahlwerkzeug **22** während des Reinigungsvorgangs oszillierend in Richtung der Z-Achse zu bewegen und/oder um die Z-Achse zu drehen.

[0081] In der **Fig. 6** wird ein Teil der erfindungsgemäßen Absaugeinrichtung dargestellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind vier Bohrungen **61** in einem Zylinderblock (Werkstück) vorhanden. Am unteren Ende der Bohrungen **61** ist jeweils eine Absaugleitung **77** angebracht. In jeder Absaugleitung **77** ist ein Verschlussorgan **79**, bspw. in Form ei-

ner Absperrklappe vorgesehen. Jeder Bohrung **61** des Werkstücks **11** ist eine Absaugleitung **77** zugeordnet. Wenn bspw. in der zweiten Bohrung von rechts eine Laserbearbeitung stattfindet, dann ist das Verschlussorgan **79** dieser Absaugleitung **77** geöffnet und die bei der Laserbearbeitung entstehenden Dämpfe und Verunreinigungen können über die Absaugleitung **69** abgesaugt werden.

[0082] Die in **Fig. 6** oberen Enden **84** der Absaugleitungen **77** sind so gestaltet, zum Beispiel als Konfuser, dass die Druckverluste im Übergangsbereich zwischen der Bohrung **61** und der Absaugleitung **77** minimal sind.

[0083] Da in den anderen Bohrungen **61** bei dem in **Fig. 6** dargestellten Ausführungsbeispiel keine Laserbearbeitung zur gleichen Zeit stattfindet, sind die Verschlussorgane **79** dieser Absaugleitung **77** verschlossen. Dadurch wird der erforderliche Volumenstrom bzw. der Energiebedarf eines Sauggebläses reduziert und die Absaugung der Verunreinigungen in der zweiten Bohrung von rechts in der **Fig. 6** wird effektiver.

[0084] In der **Fig. 7** ist eine Handhabungseinrichtung **81** schematisch dargestellt. Sie ist als Wechselgreifer ausgeführt. Die Werkstücke **11** werden mit Hilfe von Unterlagen **83** auf den Werkstückaufnahmen **7** abgesetzt und durch Indexierungsvorrichtungen genau positioniert. Nachdem die Werkstücke **11** bearbeitet sind, werden sie von der Handhabungseinrichtung **81** von den Werkstück-Aufnahmen **7** entnommen und es werden neue unbearbeitete Werkstücke **11** auf die Werkstück-Aufnahmen **7** aufgesetzt.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102009051717 A1 [0002]
- EP 2799180 A2 [0003]
- DE 102014207263 A1 [0003]
- DE 102005019757 A1 [0004, 0006]
- DE 19809367 A1 [0005]
- EP 0950461 A2 [0006]

Schutzansprüche

1. Vorrichtung zum Aufrauen von Oberflächen, umfassend mindestens einen Schlitten (29), wobei jeder Schlitten (29) mindestens einen Kollimator (25) und mindestens eine drehantreibbare Spindel (27) trägt und wobei an jeder Spindel (27) ein Strahlwerkzeug (33) befestigt ist, wobei das mindestens eine Strahlwerkzeug (33) eine fokussierende Linse (39) oder eine Fokussieroptik und eine Umlenkeinrichtung (53) umfasst, wobei die Umlenkeinrichtung (53) an einem dem Kollimator (25) gegenüberliegenden Ende des Strahlwerkzeugs (33) angeordnet ist, wobei die fokussierende Linse (39) oder die Fokussieroptik die Drehbewegung des Strahlwerkzeugs (33) mitmacht, wobei an jeder Spindel (27) ein Strahlwerkzeug (33) befestigt ist, wobei die Spindel (27) an ihrem dem Kollimator (25) entgegengesetzten Ende ein für den Laserstrahl (55) transparentes Fenster (57) aufweist, und wobei die Spindel (27) mindestens einen Sperrluftkanal (59) und eine Austrittsöffnung für die Sperrluft aufweist, und wobei die aus der Austrittsöffnung austretende Sperrluft Verunreinigungen von dem Fenster (57) abhält.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Strahlwerkzeug (33) und ein zu bearbeitendes Werkstück (11) relativ zueinander in Richtung einer X-Achse verschiebbar sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie ein Gestell (3) und einen Ständer (5) umfasst, dass auf dem Gestell (3) eine Werkstück-Aufnahme (7) angeordnet ist, dass an dem Ständer (5) mindestens eine Grundplatte (13) in Richtung einer X-Achse verschiebbar und positionierbar geführt ist, und dass der mindestens eine Schlitten (29) auf der Grundplatte (13) in Richtung einer X-Achse verschiebbar geführt ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umlenkeinrichtung (53) einen Spiegel und/oder ein Prisma umfasst.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Längsachse des Kollimators (25) und eine Z-Achse der Vorrichtung einen Winkel zwischen 0° und 90° einschließen.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen einem Ausgang des Kollimators (25) und dem Strahlwerkzeug (33) ein Spiegel und/oder ein Prisma angeordnet ist, der oder das den Laserstrahl parallel zu der Z-Achse ausrichtet.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Strahlwerkzeug (33) eine Kühlung, insbesondere eine Konvektionskühlung oder eine Flüssigkeitskühlung aufweist.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kollimator (25) über ein Lichtleitkabel mit einer Laserlichtquelle verbunden ist.
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf der Grundplatte (13) eine Maskierungsvorrichtung (35) in Richtung einer Z-Achse verschiebbar und positionierbar geführt ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Maskierungsvorrichtung (35) koaxial zu der Spindel (27) verschiebbar ist.
11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass an dem Ständer (5) oder dem Gestell (3) eine Messeinrichtung (63) zur Messung des aus dem Fenster (57) des Strahlwerkzeugs (15) austretenden Laserstrahls (55) vorgesehen ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messeinrichtung (63) so auf einer Führung geführt ist, dass ein Abstand (R) zwischen der Messeinrichtung (63) und der Spindel (27) einstellbar ist.
13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass an dem Ständer (5) oder dem Gestell (3) eine Reinigungseinrichtung (69) angeordnet ist, dass die Reinigungseinrichtung (69) ein Gehäuse (71) mit mindestens einer Öffnung (73) und mindestens einer Zufuhr (75) für ein Reinigungsmedium, insbesondere ein Gas, wie zum Beispiel CO₂, eine Flüssigkeit oder Trockeneis, umfasst, und dass die Öffnung (73) das Eintauchen der Spindel (27), mindestens jedoch des Fensters (57) der Spindel (27), in das Gehäuse (71) erlaubt.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reinigungseinrichtung (69) auf einer Führung geführt ist, so dass die Reinigungseinrichtung (69) bei Bedarf koaxial zu einer Längsachse Spindel (27) positionierbar ist.
15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Genauigkeit mit der das Strahlwerkzeug (33) relativ zu der zu bearbeitenden Bohrung (61) positionierbar ist, kleiner ist als die Rayleighlänge des Laserstrahls (55).
16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass an dem Ständer (5) oder dem Gestell (3) eine Absaugeinrichtung

tung vorgesehen ist, und dass die Absaugeinrichtung mindestens zwei Absaugleitungen (77), bevorzugt jedoch für jede in einem Werkstück (11) aufzurauende Bohrung (61) eine separate Absaugleitung (77) aufweist, und dass die Absaugeinrichtung ein Saug-Gebläse aufweist, das mit allen Absaugleitungen (77) verbunden ist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass in jeder Absaugleitung (77) eine steuerbare Schließeinrichtung, insbesondere eine Verschlussklappe (79), vorhanden ist.

18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Handhabungseinrichtung (81) umfasst, und dass die Handhabungseinrichtung (81) die zu bearbeitenden Werkstücke (11) in den Arbeitsbereich der Vorrichtung befördert und die bearbeiteten Werkstücke (11) aus dem Arbeitsbereich der Vorrichtung befördert.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Handhabungseinrichtung (81) als Wendegreifer ausgebildet ist.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

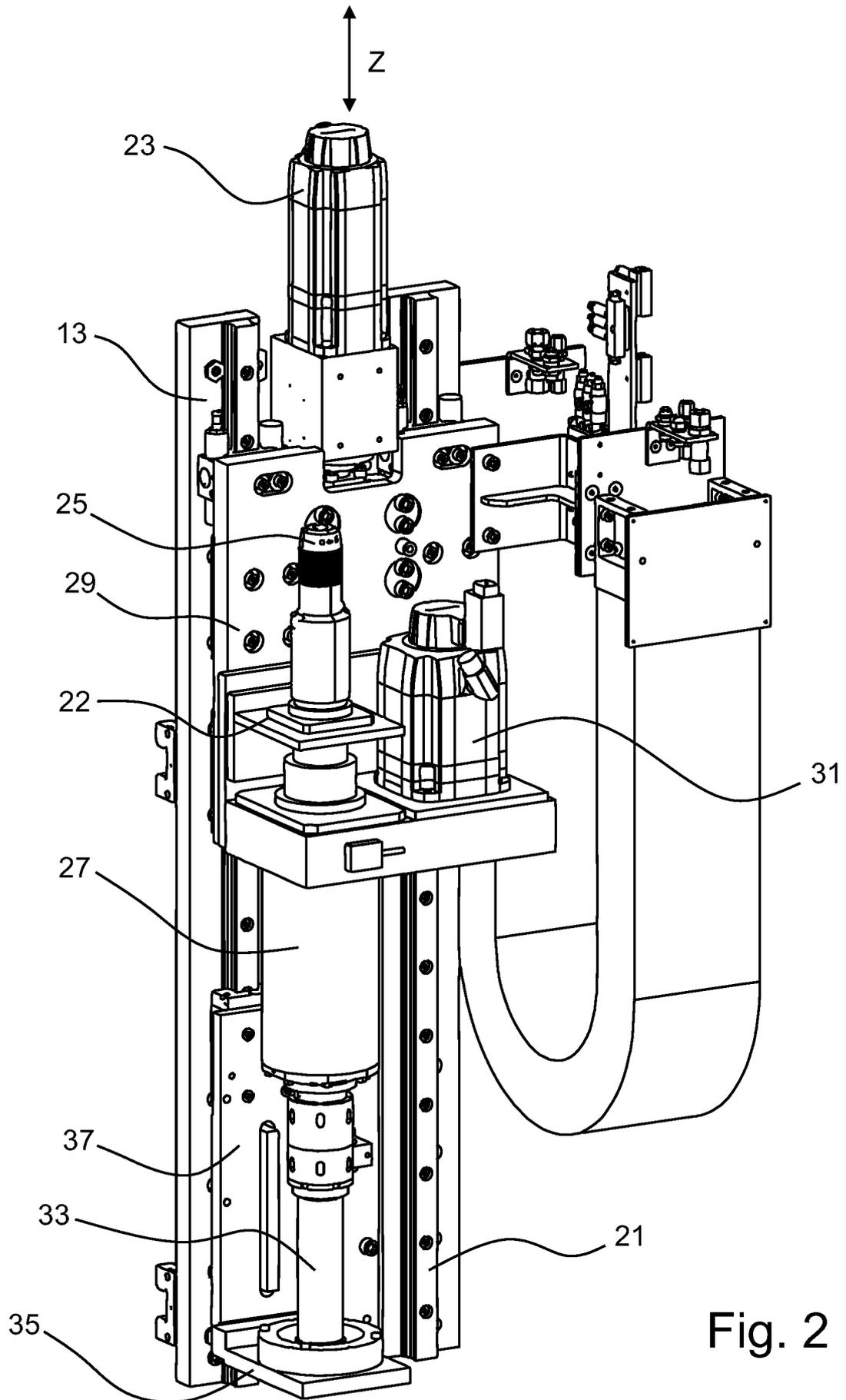


Fig. 2

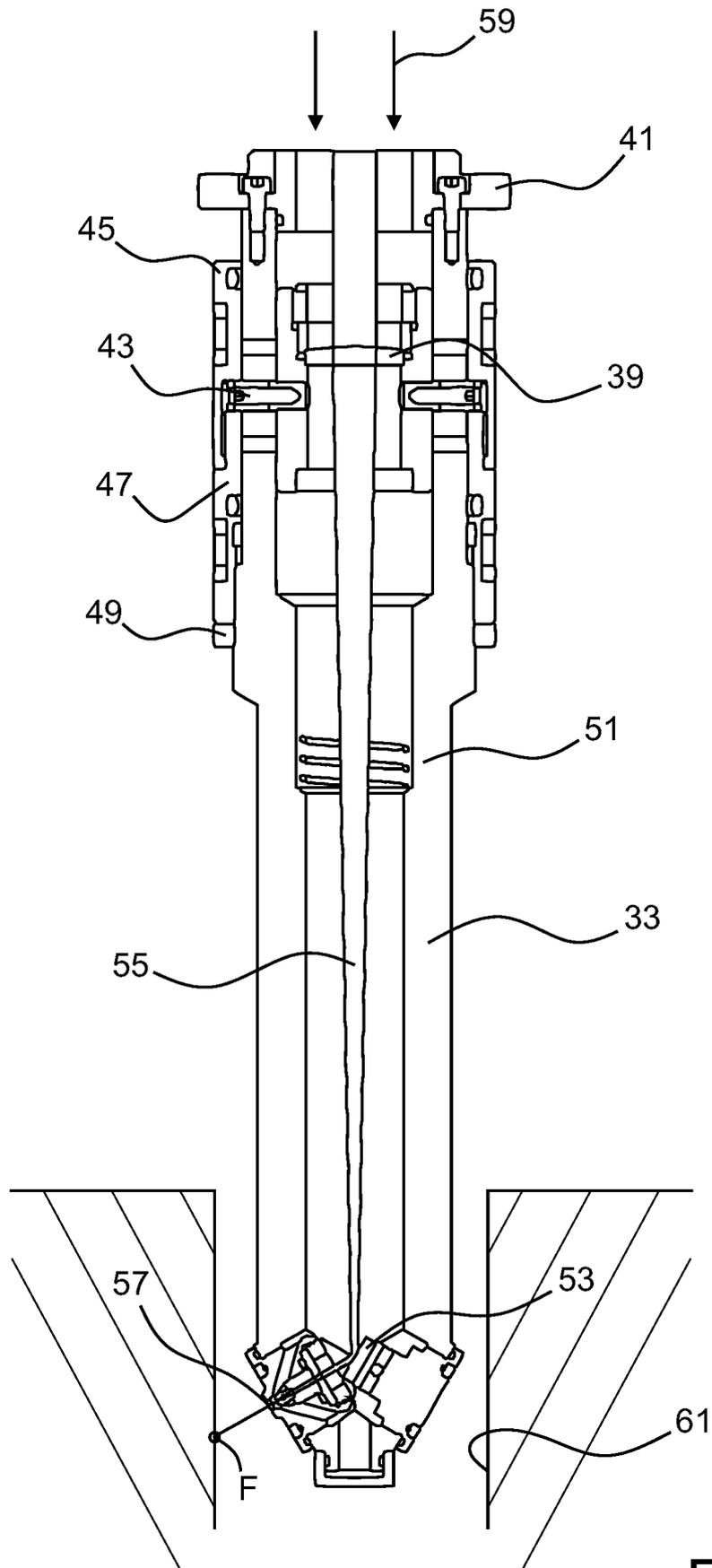


Fig. 3

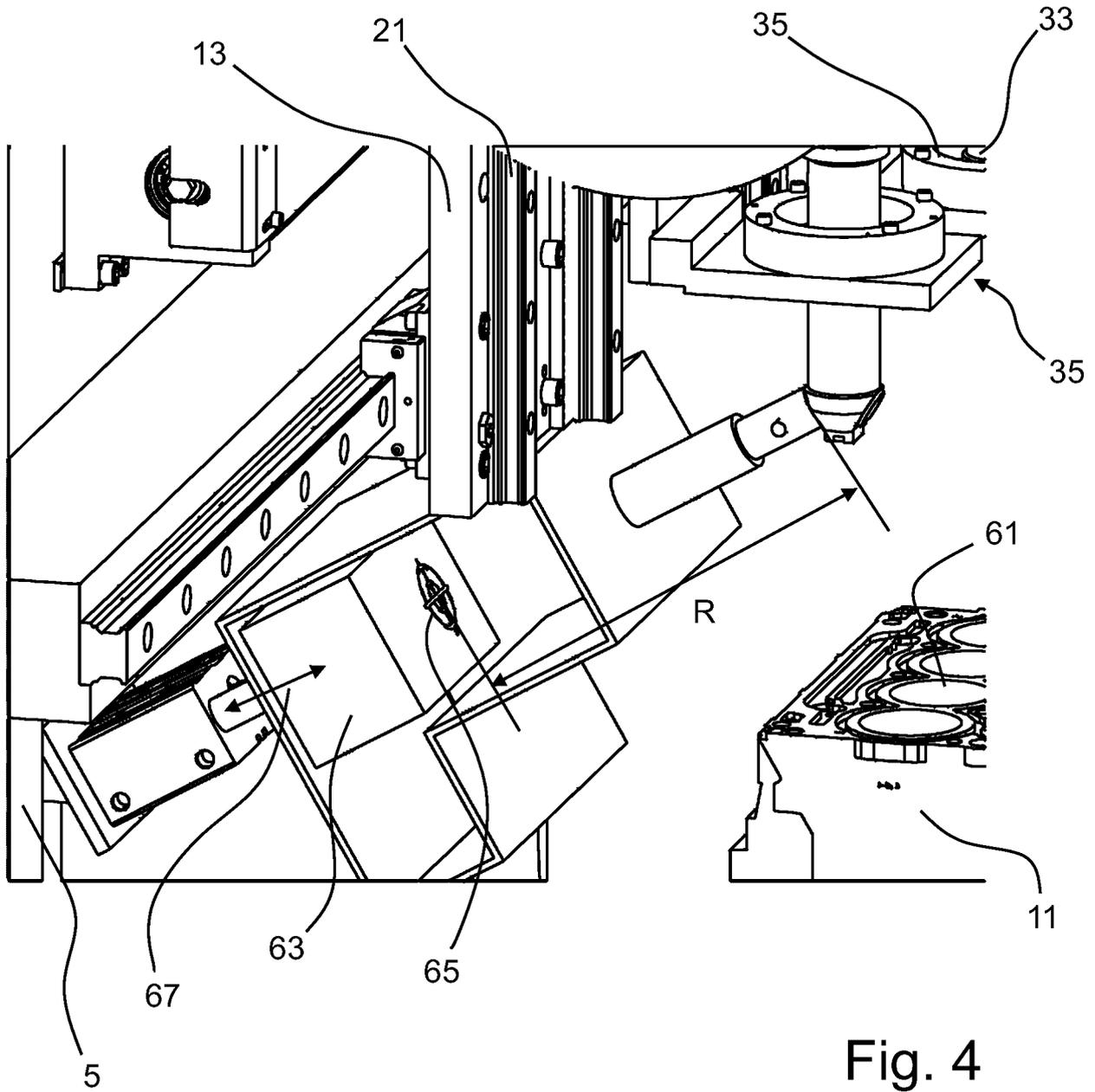


Fig. 4

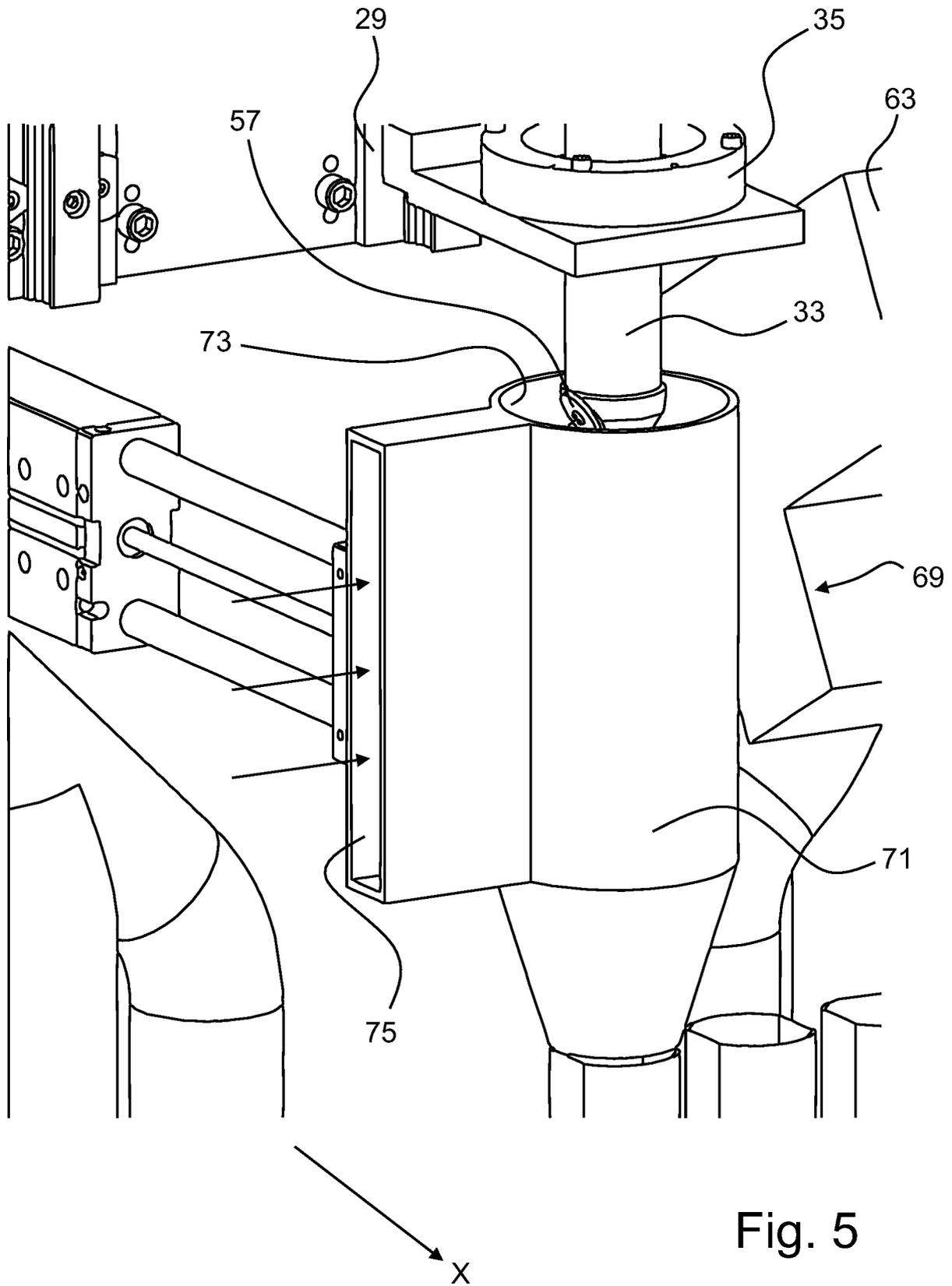


Fig. 5

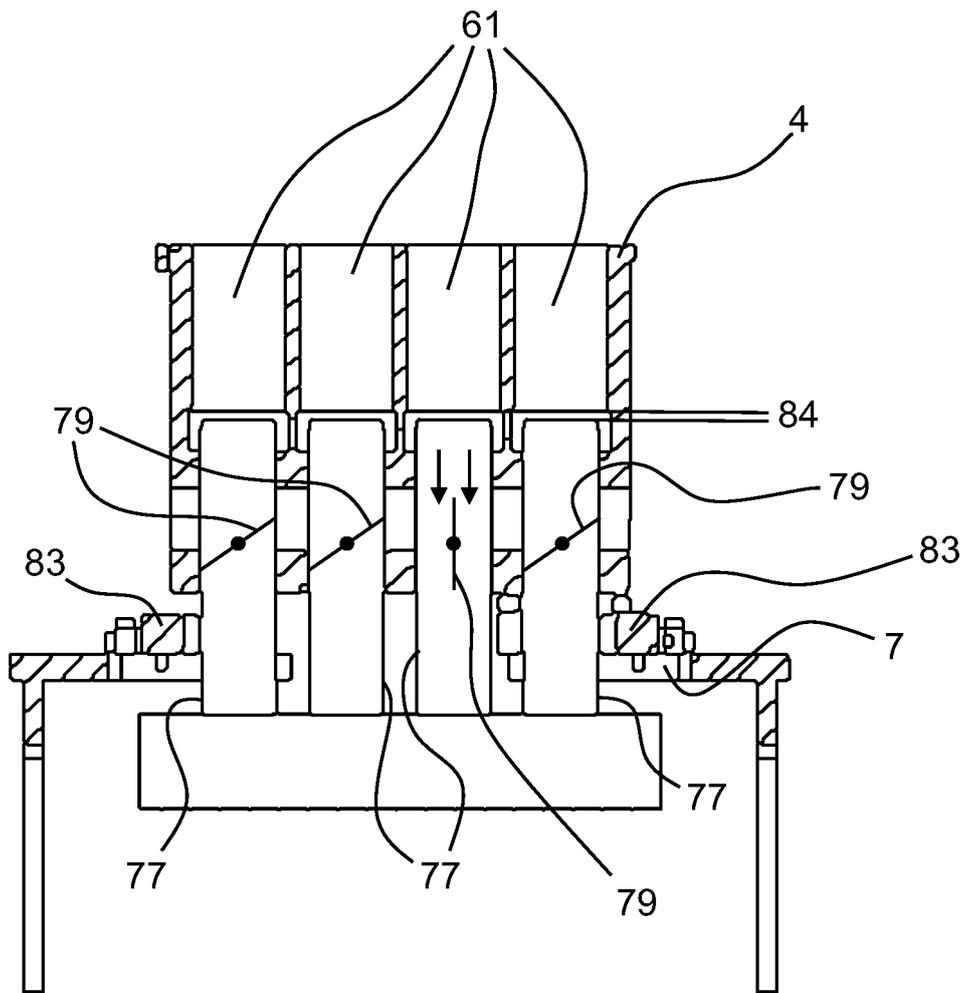


Fig. 6

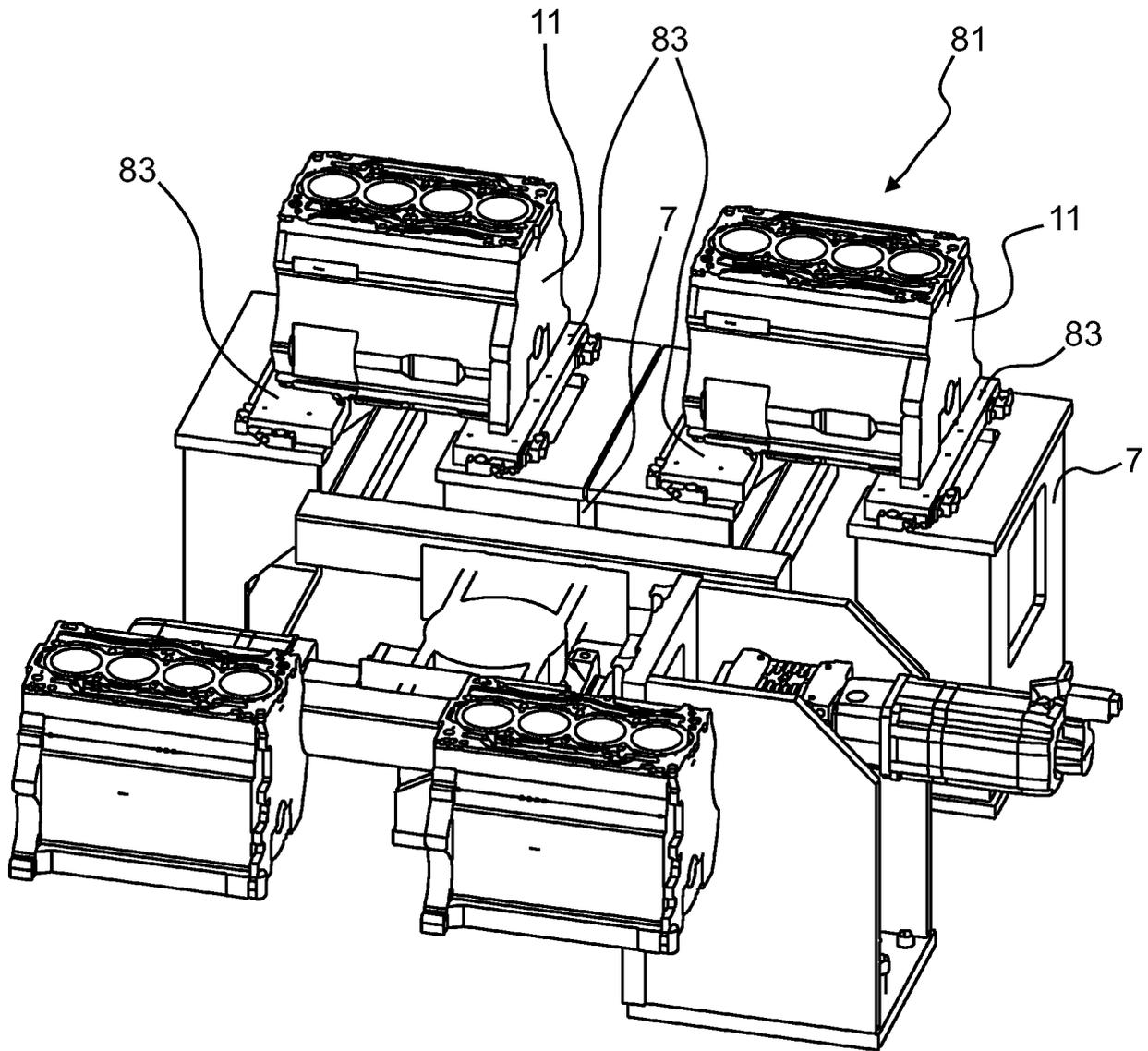


Fig. 7